

Universidad Nacional de Colombia

Observatorio Astronómico de Manizales OAM

IYA 2009-Manizales



Stephen Hawking: gravedad cuántica y origen del Universo

Por Gonzalo Duque-Escobar
Manizales, Julio de 2009 (Act 2022)

Este documento se basa en un resumen del libro “Stephen Hawking para principiantes”, de Mc Evoy y Zárata, enriquecido con complementos de La bibliografía anexa del propio autor.



Stephen Hawking (1942-2018)

Este **connotado físico, cosmólogo** y divulgador científico del Reino Unido nacido en Oxford y sucesor de la Cátedra Lucasiana, es el más famoso de los teóricos de la física del último medio siglo. Aunque como consecuencia de la esclerosis lateral amiotrófica, muere en 2018, estando vivo fue una **figura legendaria** de dimensiones trágicas:

- Científico brillante.
- Autor de la “Breve historia del tiempo.
- Confinado a una silla de ruedas.
- Imposibilitado para hablar y escribir.

Domina **dos grandes teorías** físicas:

- La Relatividad General.
- Mecánica Cuántica.

En ellas ha encontrado **dos puntos de insuficiencia y superposición**, como son:

- Los bordes de los agujeros negros.
- El origen del Universo.

¿Qué se tiene en Gravedad Cuántica?

- ¿Qué pasa **si alguien cae a un Agujero Negro**?
 - Cada vez va sintiendo fuerzas gravitacionales de **marea**, mayor en los pies que en la cabeza, tirón de **alargamiento**.
- El observador externo ¿qué vería?
 - Ve la imagen del que cae y se va congelando gradualmente pero nunca lo verá alcanzar el horizonte de sucesos. Esto es una ilusión óptica pues **la luz cada vez tarda más** tiempo en salir y llegar al observador.
- ¿Puede el Agujero Negro absorber toda la masa del Universo?
 - No, el Horizonte de Sucesos es un límite y desde afuera **la materia lejana no queda influenciada**.
- ¿Cómo se detecta el Agujero Negro?
 - Observando **discos de acreción** y por la **irradiación** de cuerpos calientes que tienen o presentan. Cignus X1 emite Rayos X: $T > 1 \times 10^6 \text{ C}^\circ$.

Mitos sobre agujeros negros

- El agujero negro **absorbería** toda **nuestra galaxia**.
 - **No**, su alcance es el horizonte de sucesos.
- Todas **las estrellas mueren** como agujeros negros.
 - **No**, sólo las de gran masa.
- El **agujero negro** de Cignus X1 **está devorando** su compañera gigante azul.
 - **No**, es un efecto.
- La **materia** de este lado **sale** a otro universo.
 - **No**.
- La **gravedad** en el agujero negro es **diferente** a la de un cuerpo normal.
 - **No**, las leyes son universales.
- Los agujeros negros **son muy densos**.
 - **No**: Densidad = m/r donde m es masa y r = el radio del horizonte de sucesos, y r tiene valor.

El ALS y su esposa Jane

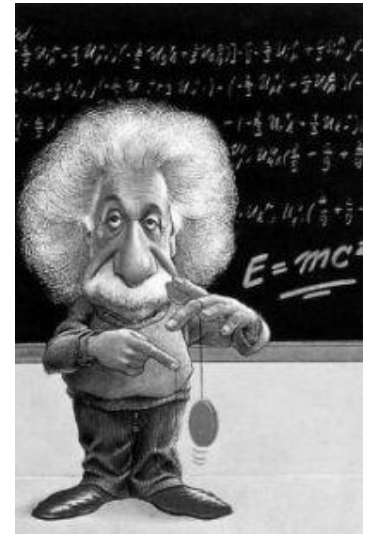
- ¿Es Usted dichoso?
- **Si en todo**, excepto por la enfermedad en la neuronas motoras, pero a pesar de ellas he triunfado.
- La enfermedad surge en 1962, al graduarse en **Oxford** con calificaciones sobresalientes y haber sido aceptado para el posgrado en **Cambridge** (Inglaterra).
- La enfermedad del **ALS** (esclerosis lateral amiotrófica), ataca las neuronas motoras, es **incurable y fatal**. Le dieron dos años de vida.
- En 1962 conoce a **Jane Wilde**, y le asignaron como tutor a **Dennis Sciama** (1926-1999), gran cosmólogo relativista. Antes esperaba como tutor para la tesis a **Fred Hoyle** (1915-2001).

Sciama y Penrose, dos soportes para Stephen Hawking

- Como físico teórico, **requiere de un instrumento únicamente: su cerebro** y éste no ha sido afectado. Jane será su gran complemento y Sciama se entenderá bien con Hawking.
- Poco después conoce a **Roger Penrose** (1931), brillante matemático que se aplica a los agujeros negros. Este es el tercer soporte de Stephen Hawking.
- Con Penrose, aprende **herramientas analíticas** para aplicar a los agujeros negros en su tesis doctoral y ubicarse en el corazón de la física teórica convencional.
- Apenas empieza su invalidez por enfermedad; se casa en 1965, y adicionalmente empieza a aplicarse a la Teoría General de la Relatividad, de 50 años atrás, para examinar **problemas cosmológicos**.

La T G R de Albert Einstein 1

- En la **década de los 60** se inicia la **Edad de Oro** de las investigaciones cosmológicas relativistas, y Stephen Hawking está preparado para entrar como cosmólogo relativista.
- ¿Qué es la Teoría General de la Relatividad?
Veamos:
- Berlín, 1915, **Albert Einstein** (1879-1955) concluye ésta teoría, dándole una estructura matemática que emplea espacio curvo para explicar la gravedad.
- La **cosmología moderna se inicia en 1919**, dos años después de la Teoría General de la Relatividad cuando Albert Einstein publica el artículo “Consideraciones Cosmológicas” aplicando la teoría al Universo íntegro.
- La **cosmología es el estudio del Universo** en su conjunto. La **gravedad** determina la **estructura del Universo** a gran escala.



<http://godues.spaces.live.com>

La T G R de Albert Einstein 2

- Hace poco se creía que **la Cosmología era seudociencia** pero del 60 al 90, coincidiendo con la carrera de Stephen Hawking, ha mostrado su enorme eficiencia respecto a la de la física experimental (partículas).
- La Cosmología **es ahora ciencia**, por:
 - Desarrollos de la **Astronomía Observacional** que llega a las galaxias más lejanas.
 - Se demostró que la Teoría General de la Relatividad de Albert Einstein **es precisa y confiable**, al evaluar la gravedad en todo el cosmos.
- Recuérdese que **la física es acumulativa**: cada teoría requiere de sus cimientos en otras, pero sobre ella se puede edificar otra teoría al concordar las ideas con las nuevas pruebas (por ejemplo, Newton 1642-1727).

Gravedad cuántica = TGR más Mecánica Cuántica

- Por ejemplo, la Ley de **la Gravedad de Newton funciona** exacta en la Tierra **donde la gravedad es pequeña**, pero no en campos gravitatorios intensos.
- También la Teoría General de la Relatividad debe ser sustituida por la **Mecánica Cuántica** cuando se estudian interacciones **a escala microscópica**, como lo es la singularidad del Big Bang o el borde de un agujero negro.
- Stephen Hawking es el teórico con mayores posibilidades para construir una nueva teoría **de la gravedad cuántica**, en su momento, fruto de unir la Teoría General de la Relatividad y la Mecánica Cuántica.
- **La Teoría del Todo** es un mal nombre para hablar de **Gravedad Cuántica**.

La fuerza de la gravedad

- Newton acuña el concepto de **fuerza gravitatoria**, definida como:

$$F = \frac{G m m}{d^2} \quad G = 6,67 \frac{10^{-11} \text{Nm}^2}{\text{Kg}^2}$$

- En física, **el Newton (N)** es unidad de fuerza del Sistema Internacional de Unidades, y se define como la fuerza necesaria para proporcionar una aceleración de 1 m/s^2 a un objeto cuya masa es de 1 kg .
- Como **el peso es la fuerza que ejerce la gravedad** en la superficie de la Tierra, **el Newton es también una unidad de peso**.
- Una masa de un kilogramo tiene un peso de unos $9,81 \text{ N}$.
- Un Newton equivale al peso de una pequeña manzana.

Cuatro fuerzas fundamentales

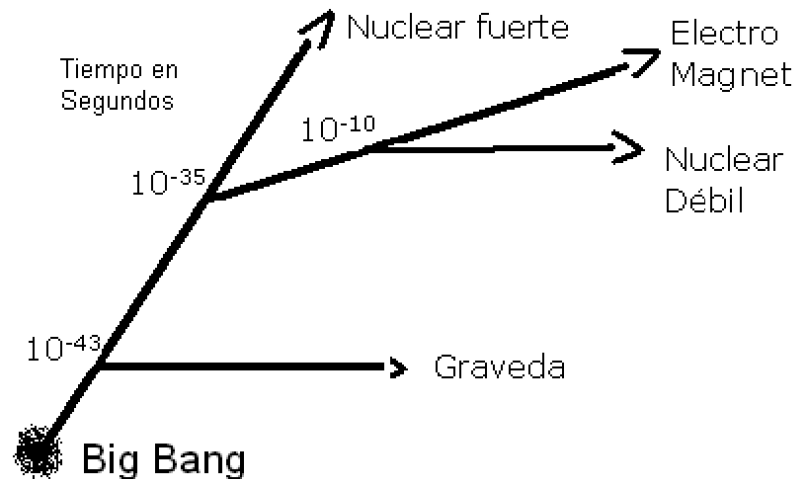
- **Son ellas** la gravedad, el electromagnetismo y dos fuerzas a escala atómica.
- El **Electromagnetismo**, fuerza de largo alcance, con polaridad y que es la base de las reacciones químicas que une a los átomos entre sí.
- La fuerza **Nuclear Fuerte**, de corto alcance y que une neutrones y protones (ver fusión y fisión nuclear)
- La fuerza **Nuclear Débil**, de corto alcance y que explica la unión de partículas alfa y beta de la radiactividad espontánea.
- La **Gravedad**, una fuerza unidireccional de más largo alcance aunque poco intensa, y que responde por la estructura del Universo a gran escala.

Intensidad y tiempo en las fuerzas

- En **intensidades**, la menor de las cuatro fuerzas es la gravedad, y el orden de las intensidades es:

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

- En **el tiempo**, después del Big Bang, a los 10^{-43} segundos, la gravedad es la primera fuerza que surge, a los 10^{-35} segundos se separa la fuerza nuclear fuerte, y finalmente a los 10^{-10} segundos la electromagnética y la nuclear débil se divorcian. La figura muestra la secuencia.



Valorando la gravedad

- La **fuerza entre dos luchadores** de Sumo, de 135 K/n, y a 1 metro es:

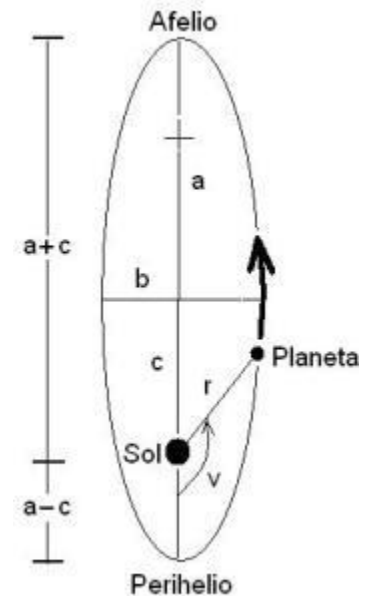
$$F = 6,67 \frac{135 \times 135}{1\text{m}^2} 10^{-11} = 1,2 \times 10^{-5} \text{ N}$$

- O también $1,2 \times 10^{-6}\text{kg}$, valor equivalente a menos de 1/1000 de la fuerza necesaria para levantar una servilleta.
- La fuerza que atrae a cada luchador de Sumo de masa m_s **hacia el suelo** es función de la masa de la Tierra m_T , por lo que en función de m_s , la fuerza F vale

$$F = G \frac{m \times m_T}{R^2} = (89,7 \text{ Kg})m_s$$

Principia (1687)

- “**Principia**” surge del debate entre Edmund Halley (1656-1742), el arquitecto Christopher Wren (1632-1723) y Robert Hooke (1635-1703), cuando le solicitan a Newton explicar la atracción Tierra-Sol y demostrar por qué la fuerza F tenía por denominador R^2 , a lo que les responde sin vacilar que **la órbita es elíptica**, y agrega que ese desarrollo ya lo ha efectuado.
- Esto que había señalado Kepler (1571-1630) al **refutar las órbitas circulares y epiciclos** con su primera Ley, no se había formulado matemáticamente.
- La respuesta de Newton para Halley llega a los tres meses en un manuscrito de nueve páginas, y serán el **antecedente de su obra cumbre**, titulada “Philosophiae Naturalis Principia Mathematica”, que aparecerá 4 años después.



