UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE MANIZALES

Pachamama Bachué Yurupari Chiminigagua

Día Mundial del Medio Ambiente

El Universo



Por: Gonzalo Duque-Escobar*

Manizales, Junio 5 de 2020. Act. 2026.

Documento del Observatorio Astronómico de Manizales OAM

El Universo

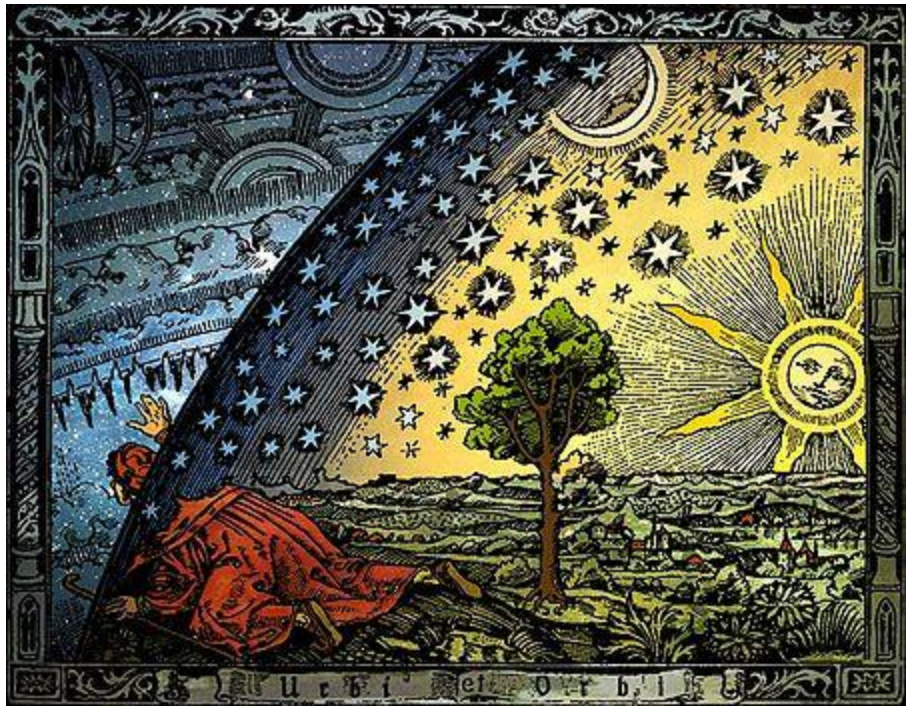
Supuesta la inmensa distancia que nos separa de los cuerpos celestes, el ojo humano es un instrumento insuficiente para proporcionarnos una visión detallada del Universo.

Por ello resulta prodigioso que el hombre, antes de la invención del telescopio, llegara no sólo a medir con gran exactitud los movimientos de los astros, y a calcular los eclipses e intuir la estructura del sistema solar, sino también a preguntarse por las naturaleza del espacio y del tiempo.

Pitágoras fue el primero que usó el término cosmos para referirse al orden del universo, y al universo mismo.

Los nuevos instrumentos científicos, construidos cada vez con mayor alcance para ver más lejos y con mayor precisión, descubren para los astrónomos un panorama inesperado y lleno de nuevos interrogantes. Por cada pregunta con respuesta, surgen varias que tardan aún más en encontrar respuesta.

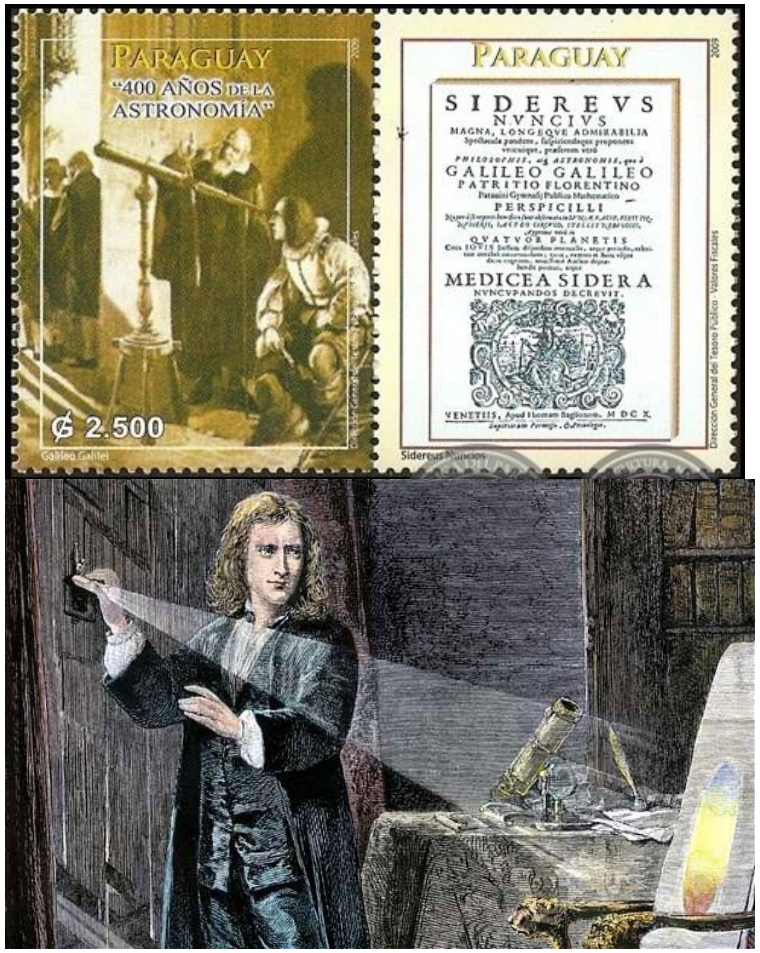
Ver: *El Universo acelerado.*



Universum, Grabado Flammarion (París, 1888). Ilustración representando la observación del cosmos. In: Wikipedia.org

El método científico

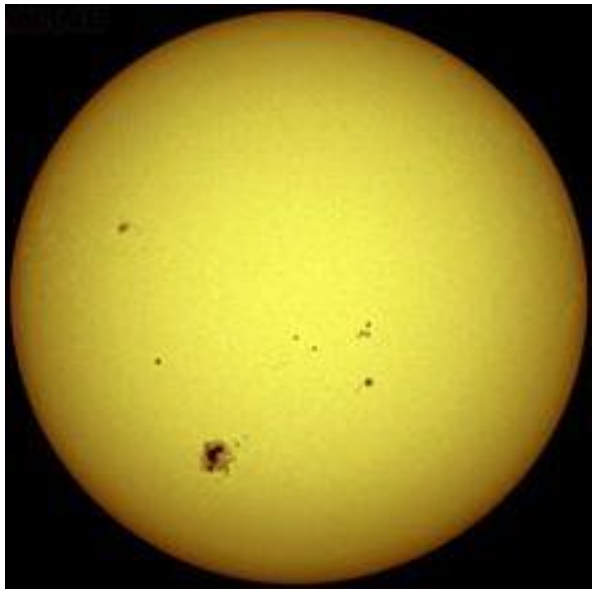
- El método científico es la metodología para construir nuevo conocimiento. Consiste en la observación sistemática, medición, experimentación, y la formulación, análisis y modificación de una hipótesis. Algunos de los debates más importantes en la historia del método científico fueron entre el racionalismo, el empirismo, y el inductivismo, que parte desde galileo, y que empezó a tenerse en cuenta desde Isaac Newton y sus seguidores; y el método hipotético-deductivo que surgió a principios del siglo XIX. A finales del siglo XIX y principios del XX, el debate se centró entre el realismo y el antirrealismo; luego a medida que las teorías científicas se extendieron filósofos prominentes argumentaron sobre la existencia de reglas universales de la ciencia.
- 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.
- Ver: *Ciencia, Tecnología y Sociedad CT&S*.



Imágenes: superior, los 400 años de Galileo; en: Portalguarani.com; inferior, Isaac Newton, en: Okdiario.com/

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 plasma es el estado de agregación más abundante en el Universo, y la mayor parte de la materia visible se encuentra en estado de plasma, la mayoría del cual es el enrarecido plasma intergaláctico (particularmente el centro de intracúmulos) y en las estrellas.
- Ver: Astrofísica y Estrellas



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

Estados 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 matera del estado sólido al gaseoso sin pasar por el líquido, proceso que solamente ocurre en condiciones adecuadas de presión y temperatura. En la naturaleza la sublimación inversa se observa en la formación de la nieve o de la escarcha.
- Ver: *Materia y Energía*.

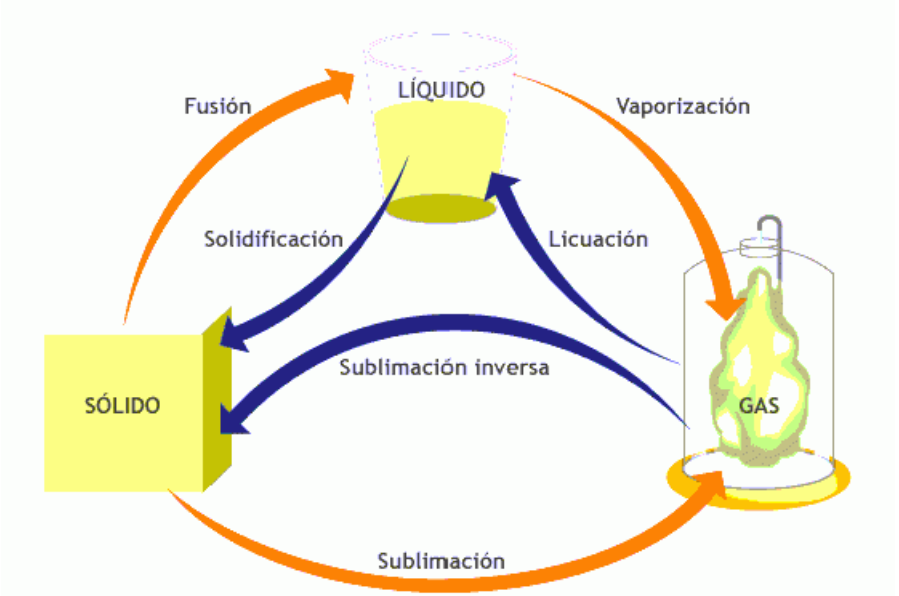


Imagen: Fusión, solidificación, vaporización, sublimación y condensación, en: http://www.escuelapedia.com/

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.
- Ver: *El ciclo geológico*.

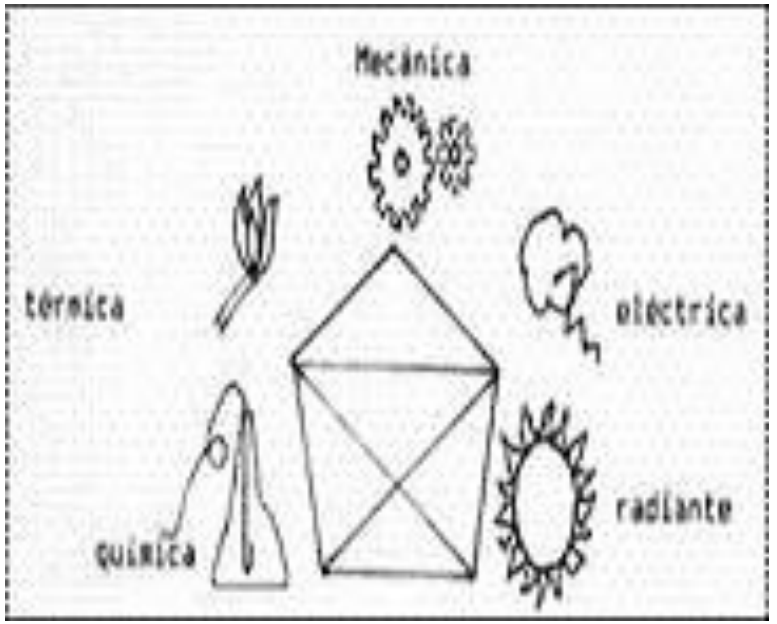


Imagen: Formas de intercambio de energía. Ver Materia y Energía, GDE

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 6,2415×10 a la 11 eV; y un Julio, a 10 millones de ergios. Y la fuerza, se mide en Dinas y Newtons:
- 1 dyn = 1 g·cm/s² = 10^{-5}kg·m/s² = 10^{-5} N
- 1 N = 1 Kg·m/s² = 10^{5} g·cm/s² = 100000 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.

Ver: *La Tierra Sólida y Fluida.*

- Un ergio: equivale a una dina a lo largo de un cm.
- 10 a la 2 ergios: 1 segundo de luz de luna en la cara.
- 10 a la 8 ergios: una cerilla encendida.
- 10 a la 12 ergios: camión a gran velocidad, deslizamiento de tierra
- 10 a la 18 ergios: impulso inicial de un cohete Atlas, una avalancha
- 10 a la 20 ergios: la primera bomba atómica; un rayo.
- 10 a la 24 ergios: bomba de hidrógeno; terremoto destructor
- 10 a la 28 ergios: calor que pierde la Tierra en un año.
- 10 a la 32 ergios: calor recibido por la Tierra durante un año.
- 10 a la 36 ergios: giro de la Tierra sobre su eje.
- 10 a la 40 ergios: calor del Sol en un año o una rotación de la Tierra sobre su órbita.
- 10 a la 48 ergios: explosión de una estrella supernova.

Fuente: Manual de Geología GDE

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.
- Ver: *Aire urbano contaminado… ¿qué hacer?*

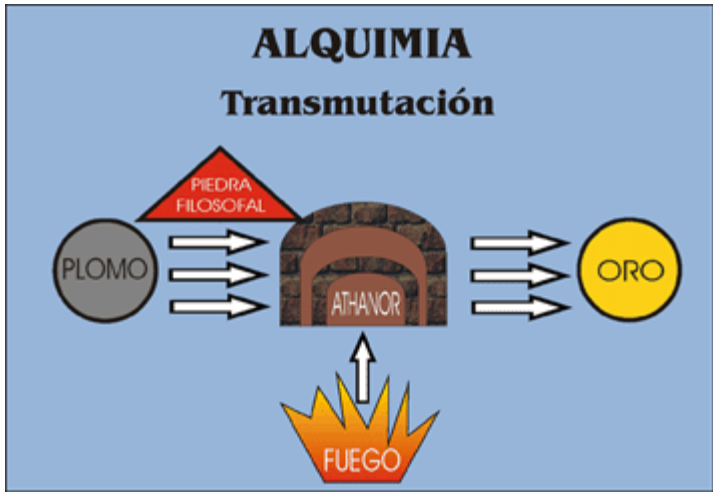


Imagen: Esquema para la transmutación de los metales: plomo en oro. Fuente: http://cmpleguezuelos3.blogspot.com.co

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.
- Ver: *Las revoluciones tecnológicas*.



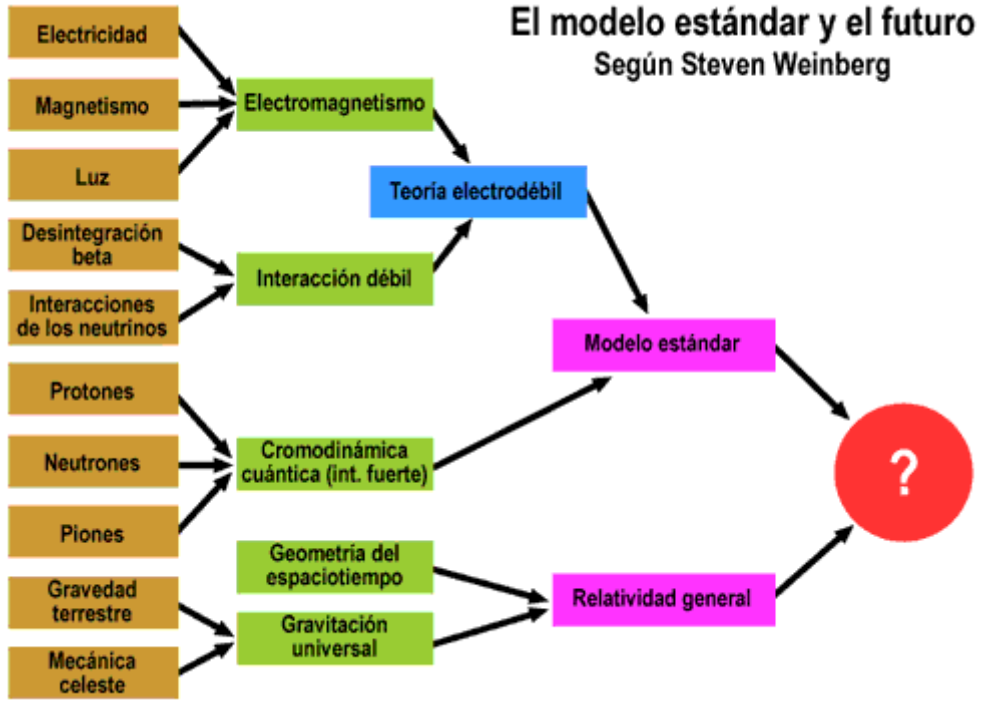
- Imagen: Partículas elementales, en: http://palmera.pntic.mec.es/

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 Nuc. F > F E-Mag >I Nuc. D> F Grav

- Ver: *El bosón de Higgs.*



Fuerzas fundamentales en http://palmera.pntic.mec.es/

Gravitación universal

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

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

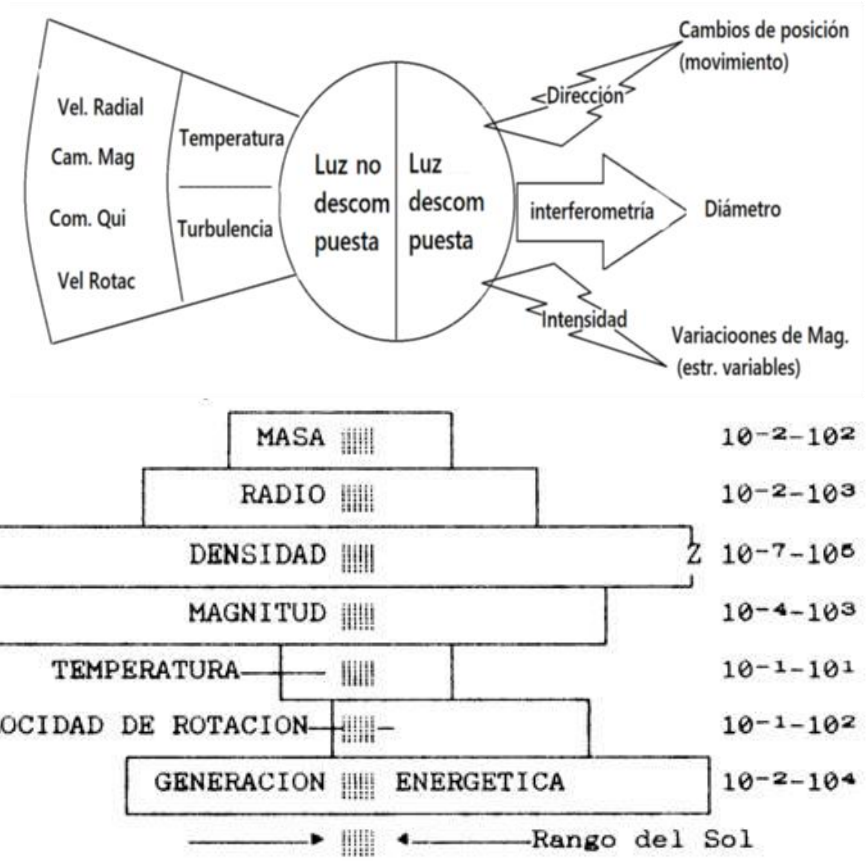
- La fuerza F depende de las masas m1 y m2 que interaccionan y de la distancia r entre sus centros de gravedad. G es la constante de gravitación universal. Imagen en: http://www.xtec.cat/
- Isaac Newton (1643-1727) elabora una teoría gravitacional, que explica el comportamiento de todos los cuerpos del 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: Newton, de Grecia al Renacimiento.

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.
- Las variables estelares, obtenidas del estudio de la luz, son Masa, Radio, Brillo, Temperatura, Energía radiante, Composición y movimientos estelares. El brillo se califica con la Magnitud Absoluta de la estrella que es la magnitud aparente que mostraría si se la colocase a una distancia de 10 párseces, o 32,6 años luz.
- Ver: *El camino a las estrellas*.

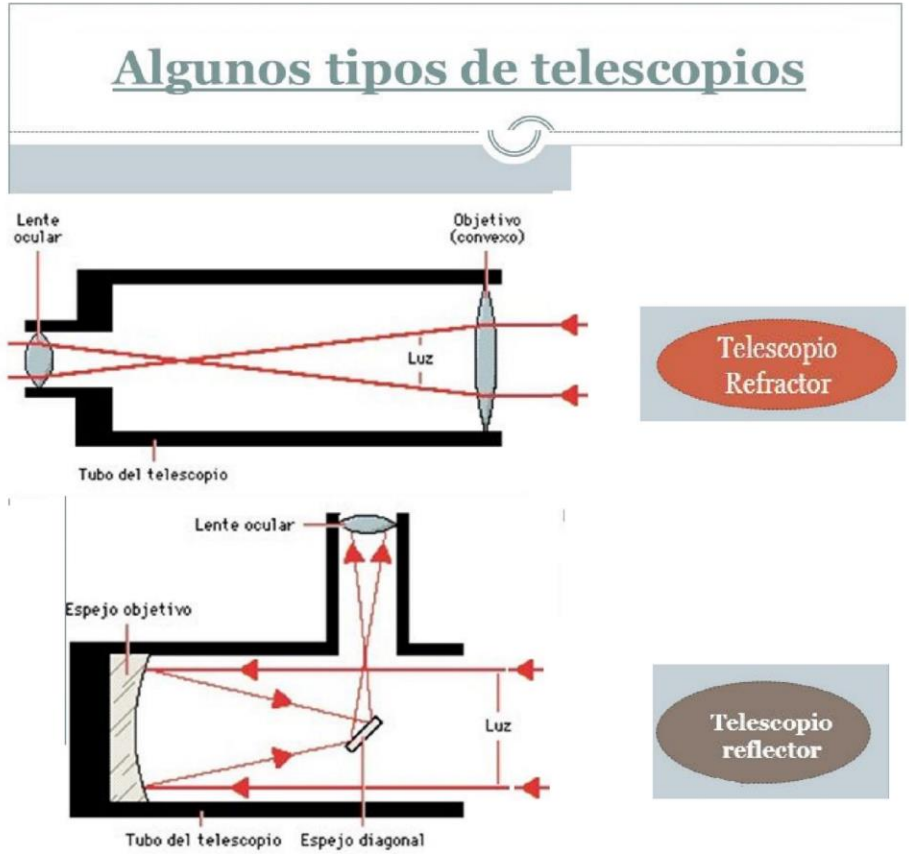


Ima. Superior: Análisis de la luz de las estrellas. Ima: Inferior Rango de las variables estelares, respecto al Sol. Imagen en: Guía astronómica

Instrumentos de observación

- Un telescopio astronómico puede ser, fundamentalmente, de dos tipos: de lente (refractor) o de espejo (reflector).
- El refractor está formado por una gran lente (objetivo), que recibe la luz de cualquier objeto luminoso y concentra su imagen el foco, situado a una distancia F ; y una segunda lente, ocular que amplía los detalles de la imagen capturada por el objetivo. El telescopio que construyó Galileo en 1609 era un telescopio de refracción, con lente convexa delante y una lente ocular cóncava. En el reflector, el objetivo es un espejo cóncavo, que concentra la imagen para que el ocular que es siempre una lente la amplíe.
- Mientras mayor sea el objetivo (lente o espejo), más luminosa y mejor definida será la imagen; cuanto más larga sea la distancia focal F, mayor es el aumento, pero menor la luminosidad. Lo mismo ocurre con los oculares: un ocular amplio, da una imagen muy luminosa pero poco aumentada; un ocular de foco corto proporciona grandes aumentos, pero la imagen es más oscura y menos nítida. A finales de 1668, Isaac Newton fabricó su primer telescopio reflector, de 33,02 mm de diámetro y una relación focal de f/5.
- Si la distancia focal del objetivo es F y la del ocular f, y si el diámetro del objetivo es ϕ, de estos **dos parámetros** depende la capacidad de un telescopio: de los aumentos A y de la razón focal R.
- Los aumentos son $\mathbf{A = {}^{F}/_{f}}$
- La razón focal es $\mathbf{R = {}^{F}/_{\phi}}$

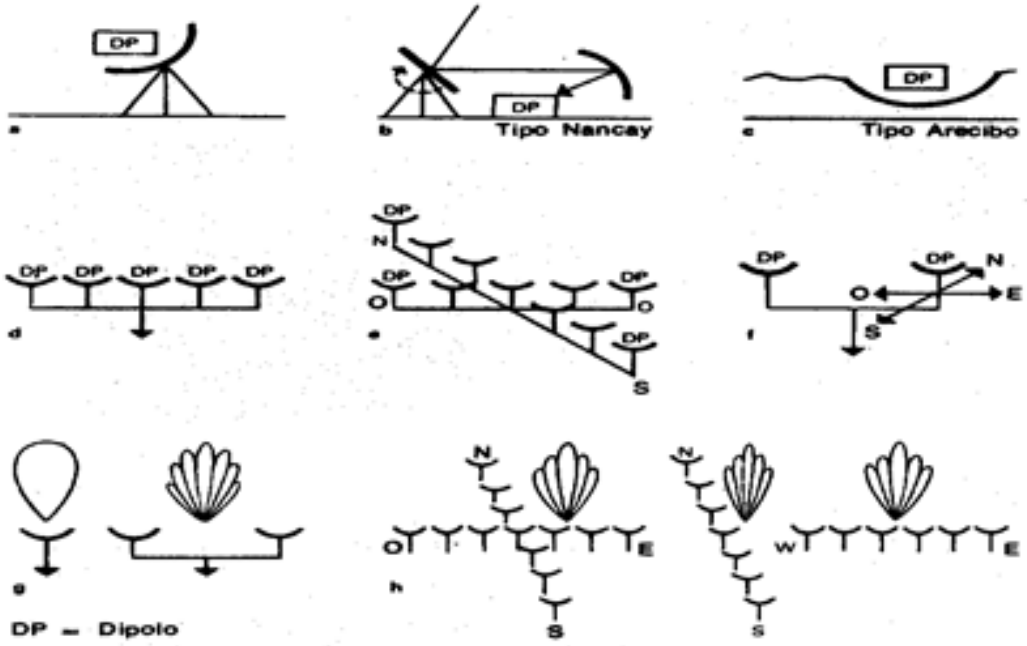
Ver: *Carta Celeste*



Tipos de telescopios: In http://elracodelaciencia.blogspot.com/

Radioastronomía

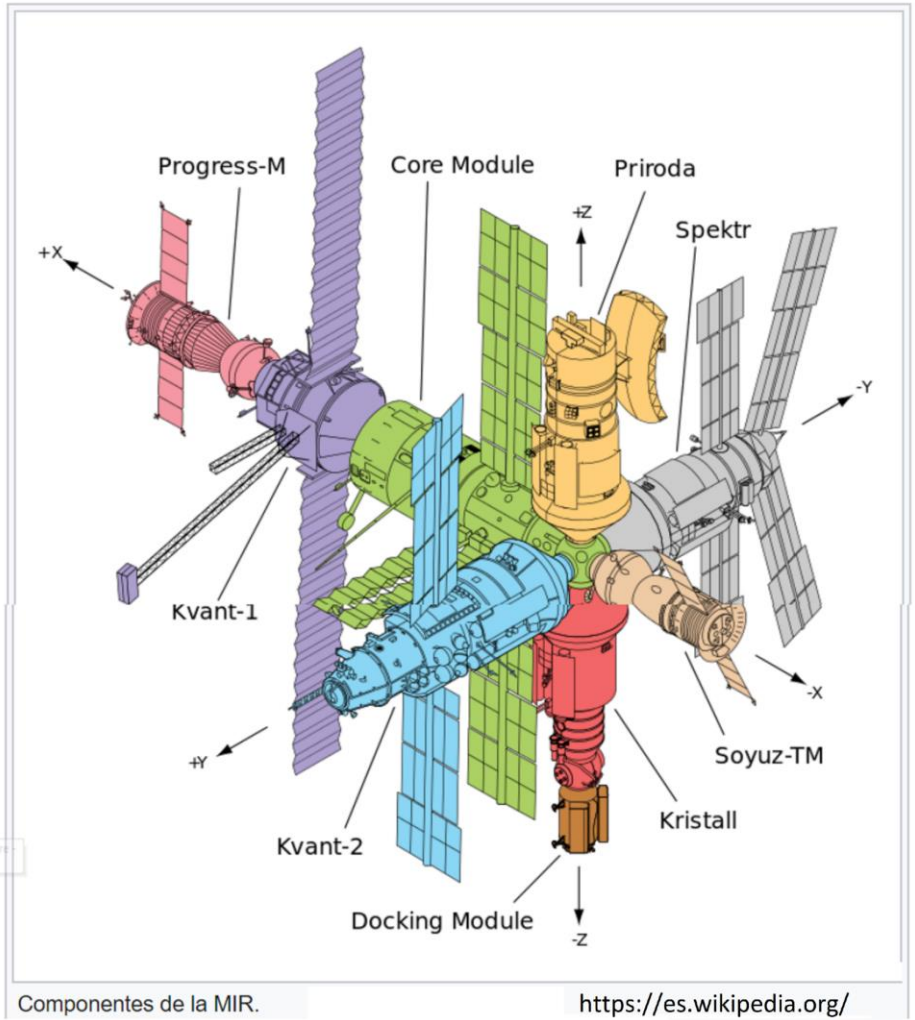
- **Radiotelescopios**: son antenas que actúan como espejos parabólicos, cuya curvatura es de la forma $Y = x^2/F$. La superficie reflectante reúne las ondas de radio en el foco, igual que un espejo óptico. Un dipolo o una antena de bocina, recoge allí la radiación y la envía al **amplificador** del telescopio. Estos aparatos, destinados a captar radiaciones de grandes longitudes de onda a menudo se construyen de malla de alambre.
- Entre los radiotelescopios, están el de Arecibo, Puerto Rico, dotado de una antena de 305 m de diámetro y el Radiotelescopio Esférico FAST de 500 metros de apertura enclavado entre las montañas de China, que es el mas grande y poderoso del mundo.
- **Radiointerferómetro**: instrumento que mejora el poder de resolución de las radioantenas. Consiste en dos (o más) radiotelescopios, situados a la mayor distancia posible entre sí. Ambos instrumentos van conectados a un receptor. Al pasar una radiofuente por el meridiano, las ondas reflejadas por ambos espejos crean, por interferencia, una serie de reforzamientos y extinciones en el receptor, que permiten localizar una radiofuente, con una exactitud que supera la de un sólo espejo.
- Ver: *La astronomía en América Precolombina*



Radiotelescopios: radio telescopios de pantalla parabólica con antena(dipolo) en el foco, o como sistemas de antenas, que puede conformar un interferómetro para aumentar su poder de separación. Fuente: Diccionario Rioduero. Física del Espacio.

La MIR

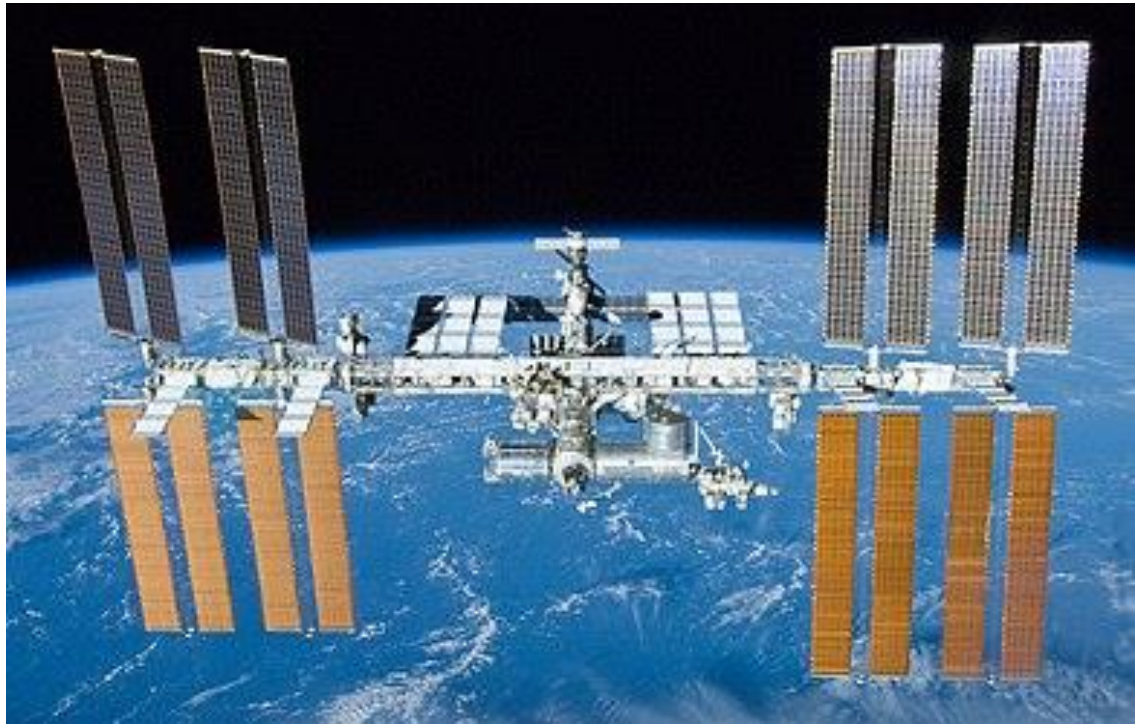
- Mir la estación espacial originalmente soviética, que pasó a ser rusa, fue la primera estación espacial de investigación en estar habitada de forma permanente. Prevista para funcionar 5 años, lo hizo durante 13 años: desde 1986 a 1996, ya que en 1997 tras un incendio fue destruida de forma controlada.
- Sus dimensiones: 19 m de longitud (del módulo de núcleo a Kvant-1), 31 m de ancho (de Priroda al módulo de acoplamiento), 27.5 m de altura (de Kvant-2 a Spektr); y una masa de 100 toneladas
- La Mir fue ensamblada en órbita al conectar de forma sucesiva distintos módulos, cada uno lanzado de forma separada de 1986 hasta 1996. . Orbitaba la Tierra en menos de dos horas entre los 300 y 400 kilómetros a 27 700 km/h, y sirvió como laboratorio de pruebas para numerosos experimentos científicos y observaciones astronómicas, estableciendo récords de permanencia de seres humanos en el espacio. La nave estadounidense Discovery, en 1995), fue la primera nave estadounidense que visitó la Mir, aunque no se acopló. La última, el transbordador espacial Discovery en 1998. Desde principios de marzo de 1995, siete astronautas estadounidenses pasaron de forma consecutiva 28 meses en la Mir.
- Ver: *Artemis I, abre nuevo camino a la Luna.*



Componentes de la MIR. En https://es.wikipedia.org/

La Estación Espacial Internacional

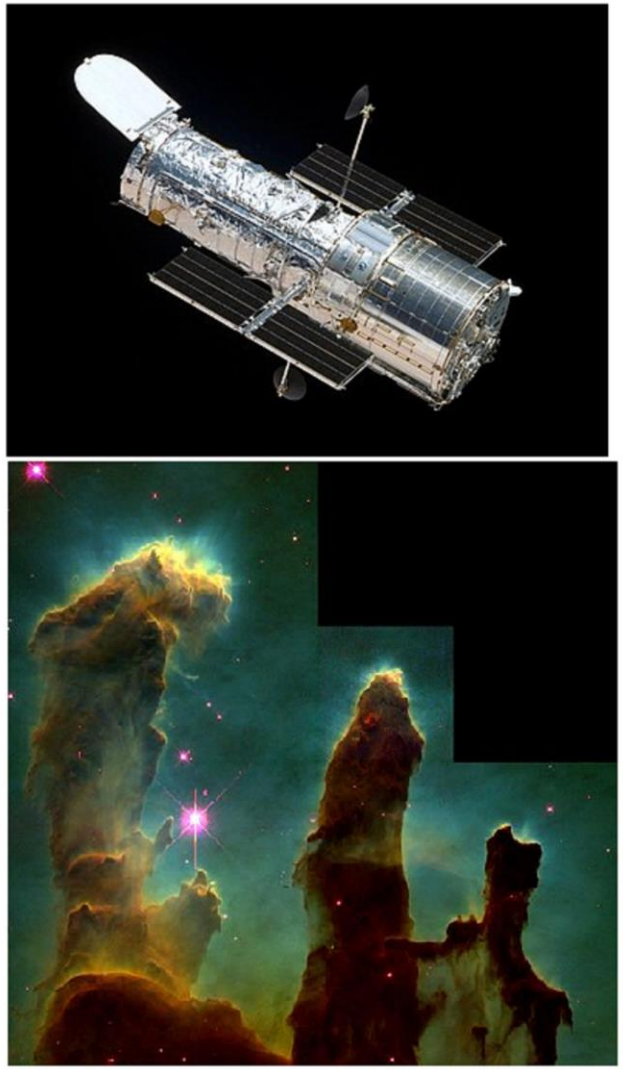
- La **Estación Espacial Internacional** ISS orbitando a 26 mil km/h entre 355 y 460 401 Km de altura, y con 15,56 orbitas diarias, es el ingenio humano que sucede a la MIR para el soporte de operaciones científicas en misiones de larga duración y un punto de salida de multitud de señales de radio y TV.
- Lanzada en nov de 1998 puede ser observada a simple vista y a primera hora de la noche y al amanecer, desde gran parte de la Tierra.
- De aquí al año 2005 se tendrán que realizar cerca de 45 viajes y 91 paseos espaciales, para completar la estación orbital. La inclinación de la órbita es de 51.6^0, el período orbital, 90 min y las dimensiones al finalizar la tercera y última fase, 108m por 74 m y un peso de 415 ton.
- Anteriormente, el mantenimiento se hacía mediante los transbordadores estadounidenses, que operaron hasta el año 2011, momento en que el programa de transbordadores espaciales de Estados Unidos fue cancelado.
- Tras el acuerdo de los países participantes de operar la estación en conjunto hasta por lo menos 2020, Rusia planeó la construcción de otros tres módulos que surgieron de una nueva concepción.
- Ver: *El gran telescopio James Webb.*



I,amagen: Estación Espacial Internacional, en Wikipedia.org

El Telescopio Espacial Hubble

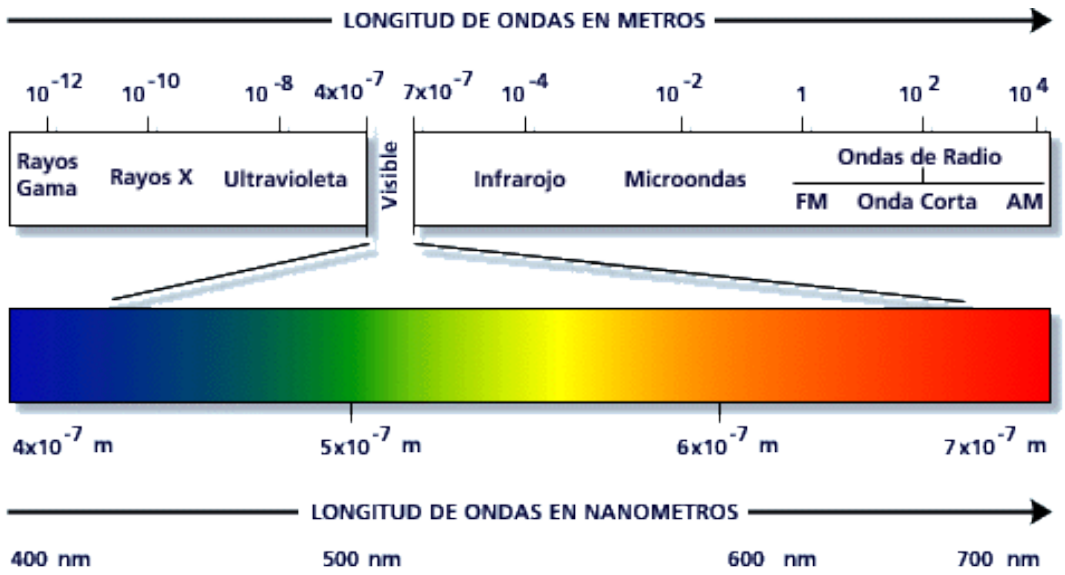
- El telescopio espacial Hubble puesto en órbita por el transbordador Discovery en 1990 para iniciar una misión que concluirá en 2021, con su maravillosa tecnología para observar con luz ultravioleta, visible y en el infrarrojo cercano, en tres décadas ha logrado capturar y enviar a la Tierra medio millón de fotografías, entre ellas el primer indicio de un agujero negro en la galaxia M87 ubicada en Virgo a 50 millones de años luz, consistente en un disco gaseoso comprimido en un espacio del tamaño del sistema solar, conteniendo una masa de dos a tres mil soles en vertiginosa rotación y a una temperatura de 10 mil grados centígrados.
- Este telescopio de 11 toneladas y 13,2 m de largo por 2,4 m de diámetro, construido a un costo 2800 millones de dólares, lleva el nombre del astrónomo estadounidense Edwin Hubble (1889-1953). Recorre su órbita geocéntrica, con período de 97 minutos y a una altitud de 593 km, en una trayectoria que recorre a 28000 km/h.
- Desde su diseño, el Hubble se concibió como un telescopio espacial que podría ser visitado por el transbordador espacial. Las razones para esa capacidad son: poder reparar elementos estropeados; instalar nuevos instrumentos, ya sean instrumentos científicos u otras partes del telescopio; y mantener la órbita del telescopio.
- Ver: *Tres décadas del Hubble.*



Hubble y la nebulosa del Águila. In Wikipedia.org

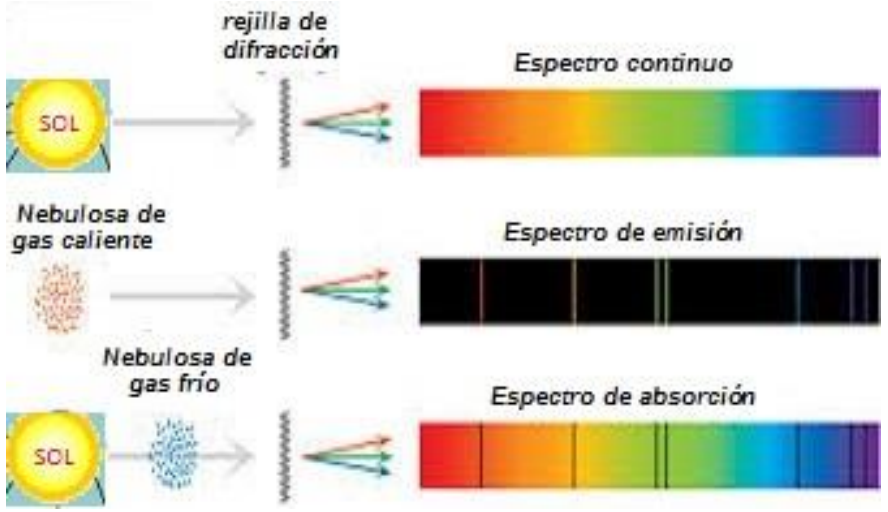
Espectro electromagnético

- 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 partícula.
- Imagen: Espectro electromagnético, en http://www7.uc.cl/
- Ver: *Los albores de la civilización.*



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, de los elementos, y el desplazamiento del espectro hacia el IR o el UV, de la velocidad radial 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.
- Ver: *Colombia, por un desarrollo satelital.*



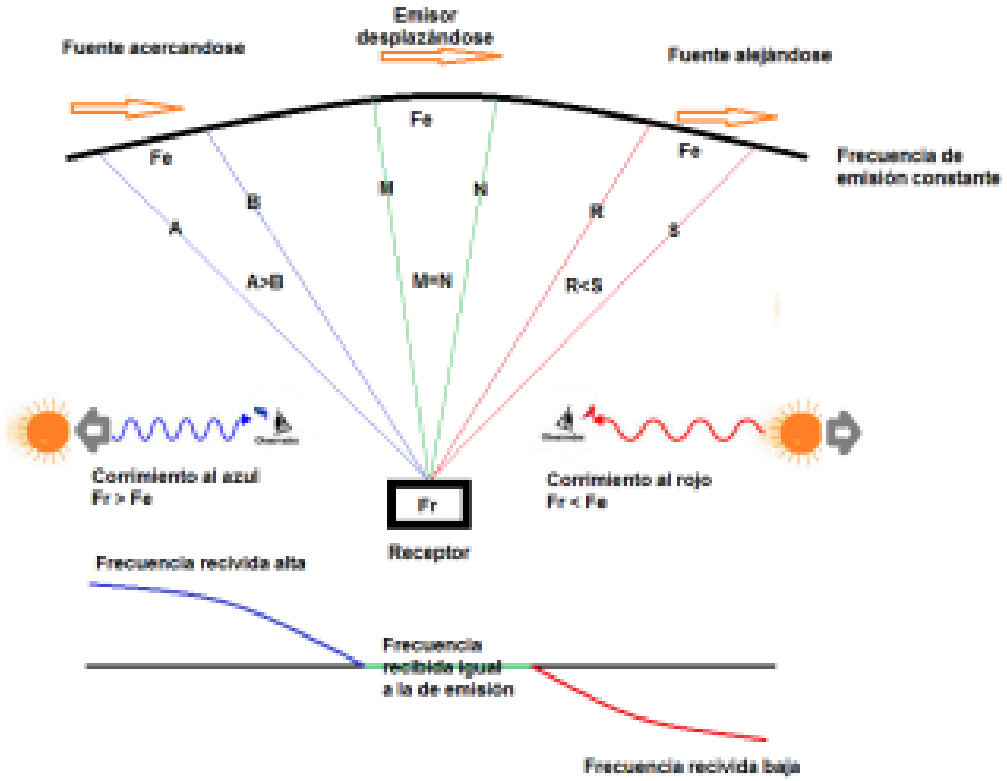
Tipos de espectros, según la fuente luminosa: de esta manera se ponen en evidencia líneas que permiten identificar sustancias gaseosas en las nubes interestelares.
Imagen (adaptada), en: www.scienceinschool.org

Efecto Doppler-Fizeau

- El cambio en frecuencia observada f0, cuando la fuente que emite una frecuencia f1 se aleja respecto al observador a una velocidad v, está dado por la expresión:

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

- 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: Cultura y Astronomía



Ver: *LHC tras "La partícula de Dios".*

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:

[Fe/H] = 0

•Los astros de menor masa se denominan enanas marrones, mientras que los de masa superior a lo señalado resultan instables al superar el límite de Eddington.

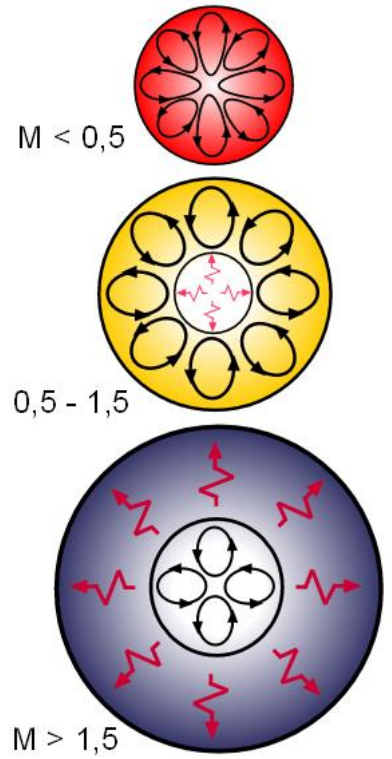
•El límite de Eddington es una función de la masa del objeto, y puede expresarse como:

•$L_e = 33000(M/M_0)L_0$

•Donde L_e es la luminosidad, M la masa estelas M_0 de masa solar y L_0 la luminosidad del Sol.

•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 esta de su índice de metalicidad. Por esa razón, la masa máxima de una estrella depende, entre otros parámetros, de su metalicidad.

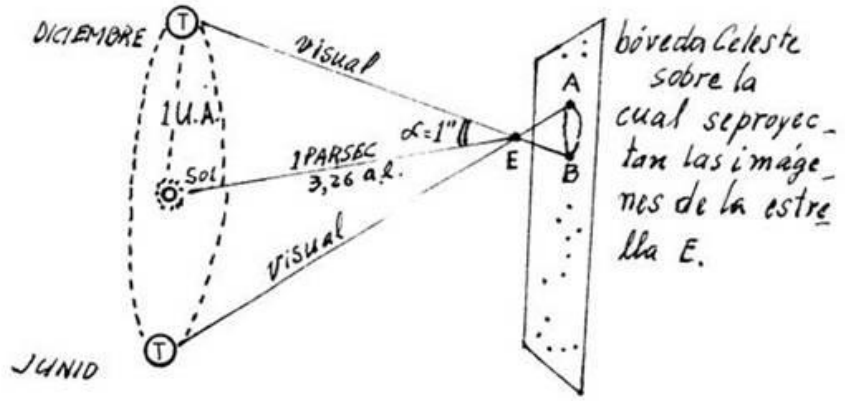
•Ver: *Las estrellas*.



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

La paralaje estelar

- 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 (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 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.
- Ver: *Galileo: el conflicto entre la razón y el poder*.



La paralaje de una estrella, es el ángulo que subtiende 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. Fuente: Guía Astronómica

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 oxigeno perdiendo masa en cada reencendida del horno termonuclear fruto de ondas de choque en forma de novas, que forman una nebulosa planetaria; no obstante en las estrellas masivas, estos elementos formarán otros mas pesados hasta el hierro, en una fase que de alcanzarse producirá una supernova, en cuya onda de choque que destruye el astro se forman elementos mas pesado que el hierro.
- En estrellas de masa pequeña, después de la nebulosa planetaria habiendo perdido como gigante roja su envoltura, se convertirá en una enana blanca. Entre tanto, las estrellas de gran masa después de llegar a la fase última en la que el hierro absorbe energía para fisionarse en helio y terminar en forma de supernova, queda una estrella neutrónica o en agujero negro dependiendo de la masa final del astro.

Ver: *Las galaxias*.