La Cátedra Lucasiana

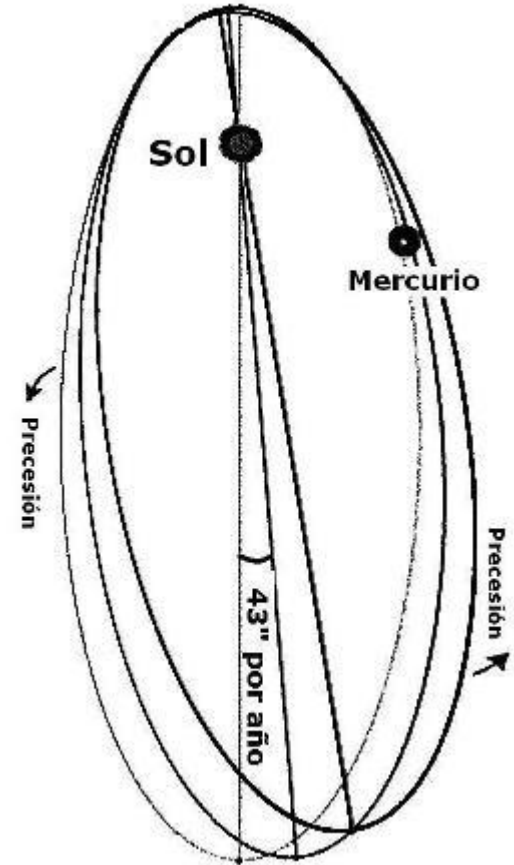
- La **Cátedra Lucasiana** de Matemáticas creada por el Parlamento inglés y establecida oficialmente por Carlos II, se inaugura en la **Universidad de Cambridge** en 1664.
- Si Newton estuvo en Cambridge, Hawking también.
- Si Newton explicaría el Universo observable con su teoría de la Gravitación Universal, Hawking lo intenta con la Teoría General de la Relatividad de Einstein.
- Ambos han sido distinguidos en Cambridge como **profesores titulares** de la Cátedra Lucasiana.



Newton en: <http://i33.tinypic.com>

Algo pasa con Mercurio

- Si pudo ponerse a prueba la Teoría de la Gravitación de Newton descubriendo a Neptuno por **las perturbaciones** en Urano, no fue posible con esta teoría explicar **la precesión de unos 43 segundos de arco por siglo**, entre el valor observado y el calculado, para el perihelio de la excéntrica órbita de Mercurio.
- La explicación de la discrepancia no explicada por la **Teoría de la Gravitación General**, es ahora una dura evidencia experimental de la validez de la **Teoría General de la Relatividad** propuesta en 1915.
- **La causa es el cambio de la curvatura del espacio** a lo largo de la trayectoria del planeta, que se acentúa en las proximidades del Sol.
- La **precesión** es el cambio gradual de la dirección del eje de la órbita alrededor del Sol, **a medida que gira el planeta.**



Masa no es igual que peso

En la Luna pesamos 1/6 del peso en la Tierra. Veamos cuál es el peso para una persona cuya masa es 60 Kg, si Fuerza es el producto de masa por gravedad y la aceleración de la gravedad en la Tierra es de $9,8 \text{ m/s}^2$, dado que la gravedad en la Luna es 1/6 menor que en la Tierra, tenemos:

- En la Tierra: $\text{Peso}_T = mg_T = 590 \text{ N} = 59,87 \text{ Kg}$
- En la Luna: $\text{Peso}_L = mg_L = 97 \text{ N} = 9,89 \text{ Kg}$

De otro lado, si

$$F = m_{\text{inercial}} \times a$$

$$F = G \frac{M_{\text{gravit}} * M_{\text{gravit}}}{R^2}$$

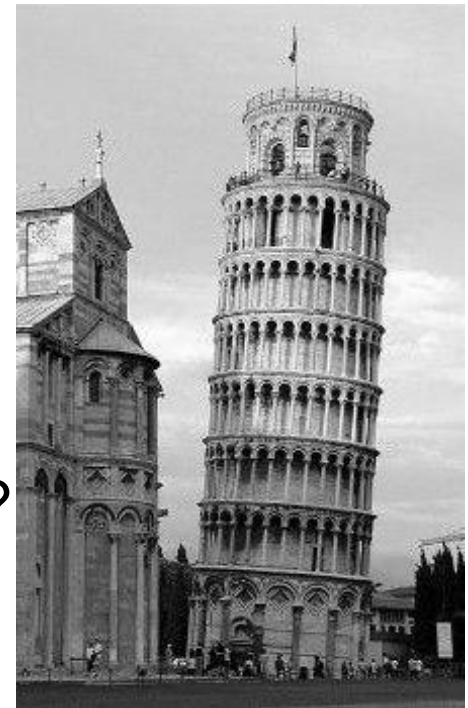
Newton no explica la diferencia entre ambas masas: la masa gravitacional entre dos cuerpos que se atraen y la masa inercial de un cuerpo de masa “m”, al que se le imprime una aceleración “a”. Los valores de la fuerza efectiva de la gravedad en el Ecuador y en los polos, son respectivamente:

$$|\vec{g}_{ec}| = 9,78 \frac{m}{s^2} \quad |\vec{g}_{po}| = 9,8322 \frac{m}{s^2}$$

Fuerza a distancia V. S. Espacio deformado

Una pregunta: **si desaparece el Sol instantánea y definitivamente** ¿Por qué si desaparece con el su gravedad pero no la luz que durará 8 minutos más?

- Einstein quiso explicar la gravedad de otro modo, puesto que según Galileo **la caída de un cuerpo no depende de su masa.**
- Entonces: ¿es que de pronto la gravedad no es una fuerza sino **una propiedad del medio?**
- Así Einstein se propone salvar la **diferencia entre masas gravitacional y masa inercial**, y las incongruencias de la física clásica heredada de Galileo, Newton y Maxwell.



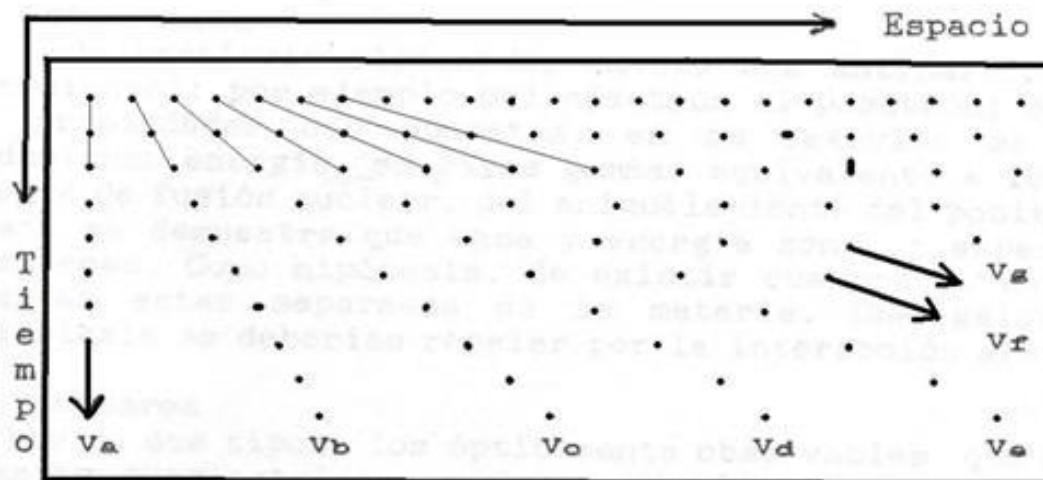
Pizza en: <http://i31.tinypic.com>

Tiempo y espacio

- Albert Einstein (1879-1955) **desecha los conceptos newtonianos** de Tiempo universal y Espacio absoluto.
- Para lo anterior debe postularse que: $V_{\max} \leq c$ donde “c” es la velocidad de la luz, y esto es lo que expresa la Teoría Especial de la Relatividad.
- Además, el propio espacio-tiempo posee **una métrica que cambia con el tiempo**, conforme el Universo se expande. La métrica que describe formalmente la expansión en el modelo estándar del Big Bang se conoce como Métrica de Friedman-Lemaitre- Robertson- Walker.
- El **Universo estático que Einstein** consideró inicialmente en la Teoría General de la Relatividad, difiere fundamentalmente del Universo en expansión que Edwin Hubble (1889-1953) descubre en la recesión de las galaxias, y que presenta en 1929.

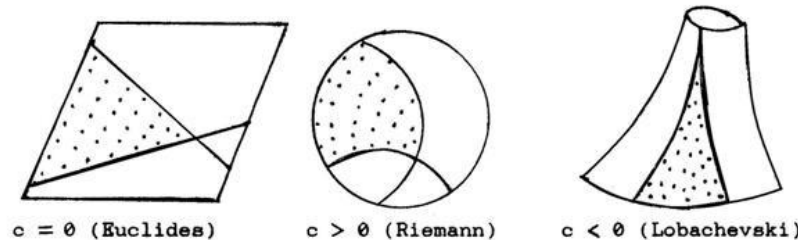
Universo en movimiento

- Si el **“tiempo propio”** de acuerdo con Einstein varía de un lugar a otro con la métrica del espacio, el concepto de **“tiempo universal”** es un promedio estadístico del tiempo en un momento dado del Universo.
- También la **expansión del espacio** que muestra Hubble **es relativista** y por lo tanto difiere de cualquier otro tipo de expansión, como la observada en el movimiento propio de las galaxias



Topología para una geometría

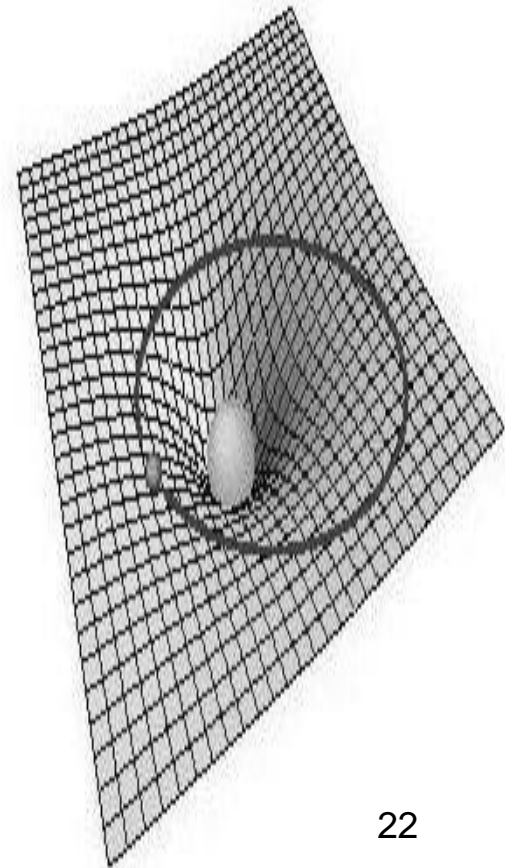
- La idea de Einstein es la del **espacio curvo**, y para ella aprendió de **Marcel Grossman (1878-1936)** la geometría de **Riemann**, del modo como lo hizo Hawking con **Roger Penrose (1931-)** para aprender técnicas topológicas de la teoría de las singularidades, aplicables a los agujeros negros.



- La **Topología** es el estudio de aquellas propiedades de los cuerpos geométricos que permanecen inalteradas por transformaciones continuas.