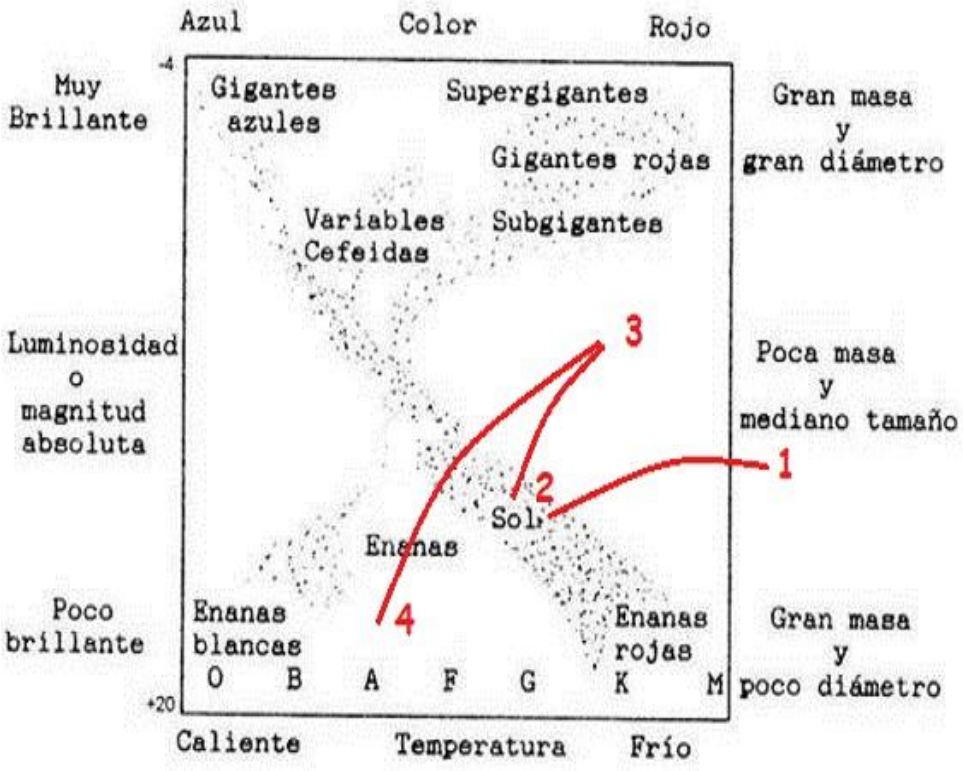
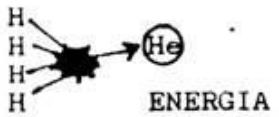


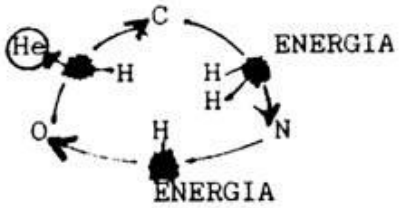
Diagrama H-R con la historia del Sol: 1 = protoestrella, 2 = secuencia principal, 3 = gigante roja, 4 = enana blanca. Imagen en: Guía astronómica

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.
- Ver: *Los Calendarios*.



LINEA PROTON = PROTON
4H = He + ▲m



CICLO CNO
C + 2H = N + ▲m
N + H = O + ▲m
O + H = C + He

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: Guía astronómica

La nucleosíntesis estelar

- Las estrellas salen de la secuencia principal cuando han agotado el hidrógeno, lo que hace que de detenga y derrumbe el horno termonuclear, y con ello, al crecer la temperatura nuevamente pueda reiniciarse a una mayor temperatura gracias a la energía de acreción, para transformar helio en Carbono. Estohace que las capas externas se dilaten pasando la estrella a la fase de gigante roja.
- En la fase de gigante roja, conforme se agote el combustible interior de la 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 en forma de nova que afectará la envoltura de la estrella, haciéndole perder masa, al tiempo que con el colapso al incrementarse la temperatura se reenciende 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. La fusión del Ne solo se alcanza en estrellas de 5 a 7 masas solares.

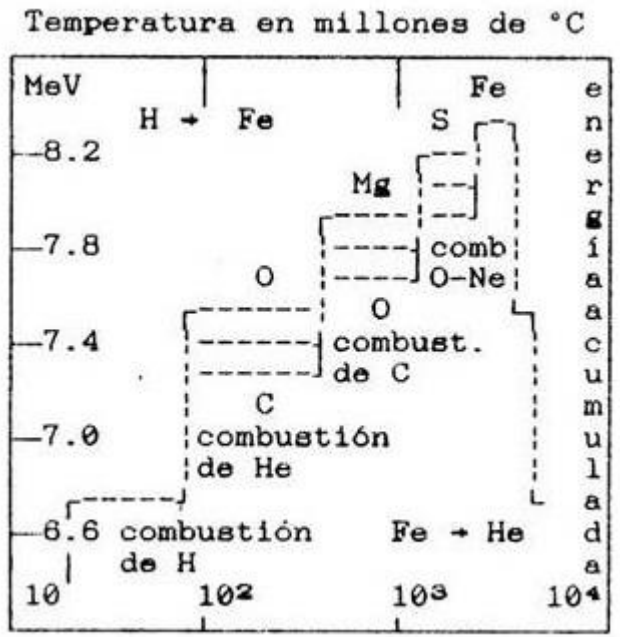
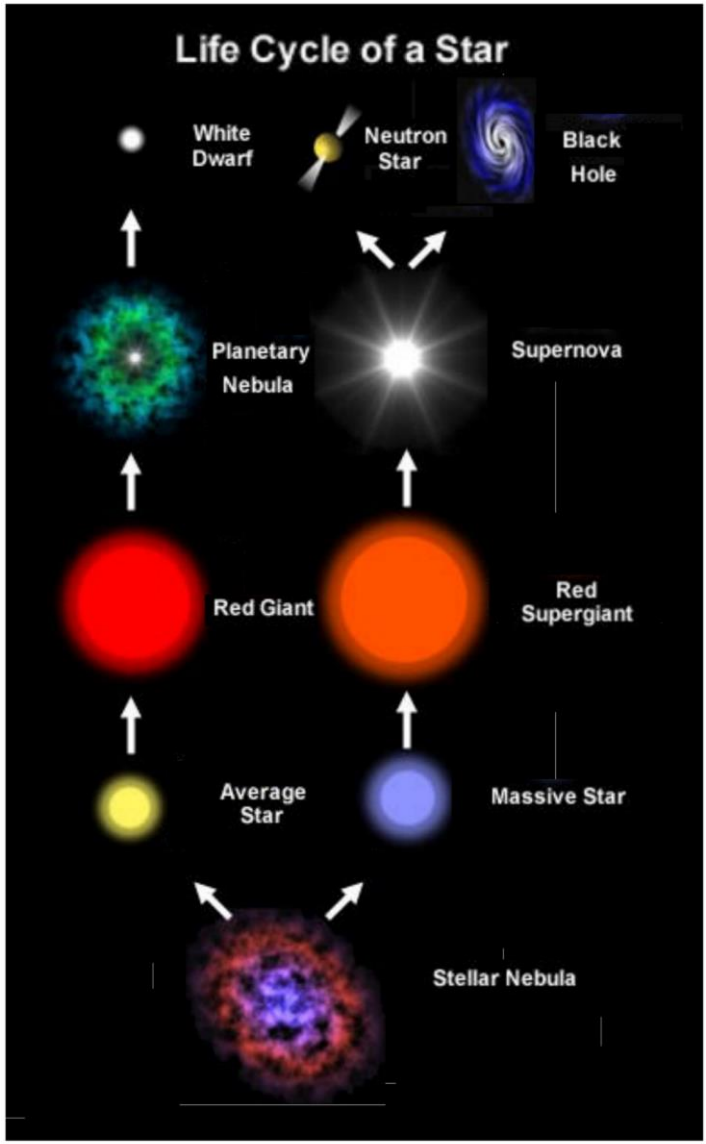


Diagrama de la nucleosíntesis del Hidrógeno H hasta el Hierro Fe, y la fisión del Hierro Fe en Helio He. Se da la energía en eV, por nucleón. Imagen en: Guía astronómica

Ver: *Llegamos a Marte.*

Evolución de una estrella

- 1- Colapso gravitacional de una nube de gas y polvo, formando primero una **protoestrella cliente** y luego una **protoestrella brillante** con gas ionizado**.** El incremento de temperatura, se explica por el colapso gravitacional proveyendo **energía de acreción:** la acreción es uno de los sistemas más eficientes para convertir masa en energía**.**
- 2- Nace la estrella cuando se enciende el **horno termonuclear**, y entra a la **Secuencia Principal** para consumir el hidrógeno como su primer combustible.
- 3- Agotado el hidrógeno, el núcleo apagado colapsa incrementado su temperatura, para luego reencenderse generando una onda de choque, tomando un nuevo combustible, dilatando las capas externas para convertirse en **Gigante Roja** y subir al respectivo cuadrante.
- 4- Cada reencendida del horno provocando novas, hace que la estrella pierda masa, hasta que la estrella ya sin envoltura se transforme en **Enana Blanca** bajando en el Diagrama HR.
- 5.1-Agotado todo el combustible, cuando la estrella es de masa modesta, después de pasar a la fase de Enana Blanca se apaga y colapsa, quedando una densa **masa estelar negra,** ya que con una **M< 1,4 Masas solares** el colapso se detiene gracias a la **Presión de Degeneración de los Electrones.**
- 5.2 En estrellas masivas, tras la fase de supernova, el colapso cambiara la suerte dependiendo de la masa final del astro, así; si en masas solares **2 >M >1,4 será una estrella Estrella Neutrónica** donde el colapso del astro lo detendrá la presión de degeneración de los Neutrones; o si **M> 2 masas solares, será** un **Agujero Negro**, al superar ambas presiones de materia degenerada, y romperse el espacio-tiempo.
- Ver: Cien Mil Millones de Soles. Rudolf Kippenhahn. Biblioteca Científica Salvat 1986.
- Ver: El universo desbocado. Paul Davies. Biblioteca Científica Salvat 1986.
- Imagen adjunta: Life Cycle of a Star. NASA In: https://www.schoolsobservatory.org/



CICLO DE LAS ESTRELLAS SEGÚN SU MASA

NASA In: https://www.schoolsobservatory.org/

Cúmulos estelares

- Las estrellas de la Vía Láctea, nuestra galaxia, son más heterogéneas que las de cualquier tipo de cúmulo; hay diferencias entre las del **halo galáctico**, que es la estructura heredada de la protogalaxia o galaxia primitiva, y las de sus **brazos espirales** que son la estructura lenticular de la galaxia ya evolucionada.
- Las edades de los cúmulos se diferencian en la estructura del Diagrama HR: el de **M3**, esta más despoblado que el de **las Pléyades**. M3 es un **cúmulo esférico** que se encuentra a unos 33.900 al en Canes Venatici y tiene una magnitud aparente de 6,2. Y Pléyades es un **cúmulo abierto** ubicado a 444 al en la constelación de Tauro, que contiene estrellas del tipo espectral B.
- Las estrellas de un **cúmulo globular** difieren ostensiblemente, por su génesis y cantidad de estrellas, a las de un **cúmulo galáctico**; las primeras son agrupaciones de decenas de miles de estrellas viejas de primera generación, sin polvo ni gas interestelar, y con bajo contenido metálico; mientras las segundas agrupaciones son de cientos de estrellas jóvenes, de segunda generación en medio de nubes de gas y polvo, y con alto contenido metálico.
- Igualmente, mientras los cúmulos globulares – caso M3-, tienen **orbitas excéntricas e inclinadas** respecto al plano galáctico, los galácticos -como Las Pléyades-, se establecen con órbitas poco excéntricas en los **brazos espirales de la galaxia,** tal cual lo hace el Sol en el brazo de Orión y en medio de los brazos de Perseo y Sagitario. El universo accidental. Paul Davies. Biblioteca Científica Salvat 1986.

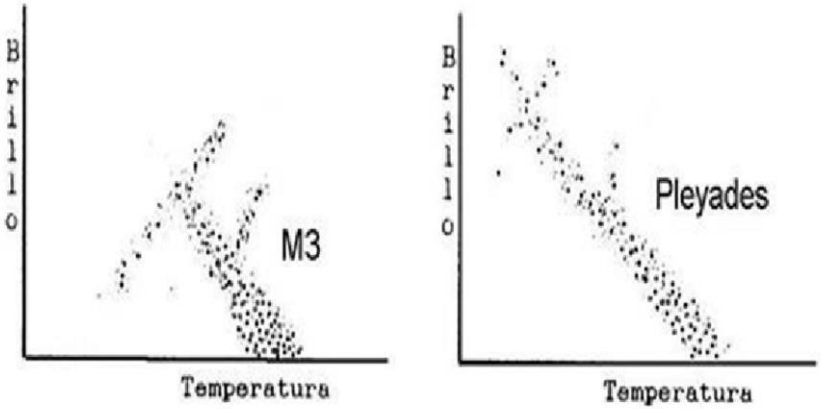
Ver: El Diagrama H-R del Cúmulo de las Pléyades. G. Iafrate:, M. Ramella y P. Padovani INAF –Trad.r: Carmen Morales, Miriam Aberasturi y Enrique Solano) Febrero 2010.Euro Aida. SVO.
Ver: Diagramas HR de cumulos estelares. Glenn Snyder and Laurence Marschall.
Traducciíon: Eduardo Manuel Álvarez. Contemporary Laboratory Experiences in Astronomy.



M3 en https://es.wikipedia.org/



Pleyades en https://es.wikipedia.org/

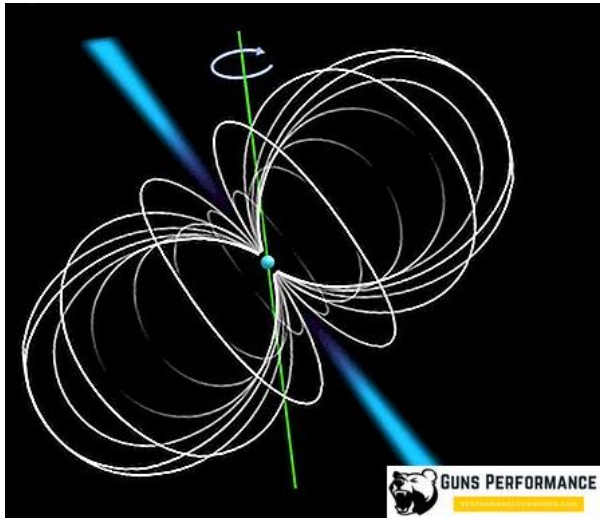


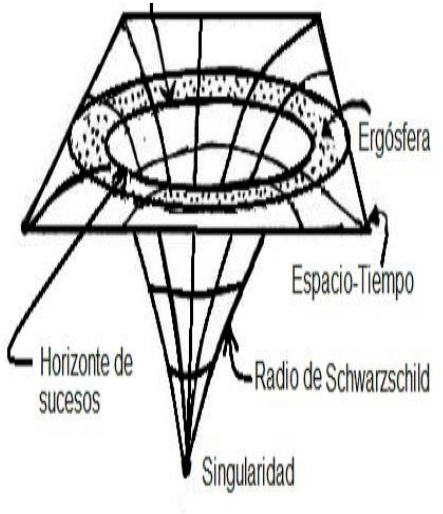
Diagramas HR para M3 y Las Pleyades. Fuente, Cien mil millones de Soles.

El diagrama H-R aplicado a cúmulos estelares: muestra que para sistemas coherentes existe diferencia entre un **cúmulo globular** como M3, y un **cúmulo galáctico** como Pléyades. Fuentes, Wikipedia y Cien mil millones de Soles.

Pulsares y Agujeros negros

- Tras el paroxismo de una estrella de masa final entre 1,4 y 2 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 cuando el eje magnético y el de rotación esán desfasados, por dichos pulsos de radiación electromagnética a intervalos regulares, se denominan púlsares.
- Cuando la masa final de un "cadáver estelar" supera las 2 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, de donde podrá salir la luz pero no un planeta.
- No obstante, debido a efectos cuánticos, los Agujeros negros, irradian.
- Ver: [Stephen Hawking: gravedad cuántica y origen del Universo.]



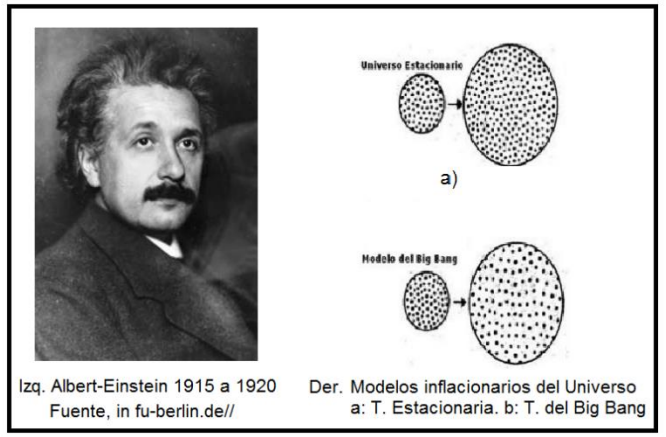


Izq; Esquema de un pulsar en rotación, tomado de https://es.performancegunworks.com/ y esquema en 2D de un a Agujero negro mostrando el Horizonte de Sucesos, la Ergósfera y la Singularidad, en: Guía astronómica

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 *Albert Einstein en los cien años de la Teoría de la Relatividad.*:



Izq. Albert-Einstein 1915 a 1920 Fuente, in fu-berlin.de//

Der. Modelos inflacionarios del Universo a: T. Estacionaria. b: T. del Big Bang

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

Hawking y la Teoría del Todo

La Cosmología Cuántica nace de Hawking y su colaborador Jim Hartle -H&H-, en las indagaciones de la GRAVEDAD CUÁNTICA, que contemplan la idea de aplicarle al Universo los principios de la Mecánica Cuántica, durante el Big Bang, lo que se conoce como Teoría del Todo de Hawking y Hartle, o Teoría H&H.

Aportes de Stephen Hawking:

- a) Con Penrose, dice que **el tiempo (clásico) surge de una singularidad** durante la gran explosión (Big Bang), que es **el origen del tiempo** (real) en el Universo consistente con la Teoría General de la Relatividad. La teoría del Big-Bang señala un comienzo para el tiempo (real) y para el espacio.
- b) En 1974 **los agujeros negros irradian**, como cuerpo termodinámico, **tienen una temperatura** que es función de la gravedad en su superficie y **tiene una entropía** que es proporcional al área de su superficie.
- c) Con Hartle en el Modelo H&H, propuso un modelo del Universo llamado **Propuesta de Ausencia de Límite**, según el cual en el Universo primitivo hubo variaciones de densidad, a causa de fluctuaciones cuánticas del vacío.
- Ver: *La Cosmología de Stephen Hawking*.

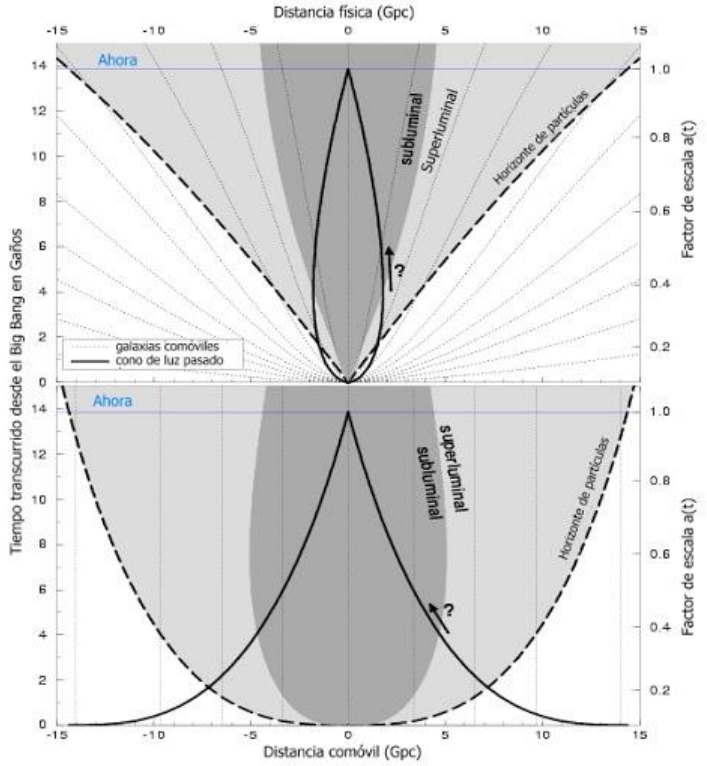


Diagrama espacio-tiempo para un universo estándar de densidad crítica con constante cosmológica. Representación en función de la distancia comóvil constante en el tiempo para cada galaxia. In: Astronomia.net/cosmologia/metricRG.htm

Universo cuántico

•La idea de que el espacio y el tiempo han de tener un principio en el Big Bang y un final dentro de agujeros negros, hace necesario unificar la Relatividad General con la Teoría Cuántica. Una consecuencia de esto es que el Universo queda sin bordes o límites en el tiempo imaginario, y por lo tanto que la forma como empezó queda completamente determinado por las leyes de la ciencia.

•Si tiempo y espacio son finitos en extensión, pero no tienen ningún límite o borde, las leyes de la ciencia se sostendrían por todas partes, incluyendo el principio del Universo

•**Según Max Planck** E = λf, siendo λ la constante de Planck, f la frecuencia y E la energía.

•**Esa fórmula de 1900** no decía nada, pero en la teoría cuántica dirá mucho 27 años después.

•**Igualmente $S = K_1 A$** la fórmula donde se conecta entropía (S) con área A de la superficie de los agujeros negros. Si hoy no dice nada, **lo dirá después** como ocurrió con la teoría cuántica en 1927.

•Esto puede **ser el primer paso hacia la gravedad cuántica, donde se unificarían estas tres teorías.**

–1. La Mecánica cuántica: Principio de Incertidumbre. Heisenberg y Schrödinger 1927.

–2. La Teoría de la Relatividad: agujero negro Einstein y Oppenheimer 1915.

–3. La Termodinámica: Ley de la Entropía. Clausius y Boltzmann, siglo XVIII y 1878.

Ver: *Materia oscura y Energía oscura.*

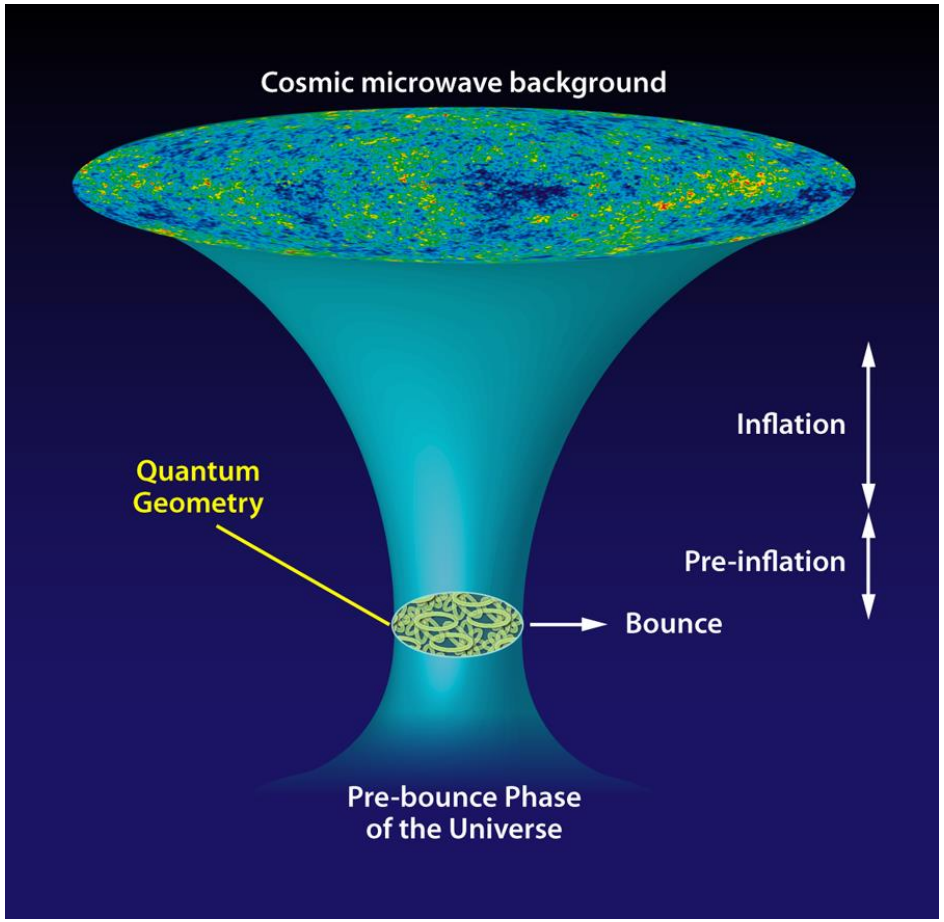


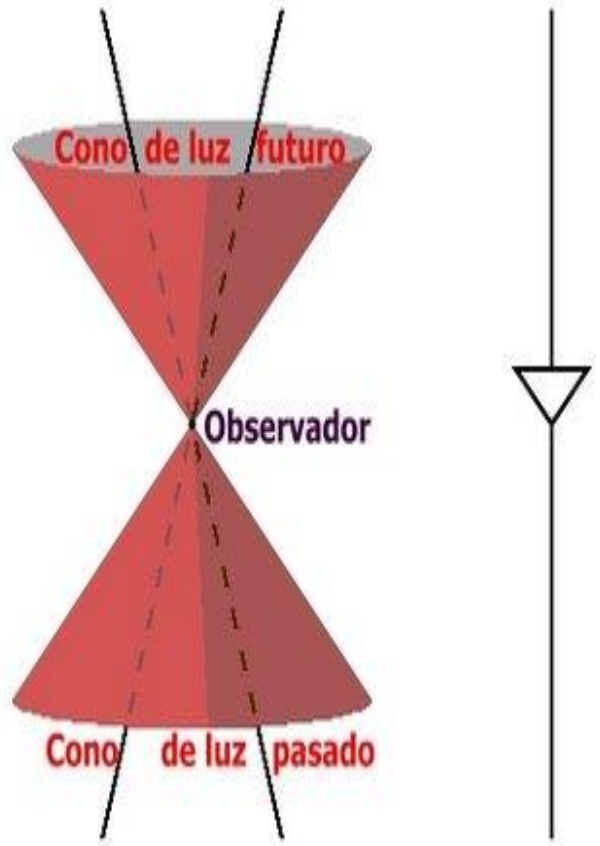
Imagen: Gravedad cuántica de lazos. Gambini y Pullin. In: https://francis.naukas.com

Universo sin límites

- La idea de que el espacio y el tiempo han de tener un principio en el Big Bang y un final dentro de agujeros negros, hace necesario unificar la Relatividad General con la Teoría Cuántica.
- Una consecuencia de esto es que el Universo queda sin bordes o límites en el tiempo imaginario, y por lo tanto que la forma como empezó queda completamente determinado por las leyes de la ciencia.
- Si tiempo y espacio son finitos en extensión, pero no tienen ningún límite o borde, las leyes de la ciencia se sostendrían por todas partes, incluyendo el principio del Universo
- Entre 1982 y 1983 Hawking y Hartle aplicando la teoría cuántica de la gravedad, al calcular el estado inicial del Universo demostraron la inexistencia de fronteras.
- El modelo Hartle-Hawking, que en relatividad general clásica posee como singularidad el Big-Bang, carece de singularidad cuando se le aplica la versión cuántica.
- Si la propuesta de ausencia de límites es correcta, no habría ninguna singularidad, y entonces las leyes de la Ciencia serían siempre válidas, incluso al comienzo del Universo. Si vamos del presente hacia atrás en el tiempo, al llegar al origen del tiempo real convencional, cambia la naturaleza del tiempo: este presentará una componente imaginaria que se hace más y más prominente hasta que, finalmente se desvanece, lo que debería ser la singularidad de la teoría clásica.
- Puede imaginarse el tiempo real como una línea que va del principio al final del Universo, pero también puede considerarse otra dirección ortogonal del tiempo, para su componente imaginaria.