La geometría del espacio

- Sentado en la mesa de patentes de Berna en 1907, se preguntó **si una persona al caer siente o no su propio peso**. Así nace la Teoría de la Gravitación de Einstein ya que para quien cae no hay campo gravitatorio, por lo que puede interpretar su estado como reposo o como movimiento uniforme. Aquí se excluye el efecto del aire.
- Pero si todos los cuerpos caen con igual aceleración (la masa gravitacional e inercial son iguales) **basta con que un solo cuerpo se mueva diferente para percatarse de que existe un campo gravitatorio** y de que se está cayendo.

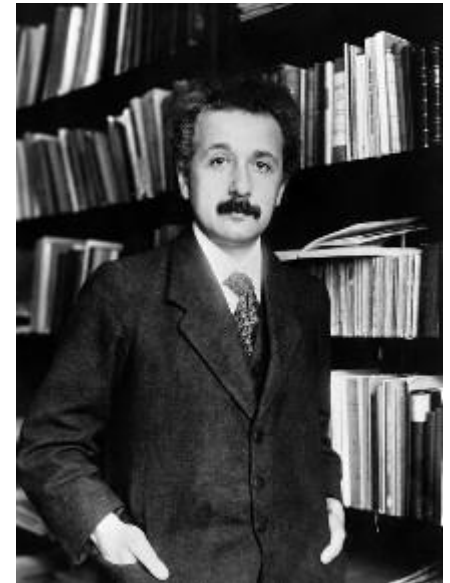


Principio de equivalencia

- Para probar sus ecuaciones, Albert Einstein utiliza las 3 P:
 - Principio de Relatividad.
 - Perihelio de Mercurio.
 - Principio de Equivalencia.
- **Las ecuaciones tenían igual forma** con independencia del marco de referencia.
- El **principio de equivalencia** es el principio físico fundamental de la relatividad general y de varias otras teorías métricas de la gravedad.
- Afirma que puntualmente **es indistinguible un sistema campo gravitatorio de un sistema de referencia** no inercial acelerado.
- Este principio fue utilizado por Einstein para intuir que **la trayectoria** de las partículas **en caída** libre en un campo gravitatorio **depende únicamente de la estructura métrica de su entorno**, y por lo tanto del comportamiento de los metros y de los relojes patrones, en torno suyo.

Albert Einstein (1879-1955)

- Es el científico más conocido y considerado el más importante del siglo XX. En su Teoría de la Relatividad Especial de 1905, presenta **la ecuación de la física más conocida** a nivel popular $E=mc^2$ que revela la equivalencia entre masa y energía.
- El 25 de noviembre de 1915 en la Academia Prusiana Albert Einstein presentó su **Ley de la Relatividad General** del espacio curvo y el espacio retorcido.
- El profesor de 36 años había producido un conjunto de ecuaciones que **relacionaba la distribución de la masa y la forma del espacio** en el Universo.
- **La materia le indica al espacio como curvarse y éste a ella como moverse.**
- Esta era una **nueva forma de describir la gravitación, sin fuerzas.**



Einstein en: <http://osmoothie.com/>

La Relatividad General

- Para pasar de la Teoría Especial de la Relatividad a la Teoría General de la Relatividad, fueron **claves** para Albert Einstein los aportes de:
 - **Maxwell** (1831-1879) en el electromagnetismo.
 - **Hertz** (1857-1894) y **Lorentz** (1853-1928) en el concepto de campo.
 - **Minkowsky** (1864-1909) y **Riemann** (1826-1866), sobre espacio pseudo euclídeo y geometría curva de radio constante.
- Según Albert Einstein cuando un cuerpo queda libre de toda fuerza **con su trayectoria mostrará la forma del espacio tiempo.**
- Contrario a lo que aporta la física clásica, **la geometría del Universo no es euclidiana**, sino en cuatro dimensiones, y además cerrado y finito.
- **El espacio se curva por cuerpos con gran masa.**
- La Teoría General de la Relatividad y la Teoría Especial de la Relatividad, **cambian y transforman los conceptos de distancia y de duración.**

Gravitación sin fuerzas

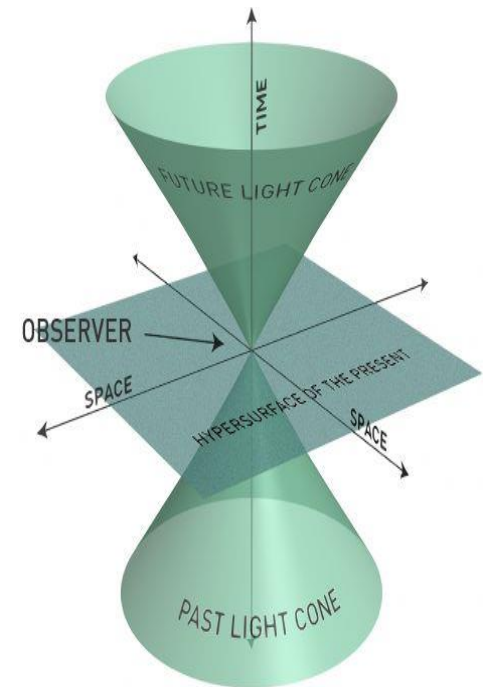
- Esta era una **nueva forma de describir la gravitación, sin fuerzas.**
- Para las matemáticas en la geometría de Riemann el **tensor métrico** es un tensor de rango 2 que se utiliza para definir **conceptos** como distancia, ángulo y volumen en un espacio localmente euclídeo.
- De acuerdo con la TGR en presencia de materia, como **la geometría del espacio-tiempo no es plana**, este se puede caracterizar por un tensor de curvatura que no es idénticamente nulo en todos los puntos.
- Así, **el tensor de curvatura** puede ser relacionado con el tensor de energía-impulso que representa el contenido material del modelo de Universo que se esté analizando.

$$(T_{ik}) = \frac{c^2}{8\pi G} \left(R_{ik} - \frac{1}{2}g_{ik}R + \Lambda g_{ik} \right) = \begin{bmatrix} \rho & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

- **El tensor de energía-impulso T_{ik}** es una cantidad tensorial en relatividad, que describe el flujo de energía y momento físico, y que coincide con el tensor tensión de la mecánica de medios continuos.

Tensores métricos no euclídeos

- Ejemplos de **tensores métricos no euclídeos** son:
- Métrica de Schwarzschild, que representa la geometría del **espacio-tiempo alrededor de un cuerpo esférico aislado y estático**, sin rotación sobre sí mismo.
- Métrica de Friedman-Lemaître-Robertson-Walker, que se cree da una buena aproximación de **la estructura del Universo en expansión** a gran escala.



<http://www.fourmilab.ch/>

La Constante Cosmológica Λ

- El tensor en general está dado por:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$

- Donde Λ es la constante cosmológica, T es el tensor de energía-impulso, R expresa la curvatura del espacio-tiempo, y g representa la métrica. Cuando la constante cosmológica Λ es cero, se obtiene ecuación original de la relatividad general. La solución de vacío está representada por un T dado por:

$$T_{\mu\nu}^{(\text{vac})} = -\frac{\Lambda c^4}{8\pi G}g_{\mu\nu}.$$

- La constante cosmológica Λ equivalente en una densidad de energía intrínseca del vacío, es:

$$\rho_{\text{vac}} = -\frac{c^4 \Lambda}{8\pi G}$$

Una mala noticia

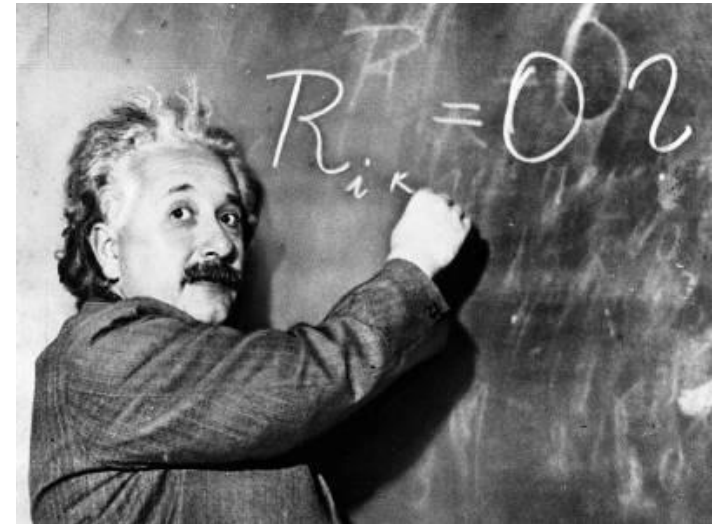
- Además de explicar el desplazamiento del perihelio de Mercurio, el desvío de la luz y la existencia de ondas gravitatorias, **las ecuaciones informaban sobre** singularidades del E-t y explicaban la formación de las estrellas neutrónicas y agujeros negros. Incluso, pronosticaban la expansión del Universo. Estas fueron las buenas noticias.
- **La mala noticia** es que el dominio matemático de las fórmulas es difícil: **20 ecuaciones simultáneas con 10 incógnitas** y las soluciones aparecen cuando hay simetrías o aparecen elementos ligados a la energía que las reducen o simplifican (solución de vacío).

La solución de vacío

- En el vacío el **tensor de masa = 0**. Si se introduce la constante Λ , sólo se deja de lado para aplicarla al vacío donde el tensor de masa es nulo, obteniéndose la solución

$$R_{ik} = 0.$$

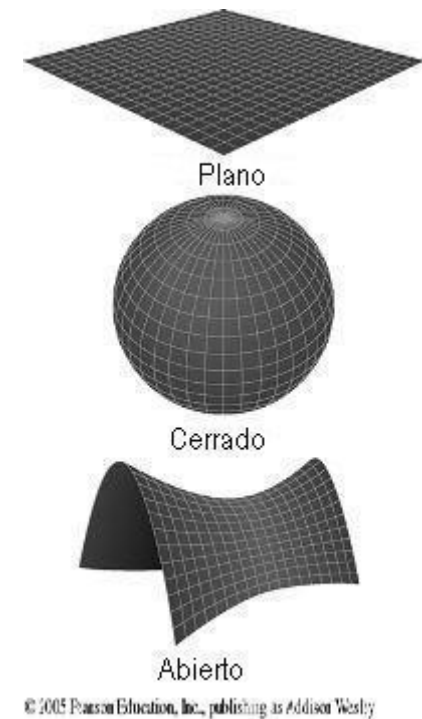
- **La solución de vacío es una fórmula célebre** por la fotografía que le toman a Albert Einstein diciendo al escribirla “**parece fácil**”, **1920**.
- La solución para el vacío aplicada a una estrella, **conduce a la predicción de un horizonte de sucesos** más allá del cual no se puede observar. Predice la posible existencia de un **agujero negro** de masa dada M .



Einstein: <http://calnewport.com>

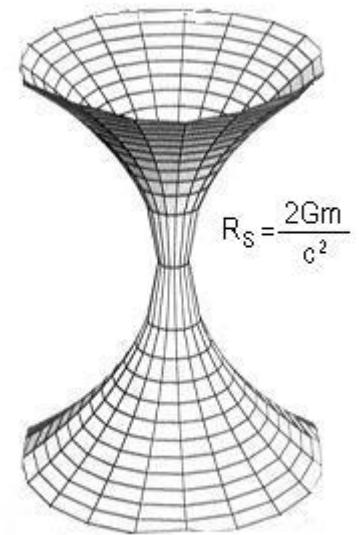
Un nuevo Universo

- El escepticismo fue general y las hipótesis exigían mayores pruebas. En el **eclipse del 29 de mayo de 1929** se podría medir la trayectoria del rayo de luz de las estrellas de las Híades, lo que había sugerido Albert Einstein al pronosticar su desvío en **1,7" de arco, causado por el Sol**.
- El responsable fue el astrónomo inglés Arthur Stanley Eddington (1822-1944) quien comprueba este fundamental hecho, desde la isla Príncipe en la costa este de África, a petición de la Real Sociedad.
- El titular del New York Times del 6 de noviembre de 1919, al conocerse la conferencia de Eddington, dice: **“Descubierto un nuevo universo”**, y Albert Einstein se hace célebre de la noche a la mañana,



Solución de Schwarzschild 1915

- Hawking parte de la resolución de las ecuaciones de Albert Einstein. **Muchas soluciones** para las ecuaciones de campo, ignoradas y ridiculizadas por Albert Einstein y otros, se habían trabajado en los últimos **25 años, entre 1919 y el fin de la Segunda Guerra.**
- La geometría del matemático alemán Schwarzschild, que en 1915 le escribe enviándole a Albert Einstein un elegante análisis matemático, obtiene una **solución exacta** de las ecuaciones para el caso de un cuerpo esférico arbitrario.