Quizás el tiempo imaginario sea el auténtico tiempo real y lo que llamamos tiempo real sea sólo un producto de nuestra imaginación. En el tiempo real, el Universo tiene un principio y un fin. En el tiempo imaginario no hay singularidades ni límites.

Ver: *Otra prueba de la TGR: el agujero negro en M87.*



Espacio-tiempo de Minkowski en dos dimensiones. In: http://astronomia.net/

Las Galaxias

Una galaxia es una **Isla de estrellas** inmersa en nubes de gas y polvo; en su interior, las estrellas se organizan en cúmulos que han nacido de una misma nube de gas y polvo. Dichas estrellas, aunque congénitas, pueden estar unidas por la gravedad, o bien, pueden estar alejándose lentamente unas de otras. Si bien las primeras galaxias se empezaron a formar unos 1.000 millones de años después del Big-Bang, también las estrellas que las forman tienen un nacimiento, una evolución y una muerte. Según estudios publicados en 2016, se estima que existen al menos 2 billones (2 millones de millones) de galaxias en el universo observable, esto es, diez veces más de lo que se creía anteriormente.

Ver: *Una proeza tecnológica y un desafío para los cosmólogos*.



- Imagen: Observatorio Astronómico Nacional de la UN de Colombia, en conferencia del Director del OAM, Dr. Armando Higuera, sobre Núcleos activos de galaxias

Poblaciones estelares

- Son dos diferentes grupos de estrellas.
- En la población I entran las estrellas de formación reciente como el Sol, que se encuentran en los brazos espirales de las galaxias; estas estrellas tienen elementos más pesados o metálicos. En la población II entran estrellas viejas, a veces contemporáneas con la formación de la galaxia, que se encuentran o en su núcleo galáctico o en los cúmulos globulares del halo.
- En la población II las estrellas casi no contienen elementos pesados, son de primera generación, con escaso contenido metálico pero ricas en hidrógeno. Las poblaciones pueden dividirse así:
- 1. Población I extrema (estrellas O y B, estrellas δ Cephei, cúmulos abiertos).
- 2. Población I más vieja (estrellas A, gigantes normales, estrellas con fuertes rayas metálicas).
- 3. Población II intermedia (estrellas Mira de período corto, estrellas con velocidades superiores a los 30 km/s, perpendiculares al plano galáctico).
- 4. Población II del halo (estrellas en cúmulos globulares, estrellas Rr Lyrae, subenanas).

Ver: *Juno auscultaría en Júpiter origen del Sistema Solar.*



Cúmulo globular 47 Tucán (NGC 104). ESO, In Wikipedia.org.

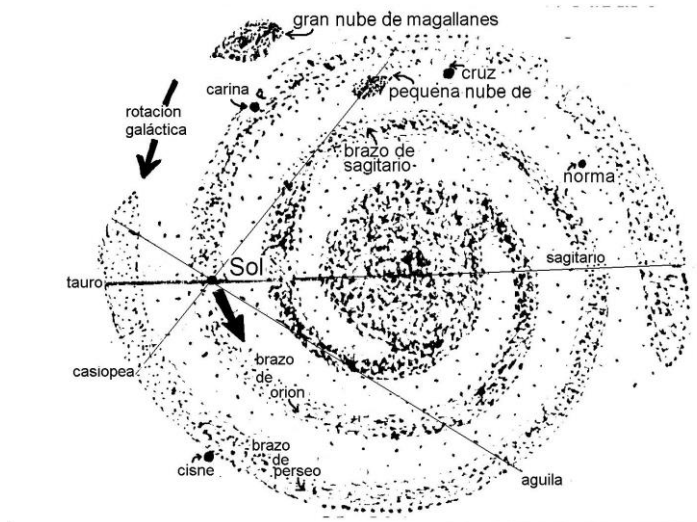


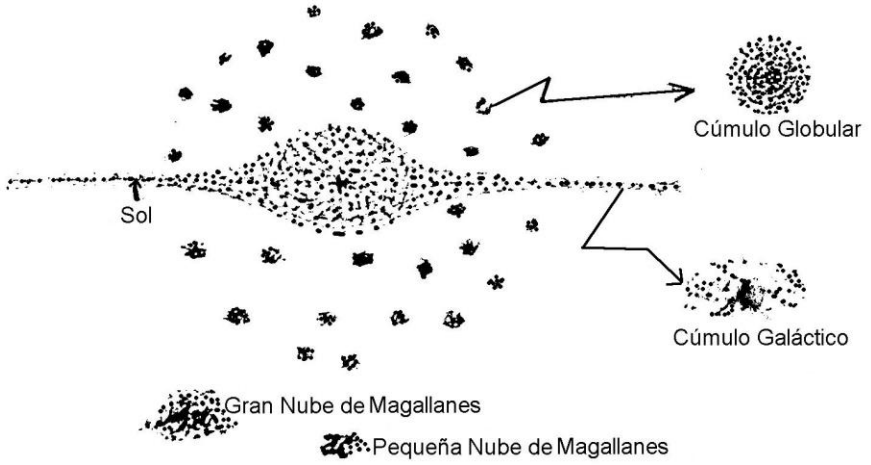
Cúmulo galáctico Las Pleyades. In http://www.astronoo.com

Una primera mirada

En las galaxias encontramos dos clases de cúmulos; **cúmulos globulares o cerrados**, donde el grupo tiene forma esférica, y está constituido por con cientos o miles de estrellas viejas o de la población II de bajo contenido metálico, el otro tipo de cúmulo, son los **cúmulos galácticos o abiertos**, ubicados en el plano medio galáctico y denominados así por su forma irregular dada la dispersión de las estrellas, cuyo número de miembros es de algunos cientos de estrellas de la población I, constituidos por estrellas de segunda o tercera generación dado su alto contenido metálico .

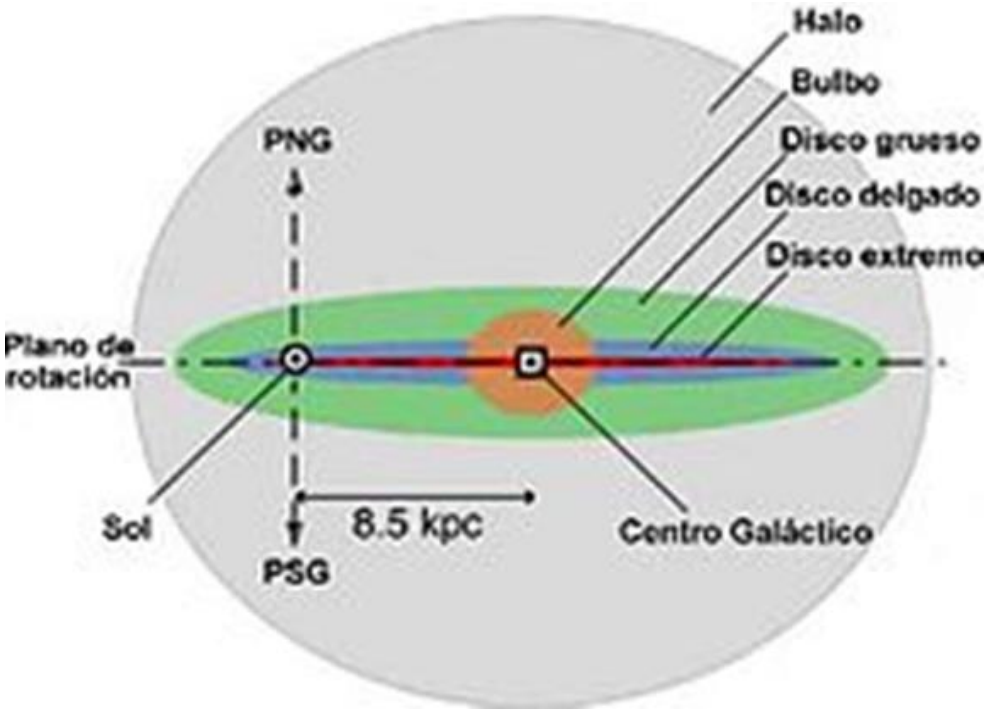
Distinguimos en la galaxia su núcleo, su halo y su plano medio con brazos espiralizados.





Ver: *Más allá de las profecías mayas*.

Descripción de una galaxia



- Al observar nuestra galaxia, podemos identificar algunas estructuras, como el halo, el núcleo, el plano medio galáctico y el eje de rotación del sistema y el disco galáctico. La imagen lo ilustra. Imagen en https://es.wikipedia.org/

- **El halo** es el volumen redondeado de la galaxia formado por cúmulos cerrados con órbitas poco circulares y muy inclinadas respecto al plano medio de la galaxia. La región es pobre en gas y polvo y las estrellas orbitan a gran velocidad.
- **El disco** es el contorno de los brazos espirales localizados en el plano medio, donde las estrellas son jóvenes y se encuentran sumergidas en medio de gas y polvo. Las estrellas aquí, en cúmulos galácticos generalmente, están orbitando con trayectorias muy circulares y siempre perpendiculares al eje de rotación de la galaxia. Por lo tanto, si las estrellas del halo no comparten la rotación galáctica, las del disco si la comparten. La rotación galáctica es diferencial. Los objetos del centro son rápidos y los del disco lentos.
- El Sol podría pasar de un **brazo** a otro, mientras transita la galaxia con órbita casi circular. El Sol órbita la galaxia a 250 km/seg y tarda unos 200 millones de años en completar su órbita.
- Ver: *Mares y Océanos del Planeta Azul*.

La Vía Láctea

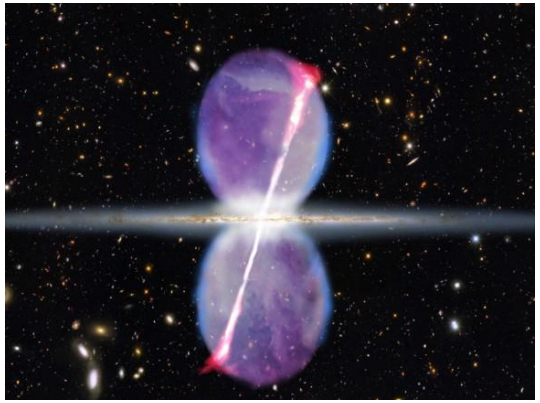
Nuestra galaxia, posee una masa de 1012 masas solares y es una espiral barrada. Su diámetro medio es de 200 mil años luz. Se calcula que contiene entre 200 mil y 400 mil millones de estrellas. La distancia desde el Sol al centro de la galaxia es de 25.766 al. Su disco está conformado por cuatro brazos espirales: dos principales Escudo-Centauro y Perseo, y dos secundarios —Sagitario y Escuadra.

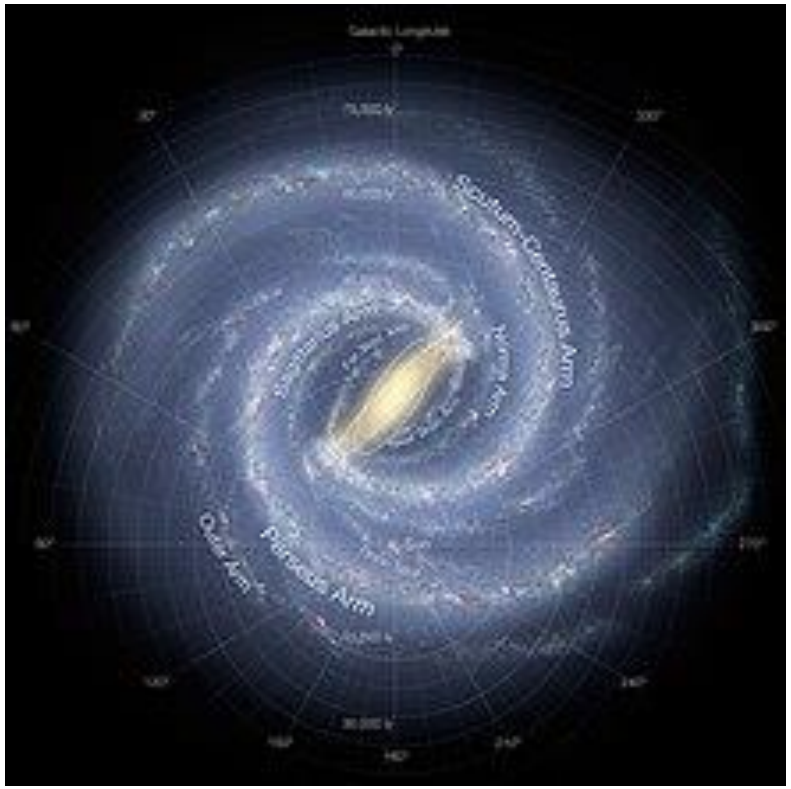
La Vía Láctea forma parte de un conjunto de unas cuarenta galaxias llamado Grupo Local, y es la segunda más grande después de Andrómeda, aunque puede ser la más masiva.

El agujero negro de cuatro millones de masas solares ubicado en su, hoy inactivo, produjo dos chorros de rayos gamma un ángulo de 15 grados y con una longitud de unos 27.000 años luz por encima y por debajo del plano galáctico.

La Vía Láctea cuenta dos galaxias vecinas que se creían eran satélites, la Gran Nube de Magallanes una galaxia enana ubicada a 163 Mal y la Pequeña Nube de Magallanes una galaxia irregular ubicada a 200 Mal, mediante la corriente de Magallanes.

Ver: *Cincuenta años de la llegada del hombre a la Luna.*





- Vía Láctea: Arriba: Chorros de rayos gamma, (Telescopio Femi de Gran Área) y Mapa de la Vía Láctea (NASA/JPL-Caltech/ESO/R.) In Wikipedia.

Tres preguntas…

Las preguntas sobre la formación y evolución de las galaxias son:

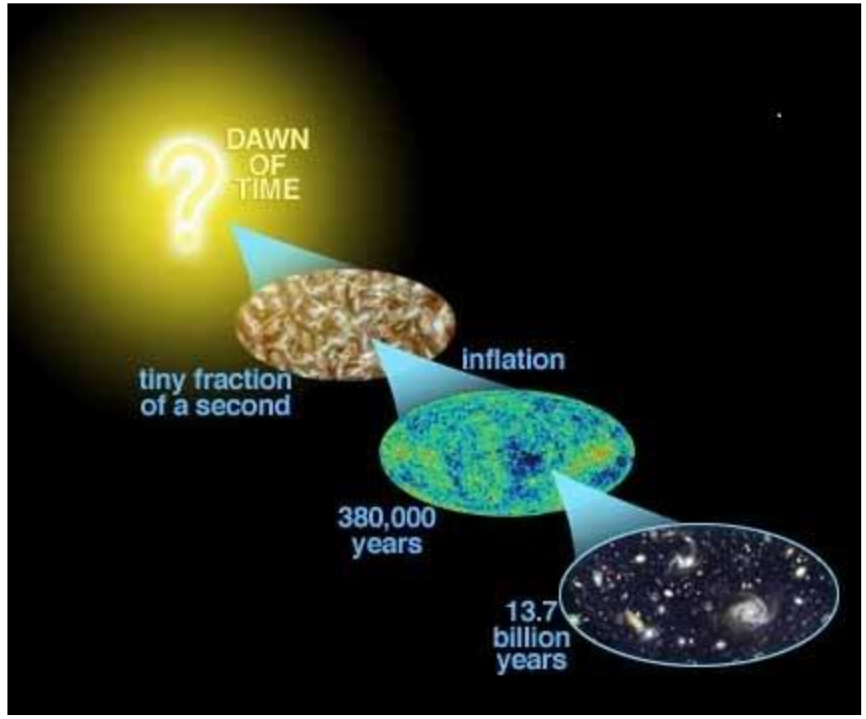
- 1- ¿cómo explicar la heterogeneidad del un universo? 2- ¿cómo se formaron las galaxias? 3- ¿cómo evolucionan las galaxias?

Dado que después del Big Bang, el universo fue inicialmente homogéneo, ya que la radiación de fondo de microondas observada muestra fluctuaciones menores que una parte en cien mil, se supondría que las galaxias se formaron como consecuencia del crecimiento de dichas fluctuaciones primordiales, como consecuencia de una inestabilidad gravitacional.

Las fluctuaciones primigenias hicieron que los gases fueran atraídos hacia regiones más densas, favoreciendo así una formación jerárquica de supercúmulos, agrupaciones galácticas, galaxias, cúmulos estelares y estrellas.

No obstante, dado que existen evidencias de que en el Universo primigenio, las primeras galaxias se formaron tan solo 600 millones de años después del Big Bang, entonces quedaría poco tiempo para que las pequeñas inestabilidades primordiales hubieran crecido lo suficiente para que surgieran las protogalaxias y se formaran las galaxias.

Ver: Nobel de Física a tres astrónomos.



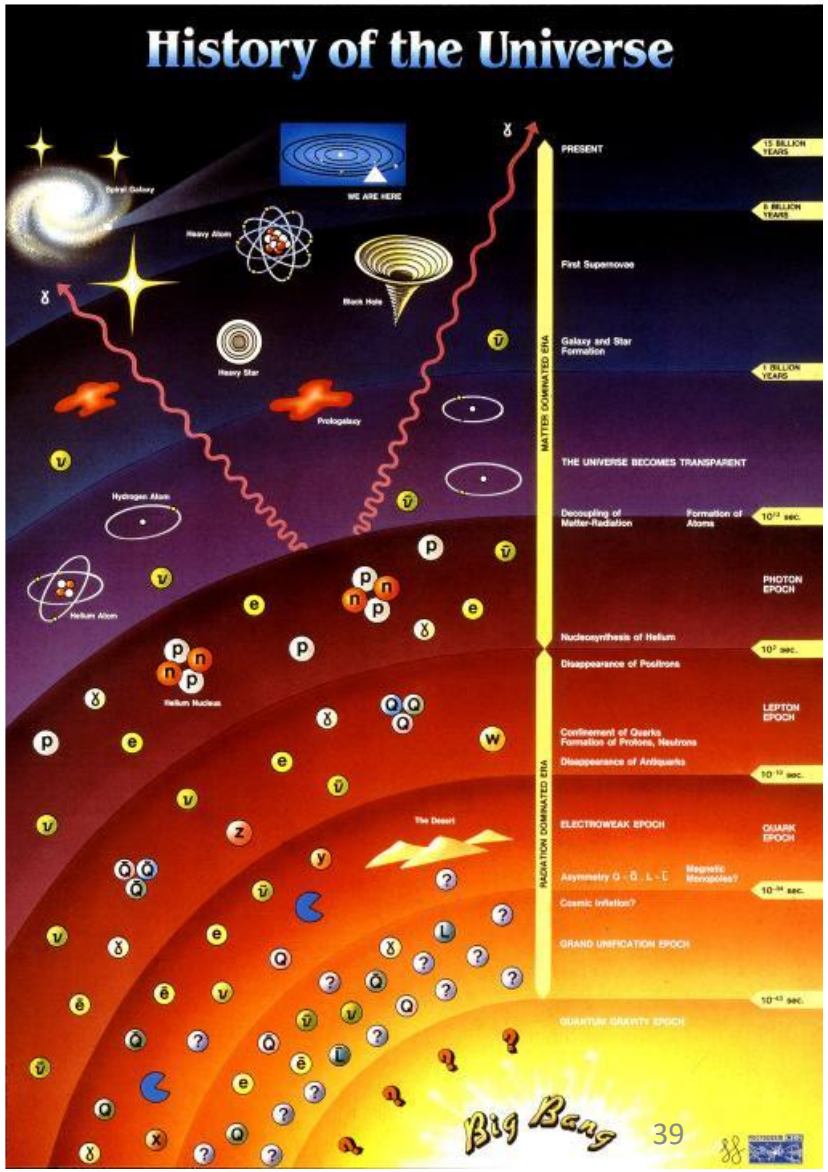
Tiempo e inflación del universo:
http://godues.blogspot.com.co/

La historia del Universo

- La Teoría del Big Bang, explica la expansión del Universo a partir de un estado de densidad infinita, físicamente paradójico y altamente radiactivo, el origen de los elementos químicos primordiales y la formación de los cuerpos celestes, pero no el origen mismo del Universo.
- La teoría que surge de la relatividad general de Eintein y describe el desarrollo del Universo temprano y su forma, técnicamente es una colección de soluciones de las ecuaciones de la relatividad general, llamados modelos de Friedmann - Robertson - Walker.
- Dicha métrica o modelo FLRW describe un universo lleno de un fluido ideal con densidad y presión dada por las ecuaciones de Friedmann, igualmente trata un universo en expansión, homogéneo e isótropo, así algunas fuentes afirmen erróneamente que el modelo del Big Bang basado en la métrica FLRW no puede dar cuenta de la grumosidad observada del universo.

Ver: Periplo científico de Humboldt por América.