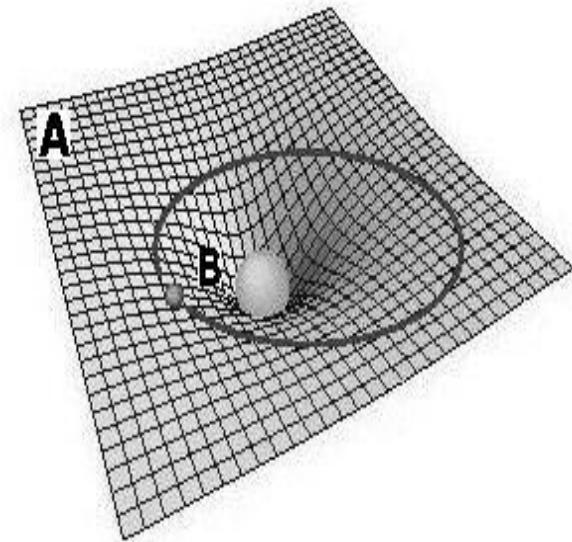


Ecuaciones diferenciales parciales no lineales

- El resultado sorprende a Albert Einstein quien había logrado una solución aproximada y creía no se podía llegar a una solución exacta, como la del físico y astrónomo alemán **Karl Schwarzschild** (1873-1916).
- Este trabajo de Schwarzschild no era de solución de 20 ecuaciones con 10 incógnitas en álgebra, sino de **ecuaciones diferenciales parciales no lineales de segundo orden**, que es la desgracia de los estudiantes de doctorado en física.
- Así nace la expresión para calcular el **radio de Schwarzschild** “ r_s ” para el horizonte de sucesos del agujero negro, cuando existe una singularidad, de la cual se desprende una región de donde **nada escapa**, al menos para la física clásica y también para la TGR de Einstein (agujero negro).

Espacio deformado

- El espacio deformado permite diferenciar la trayectoria de un cuerpo **A** que no se acelera y la del cuerpo **B** que cae acelerándose, hacia el Espacio Tiempo deformado.
- Aquí **el espacio curvo reemplaza la gravedad.**
- Si se rompe el ET, se forma un agujero negro de masa "**M**", cuyo **radio de Schwarzschild** "**r_s**" que es la medida del tamaño del agujero negro desde la singularidad (centro) hasta el horizonte de sucesos (círculo), está dado para la condición estática por la ecuación adjunta. En la ecuación, "**G**" es la constante gravitatoria y "**c**" la velocidad de la luz.



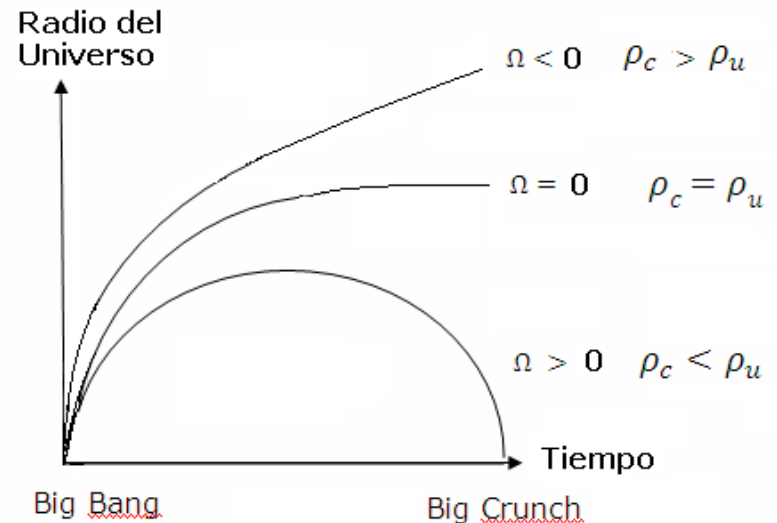
$$r_s = \frac{2GM}{c^2}$$

El Universo de Friedmann:

- Pocos años después de **Schwarzschild** aparece una **segunda solución** controvertible. En 1922 el ruso Alexander Friedmann (1888-1925) supone el Universo lleno uniformemente de una delgada sopa de materia (lo que hoy parece ser cierto), por lo que dicho **Universo era inestable y debía de contraerse o de expandirse** a la menor variación.
- Este asunto y su conclusión suponían eliminar un **error del artículo de Albert Einstein** de 1917, y que era la Constante Cosmológica **A**.
- Friedmann eliminó dicha constante A y obtuvo un universo **en expansión**, por lo que Albert Einstein no simpatizó con esta solución y la ridiculizó.

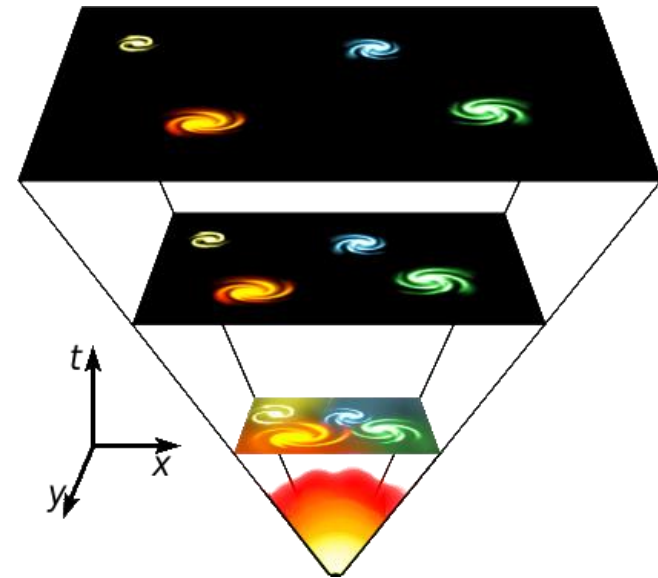
Hacia dónde iría el Universo?

- El futuro del Universo **depende de la cantidad de materia** y por lo tanto de su densidad “ ρ ”. Esto igualmente condiciona su curvatura “ Ω ”.
- $\Omega < 1$ la curvatura es abierta, pues **no existe masa suficiente** para detener la expansión y.
- $\Omega = 1$ La densidad de masa del Universo iguala un valor crítico; la **curvatura es cero**.
- $\Omega > 1$ se pasaría del Big Bang al Big Crunch. **La expansión es lenta y luego se invierte** para contraerse.



Lemaître y Hubble

- El belga George Lemaître (1894-1966), el precursor de la **Gran Explosión**, utiliza las ecuaciones de Friedmann para modelar el inicio del Universo, al que llamó “átomo primordial” o “huevo cósmico”. La solución anticipa que debe existir una radiación remanente de la Gran Explosión.
- **Edwin Hubble** (1889-1955) desde el telescopio de 100 pulgadas de Monte Wilson California, hacia 1924 descubre la naturaleza real de las galaxias y **confirma la expansión** del Universo.
- Heber Curtis (1872-1942) defendía la hipótesis de que las nebulosas espirales no eran nebulosas sino galaxias de estrellas a modo universos islas, y Hubble resuelve este dilema sin saber de la cosmología de Albert Einstein ni del modelo de Lemaître.



Fuente: <http://astrored.org>

La tercera solución

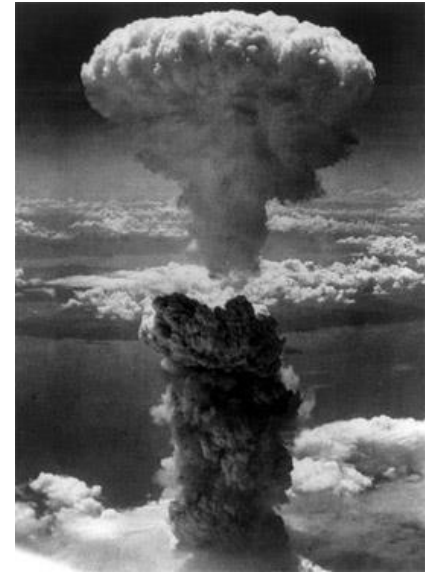
- En 1931 Lemaître les presenta a Hubble y a Einstein en un seminario su modelo en el cual el Universo ocupó un lugar muy reducido antes de que se produjera la gran explosión.
- Y al respecto Einstein comentó “es **la descripción más hermosa** que he conocido **sobre la creación del Universo**”.
- Robert Oppenheimer (1904-1967) y Hartland Snyder (1913-1962) retoman el modelo de Schwarzschild y publican la teoría del **Colapso Gravitatorio Permanente**. Esta es La **3ª solución** del sistema de ecuaciones básico para la cosmología de Stephen Hawking.
- El 1 de septiembre de 1939 Oppenheimer y Snyder publican en Physical Review cómo es el **colapso gravitatorio de un astro**, y también Niels Bohr (1885-1962) y John Wheeler (1911-) explican el mecanismo de la **fusión nuclear**, empleado en la bomba atómica.

El Colapso Gravitatorio Permanente

- El modelo de Oppenheimer y Snyder, dice que **si una gran estrella consume su combustible**, implosiona al apagar su horno termonuclear, y al alcanzar el radio crítico se separa del Universo.
- Según esta teoría, **el espacio se supercurva**, “comiéndose la luz”, que se curva y cae; **la luz** se corre hacia el rojo hasta **perder toda su energía**, y al formarse un horizonte de sucesos que **no permite su salida**.
- Einstein se opone y se burla de tales resultados, e incluso **se niega a aceptar** el que la Teoría de la Relatividad pueda describir también estrellas que no alcanzan el anterior estado crítico (neutrónicas).
- Las predicciones, **sobre las estrellas neutrónicas**, las hacen en Moscú Fritz Zwicky (1898-1974) y el respetado físico y matemático soviético Lev Landau (1908-1968), Nobel de física en 1962.

La bomba atómica

- En 1939, también inicia la **Segunda Guerra Mundial**, y es evidente la amenaza que surge con el descubrimiento de la fisión nuclear en manos de los alemanes Otto Hahn (1879-1908) y Fritz Strassman (1902-1980).
- Einstein dice al diablo con **Schwarzschild**, **Friedmann** y **Oppenheimer**, objetando todas las predicciones cosmológicas radicales nacidas de sus ecuaciones. Son famosas **las cartas de Einstein** en 1939, al Presidente de EE.UU., Franklin Delano Roosevelt a propósito de la bomba atómica.
- En 1942 Oppenheimer deja las investigaciones cosmológicas de Berkeley y se instala en los Álamos para trabajar el **proyecto Manhattan**.
- El italiano **Enrico Fermi** (1901-1954) con su equipo de la Universidad de Chicago logra la primera reacción nuclear controlada (1942).



Fuente: www.niten.org.br

Muere Einstein

- En una crisis política tan grave como la guerra, se postergaron por 20 años los estudios cosmológicos que contemplaban **los peligros de los misterios del Universo**.
- Albert Einstein había partido de Europa a USA en 1933, pero en **sus últimos 22 años** no se volvió a ocupar de la cosmología, pues dejó atrás su obra creativa para intentar otro reto científico.
- En USA, intentó unir la teoría de la Relatividad suya y la Electromagnética: es decir, **sus ecuaciones de campo** con las ecuaciones de Maxwell, pero **ignorando** la mecánica cuántica.
- El 18 de abril de 1955 muere Albert Einstein en Princeton USA a los 76 años.