- Imagen: Historia del Universo, en https://www.pinterest.co.kr



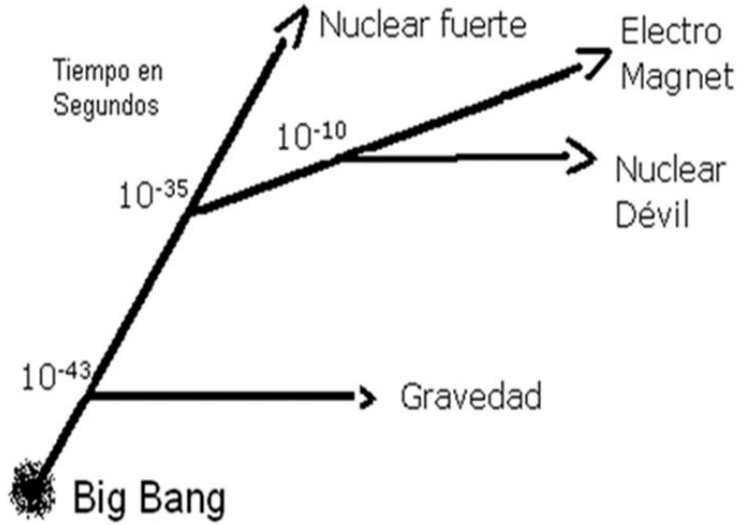
Era de Planck

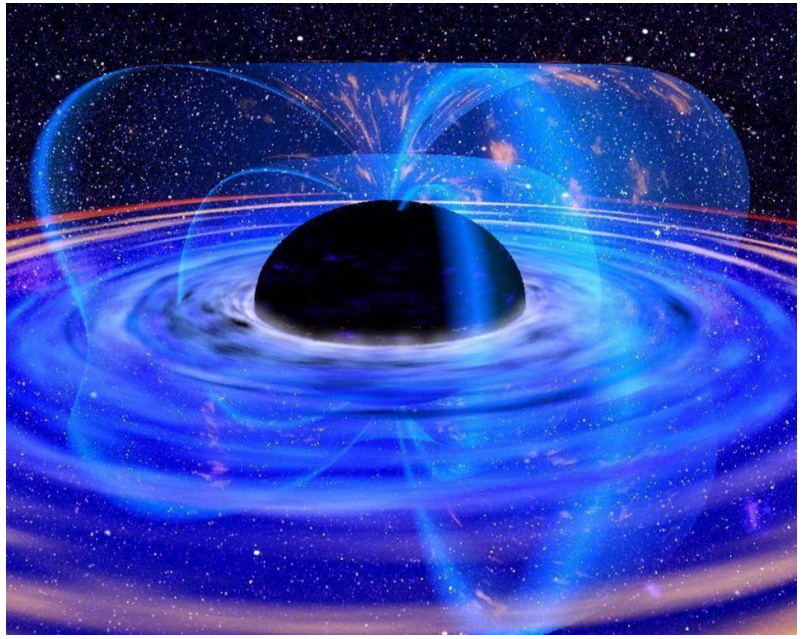
- El **tiempo de Planck** es la menor unidad de **tiempo** que puede ser medido, y la **longitud de Planck** es la mínima longitud requerida para que el espacio tenga una geometría clásica. En cosmología, la **época de Planck** es el primer en la historia del Universo, entre cero y 10^{-43} seg, durante el cual las cuatro fuerzas fundamentales estaban unificadas y no existían partículas elementales.
- Aproximadamente 10^{-35} segundos después de la época de Planck un cambio de fase causó que la expansión exponencial del Universo, un período llamado de "**inflación cósmica**". Al terminar la "inflación cósmica", los componentes materiales del Universo forman un plasma quark-gluon, cuyos componentes actúan con movimiento relativista.
- En el Modelo Estándar, la gravedad se explica por gravitones, el electromagnetismo por los fotones, la I. Fuete 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. Finalmente, a los 10^{-10} segundos, se separan las fuerzas Electromagnética y Electrodébil. Imagen superior, origen las fuerzas, en

Ver : Sol, clima y calentamiento global

Imagen: arriba: Aparición de las cuatro fuerzas fundamentales, GDE; inferior, Agujero Negro, en https://www.forbes.com/

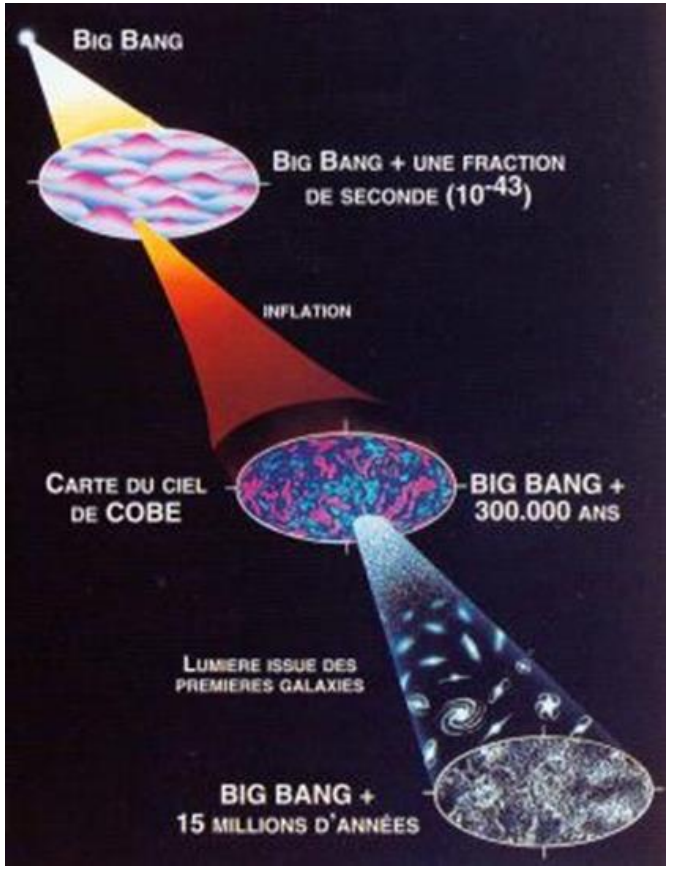




Los siguientes instantes

- A 0,01 seg después del Big Bang, la temperatura, es de 100.000 millones de ºK. Pero 1 seg después, cae a 10 mil millones de ºK. A los 13.8 segundos el universo continúa en expansión y los electrones y positrones ya se aniquilan generando energía en forma de fotones.
El universo dominado por radiación apenas cuenta con algunos neutrinos y fotones, y muy pocos electrones, neutrones y protones, que serán la base para las estrellas y galaxias actuales.
- A 0,01 seg después del Big Bang, la temperatura, es de 100.000 millones de ºK. Pero 1 seg después, cae a 10 mil millones de ºK.
- A los 13.8 segundos el universo continúa en expansión y los electrones y positrones ya se aniquilan generando energía en forma de fotones. El universo dominado por radiación apenas cuenta con algunos neutrinos y fotones, y muy pocos electrones, neutrones y protones, que serán la base para las estrellas y galaxias actuales.

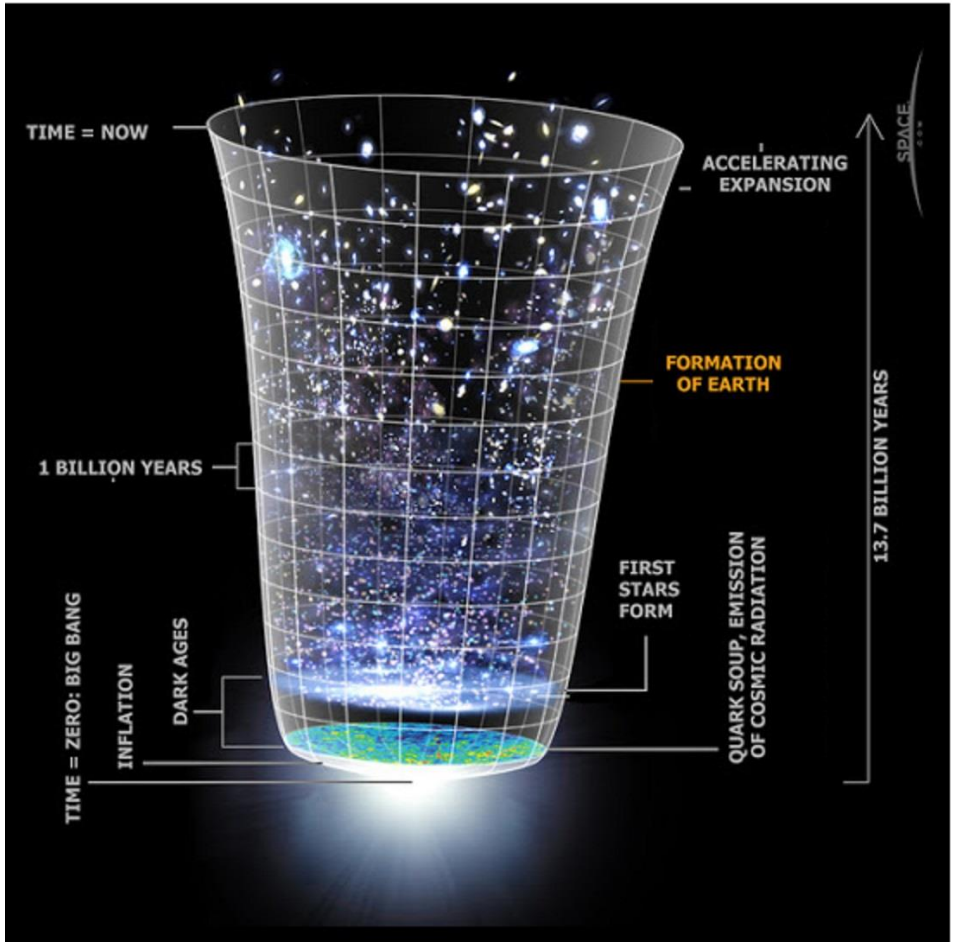
Ver: Breve Historia de la Astronomja.



Del Universo Temprano en adelante, https://www.universetoday.com

A los tres minutos

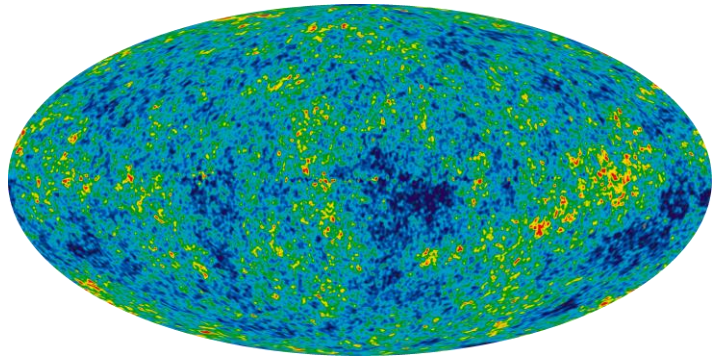
- A los 3 min y con 1.000 millones ºK. Ya existen las condiciones de menor temperatura para la formación de los primeros núcleos atómicos: el más sencillo es el de Deuterio, resultado de la **fusión nuclear** de 1 protón mas 1 neutrón.
- De 4 protones se puede formar un átomo de helio y la masa restante se transforma en energía. En seguida se puede formar el núcleo de Helio, cuyo núcleo posee de 2 protones y 2 neutrones.
- A los 34 minutos se frena la producción de núcleos atómicos porque cae la temperatura y no se de la **fusión nuclear**. La fusión nuclear supone temperaturas del orden de 10 millones de ºK
- El resultado final, una composición química primordial así: 25% **helio** ($_2He^4$), 75% **hidrógeno** ($_1H^1$) y unas pequeñas trazas de **deuterio** ($_1H^2$), **helio**-3 ($_2He^3$) y **litio** ($_3Li^7$).
- Ver: El Hombre del Planeta Azul-



Historia del Universo, en http://www.meteoweb.eu/

Pasan 300000 años

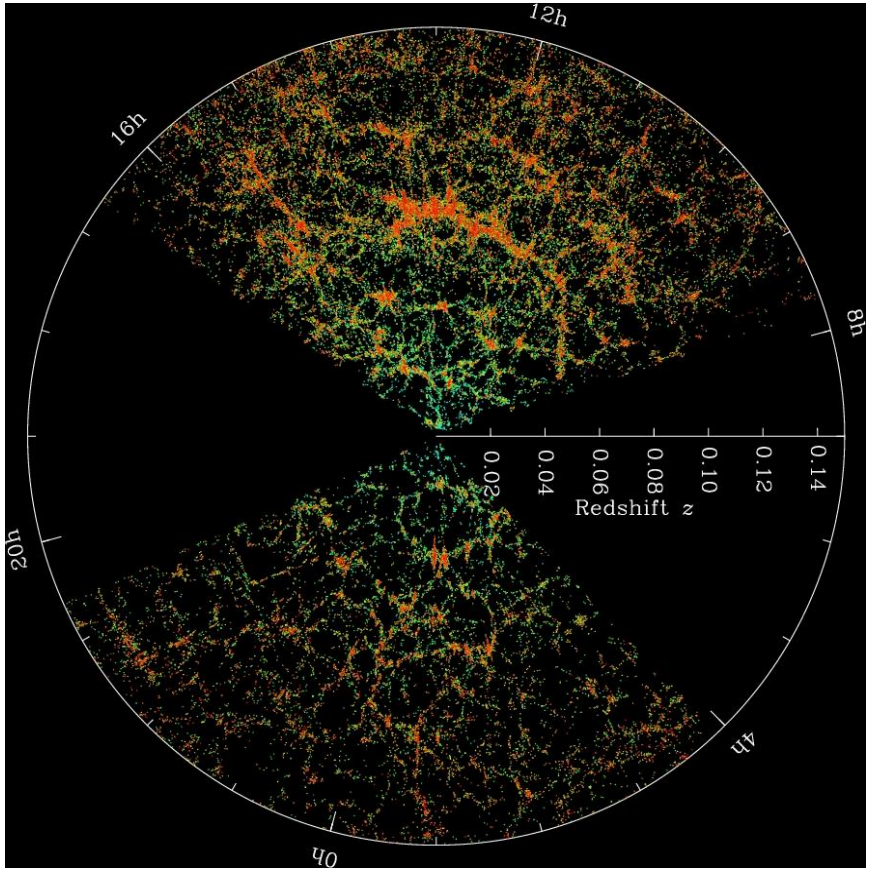
- Un evento **importante** sucede a los 300000 años de edad del Universo: los electrones que estaban libres ya absorbidos por los átomos, permiten que el Universo brillante y difuso tras un velo de intensa radiación, se despeje y quede transparente, oscuro y de apariencia vacía.
- En este estado conocido como la recombinación ocurre el desemparejamiento, causando que los fotones evolucionen independientemente de la materia. Esto significa en gran medida, que los fotones que componen el fondo cósmico de microondas son un dibujo del universo de esa época.
- La temperatura baja a 3.000º K, y esto permite la formación de átomos eléctricamente neutros. Ahora la única radiación que lo llenará completamente, será una tenue radiación de fondo asociada al Big Bang, puesto que no hay estrellas o galaxias formadas que emitan rayos de luz.



Radiación de fondo de microondas (COBE). In Wikipedia.org

Primeras estrellas y galaxias

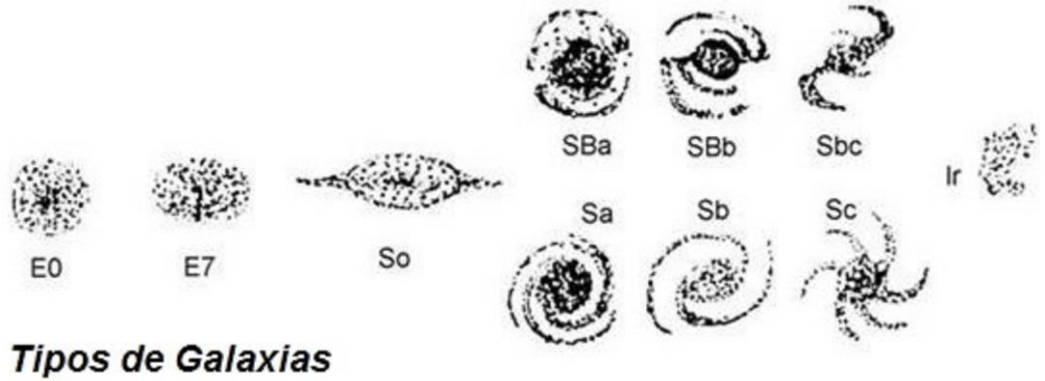
- A los 200 millones se forman las primeras estrellas por el colapso gravitacional de las grandes nubes de materia, y finaliza el período oscuro del U., precedente. La más antigua de las galaxias descubiertas corresponde a lo observado cuando el Universo tenía 380 millones años de edad; las demás galaxias descubiertas se formaron hace más de 13.000 millones de años, cuando el universo tenía sólo el 4 por ciento de su edad actual, en un período denominado el "amanecer cósmico“,
- Puesto que el universo tiene ahora 13.700 millones de años de edad, a los 700.000 años se forman las primeras galaxias por agregación de estrellas y nubes de gas interestelar.
- Más adelante las galaxias se agruparán en sistemas mayores, los cúmulos galácticos, y el proceso de formación continua con la formación de supercúmulos que explican la actual estructura del U.
- Imagen: El mapa del Universo del Sloan Digital Sky Survey SDSS, en https://www.sdss.org/



Tipos de Galaxias

- Se ha propuesto un esquema evolutivo de las galaxias sugiriendo que ellas empiezan sus vidas como estructuras esféricas que paulatinamente se van achatando, al contraerse gravitacionalmente, haciéndose elípticas y aumentando su velocidad rotacional.
- A su vez, las elípticas evolucionarían a espirales normales o barradas, mientras los núcleos irían perdiendo importancia volumétrica y los brazos desarrollándose. Las irregulares, en éste esquema, serían las galaxias más jóvenes, como quiera que nunca muestran estructura espiral o elipsoidal definida y que son agregados de polvo, gas y estrellas distribuidas aleatoria mente, siendo el resultado final de la evolución galáctica.
- La dificultad de esta teoría evolutiva está en que no hay ningún mecanismo que pueda transformar ninguna estructura aplanada, como el núcleo de una galaxia espiral, en una estructura esférica, y ni siquiera elipsoidal. Recuérdese además que las masas de las elípticas son más grandes que las de las espirales, sin que haya manera alguna de que una espiral llegue a completar la masa de una elíptica.

Imagen en: Guía astronómica



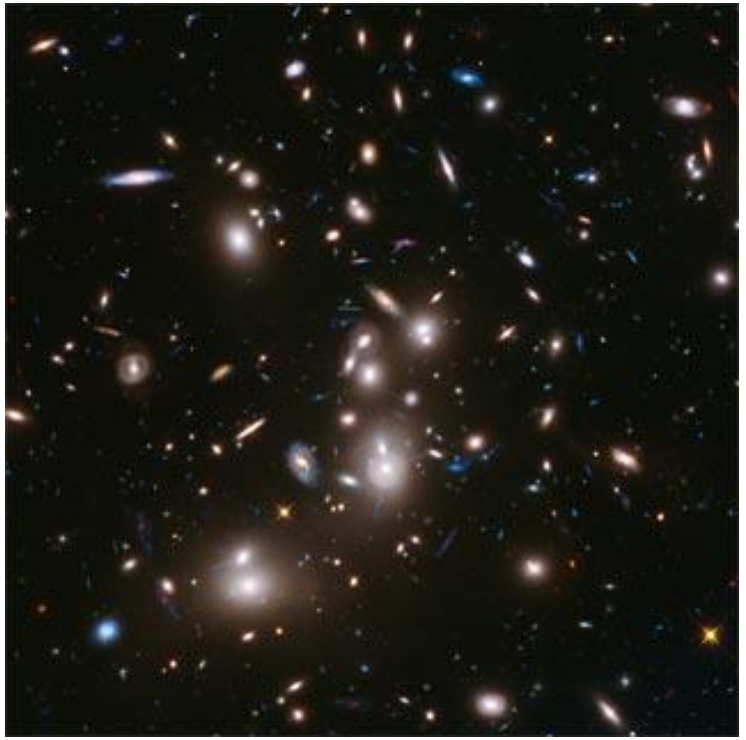
Tipos de Galaxias

Clasificación Galáctica. Según J.P. Hubble, la clasificación de las galaxias del diagrama es: con E se codifican las galaxias elípticas, con SO las galaxias lenticulares, con S las espirales, con SB las barradas y con Ir las galaxias irregulares.

Agrupaciones de Galaxias

- Una agrupación galáctica es una superestructura cósmica formada por galaxias. La materia bariónica del universo visible se distribuye a lo largo de estructuras colosales, separadas por regiones huecas.
- Dichas estructuras, formadas por miles de agregados de galaxias de diferentes formas y tamaños, se mantienen cohesionadas por la materia oscura, aunque la expansión acelerada del cosmos podría separarlas.
- Las agrupaciones de galaxias varían desde grupos y cúmulos hasta supercúmulos, según su tamaño y número de galaxias que contienen. Mientras los cúmulos se denominan también hipergalaxias, las colonias o cúmulos de cúmulos se llaman metagalaxias
- Mientras un cúmulo o hipergalaxia va desde pequeños grupos con una decena de galaxias hasta grandes cúmulos de miles de galaxias, los supercúmulos o metagalaxias son estructuras más complejas formadas por centenares o miles de cúmulos galácticos interaccionando gravitatoriamente entre sí.

Ver en: Guía astronómica



Cúmulo de galaxias Abell 2744 a 12 millones de años luz. (Telescopio Espacial Hubble). In

Grupo local

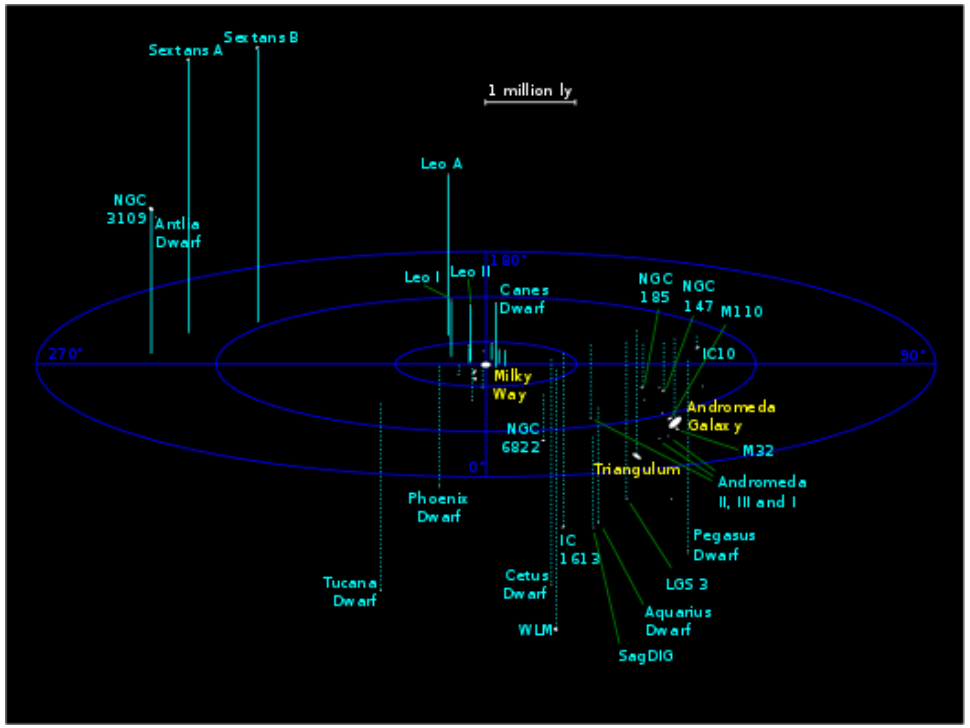
Es el conjunto de galaxias al que pertenece la Vía Láctea, donde sobresalen tres galaxias espirales gigantes; Andrómeda, la Vía Láctea y El Triángulo, y que está contenido dentro del supercúmulo de Virgo. El resto son unas 40 galaxias pequeñas; incluidas algunas satélite de las mayores.

Las galaxias libres del Grupo Local, tiene su centro de masas entre Andrómeda y la Vía Láctea. Además, el Grupo Local se desplaza hacia el centro gravitatorio del supercúmulo de Virgo, denominado Gran Atractor. Dentro del Grupo Local, estos son los tres sistemas:

1- Sistema de Andrómeda (M31): M32, M110, NGC 147, NGC 185, Andrómeda I, Andrómeda II, Andrómeda III, Andrómeda IV, Andrómeda V, Andrómeda VI (Enana Esferoidal de Pegaso) y Andrómeda VII (Enana de Casiopea).

2- Sistema de la Vía Láctea: Enana de Sagitario, Enana del Can Mayor, Gran Nube de Magallanes, Pequeña Nube de Magallanes, Enana de la Osa Menor, Enana de Draco, Enana de Carina, Enana de Sextans, Enana de Sculptor, Enana de Fornax, Leo I, Leo II y Enana de Tucana.

3- Sistema del Triángulo (M33): Enana de Piscis (LGS 3)

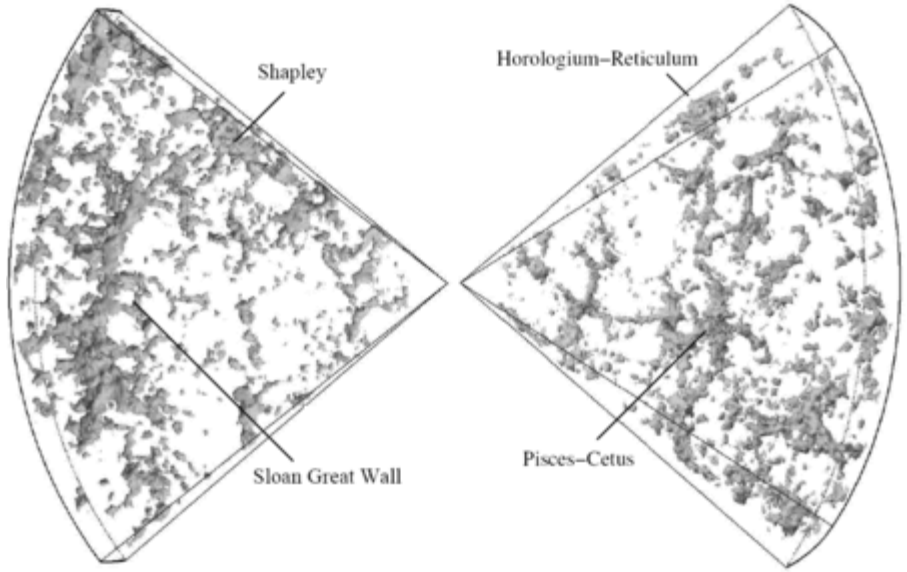


Mapa 3D del Grupo Local. In Wikipedia.org

La Gran Muralla Sloan y La Gran Pared

- La vista panorámica de todo el cielo en el infrarrojo cercano revela la distribución de galaxias más allá de la Vía Láctea, organizadas en mega-estructuras como la Gran Muralla y la Gran Pared.
- La Gran Muralla Sloan de 1370 millones de años luz de longitud, es una pared galáctica gigante en el universo. Su descubrimiento por astrónomos de la Universidad de Princeton, data de 2003, basados en datos del telescopio de exploración digital del espacio Sloan. La pared está situada aproximadamente a mil millones años luz de la Tierra.
- La Gran Muralla de Sloan, es casi 3 veces más de grande que la Gran Pared otra superestructura galáctica descubierta por Margaret Geller y Juan Huchra de Harvard en 1989, que a su ves es la tercera superestructura conocida más grande del universo.
- La Gran Pared, compuesta de galaxias, y ubicada a 200 millones de años luz; supera los 500 millones de años luz de largo, por 300 millones de años luz de ancho y 15 millones de años luz de espesor.

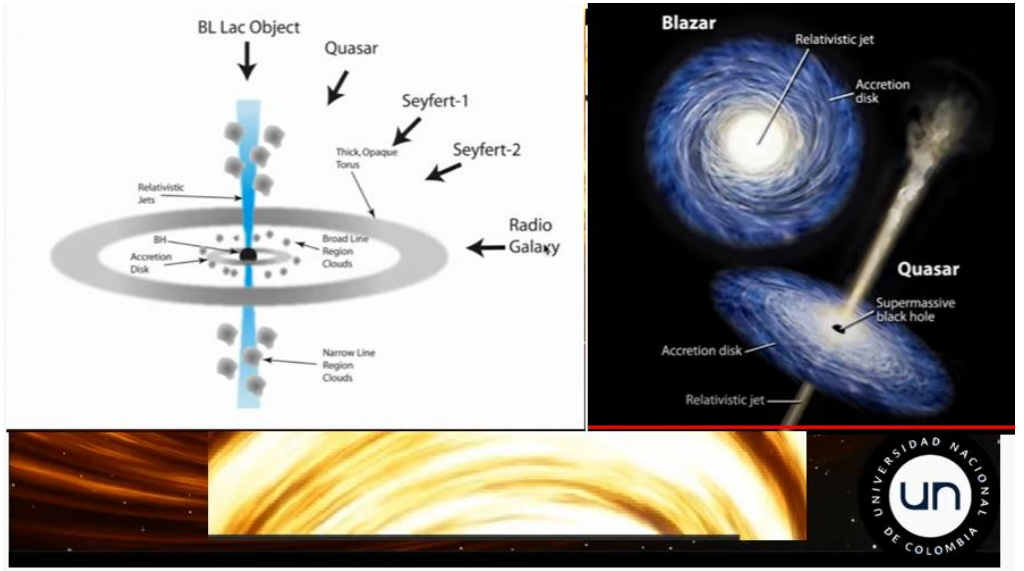
Ver en: [Guía astronómica]

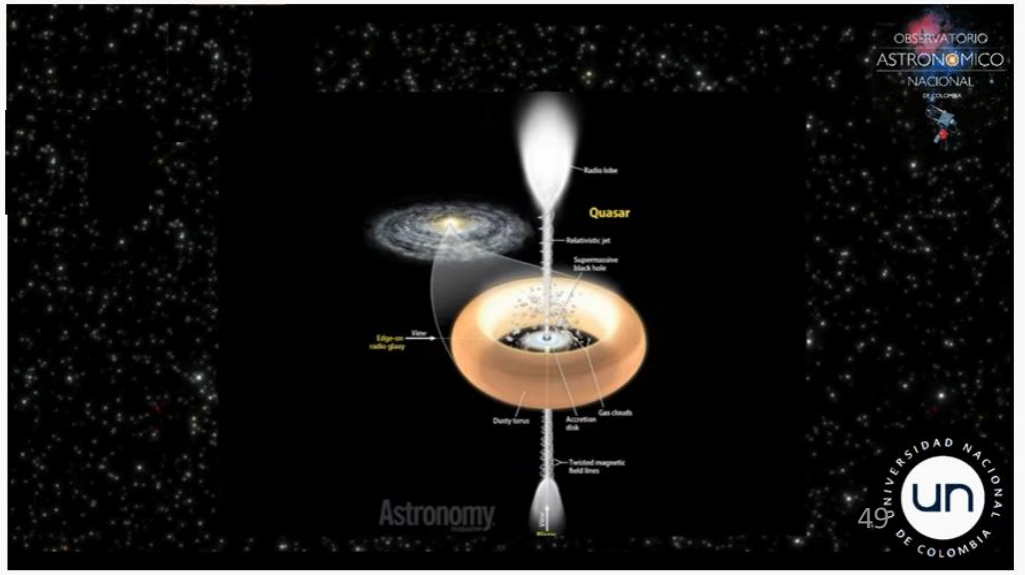


La Gran Muralla Sloan en una reconstrucción de las partes internas de 2dF Galaxy Redshift Survey. A partir de información del Observatorio Anglo-Australiano (AAO)

Galaxias activas

- Casi todas las galaxias esconden enormes agujeros negros en su centro. El modelo teórico más aceptado unifica distintos tipos de objetos, tales como galaxias Seyfert, Quasares y Blazares, objetos que aparentan ser distintos debido al ángulo de inclinación en el cielo.
- Según el modelo unificado, la energía se genera por gas y polvo que cae a un disco de acreción, asociado a un agujero negro supermasivo, de entre 10^6 y 10^9 masas, y un Jet o chorro relativista, constituido de materia en estado de plasma, eléctricamente neutra rotando a velocidades que alcanzan el 99,9 % de la velocidad de la luz.
- Mientras en una galaxia Seyfert el núcleo produce líneas espectrales de emisión de gas altamente ionizado, y en el Quasar la radiación llega sin la interferencia del toroide incluye radiofrecuencias y luz visible, en un Blazar se trata del Quásar el chorro se encuentra alineado apuntando en dirección a la Tierra.
- Imágenes del Observatorio Astronómico Nacional de la UN de Colombia. Ver conferencia del Director del OAM, Dr. Armando Higuera, sobre Núcleos activos de galaxias





Interacciones de galaxias

- La interacción galáctica, supone una colisión perturbación de la gravedad de una galaxia sobre otra. Ejemplo de una interacción menor es el efecto de una galaxia satélite sobre la estructura de una galaxia primaria, atrayendo uno de los brazos espirales.
- Mientras una colisión puede comportar una fusión de galaxias, también las colisiones que se facilitan dada la distribución tenue de la materia en las galaxias, facilitan la interacción gravitacional. Aún más, cuando existe un contraste importante en tamaño, la galaxia pequeña pasa a formar parte de la grande.
- Incluso, ¿qué muestran las simulaciones hoy en día? 1- Si una galaxia logra pasar a través de la otra, entonces la perturbación de la forma de la galaxia resulta menor que en la fusión, ya que las dos galaxias mantienen su estructura después de atravesarse. 2- Pero si una galaxia grande, a través de mareas gravitacionales se fusiona con la compañera, la nueva galaxia será mayor y a menudo irregular, aunque igualmente podrá ser tanto elíptica como espiral.



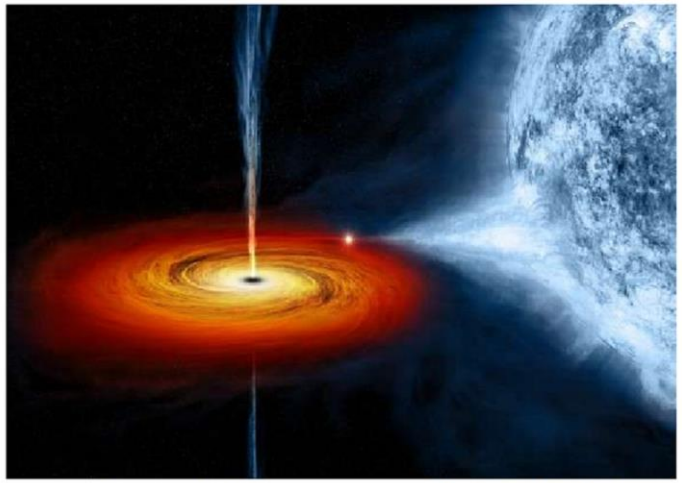
Colisión de dos galaxias espirales. T.E. Hubble



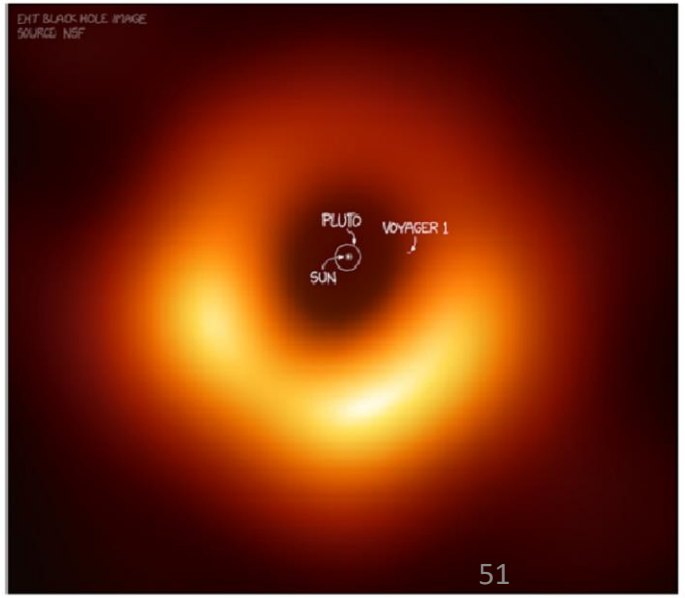
Colisión de galaxias en la Osa Mayor. (Foto: ESA)

El Agujero Negro de M87

- En el centro de la galaxia elíptica M87 del cúmulo de galaxias de Virgo, a unos 60 millones de años luz de la Tierra, 200 científicos de 20 países han registrado un agujero negro supermasivo que pesa 6.500 millones de veces la masa del Sol.
- Los datos recogidos por ocho radiotelescopios de todo el mundo a lo largo de cuatro días, permitieron crear una imagen que, gracias a los bordes en los que la luz se curva sobre sí misma, se muestra el entorno del "horizonte de eventos", lugar donde la luz y la materia que se precipitan no retornan por el efecto de un campo gravitacional intenso, confirman la teoría general de la relatividad TGR de Albert Einstein.
- Utilizando la interferometría de línea de base muy larga, la imagen obtenida del agujero negro, pese a ser un ente invisible, se ha logrado captar gracias a sus efectos de frontera apreciados al observar su horizonte de sucesos de M87. Según la Teoría General de la Relatividad de Albert Einstein formulada en 1915, dicho horizonte es una superficie imaginaria de forma esférica que antecede y envuelve esa extraña región.
- El proyecto costó entre 50 millones y 60 millones de dólares, de los cuales 26 millones provinieron de la Fundación Nacional de Ciencias. La imagen superior de M.Weiss (NASA/CXC) es la recreación artística de M87; la inferior, de SNF (imgs.xkcd.com) es la imagen captada ya procesada con el sistema solar fasta Plutón y ubicación del Voyager 1 a escala, para su comparación en tamaño.



Sygnus X-1, Black Hole in a binary system. NASA/CXC/M.Weiss



SIZE COMPARISON: THE M87 BLACK HOLE AND OUR SOLAR SYSTEM

Estructura del universo observable

Halley (1656-1742), concebía un Universo **eterno e infinito**; como prueba de ello se tenía, que al observar los astros "firmes" en el cielo, no era posible señalar punto alguno sobre el cual estuviese colapsando la materia. Tal colapso sería factible, si el Universo (inicialmente estático y extendido) tuviera límites o si la materia no estuviese distribuida homogéneamente en toda la extensión del espacio infinito.

Veamos:

Si el Universo tiene una densidad de masa **q**, una masa total **M** y un radio **R** infinito, la fuerza gravitacional (para un modelo esférico), estará dada por:

$$\mathbf{F = -G \times {}^{4}/_{3}\pi q R}$$

Siendo $\mathbf{q > 0}$, $\mathbf{R \rightarrow \infty}$, y G la constante gravitacional, tenemos:

$$\mathbf{F = \infty}$$

- El valor infinito de **F** supone un tirón suficiente para colapsar el Universo,

Pero lo anterior, no ocurre gracias a una jerarquía en la distribución de masa (o densidad r), es de la forma,

$$\mathbf{q = {}^{a}/_{R}}$$

Si:

$$\mathbf{q = {}^{a}/_{R} \;\; y \;\; M = 4\pi \int^{R} {}^{a}/_{R}\, r^2\, dr}$$

Tenemos:

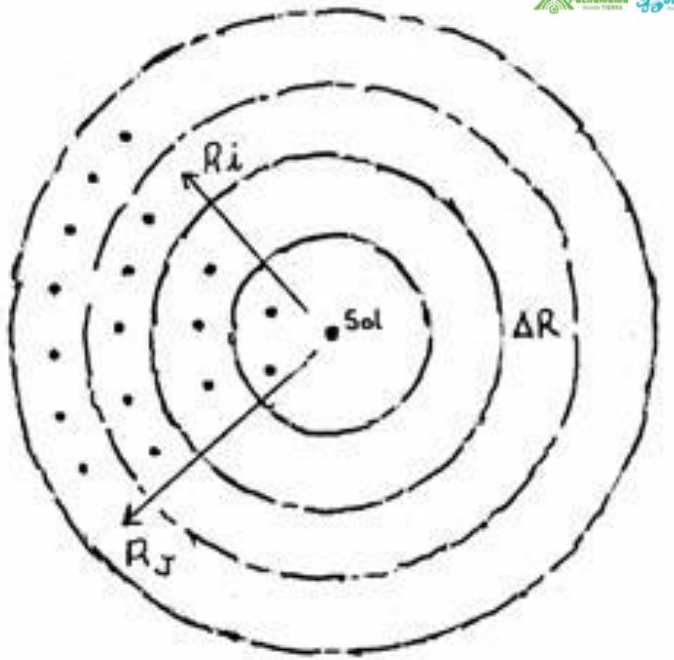
$$\mathbf{M = {}^{4}/_{3}\pi\, {}^{a}/_{R}\, (R^3) = {}^{4}/_{3}\pi\, a\, R^2}$$

Luego: para **R** infinito, como $\mathbf{M = 0}$ y $\mathbf{q = 0}$, se evita el colapso.

- Ver: Video Newton: de Grecia al Renacimiento.

Paradoja de Olbers (1823)

- Existe una contradicción denominada Paradoja de Olbers: si el Universo es infinito y la densidad de estrellas es uniforme "no debería existir noche, pero la noche existe". Las estrellas, según el concepto oficial de la ciencia para la época, están ocupando el Universo sin conformar estructuras de orden mayor, que serían las galaxias. Para entonces, tampoco se habla de la expansión del espacio o de la contracción del tiempo, como ocurrirá en el siglo siguiente.
- Siendo así, para Olbers se pueden tomar infinitas capas de Radio R separadas por un espesor **Δ R** despreciable; por lo tanto, mientras el número de estrellas en cada capa esférica aumenta con el cuadrado del radio, **R^2**, mientras que la luminosidad de cada capa, vista desde la Tierra, disminuye en intensidad con el cuadrado del radio, **$1/R^2$**,
- Con lo anterior, igualados ambos, los impactos para un observador en la Tierra serían equivalentes tener en la primera capa de estrellad, todo el universo.
- Ver: Video Newton: de Grecia al Renacimiento.



Vol = $4\pi R^2$

(ΔR tiente a 0 cuando R tiende a Infinito (∞)

Nº de estrellas por capa: **Ni = f (R^2)**

Luminosidad de una capa : **Ij = f ($1/R^2$)**

Así el efecto luminoso de una capa cualquiera sobre la Tierra resulta compensado.

Esto es: si **el Efecto i = Efecto j**

Con (n) capas habrá (n) efectos

Y así, la Intensidad de la luz en la Tierra, sería ∞

Forma del Universo

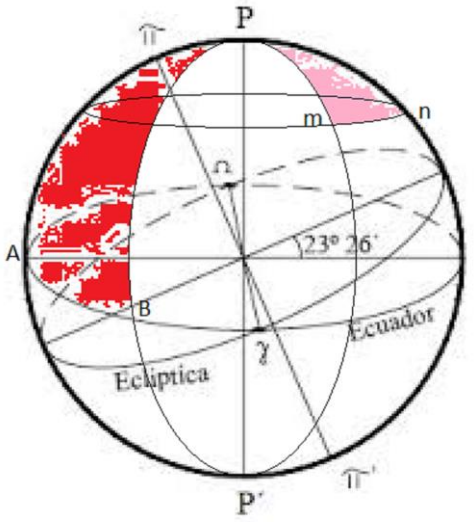
Su curvatura podría ser cero, positiva o negativa; en cada caso sus propiedades serían diferentes, como son diferentes los resultados en las geometrías asociadas a dichas curvaturas:

- Para Euclides: S = 180° A = πR2 P = 2πR
- Para Riemann: S > 180° A > πR2 P > 2πR
- Para Lobachevski: S < 180° A < πR2 P < 2πR

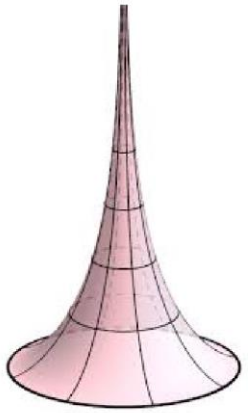
Esto en dos dimensiones, pero el Universo tiene cuatro así: tres espaciales y el tiempo. Cualquier dimensión es ortogonal con las otras tres (todas lo son entre sí).

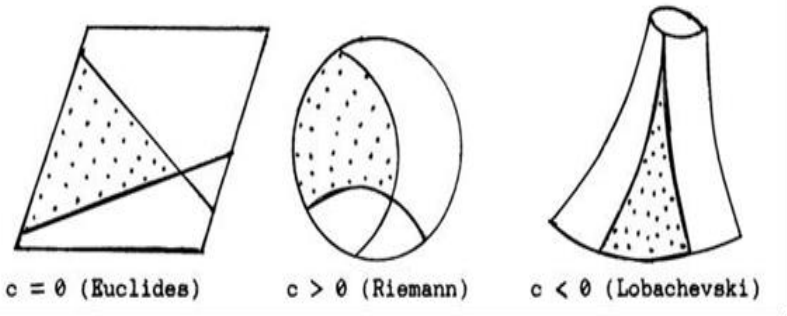
Si hoy se acepta que el Universo es finito e ilimitado, por su curvatura positiva (Riemann), esto sólo una hipótesis, ya que podría demandarse una geometría discontinua (no inventada) que explique mejor su forma.

Observaciones recientes confirman la ausencia de masa y energía en regiones del Universo, por lo que se supone una estructura una esponjosa del Espacio Tiempo, lo que sugiere un Universo con forma de pumita o esponja.



Esfera Celeste

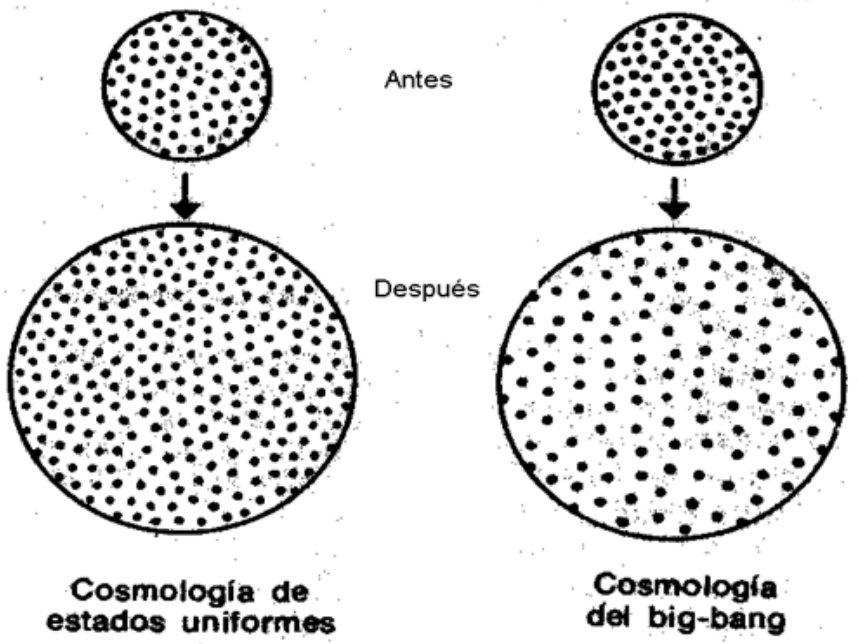

La seudoesfera

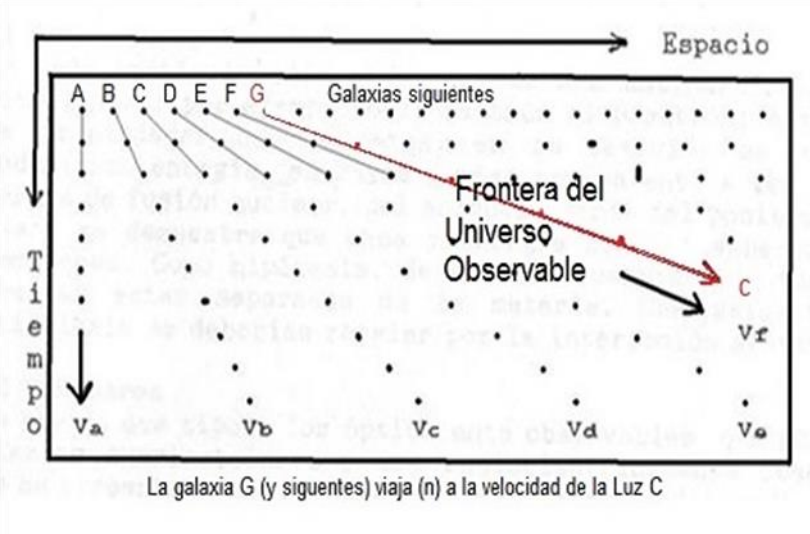


Universos continuos y bidimensionales: C es la curvatura, S la suma de los ángulos interiores en un triángulo, A el área de un círculo y P el perímetro de una circunferencia, de radio R.

Ley de Hubble

- Edwin Powell Hubble (1889-1953) fue uno de los más importantes astrónomos estadounidenses del siglo XX, por su hipótesis sobre la expansión del universo, soportada en las medidas del corrimiento al rojo de galaxias distantes.
- Este astrónomo toma fotografías de galaxias lejanas: las más pequeñas y opacas muestran mayor desplazamiento al rojo que otras más grandes y brillantes con forma similar. Sólo la distancia a esas galaxias explicaría su tamaño y brillo variables en las fotografías, y sus diferentes corrimientos al rojo, velocidades radiales explicando un Universo en expansión relativista, que arrastra las galaxias.
- Así el Universo está en expansión relativista y la constante de expansión de Hubble (H) es del orden de 65 Km/seg por Mpc (mega parsec).
- De por medio está la incertidumbre con respecto a la densidad media actual del Universo. El rango dentro del cual se encuentra el valor de la constante, será el requerido para que cada 100.000 millones de años, se expanda entre un 5% y un 10%.
- Ver: Sol, lunas y planetas
- Imagen: Arriba, Modelos de la expansión del Universo. Abajo, Expansión Relativista del Universo, en: Universo en Inflación: https://www.pinterest.co.k





Edad del Universo

- 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; y más allá, todo viajaría a esa velocidad -cuyo valor es un límite físico-. 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/cm^3, 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: (Δ lambda)/lambda = v/C . Siendo lambda la frecuencia de la raya espectral original, Δ lambda el corrimiento de la raya, C la velocidad de la luz y v la velocidad de recesión.
- Si H = 65 Km/s x 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:

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

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

Ver: *Clima: las heladas en Colombia*.

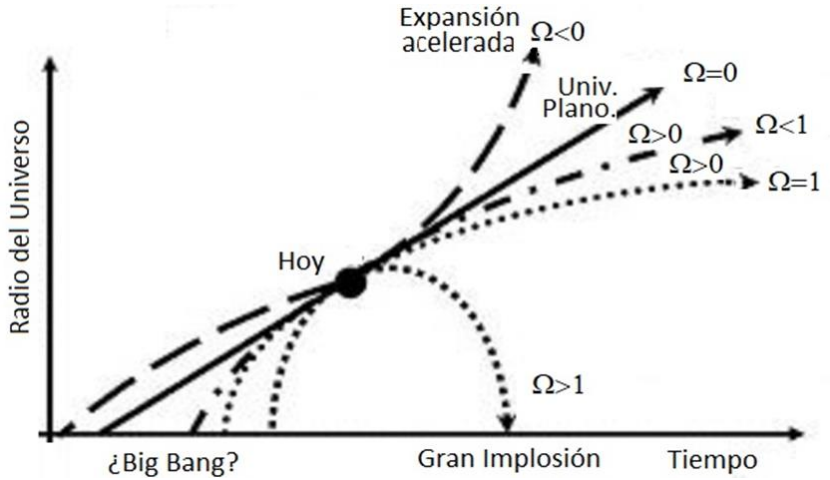


Imagen: Edad del universo asociada a la curvatura del Espacio –Tiempo. Adaptado de https://es.wikipedia.org/wiki/Edad_del_universo

El universo acelerado

- El Nobel de Física 2011, se otorgó por las pruebas sobre la expansión acelerada del Universo obtenidas a través de la observación de estrellas supernovas lejanas y de gran energía, Así, la prueba señaló que se expande a velocidad creciente, y no decelerada, lo que parecía más probable cuando se piensa en el efecto gravitacional ejerciendo un freno a su expansión.
- Ahora, la naturaleza de esa extraña fuerza contraria a la gravedad que acelera el Universo en expansión, a la luz del conocimiento actual podría tener una explicación probable: la energía oscura.
- Debe recordarse que para Newton la evidencia de un Universo infinito se daba de la observación, ya que de tener límites existiría un centro de gravedad en torno al cual estuviese colapsando. Esto además, obligaría a que también el tiempo fuera infinito, con lo cual se negaría el origen del universo.
- Y en cuanto al tema del Universo finito, lo único que podríamos asegurar es que, habiendo surgido hace unos 13 mil millones de años como consecuencia de una gran explosión, es en ese origen denominado Big Bang que nacen el tiempo y el espacio, razón por la cual no tiene sentido preguntarnos que habría antes, y tampoco hacia donde se expandirá.