La estupidez humana

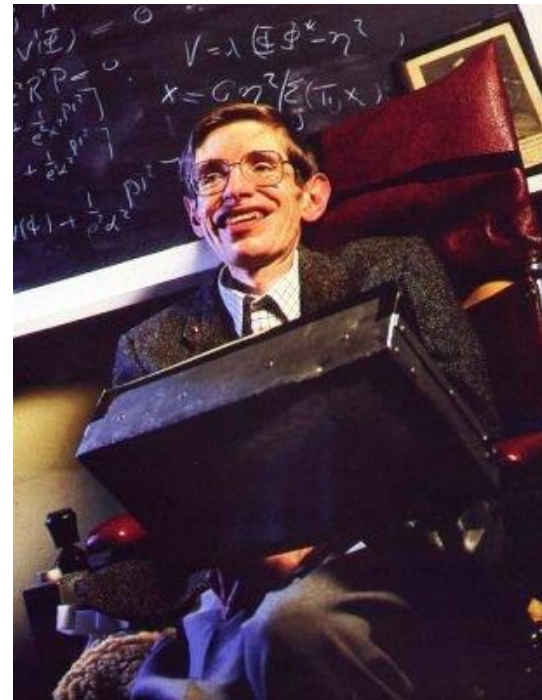
- Al lado de su lecho se le encuentran sus cálculos sobre la **Teoría de campo unificada**.
- Entre tanto, el físico teórico estadounidense John Wheeler (1911-2008) concluía su misión para el proyecto de la **Bomba de hidrógeno** y regresaba para retomar en la cosmología el estudio de **estrellas que colapsan**.
- Oppenheimer y Wheeler se enfrentan en lo político sobre el tema seguridad y armas nucleares y **también en lo de la relatividad general y las estrellas en colapso**.
- Dijo Albert Einstein: “**solo hay dos cosas infinitas**: el Universo y la estupidez humana. Sólo que no estoy seguro de la primera”.
- Wheeler intentó animar a Oppenheimer, pero él ya estaba desanimado y afectado por lo de las tragedias de Hiroshima y Nagasaki, como por las intrigas como director del Proyecto Manhattan. Además, enfrentaba las acusaciones de traición a la patria y la supresión de su acreditación oficial.

2 masas solares

- Wheeler supone que la respuesta de 1939 dada por Oppenheimer para las **estrellas de gran masa que colapsan**, diciendo que se **separaran del Universo**, es ideal y no real; y alega que en la realidad ocurre otra cosa: se dan reacciones termonucleares, ondas de choque, eyección de masa, radiación, y fenómenos impredecibles.
- Wheeler pide al equipo de Colgate en Livermore California que haga **la simulación**, y estas son hechas con los modelos utilizados para la Bomba de Hidrógeno.
- El resultado es: si la masa no supera “**2 masas solares**”, la estrella final produce **la súper-nova** y quedará una **estrella neutrónica**; pero si supera **2 masas solares** el resultado de la implosión será lo predicho por la Teoría de la Relatividad y se ajustará al modelo de Oppenheimer.

Entra Hawking

- Nace Stephen Hawking el 8 de enero de 1942 en **Oxford**, donde iniciará la carrera que habrá de concluir en **Cambridge**, a donde llega en 1962 para retomar las investigaciones sobre colapsos de estrellas de hace 20 años.
- Y llega por esa época (1962), para concretar el **sueño de Wheeler**, de **conectar Relatividad general con Mecánica cuántica**.
- Stephen Hawking empieza a sufrir su enfermedad que 20 años después lo dejará sin habla, y la que le ocasionará su muerte en 2018.



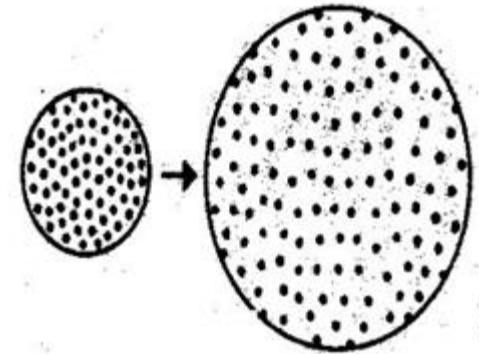
www.stephen-hawking.com/

Tesis de Stephen Hawking

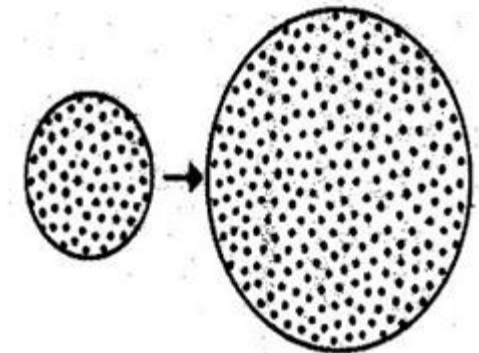
- Su fotografía está en el Hall del Departamento de Matemáticas Aplicada y Física Teórica de la Universidad de Cambridge DMAFT, al lado de los retratos de Isaac Newton, y del famoso Paul Dirac autor de la mecánica Cuántica Relativista.
- Stephen Hawking no tendrá a Fred Hoyle (1915-2001) como supervisor de su tesis, sino al astrofísico y cosmólogo Dennis William Sciama (1926–1999).
- Con Stephen Hawking nace **una nueva era de la cosmología moderna**: osadamente Stephen Hawking tituló su tesis “**Propiedades de los universos en Expansión**”.
- En el primer capítulo se advierte que el Universo en expansión será un **escollo** para la teoría de Hoyle y Narlikar.
- Hoyle es el más conocido defensor de la “**Teoría del Estado Estacionario del Universo**”, al lado de dos refugiados de la Europa nazi: Herman Bondi y Thomas Gold.

Dos modelos cosmológicos

- El modelo del “**Estado Estacionario**” de **Hoyle**, opuesto al de la “**Gran Explosión**”, propone la creación continua de materia a medida que el Universo se expande, para mantener **constante la densidad del Universo**.
- Contrariamente, “**la Gran Explosión**” supone un **estado inicialmente denso**.
- Hoyle se burla de la teoría acuñándole el nombre de **Big Bang** para señalar que la idea es mágica.
- 20 años después de la broma, Hoyle seguía **intentando sustentar el modelo del Estado Estacionario**, con apoyo de Jayant Narlikar, estudiante de doctorado en Cambridge. Allí conoce las dificultades del proyecto que Hoyle le asigna a Narlikar.



Modelo del Big Bang



Universo Estacionario

Muere la teoría del Estado Estacionario

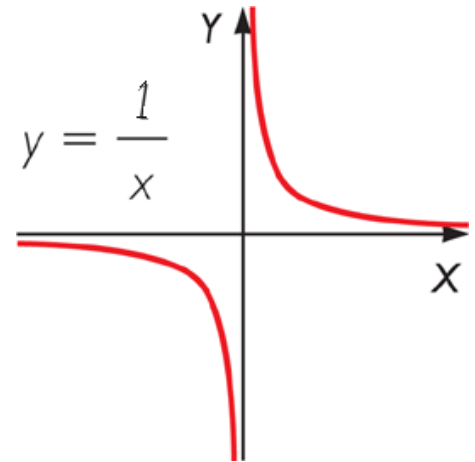
- Una extensión del “**Principio Cosmológico**”, que en su forma más restringida, afirma que el aspecto del Universo en su conjunto y en un momento dado es el mismo independientemente de la posición del observador, desde el punto de vista filosófico no solo debilita la idea del Big Bang, sino que fortalece la teoría del Universo Estacionario.
- Cuando **Hoyle intenta ganar adeptos con el trabajo inconcluso de Narlikar**, dando una conferencia en la Real Sociedad de Londres, es Hawking quien anuncia que ha encontrado que el Modelo Estacionario **no es consistente**, pues al hacer los cálculos las ecuaciones de Hoyle divergen, por lo que **muere la teoría del Estado Estacionario**.
- Pero Stephen Hawking aún no tiene tema para su tesis de doctorado.

El teorema de la singularidad

- A mediados de los años 60 el matemático Roger Penrose graduado en Cambridge, después de haber estudiado en USA, propuso ideas sobre la “**Teoría de las singularidades**”.
- Sciama invita a Penrose a trabajar con sus métodos topológicos los agujeros negros surgidos de la aplicación de simuladores que ordenó Wheeler a las soluciones dadas por Oppenheimer.
- Penrose pudo demostrar que las singularidades son consistentes y que no era cierto que la materia del astro escapara o que el astro se expandiese después de cierto límite.
- **El teorema de la singularidad** supone que el tiempo llega a su fin y luego de esto, no regirán las leyes de la física.

Qué es una singularidad?

- **Singularidad matemática** es un punto donde no puede definirse una función; allí la función diverge hacia valores infinitos o está mal definida. Para “ $x=0$ ”, “ y ” tiende a infinito, y viceversa.
- En una **singularidad espaciotemporal**, la curvatura del espacio-tiempo se hace infinita, tal como predicen ciertos modelos de agujero negro.
- **Singularidad en relatividad general** es una región del espacio tiempo en la cual la curvatura se torna tan grande que las leyes relativas no operan y presuntamente las leyes de la gravedad cuántica ocuparían ese lugar.
- **Los teoremas sobre singularidades**, de Stephen Hawking y Roger Penrose, predicen la ocurrencia de singularidades, bajo ciertas condiciones de forma y características, del espacio-tiempo.



Resultados incorrectos

- En la singularidad, la Relatividad General llega a **resultados incorrectos**, sobre todo **la curvatura del espacio tiempo es infinita**, por lo que la marea también. Así que la gravedad cuántica podría reemplazar la marea con espuma cuántica, fusionándose así con las leyes de la Relatividad General.
- **Lo anterior no supone que las singularidades no pueden estudiarse** o comprenderse físicamente, **pues los teoremas de la singularidad dan luces** bajo ciertas condiciones. Esta es la importancia de los teoremas de Penrose y Hawking.

R_c no es una singularidad

- En la **solución de Schwarzschild** dada a las ecuaciones de campo de Albert Einstein, el radio crítico R_c no es una auténtica singularidad: **se puede suprimir la divergencia.**
- Basta modificar las coordenadas matemáticas para que **los procesos físicos tengan continuidad a ambos lados del límite.**
- Penrose dicta una conferencia y anuncia que **si se forma un agujero negro**, surge una singularidad “**S**” del colapso de cualquier estrella con masa suficiente.
- Si tras el colapso estelar se forma un agujero negro, en la singularidad **la materia se comprime** hasta ocupar una región inimaginablemente pequeña o singular, cuya densidad en su interior resulta infinita.



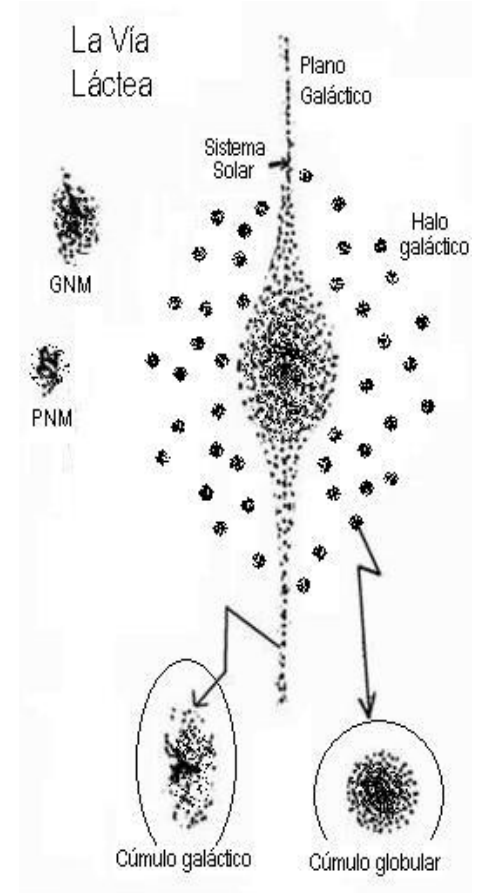
<http://geocities.com/acarvajalt/>

Hawking se hace doctor

- Stephen Hawking propone aplicar el método de Penrose al Universo en su conjunto, para averiguar sus comienzos.
- Hawking, adopta el método de Penrose y escribe el **último capítulo** de sus tesis **con el primer teorema de la singularidad para el comienzo del Universo**: concluye aquí que, si la Relatividad General es correcta, **debió existir en el pasado el principio del tiempo como una singularidad.**
- En 1965 Stephen Hawking se hace doctor, y Penrose es uno de los revisores de la tesis, que es aprobada.
- Subsisten algunas complicaciones como los Universos infinitos y no infinitos, pero Stephen Hawking crea luego nuevas teorías para superarlos.

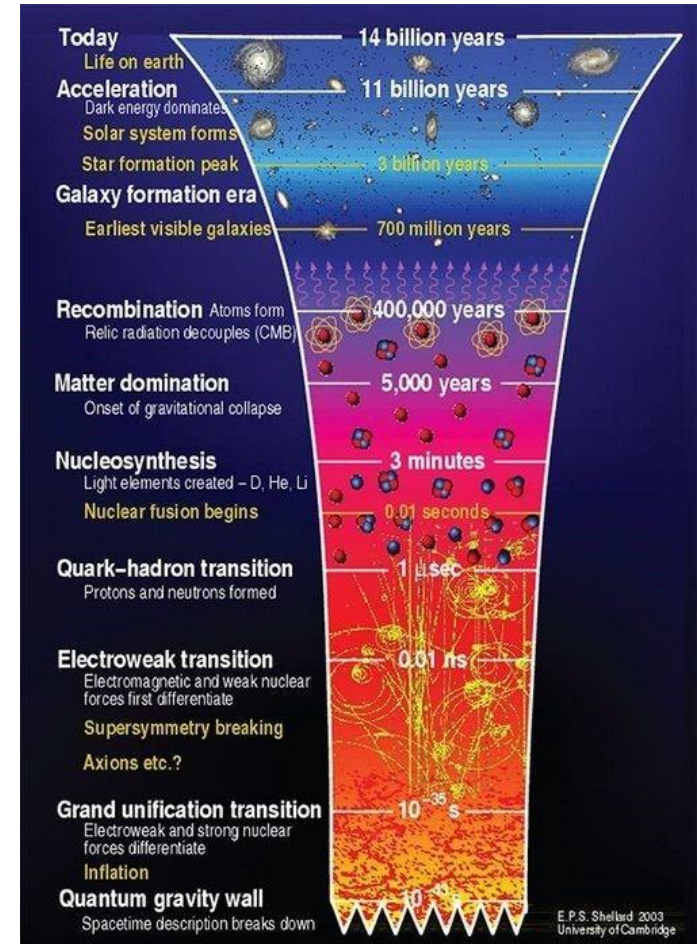
La gran contribución

- **La gran contribución** de Stephen Hawking es entonces que el **Universo comenzó** con una gran explosión, desde un estado caliente y denso de materia, desde **una singularidad, y esto se ajusta** a lo observado por Hubble en 1929.
- Para estimar un límite inferior en **la edad del Universo**, además de estimar su actual composición, o el valor de la constante de Hubble que relaciona el radio del Universo con su edad, se puede recurrir a técnicas de datación, relacionadas con:
 - La vida media de los elementos químicos producto de elementos que se desintegran, en rocas.
 - La edad de los cúmulos globulares que conforman el halo de la galaxia, por ser los cúmulos más antiguos.
 - La edad de las estrellas enanas blancas de poco brillo real, por resultar más viejas.



Uno de los logros del S. XX

- En octubre de 1994 la revista Scientific American, dedica el número especial al Universo, consagrando la idea de que la **comprensión del Universo ha sido uno de los mayores logros de la ciencia en el siglo XX**, fruto de varias décadas de teorías y experimentos innovadores: 1. Los **modernos telescopios** mostrando el Universo en sus orígenes, 2. Los **aceleradores** para explorar las leyes que rigieron el Universo primitivo, 3. Las **pruebas de la expansión** del Universo y la radiación remanente, y 4. La teoría cosmológica del **Big Bang**.
- Según la Revista, quedan por resolver el **cómo se forman las galaxias** y otros asuntos, **pero ningún reto fundamental**. Imagen: la historia del Universo, en: <https://askeyphysics.org/>



La década de los 60

- En julio de 1965 Stephen Hawking se casa con Jane Wilde. Apenas acaba de graduarse y ya comienza a usar el bastón.
- Hoy se denomina la década de los sesenta “**como la edad de oro de la cosmología relativista**”. Es la década de los Beatles, el Che, la muerte de Kennedy, la Revolución de mayo del 68, y el descubrimiento de los cuásares.
- En 1963, en Dallas Texas, asisten al Primer Simposio sobre Astrofísica Relativista 30 astrónomos notables: allí se signa el descubrimiento de los cuásares. Entre ellos, los cosmólogos relativistas especulan con las ecuaciones de Albert Einstein frente a los astrónomos y astrofísicos presentes que viven el mundo real.
- Y concluyen, 25 años después del modelo “Oppenheimer-Snyder” sobre estrellas en colapso, que el **fenómeno de los cuásares puede ser explicado por la Relatividad General.**

Sinergia entre Relatividad y Cosmología

- El discurso de cierre del Primer Simposio lo hace el padre del Estado Estacionario, Thomas Gold, quien dice: **los relativistas** están contentos porque ven ahora valorado su **trabajo teórico** de expertos en el campo de nuevo interés, **y los astrofísicos** también porque su imperio se amplía con la conexión de **Relatividad General**.
- Según Stephen Hawking, eso se da ya que en **30 años** transcurridos han evolucionado la Relatividad General y la Cosmología. Si la cosmología se la consideraba pseudociencia, hoy las especulaciones están restringidas por las observaciones, pero también los progresos teóricos han permitido la mejor comprensión del escenario a observar. Imagen de galaxia, por el telescopio Hubble, en la Revista Science.

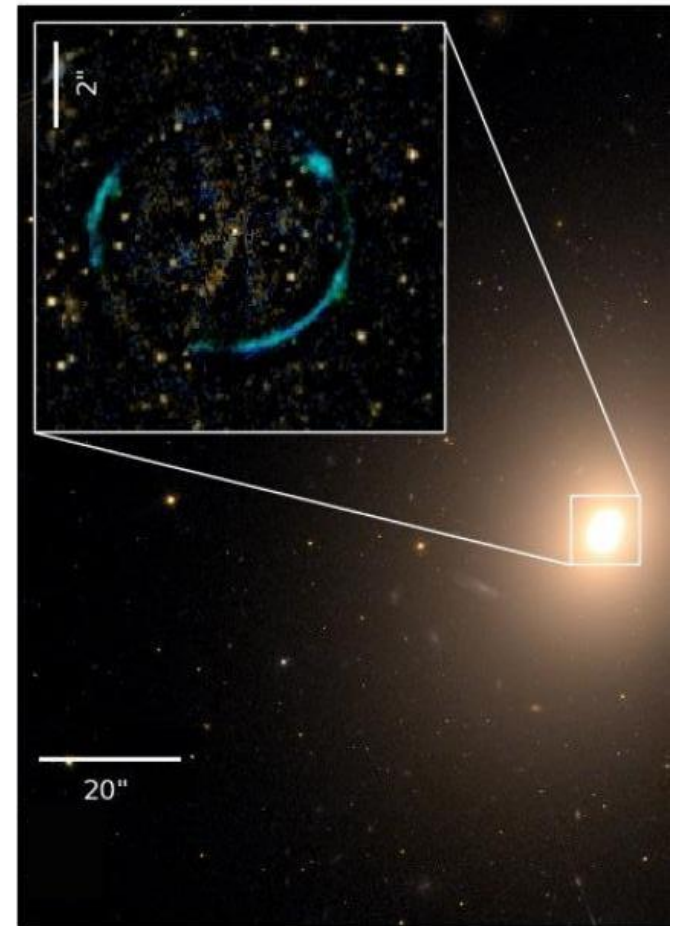
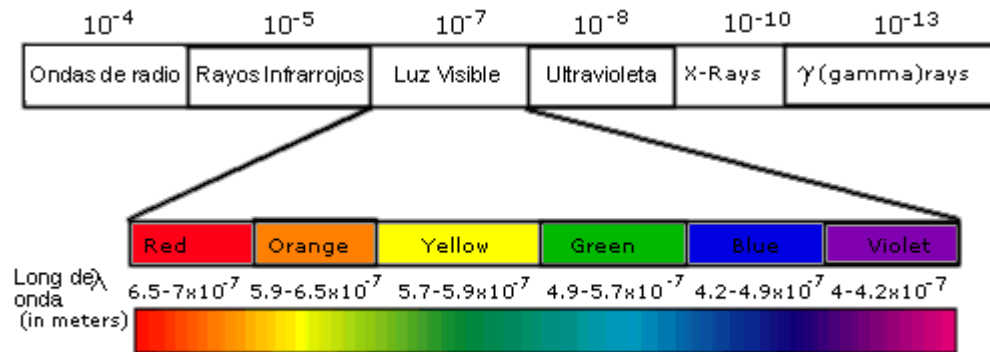


Imagen de la galaxia estudiada en el artículo de la revista Science.

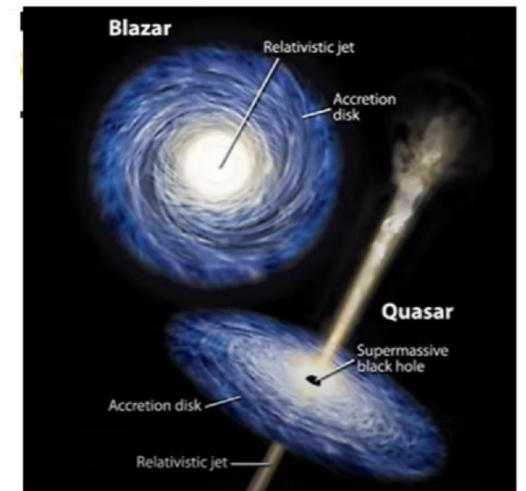
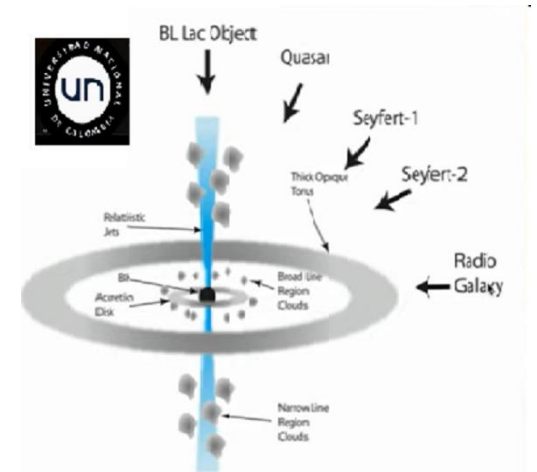
El espectro electromagnético

- ¿Qué es el espectro electromagnético? Es el conjunto de ondas electromagnéticas de diferente frecuencia, que se mueven a la velocidad de la luz y que se extiende desde la radiación de mayor longitud de onda o menor frecuencia, como las ondas radioeléctricas, pasando por los rayos infrarrojos, el espectro visible y la luz ultravioleta, hasta las ondas electromagnéticas de menor longitud de onda o mayor frecuencia, como los rayos X y los rayos gamma



La radioastronomía

- La teoría de Maxwell (1831-1879) predice la existencia de las ondas electromagnéticas y fusiona las fuerzas eléctrica y magnética. Antes **de 1960 no existía la Radioastronomía, una herramienta con la cual se descubren los cuásares, los pulsares y la radiación de fondo.**
- En 1963, Maarten Schmidt y Jesse Greenstein, observan desde Caltech doce estrellas pequeñas de espectro insólito, por su enorme corrimiento al rojo, pero que al tiempo son muy brillantes.
- Ellos ponen en evidencia el enigma de estas fuentes puntuales de **espectro insólito**, localizadas en **los confines del Universo**, emitiendo más energía de lo esperado.
- El brillo de los **cuásares equivale a 100 galaxias** grandes y la luz que recibimos de acuerdo al corrimiento al rojo, ha salido antes de que se forme la galaxia y el Sistema Solar. Imagen: Quasares y Blasares. OAN de la UN de Col.