Ver: *MISIONES GALILEO Y CASSINI: Viaje a los planetas Jovianos.*

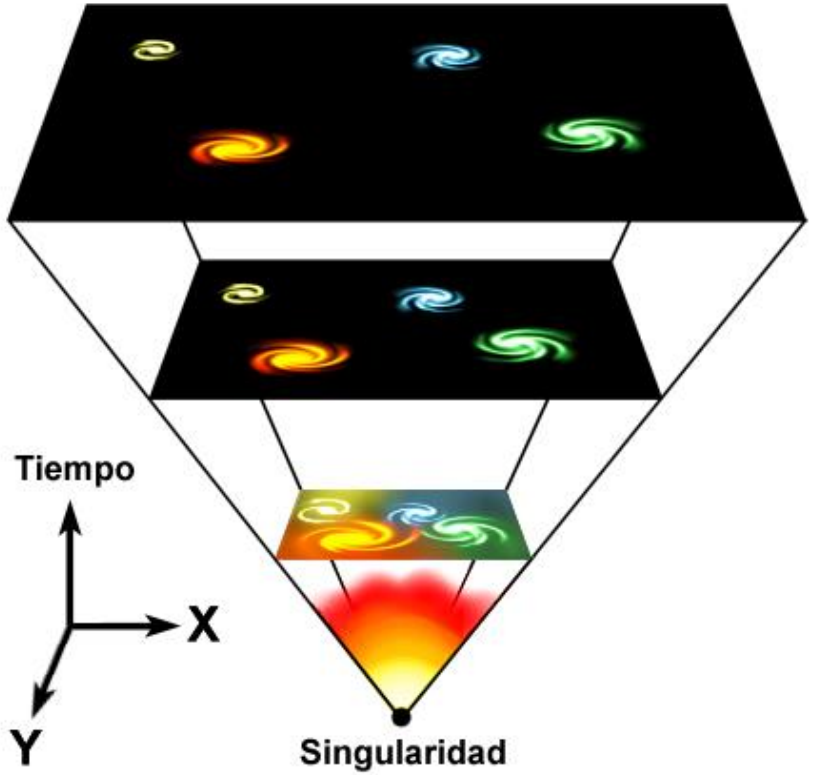


Imagen Universo en expansión, en: https://www.wikiwand.com

Materia oscura y energía oscura

- Cuando se estima que el universo se constituye en un 73 % por energía oscura, 23 % por materia másica oscura y 4 % por materia bariónica o en forma de átomos, de conocerse esa materia oscura que se rastrea tanto en laboratorios desde el espacio como en complejos subterráneos, la astronomía podría dar origen a una revolución comparable a la del tránsito del Medioevo al Renacimiento en tiempos de Nicolás Copérnico (1473-1543), el astrónomo polaco que sustituye el modelo geocéntrico de Ptolomeo, por uno heliocéntrico y no con la Tierra como centro del universo.
- Primero, la hipotética existencia de una materia oscura que no emite radiación alguna, fue inferida de las observaciones fundamentales de la astrónoma estadounidense Vera Rubin (1928 2016), de la medición de la rotación anómala de las estrellas dentro de una galaxia, ya que si en el Sistema Solar según las leyes de Newton y Kepler la velocidad de rotación planetaria decrece conforme aumenta la distancia al Sol como centro de masa, en las galaxias se mantiene.
- Y segundo, desde principios del 2000, se propone la existencia de una energía oscura uniforme, que al ejercer una presión negativa en el espacio tiempo similar a la de la constante cosmológica, explicaría la actual expansión acelerada del universo,
- En suma, solo sabemos que la materia oscura que se infiere también del efecto de lentes gravitacionales, y que no son neutrinos, ni átomos, ni materia oscura convencional, al igual que la energía oscura, todavía son un gran misterio.
- Ver: *El misterioso lado oscuro del universo.*

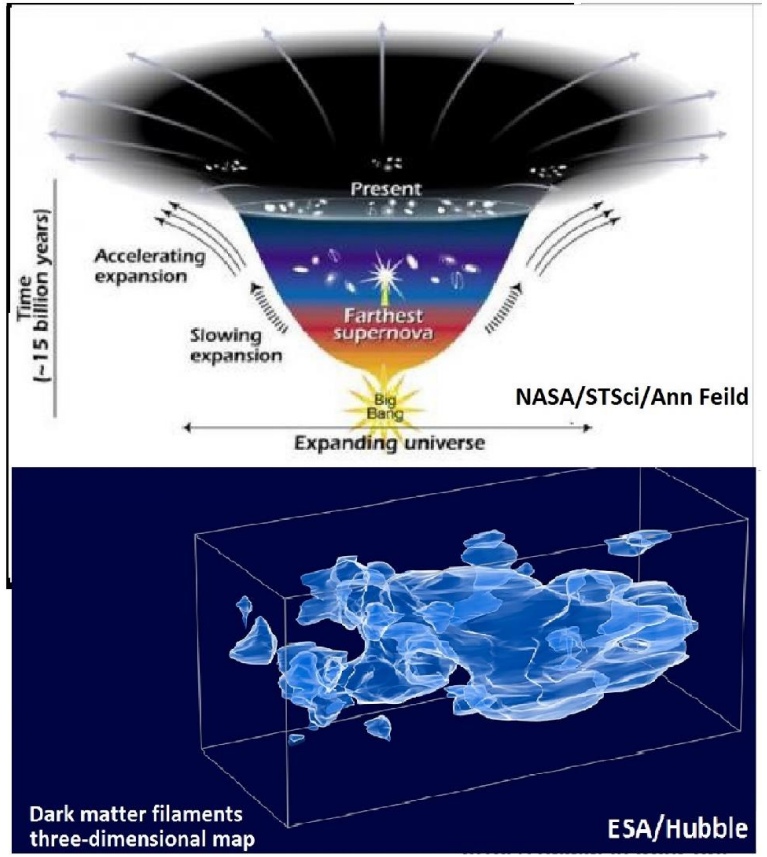


Imagen Superior: expansión acelerada del Universo causada por la Energía Oscura. Nasa- STScl. Imagen Inferior: Distribución de la materia oscura en el Universo. ESA – Hubble. Fuente: http://bdigital.unal.edu.co/55968/

Gracias



Gonzalo Duque Escobar, es Profesor Especial de la Universidad Nacional de Colombia, e Ingeniero Civil con estudios de posgrado en Geotecnia, Geofísica y Economía; además, es Miembro de la Red de Astronomía de Colombia RAC y Director del Observatorio Astronómico de Manizales OAM. Web: https://sites.google.com/unal.edu.co/godues1

Conferencia para el Curso de Contexto en Astronomía del Observatorio Astronómico de Manizales OAM. Manizales. Junio 5 de 2020. Act. 2026.

Portada: Amanecer. Imagen en www.ahmadiyya-islam.org Contraportada: Observatorio Astronómico de Manizales OAM http://oam.manizales.unal.edu.co

Bibliografía 1

- A Study of Photospheric Vector Magnetic Field Changes During Solar Flares. Castellanos Durán, Juan Sebastián (2016) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.
- *A propósito de Kaguya: ciencia y contaminación en la Luna*. Por: Gonzalo Duque-Escobar Ed. Circular RAC 521. Observatorio Astronómico de Manizales OAM. June 25, 2009.
- *A propósito de los 70 años de la U.N. Sede Manizales*. Por Gonzalo Duque-Escobar. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, 2018.11.19.
- *A medio siglo de Colombia en el OIEA*. Gonzalo Duque-Escobar. Ed. Circular RAC 568. Observatorio Astronómico de Manizales OAM. June 19, 2010.
- *Abre la COP 16 sobre biodiversidad en Colombia*. Duque Escobar, Gonzalo (2024) La Patria, Oct 21, 2024.
- *Acciones frente al clima y el desarrollo.* Por Gonzalo Duque Escobar. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. La Patria, Manizales, 2013-04-29.
- Actividades didácticas en astronomía estelar. Pico Arévalo, Julián Alberto (2016) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá.
- *Adaptación al cambio climático -Una mirada desde Colombia*. Gonzalo Duque-Escobar. Programa Especialización en Recursos Hídricos. Universidad Católica de Colombia. Manizales, 27 10 2021.
- *Adaptación del PCC al Cambio Climático*. Por: Gonzalo Duque-Escobar Documento del OPP, In: Cátedra UNESCO de la U.N. de Colombia Sede Manizales. Febrero 1 de 2025.
- *Agenda de Eclipses 2021*. Por: Gonzalo Duque Escobar. Observatorio Astronómico de Manizales OAM. de la U.N. de Colombia.
- *Agenda para el Territorio Conurbado Otún-Chinchiná*. Por: Gonzalo Duque-Escobar (2023); Documento del Museo Samoga.
- *Agenda U.N. de Eclipses para 2019*.Duque Escobar, Gonzalo. Observatorio Astronómico de Manizales (OAM). Manizales, 2019-01-16.
- *Albert Einstein en los cien años de la TGR*. . Duque Escobar, Gonzalo (2016) In: Apertura del Contexto en Astronomía, Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales
- Análisis comparativo de los indicadores de rotación estelar en una muestra de estrellas T-Tauri y post T-Tauri. Rodríguez Gómez, Jenny Marcela (2012) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- *Amenaza sísmica en el Eje Cafetero.* Por Gonzalo Duque-Escobar. Abril 25 de 2016. (OAM) de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.
- *Año Internacional de la Astronomía IYA 2009*. Por: Gonzalo Duque-Escobar. Ed. RAC 499. OAM- U.N. de Colombia Sede Manizales. Enero 16 de 2009.
- *Artemis I, abre nuevo camino a la Luna.* Por: Gonzalo Duque-Escobar; OAM de la U. N. de Colombia, Manizales, 2022.
- Astronomía en la Edad Media y el Renacimiento. Claudia Torres Arango. Curso de Contexto en Astronomía. Universidad Nacional de Colombia. Manizales, 2019.
- Astronomía sin Telescopio. ROUSSEAU, PIERRE. Biblioteca de Divulgación Científica "Muy Interesante". Ediciones Orbis 1986.
- Bessel y el primer paralaje estelar. José Maza Sancho 2016. UNIVERSIDAD DE CHILE.
- Breve historia de la cosmología. Astroseti: David Wands , Portsmouth. Traducción de Jesús Canive.
- Breve historia de la química: Introducción a las ideas y conceptos de la química. Isaac Asimov, (2014). Alianza Editorial. Madrid.
- Capítulos virtuales para la enseñanza de las Ciencias de la Tierra y el Espacio. VALLEJO VELÁSQUEZ, Juan Carlos (2015). Maestría Thesis, U. N. de Colombia – Sede Manizales.
- Cataclysmic Variables Robert Connon Smith. 2007. Contemporary Physics 47(6) · University of Sussex.
- Cien años del Universo Relativista de Einstein. Duque Escobar, Gonzalo (2016). La Patria, Manizales, Colombia.
- Cien Mil Millones de Soles. Rudolf Kippenhahn. Biblioteca Científica Salvat 1986.

Bibliografía 2

- Cincuenta años de la llegada del hombre a la Luna. Duque Escobar, Gonzalo (2019) [Objeto de aprendizaje - Teaching Resource]
- Civilizaciones Mesoamericanas – Mayas: Cultura maya. AGUIAR, Olga. (2000). In Monografías.
- Colombia habla sobre asteroides, meteoros y chatarra espacial. Gonzalo Duque-Escobar. Ed. Circular RAC 579. Observatorio Astronómico de Manizales OAM. Septiembre 10, 2010.
- Colombia Tropical ¿y el agua qué? Por Gonzalo Duque-Escobar. Museo Interactivo Samoga. Manizales, Abril 13 de 2020.
- Cometas Meteoros y Asteroides. GIBILISCO, Stan. Cómo afectan a la tierra. Editorial Mc Graw Hill. Serie de Divulgación Científica. España. 1991.
- Conceptos y principios básicos de la astronomía observacional. González Murillo, Giovanni Francisco (2016). Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá.
- Contribuciones de Einstein a la teoría cuántica (1905-1925). NAVARRO VEGUILLAS, Luis (2000).
- Cosmología Observacional: Medidas de distancias extragalácticas. Beatriz Ruiz Granados . Asignatura: Cosmología. Curso: 2008-2009. U de Granada.
- Cosmología: Origen, evolución y destino del Universo. HERNÁNDEZ, Pedro J.
- Cosmological features of primordial magnetic fields. Hortua Orjuela, Héctor Javier (2018) Doctorado thesis, Universidad
- Cosmología moderna, materia oscura y energía oscura. Angel M. Uranga. (2016). Instituto de Física Teórica UAM/CSIC. Madrid, España.
- Cronología del Big Bang. Wikipedia.org. Anexo.
- ¿Cuál es el origen de la masa? Miguel Ángel Pérez Angón (2005). Revista Ciencia N°56- Enero-Marzo 2005.
- Cultura y Astronomía. Duque-Escobar, Gonzalo. Universidad Nacional de Colombia 2007.
- Del tamaño de un fotón. Villanueva Hernández, Pedro Javier (2009) Documento de trabajo. Universidad Nacional de Colombia.
- Desarrollo y revoluciones tecnológicas. Duque Escobar, Gonzalo (2017) Documento de trabajo. La Patria, Manizales
- Design and development of a solar radio interferometer of two elements. Guevara Gómez, Juan Camilo (2017) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.
- Diagramas HR de cumulos estelares. Glenn Snyder and Laurence Marschall.m Trad. Eduardo Manuel Álvarez. Contemporary Laboratory Experiences in Astronomy.
- Dios y la nueva física. Paul Davies. Biblioteca Científica Salvat 1986.
- Ecuación de desvío geodésico en la métrica Lemaître Tolman Bondi. Orduz, Carlos Andrés (2012) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Ecuación de Friedmann modificada y cosmología sobre una Brane-World / Moreno Sánchez, Alexander (2009) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Efecto de huecos y bordes sobre la medición de lacunaridad y fractalidad en un catálogo de galaxias. García-Farieta, Jorge Enrique (2015) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.
- Einstein para principiantes SCHWARTS, Joseph & MCGUINNESS, Michael. Era Naciente SRL. BBAA. 2001.
- El amanecer cósmico. Eric Chaison. Biblioteca Científica Salvat 1986.
- El bosón de Higgs. Duque Escobar, Gonzalo (2012) La Patria.
- El camino a las estrellas. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. (2009) Observatorio Astronómico de Manizales OAM. Universidad Nacional de Colombia.
- El Diagrama H-R del Cúmulo de las Pléyades. G. Iafrate:, M. Ramella y P. Padovani INAF –Trad.r: Carmen Morales, Miriam Aberasturi y Enrique Solano (2010).Euro Aida. SVO.
- El entorno espacial terrestre. Sergio Dasso. (IAFE y CONICET-UBA) In: Astropartículas y Física Solar – LAGO. Univ. San Francisco de Quito, 20-24 enero, 2014.
- Isaac Newton: ciencia y religión en la unidad de su pensamiento. Por: John Henry (2007). Universidad de Edimburgo.
- El cielo en las ciencias: enseñanza de la astronomía en la escuela. Ortíz Arango, Liana Suhail (2015) Documento de trabajo.

Bibliografía 3

- El Colapso del Universo: la historia de los agujeros negros. ASIMOV, Isaac. Editorial Diana. Méjico. 1987.
- El Cometa Halley. ARIAS DE GREIF, Jorge. Empresa Editorial Universidad Nacional de Colombia. 1986.
- El comportamiento de Mond en el sistema solar. Hernández Calvo, Laura Nataly (2013) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- El espacio-tiempo sigue siendo un enigma para la ciencia y la filosofía. LORENTE, Miguel. Epistemología y Filosofía de la Ciencia.
- El gran telescopio de Canarias. Por Gonzalo Duque-Escobar. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Edit. Circular RAC 429 de julio 20 de 2007.
- El misterioso lado oscuro del universo. Duque Escobar, Gonzalo (2017) [Objeto de aprendizaje - Teaching Resource]
- El modelo estándar de la física de partículas. José Cobián (2018) Comisión Técnica de la Sociedad Nuclear Española.
- El momento de la creación. Biblioteca Científica Salvat 1986.
- "El movimiento de los cuerpos celestes". Portilla Barbosa, José Gregorio (2001) Cap. de: Astronomía para todos. Colombia ISBN: 958-701-104-X Ed: Unibiblos.
- El remoto pasado de nuestro mundo. Por: Gonzalo Duque-Escobar; Documento del Observatorio Astronómico de Manizales OAM. Manizales, agosto 26 de 2007 (Act.2021)
- El Sistema Solar. Duque Escobar, Gonzalo (2017) Guía Astronómica. Observatorio Astronómico de Manizales (OAM). U.N. de Colombia.
- El universo accidental. Paul Davies. Biblioteca Científica Salvat 1986.
- El Universo acelerado. Duque Escobar, Gonzalo (2011) Circular de la Red de Astronomía de Colombia RAC (629).
- El Universo de Stephen Hawking. BOLSLOUGH, JHON. Biblioteca Científica Salvat. 1986.
- El Universo Desbocado. DAVIES, PAUL. Biblioteca Científica Salvat. 1985.
- El universo en una cáscara de nuez. HAWKING, Stephen. Editorial Planeta. I.S.B.N. 84-8432-293-9. Barcelona. 2002.
- El Universo I y II. ASIMOV, Isaac. (1971) Alianza Editorial. Madrid, 1991.
- El universo para curiosos. HATHAWAY, Nancy. Editorial crítica. I.S.B.N: 84-7423-770-X. 1196.
- El Universo y la Tierra. ARENAS, Róbel; and CALVO, Benjamín; and CASTAÑEDA, Leonardo; and CEPEDA, William; and DE GREIFF, Alexis; and HIGUERA, Armando, and IZQUIERDO. olombia, Proyectos especiales El Tiempo ISSN: 09588089, 2002 vol: fasc: págs: 8 - 120
- El Universo. COMELLAS, JOSE LUIS. Colección Salvat, Temas Clave. 1985.
- El Universo: su principio y su fin. Lloyd Motz. Trad. J.A. Planell y J. Rodellar. Muy Interesante. Ed. Bosch 1975.
- Elementos de astronomía de posición. PORTILLA BARBOSA, José Gregorio (2001). Ed: Unibiblos Colombia.
- Elementos de mecánica planetaria. Duque Escobar, Gonzalo (2017) Guía Astronómica. Observatorio Astronómico de Manizales (OAM). U.N. de Colombia.
- En busca del gato de Schrodinger. John Gribbin. Biblioteca Científica Salvat 1986.
- En órbita primer satélite colombiano: El Libertad 1. Duque Escobar, Gonzalo (2007) Editorial de la Circular 418 de la Red de Astronomía de Colombia RAC (418).
- Enfriamiento de estrellas de neutrones a través de la emisión de neutrinos producidos en el proceso Urca directo. Álvarez Salazar, Carlos E. (2015). Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Enlaces del OAM de la U.N. de Colombia. Gonzalo Duque Escobar. Observatorio Astronómico de Manizales OAM. Recopilación de documentos digitales propios y de terceros.
- Esas maravillosas partículas. Pedro Gómez-Esteban (2007). Madrid, España. Blog El Tamiz.
- Escudriñando la galaxia. Colombia, Cuestionario De Auto-Reflexión ISSN: 0121-9987, 1999 vol: fasc: págs: 1 – 4. Mario Armando Higuera Garzon, Antonio Uribe, Eduardo Brieva, Universidad Nacional de Colombia. Referencia en El Tiempo.
- Espectroscopia estelar sintética, aplicaciones astrofísicas. Rojas Acosta, Maria Elizabeth (2015) Maestría thesis, Universidad Nacional.
- Esperanza y acción en La Hora del Planeta. Duque Escobar, Gonzalo (2011) Circular 604 de la Red de Astronomía de Colombia RAC (604).
- Estabilidad de la Materia Extraña y Posibles Estrellas de Quarks. Ricardo González Felipe, Aurora Pérez Martínez, Milva Orsaria, Ernesto López Fune. (2008) FÍSICA para todos / FÍSICA no mundo.
- Estrategia didáctica para la enseñanza de la Astronomía de Posición. Acosta Martínez, César Augusto (2019) Trabajo de Grado dentro del marco del proyecto "Sintiendo la Astronomía". Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.

Bibliografía 4

- Estrellas de neutrones y propagación de neutrinos. Muñoz Martínez, Luis Fernando (2011) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Estudio de calidad del cielo para observaciones astronómicas en Colombia. González Díaz, Danilo (2015) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Estudio de la formación de galaxias enanas esferoidales satélites de la vía láctea mediante la simulación de la colisión de dos galaxias. Cubillos Jara, Diana Judith (2013), Universidad Nacional de Colombia.
- Estudio de la pérdida de masa asociada a un viento estelar y su efecto en la rotación de las estrellas jóvenes. Cuervo Osses, Ruby Margoth (2012). Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Estudio de la relación rotación actividad en estrellas Herbig Ae/Be. Avendaño Ramírez, Ronald Jamith (2018) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.
- Estudio de las tasas de acreción para una muestra de estrellas T Tauri clásicas en el óptico. Restrepo Gaitán, Oscar Alberto (2012) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Estudio del magnetismo de cuerpos astronómicos. Morales Chaparro, Johana Katerine (2015). Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.
- Estudio del origen y evolución de la galaxia sagitario mediante simulaciones numéricas de n-cuerpos. Martínez Barbosa, Carmen Adriana (2011) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Evolución de las estrellas. John Percy. Publicaciones de NASE. International Astronomical Union, Universidad de Toronto (Canadá)
- Evolution and dynamic properties of photospheric plasma in solar active regions. Campos Rozo, José Iván (2017) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá.
- Fiesta de Estrellas en la Tatacoa. Ed. Circular RAC 517. Colombia. 1986.
- Física Nuclear. Academia Norteamericana de Ciencias. Biblioteca Científica Salvat 1986
- Física y Química 1º Bachillerato. Río, Enrique Andrés del; Yuste Muñoz, Miguel Ángel; Rodríguez Cardona, Ángel; Pozas Magariños, Antonio. McGraw-Hill Interamericana de España, 2015.
- Fisiografía y geodinámica de los Andes de Colombia. (Teaching Resource) Duque Escobar, Gonzalo and Duque Escobar, Eugenio (2016) U.N. de Colombia Sede Manizales.
- Formación del sector Norte de los Andes (Colombia). Por: Gonzalo Duque-Escobar, Extracto del Manual de geología para ingenieros y complementado. May 2, 2016.
- Fragmentación urbana y clima en Colombia. Por: Gonzalo Duque-Escobar. Referencia: Instituto de Estudios Urbanos. U.N. de Colombia, febrero 13 de 2022.
- Francisco José De Caldas (1768-1816): el precursor de la ciencia neogranadina. Por Gonzalo Duque-Escobar. Observatorio Astronómico de Manizales OAM. Octubre 2 de 2007. ·
- Galileo: el conflicto entre la razón y el poder. Gonzalo Duque-Escobar. Ed. Circular RAC 536. Observatorio Astronómico de Manizales OAM. 16, 10, 2009.
- Galileo y la nueva astronomía. Por Gerald Holton Harvard University. In: “Introducción a los Conceptos y Teorías de las Ciencias Físicas”. Rev, Stephen G. Brush University of Maryland. Trad J. J. Aguilar Peris. Editorial Reverté, S.A. 1989.
- Galileo. RESTON, James. Ediciones B. ISBN: 84-406-6697-7. Barcelona. 1996.
- Garavito Armero y Francisco José de Caldas. Por Gonzalo Duque-Escobar (2020). Director del Observatorio Astronómico de Manizales OAM, de la U.N. de Colombia.
- Gas y polvo interestelar. Mario Armando Higuera Garzon (1999) Revista Colombiana de Astronomía, Astrofísica, Cosmología y Ciencias Afines ISSN: 0123-6172 ed: Universidad Nacional de Colombia.
- Génesis. John Gribbin. Biblioteca Científica Salvat 1986.
- Generación de campos magnéticos primordiales / Generation of primordial magnetic fields. Hortua Orjuela, Héctor Javier (2011) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Geociencias y Medio Ambiente. Duque-Escobar, Gonzalo (2018). Recopilación temática. U.N. de Colombia Sede Manizales.
- Geomorfología. Duque Escobar, Gonzalo (2017) In: Manual de geología para ingenieros. N. de Colombia – Sede Manizales, Manizales, Colombia.
- Giordano Bruno. Un Universo infinito. BIRX, James. Revista Universo. Número 37. Página 36 a 41. Barcelona, ISSN: 1135-2876. Mayo de 1998.
- Guía Astronómica. Duque-Escobar, Gonzalo. Universidad Nacional de Colombia 2017.