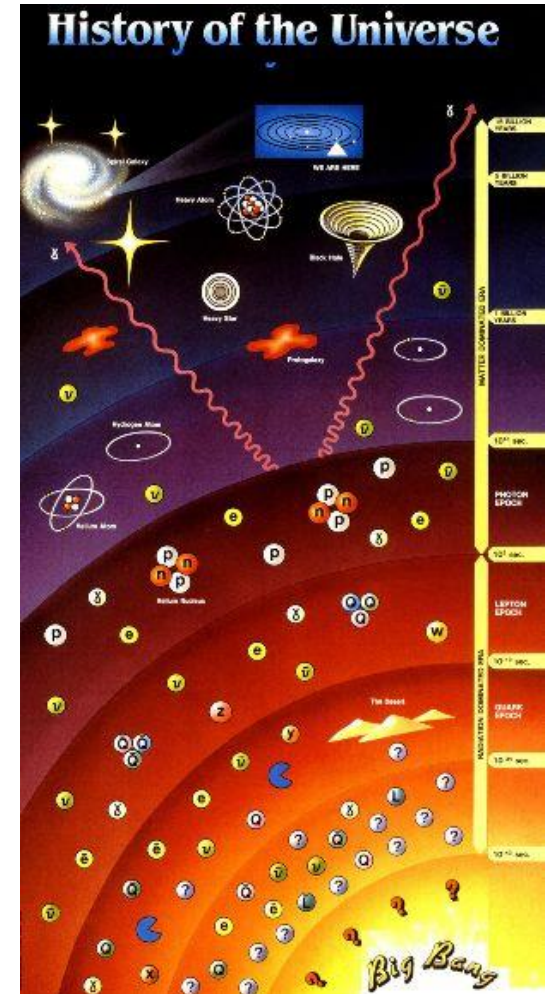


La radiación de fondo

- En 1965 **se descubre la radiación de fondo predicha por el ruso George Gamow**, un emigrado a USA quien dijo que el **Huevo cósmico** dibujado por el abate Lemaître debería estar lleno de plasma caliente.
- Según Ralph Alpher y Robert Herman, esa radiación debería ser medible, dada la cantidad de energía del Big Bang ($E=mc^2$ donde $m=10^{52}$ kg).
- Varios grupos proyectan experimentos para encontrar las **ondas predichas por Gamow** (según la curva teórica deberían estar en la región de microondas, si $T = 5^\circ\text{K}$).
- Dos investigadores de la Bell Telephone Laboratories, en New Jersey, las descubren por accidente cuando instalaban antenas sensibles. Creyeron se debía a palomas. Son ellos Arno Penzias y Robert Wilson en 1965, quienes ganan el premio Nobel por confirmar el Big Bang.

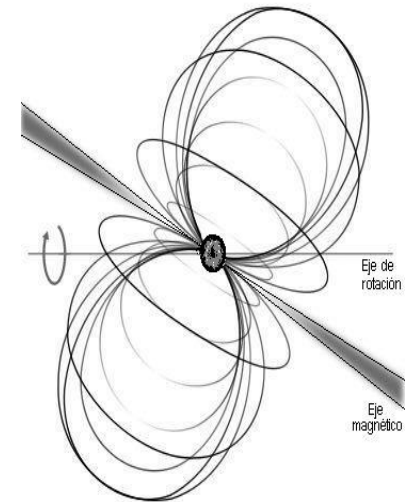
Cronograma del Universo

- A los 10^{12} seg: se da la Inflación; Materia y radiación mezcladas.
- A los 100 seg: termina la era de la radiación e inicia la del dominio de la materia.
- A los 3 minutos: se forman los núcleos atómicos.
- A los 300 mil años, el Universo se despeja y hace transparente.
- A los 1000 millones: aparecen las estrellas y galaxias.
- A los 9220 millones de años: se forma el Sistema Solar.
- A los 9690 millones: aparece la vida en la Tierra.
- A los 13790 millones de años: persiste la radiación de fondo y es el Universo actual.



Pulsares

- Se **han detectado** estrellas con emisiones de ondas de radio: en 1967 la alumna de doctorado de Cambridge, **Jocelyn Bell**, detecta **pulsaciones regulares** de una estrella, con $\lambda = 3.7$ metros.
- Se creyó que era de una **civilización extraterrestre** ya que ningún cuerpo grande emite pulsos breves y agudos.
- Deducen que debe tratarse de un **cuerpo muy compacto**, de unos miles de kilómetros de diámetro, pero a la distancia de una estrella.
- Luego Tommy Gold, quien había trabajado en la Teoría del Universo Estacionario conceptúa diciendo que los **pulsares son estrellas de neutrones** que poseen un intenso campo magnético y que emite radiación pulsante periódica, asociada con el período de rotación del objeto.
- Los **pulsos** se asocian al desfase entre los campos magnético y de rotación, de dicho cuerpo en **rápida rotación** gracias al colapso gravitacional.



Binarias de Rayos X

- Casi la mitad de las estrellas son **binarias o dobles**. Cuando una de las estrellas pasa a la fase de gigante roja, se expande y es posible que haya una transferencia de materia estelar a su compañera, al cruzarse **el Límite de Lagrange**. Al ir cayendo esta materia se libera una gran cantidad de energía, que comprende los rayos X.
- La emisión de rayos-x se cree que procede de fuentes que contienen gas muy caliente, a varios millones de grado; y que ocurre en general en objetos cuyos átomos o electrones tienen una gran energía.
- El descubrimiento de la **primera fuente de rayos-x** procedente del espacio en 1962 se convirtió en una sorpresa. Esa fuente se llamada Scorpio X-1, ubicada en dirección al centro de la Vía Láctea.
- En la actualidad se conocen miles de fuentes de rayos-x.



Agujeros negros

- También **un agujero negro supermasivo** absorbiendo materia de una estrella cercana, puede explicar una fuente de rayos x.
- En **1968 Wheeler ha acuñado la palabra agujero negro**, durante una reunión de física celebrada en Nueva York. **La expresión** causa impacto a la prensa y se **difunde y populariza**.
- El primer astrofísico del mundo, el inglés Eddington en su monografía “Constitución interna de las Estrellas” explica de dónde se obtiene la energía que calienta las estrellas.
- Muestra Eddington un proceso de fusión de hidrógeno **H** para transformarlo en Helio **He**, que es:



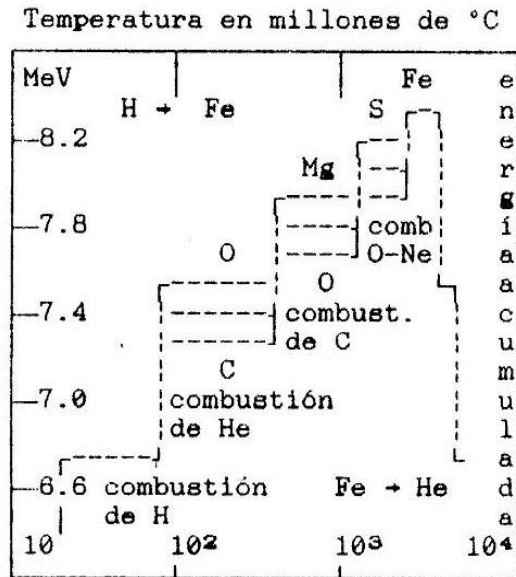
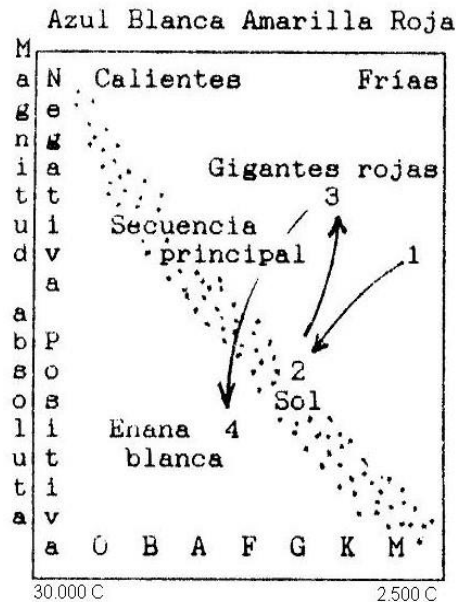
donde **e = mC²** es la energía restante de transformar dos protones en dos neutrones, proceso que puede darse también con el ciclo CON sirviendo como un catalizador en estrellas de gran masa.

Una vez agotado el combustible, la estrella colapsa. El tipo de cadáver estelar será función de la masa final de la estrella según su masa y después de varias fases de combustión estelar, y cataclismos de novas o supernovas, según la masa de estrella convertida en gigante roja.

- Cuando se trata de estrellas supermasivas, se forman las estrellas neutrónicas o los agujeros negros. De lo contrario, se tendrá una enana blanca.

La nucleosíntesis

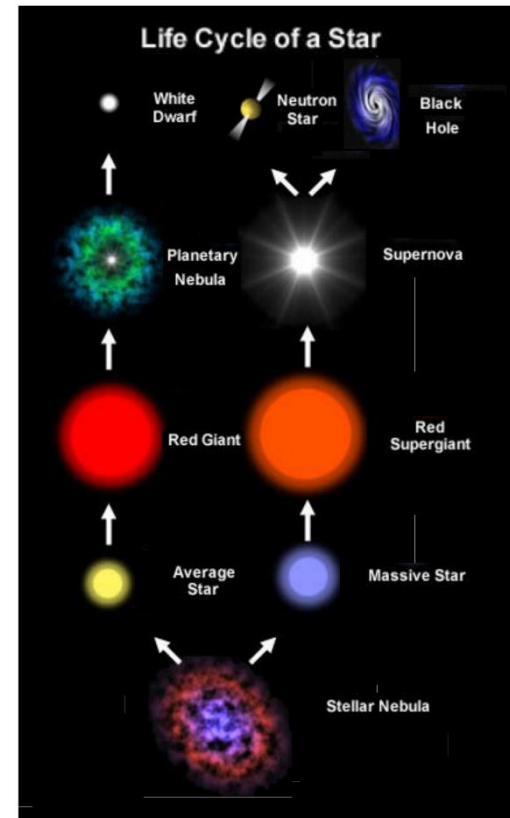
- Las ecuaciones de Einstein, y las soluciones de Oppenheimer y Schwarzschild, dicen **cómo puede ser el proceso**:
- a) La **energía de acreción** o del colapso gravitacional, dan inicio a la estrella, consumiendo el hidrógeno, como primer combustible, el cual se fusiona para formar helio, cuando la estrella entra a la fase de la secuencia principal (Ver diagrama de la Izq.)
- c) Agotado el hidrógeno la estrella se apaga temporalmente y colapsa, pudiendo incrementar su temperatura en el núcleo, y expandir sus capas externas para pasar a la fase de gigante roja, y fusionar el helio como segundo combustible, en carbono. La figura explica como se llega hasta el Hierro, pasando por oxígeno, magnesio y azufre, en un proceso de nucleosíntesis estelar (Ver diagrama de la derecha), ya que los elementos más pesados se formarán en las ondas de choque de las novae y supernovas, que se dan en la fase de gigante roja.



Evolución estelar

- Las estrellas se inician en la secuencia principal, que es donde pasan casi toda su vida, para pasar de allí a la fase de gigante roja.
- Las **gigantes rojas** pueden producir novas o supernovas dependiendo de su masa. Ver diagrama
- Las **enanas blancas** son la fase siguiente a la de gigantes rojas en estrellas de pequeña masa como el Sol, en las que la estrella pierde su envoltura gaseosa.
- Si es una estrella de gran masa, la gigante roja muere, concluyendo su vida con un gesto normalmente violento, una supernova.
- El **cadáver estelar**, varía dependiendo de la masa final, así:
 - **Enana negra**, si la masa final es: $M < 1,4$ masas solares;
 - **Estrella neutrónica**, si: $1,4 < M < 2$ masas solares.
 - **Agujero negro**, si: $M > 2$ masas solares.
- 1,4 es el Límite de Chandrasekhar (Subrahmanyam).
- El radio de una enana blanca es $r = 2400$ K y el radio de la Estrella neutrónica es $r = 16$ K; en los agujeros negros, el **Horizonte de sucesos** tiene por radio, el **radio de Schwarzschild**.