Bibliografía 5

- *Hacia la cuarta revolución tecnológica.* Duque-Escobar, Gonzalo. Documento del Museo Samoga de la Universidad Nacional de Colombia, 2021-05-03.
- *Hacia la sustentabilidad urbana.* Por: Gonzalo Duque-Escobar. Documento del Museo Interactivo Samoga de la U.N. de Colombia; Manizales, 2023-08-02.
- Hipótesis De Los Cuerpos Desacelerados. Villanueva Hernández, Pedro Javier (2008). Universidad Nacional De Colombia.
- *Historia de la astronomía*. Duque Escobar, Gonzalo (2017) Guía Astronómica. Observatorio Astronómico de Manizales (OAM). U.N. de Colombia.
- HISTORIA DE LA ASTRONOMÍA EN MÉXICO. Fondo de Cultura Económica. I.S.B.N.: 968-16- 5769-1. Tercera edición. Méjico. 1995.
- Historia de la Ciencia 1543 a 2001. GRIBBIN, John. (2005). Editorial Crítica. ISBN: 84-8432-607-1. Barcelona.
- Historia del Tiempo. HAWKING, Stephen. Editorial Crítica. Bogotá. 1988. Historia Universal. El Tiempo. I.S.B.N.: 958-95674-7-9. Colombia.
- Horizontes Cósmicos. WAGONER, ROBERT V. y GOLDSMITH, DONAL W. Ed. Labor. 1985.
- Humboldt y su periplo científico por América. Por Gonzalo Duque-Escobar – U.N. de Colombia. Manizales 12-08-2019.
- Huracanes y terremotos: ¿y cómo está Colombia? Duque Escobar, Gonzalo (2017) Documento para el Contexto de CTS – Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales.
- Implicaciones Cosmológicas del Colapso Gravitacional en Teorías de Gravedad Modificada f(R) Peralta González, César Daniel (2014). Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Inflación y recalentamiento en un modelo inflacionario gobernado por el campo de Higgs del Modelo Estándar Electrodébil. Romero Castellanos, Ana Rubiela (2014), Universidad Nacional de Colombia.
- Influencia del efecto Hall en la evolución de campos magnéticos y equilibrios en la corteza de estrellas de neutrones. Ramírez Ramírez, Sebastián (2017). Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Instrumentación y Observaciones en Astrofísica de Altas Energías: el Cielo en Rayos X y Gamma. Jorge Mejía Cabeza. INPE. IV Simposio de Astronomía 11 a 16 octubre 2004.
- Institucionalidad en el Paisaje Cultural Cafetero PCC. Duque Escobar, Gonzalo (2012) In: Taller Estudios del Paisaje, Manizales.
- Intensa formación estelar en núcleos activos de galaxias, trazada por emisión de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos y análisis del toroide como región en donde toma lugar esta actividad estelar / Higuera Garzón, Mario Armando (2011) Doctorado thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Introducción a la Astronomía. BRIEVA BUSTILLO, EDUARDO. Empresa Editorial Universidad Nacional de Colombia. 1985.
- Introducción a la Ciencia. ASIMOV, Isaac. Plaza & Janes Editores. 1973.
- Introducción a la Física de Partículas: El Modelo Estándar. Luis Roberto Flores Castillo. 2016. Chinese University of Hong Kong. Program CERN
- Izquierda y Derecha en el Cosmos. Martin Gardner. Biblioteca Científica Salvat 1986.
- José María González Benito (1843-1903). Tomado de: Guía Astronómica: La astronomía en Colombia: perfil histórico. Fragmento Parte 3.
- Julio Garavito Armero (1865-1920) Duque Escobar, Gonzalo (2007) Tomado de: Guía Astronómica: La astronomía en Colombia: perfil histórico. Fragmento Parte 4.
- Juno auscultaría en Júpiter origen del Sistema Solar. Duque Escobar, Gonzalo (2016). Observatorio Astronómico de Manizales OAM, Manizales, Colombia.
- Kamerlingh Onnes, la superconductividad, la superfluidez y el universo de las bajas temperaturas. Justo R. Pérez (2000) In: La Ciencia en el Siglo XX. Universidad de La Laguna. 38205 La Laguna. Tenerife. España.
- La astronomía en América Precolombina. David Fernando Arbeláez Duque. Contexto de Astronomía OAM. U.N. de Colombia.
- La astronomía de posición y tiempo. Perilla Triana, Wilson Yesid (2012):. Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.

Bibliografía 6

- La astronomía en Colombia: perfil histórico. Duque Escobar, Gonzalo (2011) In: Curso de Contexto en Astronomía. U.N. de Colombia.
- La astronomía en el país: hacia un despertar esperanzador. PORTILLA BARBOSA, José Gregorio En: Colombia. 1999. Muy Interesante. ISSN: 0122-3577 p.19 - 19 v.164.
- La Astronomía en la apuesta de Medellín por la Ciencia. Gonzalo Duque-Escobar (2009) Circular RAC 504. Colombia.
- La circunferencia en la observación del cielo. Ramírez Torres, Jaime (2012) Maestría thesis, U. Nacional de Colombia.
- La constante cosmológica: ¿el gran error de Einstein? Juan Manuel Tejeiro Sarmiento (2006) UN Periódico.
- La construcción de la era atómica. Alwyn Mckay. Biblioteca Científica Salvat 1986.
- La Exploración del espacio. NICOLSON, IAN. Biblioteca Juvenil Bruguera. 1980.
- La Luna. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. (2009) Observatorio Astronómico de Manizales OAM. U. N. de Colombia.. La creación. Peter W. Atkins. Biblioteca Científica Salvat 1986.
- *La misión Artemis a la Luna, se reprograma*. *Por:* Gonzalo Duque-Escobar. OAM de la U.N. de Colombia.
- La región de líneas coronales en galaxias seyfert 1 y seyfert 2. Portilla B., José Gregorio (2011). Doctorado thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- La Cuarta Dimensión. Rudy Rucker. Biblioteca Científica Salvat 1986.
- La evolución de la física. Albert Einstein y Leopold Infeld. Biblioteca Científica Salvat 1986.
- La Frontera del Infinito. Paul Davies. Biblioteca Científica Salvat 1986.
- *La ola de calor del 2004*. Por Gonzalo Duque-Escobar. Desde el OAM: Editorial de la Circular RAC No 301 de noviembre 12 de 2004. Act. 2025
- La rotación de la Tierra en la Edad Media. GONZÁLEZ, Vilbazo Kay E. Nicolás de Oresme. Revista Universo. Número 42. Página 30 a 35.Barcelona, ISNN: 1135-2876. Octubre de 1998.
- La radiactividad artificial. P. Radvanyi/M. bordry. Biblioteca Científica Salvat 1986.
- La revolución nanotecnológica. Duque-Escobar, Gonzalo 82020. U.N. de Colombia.
- La sed de los cafetos. Por: Gonzalo Duque-Escobar; Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales – IDEA: Boletín Ambiental N°6. Octubre 3 de 1992 (Act. 2022).
- La Teoría de la Relatividad. Armando Martínez Téllez, (2009).
- La Tierra Sólida y Fluida. Gonzalo Duque Escobar. Cap. 4 del Manual de Geología para Ingenieros. U.N. de Col.
- Las Cuatro Estaciones para reflexionar sobre cambio climático. Duque Escobar, Gonzalo (2011) Introito para el II Festival de Música Sacra. Interpretación Orquesta Sinfónica de Caldas y Agrupaciones Corales de Manizales. Centro de Convenciones Teatro los Fundadores
- Las estrellas. Duque Escobar, Gonzalo (2017) Guía Astronómica. Cap. Observatorio Astronómico de Manizales (OAM). U.N. de Colombia.
- *Las galaxias*. Duque Escobar, Gonzalo (2017) Guía Astronómica. Cap. Observatorio Astronómico de Manizales (OAM). U.N. de Colombia.
- Lentes gravitacionales de Janis-Newman-Winicour / Gravitational lenses of Janis-Newman-Winicour. Chaparro Orozco, Gustavo (2010) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Leyes de Kepler. Por Enzo De Bernardini · Astronomía Sur.
- La Distancia a M100 determinada por las estrellas Variables Cefeidas. Programa de Ejercicios de Astronomía de ESA/ESO.
- Las Flechas del Tiempo. Richard Morris. Biblioteca Científica Salvat 1986.
- *Las sombras del Ruiz (1985-2025)*. Por Gonzalo Duque-Escobar In: La Conmemoración de los 40 años del desastre de Armero, en la Academia de Historia del Tolima. 12-09-2025.
- Los Albores de la Ciencia. GOLDSTEIN, Thomas. Fondo Educativo Interamericano.. México. 1984.
- Los albores de la civilización. Duque Escobar, Gonzalo (2009) In: I Encuentro Internacional de Culturas Andinas, 20 Agosto de 2009, Pasto.
- Los cuerpos celestes, una aproximación a los lineamientos de astronomía como asignatura. Rodríguez Vega, Germán Hernando (2012) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Los seis eclipses del 2020. Gonzalo Duque-Escobar. (2020) Observatorio Astronómico de Manizales OAM.

Bibliografía 7

- Los Sonámbulos. I y II. Arthur Koestler. Biblioteca Científica Salvat 1986.
- Luz del Confín del Universo. Rudolf Kippenhahn. Biblioteca Científica Salvat 1986.
- *Llega el invierno, ¿pero la vulnerabilidad qué? .* Gonzalo Duque-Escobar; Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, octubre 2 de 2011.
- *Llegamos a Marte.* Gonzalo Duque-Escobar; Profesor de la Universidad Nacional de Colombia. Febrero 22, 2021.
- Manual de Geología para Ingenieros. Duque-Escobar, Gonzalo. Universidad Nacional de Colombia 2019.
- Más allá de las profecías Mayas. Duque Escobar, Gonzalo (2011) Circular Red Colombiana de Astronomía RAC (609).
- Materia y energía oscuras, ¿que son? G.A. Caldera-Cabral y L.A. Urena-López.Instituto de Física, U. de Guanajuato, México,
- Mecánica estadística de la termodinámica de black shells. Rojas Castillo, Wilson Alexander (2018) Doctorado thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.
- Mitología germánica ilustrada. BRANSTON, Brian. Título original Gods of the North Vergara Editorial. Barcelona. 1960.
- Modelo académico administrativo para el Planetario de Manizales. Torres Arango, Claudia (2002) Pregrado Thesis, Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales.
- Modelamiento de variaciones magnéticas en la superficie solar y su asociación a fuentes sísmicas generadas por flares. Alvarado Gómez, Julián David (2012) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Modelos Cosmológicos en Teorías de Gravedad Modificada f(R) / Cosmological Models in Modified f(R) Gravity Theories. Guarnizo Trilleras, Alejandro (2011) Maestría thesis, U. Nacional de Colombia.
- Monografía: Panorama de la astronomía moderna. ERNUSCHI, Félix, CODINA, Sayd. Secretaría General de los Estados Americanos. Tercera edición. Washington D.C. 1976.
- Newton. Duque Escobar, Gonzalo (2020) Manizales, Caldas, Colombia.
- Newton I y II. Gale E. Christianson. Trad. Domingo Santos. Salvat Editores. Barcelona 1987.
- NOTICIERO SIDERAL. GALILEO GALILEI. Edición Conmemorativa del IV Centenario de la publicación de Sidereus Nuncius. Traducción del latín, a partir de la edición de Venecia 1610: Ramón Núñez Centella y José Manuel Sánchez Ron. MUNCYT. La Coruña y Madrid, 2010.
- Nueva Astronomía Recreativa. KOMAROV, V. Editorial MIR. Moscú. 1985. Observar el cielo. LEVY, David H. Editorial Planeta. Barcelona. 1995.
- "On the Magnetic Field Variations and HXR Emission of the First X-class Flare in the 24th Solar Cycle". Benjamin Calvo M (2011). Bulletin Of The American Astronomical Society.
- Obras completas de Francisco José de Caldas, R.I. de la Universidad Nacional de Colombia (1966) Bogotá, http://www.bdigital.unal.edu.co/79/
- *Observatorio de alta montaña para la astronomía de Colombia*. Gonzalo Duque-Escobar. Documento del Observatorio Astronómico de Manizales OAM. CIRCULAR RAC 451 de 2008, Act. 2021.
- Observatorio Astronómico Nacional. Ciencia y Memoria para la Sociedad. Badawi, Halim and Roa Triana, Julian and Torres Carreño, Guillermo Andrés and Cortés, Diego and Castell, Edmon (2008) [Exhibición - Show/Exhibition]
- ÓRBITAS EN EL SISTEMA SOLAR: Leyes de Kepler, Cónicas, Movimiento orbital. Ana Inés Gómez de Castro. In: Introducción a la astronomía. Taller de Astronomía. Fac. de Ciencias Matemáticas. Universidad Complutense de Madrid.
- Origen y evolución del concepto de Universo. Marín Beltrán, Jorge Humberto (2012) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Otra prueba de la TGR: el agujero negro en M87. Duque Escobar, Gonzalo (2019) [Objeto de aprendizaje - Teaching Resource]
- Otros mundos. Paul Davies. Biblioteca Científica Salvat 1986.

Bibliografía 8

- Parámetros de anisotropía en teoría f(R). Sierra Moreno, Juan Sebastián (2016) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.
- *Periplo científico de Humboldt por América*. Duque Escobar, Gonzalo. Observatorio Astronómico de Manizales (OAM). Manizales, 2019-08-12.
- Perfil de masa de Abell 370 a partir de sus propiedades como Lente Gravitacional. Hurtado Mojica, Roger Anderson (2013) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Perturbaciones cosmológicas en teorías de gravedad escalar-tensor. Velásquez Celis, Joel José (2018) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Planetas. ATTANER LÓPEZ, Eduardo. El libro de bolsillo Alianza Editorial. I.S.B.N.: 84-206-0543-3. Madrid. 1991.
- Planetas del Sistema Solar. MÁROV, M. Editorial Mir Moscú. URSS. 1985.
- Practical Astronomy. FATH, EDWARD ARTHUR. Astronomical Series. Mac Graw-Hill. 1932 - 1948.
- Primer alunizaje en la cara oculta de la Luna. Duque Escobar, Gonzalo (2019) Documentación. U.N de Colombia.
- Principios de relatividad general. TEJEIRO SARMIENTO, Juan Manuel (2005), Ed: Unibiblos. Colombia.
- Problema "ALEPH": planteamiento y solución a un problema topográfico. Duque Escobar, Gonzalo (1984). Documento U.N. Manizales, Caldas, Colombia.
- Problema de los dos cuerpos extendidos en Relatividad General bajo la Aproximación Post-Newtoniana. Almonacid Guerrero, William Alexander (2013).. Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Problemas y ejercicios prácticos de Astronomía. VORONTSOV-VELIAMINOV, B. A. Editorial MIR. Moscú. 1979.
- Procesos para una Astronomía que le aporte a Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2011) Circular de le Red de Astronomía de Colombia RAC (621).
- Producción de ondas Langmuir en los procesos de interacción fotosfera-cromosfera solar. Jiménez Martínez, Fabián Steven (2017) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.
- Pronósticos a lo largo del tiempo para el macroclima. Por: Gonzalo Duque-Escobar. Ed. RAC 466. Observatorio Astronómico de Manizales OAM. February 23, 2008.
- Propiedades métricas de sistemas rotantes relativistas con simetría axial. Torres Suárez, Sergio Andrés (2016). Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.
- Propuesta didáctica para la enseñanza de fenómenos de movimiento en el sistema sol-tierra – luna. González Valcárcel, Adriana Paola (2012). Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Propuesta didáctica para la enseñanza de la astronomía general en la escuela. Baquero Soler, Alvaro (2019). Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.
- Propuesta didáctica para la medición de la masa de un agujero negro utilizando imágenes astronómicas y la tercera ley de Kepler. Guerrero Peñuela, Germán (2014) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Prospectiva alimentaria y desarrollo. Duque Escobar, Gonzalo. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. La Patria. 2020.07.13.
- Química I. MARTINEZ, Juan de Dios. PIME Editores. Bogotá. 1987.
- Relatividad de Galileo. FERNÁNDEZ, Hugo. Curso de Relatividad Especial UTN de Argentina
- Relatividad Especial y General. GERBER, Willy H. (2005) Instituto de Física. Universidad Austral de Chile. In: Asociación de Astronomía y Astronáutica. Relatividad para niños. El Adelantado de Indiana, Diciembre 2007, nº 7,
- Relatividad para niños. CORRALES RODRIGÁÑEZ, Capi. El Adelantado de Indiana, Diciembre 2007, nº 7, www.eladelantadodeindiana.co.nr
- Relativity the special and general theory by Albert Einstein. Translated by Robert W. Lawson, D.Sc. F. Inst. P. University ofSheffield. Reston James. Galileo. Ediciones B, S. A. Barcelona. 1996.

Bibliografía 9

- Semblanza del Padre Adolfo Hoyos Ocampo. José Germán Hoyos (2008). Academia Caldense de Historia. Manizales.
- Semillero de astronomía: un acercamiento a la ciencia y la investigación en la I.E Yermo y Parres de la ciudad de Medellín. Giraldo Cano, Ana María (2014) Documento de trabajo. Medellín.
- Significado de un bisiesto y balance del 2016. Duque Escobar, Gonzalo (2017) La Patria, Manizales, Colombia.
- Siete lustros de la Sociedad Julio Gravito. Duque Escobar, Gonzalo (2011). Circular RAC (612). Colombia.
- Simulación de colisión de dos galaxias para estudiar la formación de las galaxias enanas esferoidales satélites de la Vía Láctea. Bohórquez Pacheco, Omar Alfonso (2016) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá.
- Simulaciones numéricas de n-cuerpos de la formación de la galaxia enana sagitario y sus corrientes de marea a partir de un progenitor con forma de disco estelar. Camargo Camargo, Yeimy Dallana (2015) , Universidad Nacional de Colombia.
- Sinergia y pertinencia en las ciencias básicas. Duque Escobar, Gonzalo (2011) Circular RAC 599, Colombia.
- *Sobre la fragilidad del hábitat humano*. Gonzalo Duque-Escobar. Ed. Circular RAC 560. Observatorio Astronómico de Manizales OAM. U.N. de Colombia. April 23, 2010.
- Sobre la nueva Ley de Ciencia, Tecnología e Innovación. Duque Escobar, Gonzalo (Abril 2009) Ed. Circular RAC 510.
- *Sobre "Los 50 años de la NASA"*. Por: Gonzalo Duque-Escobar. Ed RAC 486. September 26, 2008. U.N. de Colombia.
- Sondas a planetas mayores del Sistema Solar. Claudia Torres Arango (2017). Observatorio Astronómico de Manizales – OAM.
- *Sonda Huygens llega a Titán*. Por: Gonzalo Duque-Escobar; Ed Circular RAC 415 del 25 de diciembre de 2004.
- Sobre la teoría especial de la relatividad. TEJEIRO SARMIENTO, Juan Manuel (2005). Ed: Panamericana, Bogotá.
- *Sobre la naturaleza antrópica del desastre*. Entrevista a Gonzalo Duque-Escobar. En: Revista Semana. April 21, 2017. Bogotá.
- Sobre la teoría especial y general de la relatividad. EINSTEIN, Albert. The Albert Einstein Archives, Trad: Miguel Paredes Larrucea. The Jewish National & University.
- *Sobre "Los 50 años de la NASA"*. Por: Gonzalo Duque-Escobar. Ed RAC 486. September 26, 2008. U.N. de Colombia.
- Sol, clima y calentamiento global. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. (2014) La Patria.
- Sol, lunas y planetas. Claudia Torres Arango. Contexto de Astronomía del OAM. U.N. de Colombia, Sede Manizales.
- Sol, Lunas y Planetas. KEPPLER, ERHARD. Biblioteca Científica Salvat. 1986. Library. The Hebrew University of Jerusalem, Israel. Alianza Editorial, S.A. Madrid.
- *S.O.S por presión antrópica sobre el Río Grande.* Gonzalo Duque-Escobar. Museo Samoga de la U.N. de Colombia Sede Manizales. 14 12 2020.
- Stephen Hawking. Duque Escobar, Gonzalo (2009) In: Año Internacional de la Astronomía IYA 2009, OAM. Manizales.
- Super-Fuerza. Paul Davis. Fuerza. Biblioteca Científica Salvat 1986.
- Taller de Astronomía. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. (1988) Multitaller de Ciencia y Tecnología. U. N. de Colombia..
- Termodinámica de Agujeros Negros de Kerr en la Aproximación Euclidiana de Gibbons-Hawking. Serna Bedoya, Juan Camilo (2016) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá.
- Teoría de perturbaciones cosmológicas en la era de radiación. Vija Suarez, Oscar Javier (2017). Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.
- Teoría de perturbaciones cosmológicas en teorías de gravedad modificada f(R). Molano Moreno, Daniel Alejandro (2015) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia-Bogotá.
- Saturno, tormentas ecuatoriales. SÁNCHEZ LAVEGA, Agustín. En Revista Universo, Astronomía y Astronáutica. No. 30, octubre 1997. Barcelona.
- Secretos del Cosmos. ROMAN, Carlos A. Biblioteca Básica Salvat. 1969.

Bibliografía 10

- Teoría del Todo. BARROW, Jhon D. Biblioteca de Bolsillo Editorial Crítica. 2004.
- *Tiempo geológico*. Duque Escobar, Gonzalo (2017) In: Manual de geología para ingenieros. N. de Colombia – Sede Manizales, Manizales, Colombia.
- *Tiempo y Calendarios*. Duque-Escobar, Gonzalo. Observatorio Astronómico de Manizales OAM. U.N. de Colombia. Manizales. 2020-09-27.
- The Life of Albert Einstein. HOFREITER, Liz. ETE 100 03. Bradley University. August 29, 2005
- Thermo Field Dynamics, Boulware and Hartle-Hawking States. Muñoz Arboleda, Diego Felipe (2017) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá.
- TIMEO. Edición de Patricio de Azcárate. In Platón, Obras completas, Tomo 6, Madrid 1872.
- Tránsito de Mercurio. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2016) [Teaching Resource] U. N. de Colombia, Sede Manizales.
- Tránsito de Venus del 8/06/2004. Duque Escobar, Gonzalo (2004) Documento de trabajo. Red de Astronomía de Colombia RAC, Manizales, Caldas, Colombia.
- Tránsitos Planetarios. Cálculo distancia Tierra-Sol a partir de imágenes de tránsitos planetas interiores (Venus o Mercurio). Miguel Ángel Pío Jiménez; Juan Carlos Casado; Miquel Serra-Ricart; Lorrain Halon; y Luciano Nicastro. ACTIVIDAD 8. Instituto de Astrofísica de Canarias y FECYT; España.
- Trayectoria de partículas cerca de un agujero negro cargado inspirado en geometría no-conmutativa. Calderón Sánchez, Kenyi Javier (2013) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Tycho Brahe. José Maza Sancho (2016). Curso EH2801. Departamento de Astronomía. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. UNIVERSIDAD DE CHILE.
- *Últimos años: creación de la escuela*. Gonzalo Duque-Escobar. Observatorio Astronómico de Manizales OAM. August 17, 2010.
- UMBRA: la Ecorregión Cafetera en los Mundos de Samoga. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.
- Un modelo relativista para sistemas satelitales de navegación global. Toledo Cortés, Santiago (2015) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.
- "Un modelo solar multi-politrópico de exponente radialmente variable". CALVO M, Benjamín (2010). Revista Colombiana de Física ISSN: 0120-2650 Ed: Revista De La Sociedad Colombiana de Física. Colombia.
- *Un nuevo modelo educativo.* Duque Escobar, Gonzalo. 10-06-2013. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales Observatorio Astronómico de Manizales (OAM).
- *Un pacto con la sociedad y la naturaleza*. Gonzalo Duque-Escobar, Miembro SMP Manizales; Propuesta de la Federación Nacional de SMP. Mayo 21 de 2020.
- *Un país con grandes retos ambientales.* Duque Escobar, Gonzalo. Gonzalo Duque-Escobar; Universidad Nacional de Colombia. 2019-10-21.
- ¿Un único esquema de explicación para las Ciencias Empíricas? Carolina García Sánchez (2016). Disertaciones (5) 2, 28- 38. Fundación Dialnet. Universidad de La Rioja.
- Un universo infinito. BRIX, James. Revista Universo. No. 37, mayo 1998. Página 36 a 41. España. 1998.
- Understanding Variable Stars. John R. Percy. University of Toronto, Toronto, Ontario, Canada 2007.
- Una transición de la geometría a la trigonometría, utilizando problemas históricos de la astronomía. Caballero Soler, Oscar Orlando (2013) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Viaje a través del Universo. Ediciones Folio, Time-Life. Tomos 3, 4, 35, 36. Barcelona. 1996. Vida en otros mundos. PUERTA RESTREPO, Germán. Editorial Planeta.
- Vuelo interplanetario: una manera de implementar la astronomía en la educación. Orjuela León, Natalia del Pilar (2012) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- *Webb, el telescopio capaz de descifrar grandes misterios*. Gonzalo Duque-Escobar; Observatorio Astronómico de Manizales OAM. In: Semanario Razón Pública. Enero 24 de 2022.
- *Webb, encuentra indicios de vapor de agua en exoplaneta*. Por: Gonzalo Duque-Escobar, In: *Razón Pública*. Bogotá, mayo 8 de 2023.
- What is the experimental basis of Special Relativity?. Tom Roberts and Siegmar Schleif (2007).
- *¿Y el agua en Colombia qué?* Por: Gonzalo Duque Escobar, Universidad Nacional de Colombia, SMP de Manizales y SCIA. Abril 25 de 2021.]
- *Y el invierno… ¿Qué deja y para dónde va?.* Por: Gonzalo Duque-Escobar, Documento del publicado en Razón Pública. Manizales, junio 21 de 2021.
- *¿Y la transición ecológica, qué?*. Por: Gonzalo Duque-Escobar* Documento del Museo Interactivo Samoga. La Patria. Manizales, noviembre 6 de 2023.