- Imagen Ciclo de las estrellas en www.schoolsobservatory.org

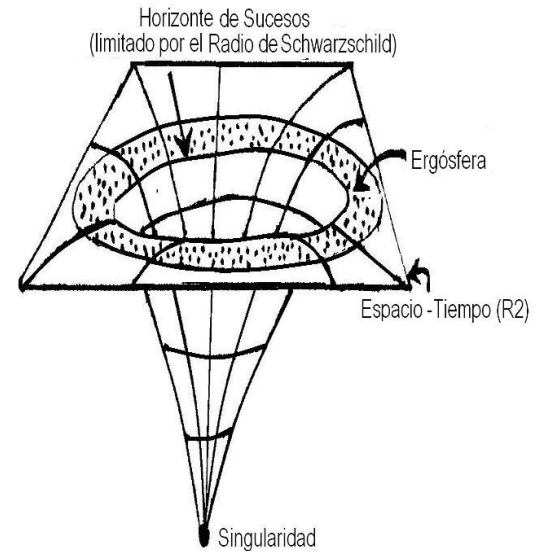


CICLO DE LAS ESTRELLAS SEGÚN SU MASA

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

Cignus X1

- Según Albert Einstein y Oppenheimer, al **caer a un agujero negro**, teóricamente el cuerpo se alarga cada vez más, pero su ancho no varía.
- El efecto temporal es inmediato para el observador externo y casi eterno para el que cae.
- De la ergósfera solamente escaparía la luz, pero no la masa; del horizonte de sucesos, salvo consideraciones cuánticas, nada.
- Stephen Hawking afirma que **pueden existir miles de agujeros negros en la Vía Láctea**.
- Hasta no ver desaparecer una estrella conocida, no se pondrán en evidencia.
- **Cignus X1** está a 8.200 años luz; la componente visible tiene $m = 2,3$ masas solares y la invisible más de 10 masas solares. La primera es una gigante azul de magnitud 9, llamada HDE226868.



Los teóricos de los agujeros negros

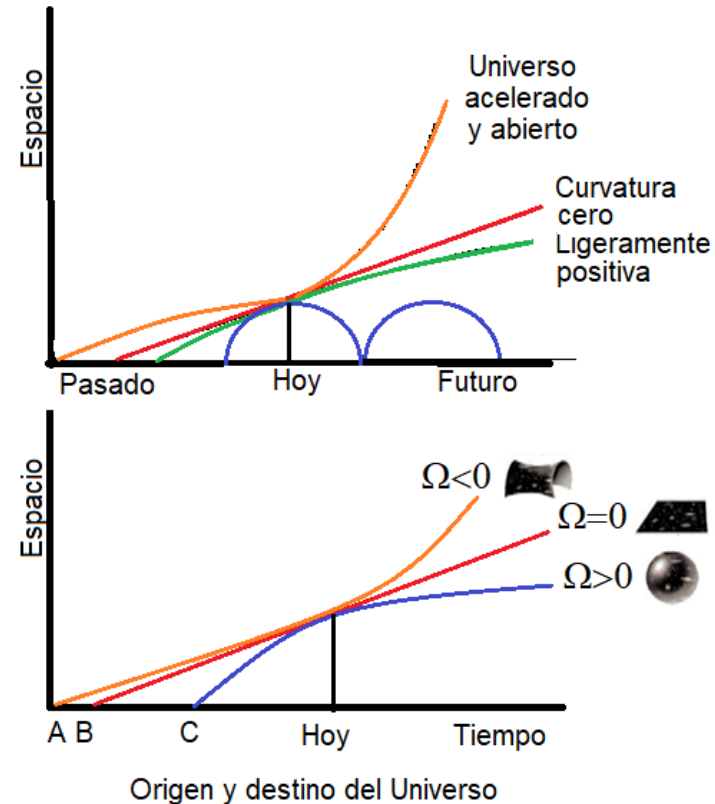
- Entonces los teóricos de inmediato construyeron el llamado **modelo del disco de acreción, un torbellino** que envuelve la materia succionada de la binaria gigante.
- Stephen Hawking apuesta con Kip Thorne afirmando que Cignus X1 es un agujero negro (1979). En la década de los 70 **¿quiénes trabajaban en agujeros negros?**
 - a) John Wheeler y su grupo de Princeton.
 - b) Yakov Borisovich Zel'dovich y sus discípulos de Moscú.
 - c) Kip Thorne (discípulo de Wheeler) en Caltech.
 - d) Stephen Hawking (aún se mueve con soporte) en Cambridge.
- La herramienta de Hawking, la topología desarrollada por Penrose.
- Los colegas más notorios de Stephen Hawking en los años 70 son: Roger Penrose, Werner Israel y Yakob Borisovich-Zeldovich.
- Solo que Stephen Hawking ya no dispone de manos, pero su cerebro está ya educado.

La energía sólo se transforma

- Según Hawking, en los agujeros negros **se viola el segundo principio de la termodinámica**, lo que dio pie a especulaciones sobre viajes en el espacio-tiempo y agujeros de gusano.
- En el siglo XIX geólogos, físicos y químicos desarrollan relaciones matemáticas útiles para fenómenos a gran escala y obtienen la **Primera Ley de la Termodinámica**, que dice: la energía total en el Universo no se crea ni se destruye, es constante y sólo se transforma.
- El tema está siendo motivo de revisión; en la primera década de este siglo **Hawking se había retractado** de su teoría inicial y había admitido que la entropía de la materia se conserva en el interior de un agujero negro.
- Según Hawking, a pesar de la imposibilidad física de escape de un agujero negro, estos pueden terminar evaporándose por la llamada **radiación de Hawking**, una fuente de rayos X que escapa del horizonte de sucesos.

Muerte térmica del Universo

- En 1854 **Herman Von Helmholtz** pronostica que toda la energía del Universo se transformará en calor a temperatura constante, por lo que cesarán todos los procesos naturales: esto es la muerte calórica del Universo.
- En 1865 el físico alemán **Rudolf Clausius** llama entropía al calor transferido de un cuerpo a otro, y demuestra que la entropía siempre aumenta cuando el calor pasa del cuerpo caliente al cuerpo frío.
- En 1878 el físico austriaco **Ludwing Boltzmann** propone la definición más completa de **entropía**: la entropía de un sistema simple –aislado- siempre tiende a aumentar. Es decir, a mayor orden menor entropía y mayor capacidad del sistema para realizar un trabajo.



El agujero negro debe emitir

- **Cuando un cuerpo alcanza equilibrio térmico**, al intercambiar energía con el medio emite radiación térmica. Pero el término **Agujero negro significa que no hay emisión** posible hacia el medio.
- Esto hasta que un alumno de Wheeler llamado Jacob **Bekenstein**, señala que un agujero negro tiene entropía, y por lo tanto temperatura, **razón por la cual debe emitir radiación termina**.
- En agosto de 1972, en el seminario de agujeros negros de Les Houches, Francia, Hawking, Bardeen y Brandon Carter, formulan las **leyes de la mecánica de los agujeros negros**, y ellas muestran ser las mismas de la termodinámica. **Bekenstein** está presente allí.

Entropía y área del agujero negro

- En el agujero negro, **la gravedad superficial** equivale a temperatura **T**, **mientras el área** del agujero equivale a entropía, **S**, luego:
- **S** (entropía) = **K₁A** (área) **T** (temperatura) = **K₂G** (gravedad)
- Donde **K₁** y **K₂** son constantes
$$\mathbf{S = K_1 A = K_2 G} \quad \text{Ecuación I}$$
- La Ecuación I se lee por Bekenstein, así: **S = A**, es decir: **Entropía = Área del agujero negro**
- **Hawking es escéptico** pero averigua que pasaría con una partícula real o virtual en la vecindad de un agujero negro.

Partículas virtuales

- Las **Partículas virtuales** son un fruto del **Principio de Incertidumbre** formulado por **Wener Heisenberg en 1927**: son aquéllas que titilan por doquier por debajo del umbral de la realidad observable.
- La **exactitud** con la que podemos observar ciertas cantidades físicas **no depende de los instrumentos, sino que son inherentes al Universo**.
- Estas incertidumbres hacen **imposible calcular** al tiempo la posición, el tiempo y su impulso, y la energía.
- Un par virtual es **partícula y antipartícula**, y en ellas una tiene energía positiva (+) y la otra energía negativa (-); luego se repelen. Cuando se encuentran partícula y antipartícula, se aniquilan.
- Cerca del horizonte de sucesos** del agujero negro habrá muchos pares de partículas virtuales.

Las tres generaciones de la Materia (Fermiones)

	I	II	III	
masa→	3 MeV	1.24 GeV	172.5 GeV	0
carga→	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin→	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
nombre→	u up	c charm	t top	γ photon
	6 MeV	95 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Quarks	d down	s strange	b bottom	g gluon
	<2 eV	<0.19 MeV	<18.2 MeV	90.2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z fuerza débil
Leptones	0.511 MeV	106 MeV	1.78 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	±1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	e electron	μ muon	τ tau	W fuerza débil
				±
				Bosons (Fuerzas)

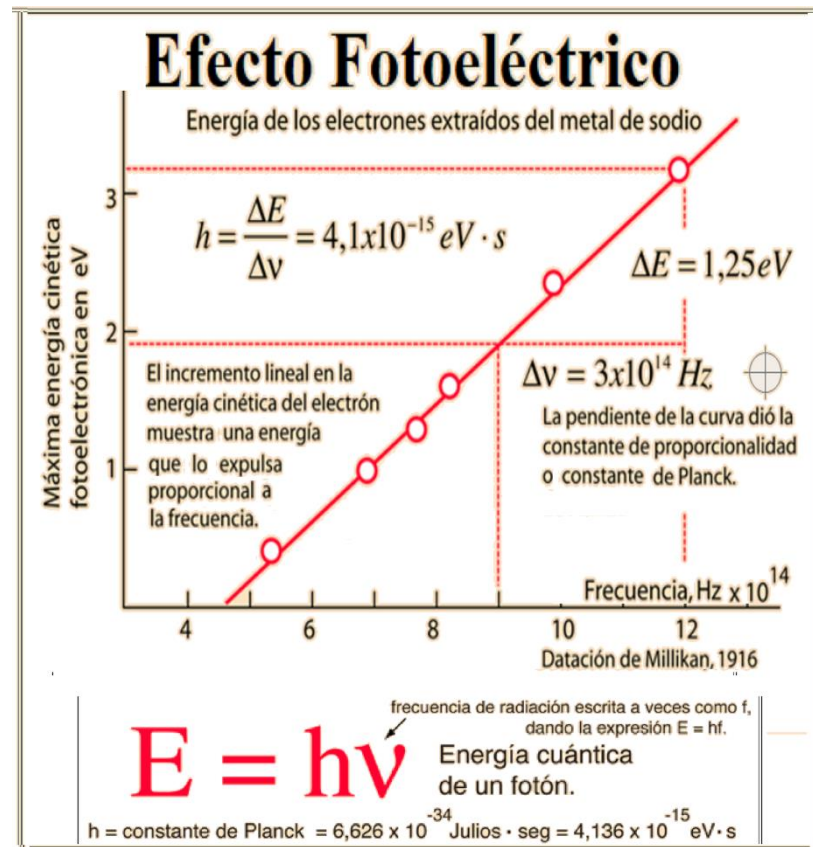
Imagen: Partículas del modelo estándar, en <https://es.wikipedia.org/wiki/Fermi%C3%B3n>

¡Los agujeros negros emiten radiación!

- El principio de incertidumbre establece que **la energía puede aparecer y desaparecer** de modo continuo y a pequeña escala; **pero si $E = mc^2$, ella puede transformarse en materia y antimateria.**
- Hawking combina **Mecánica Cuántica y Relatividad General** para evaluar la situación **en la vecindad del Horizonte de Sucesos**, El resultado es sorprendente: ¡los agujeros negros emiten radiación!
- La intensa gravedad de la superficie **puede atraer una de las dos partículas del par virtual** (energía negativa) reduciendo la masa de una de esta, en tanto que **la otra** (la de energía positiva) **escapa bajo la forma de radiación.**
- El espectro resultante es de radiación térmica, lo que significa que el agujero negro satisface **la Segunda Ley de la Termodinámica**: además de tener entropía, tiene temperatura.

La constante λ de Planck

- En febrero de 1974, en Oxford, Sciama organiza una reunión sobre agujeros negros para que Stephen Hawking presente sus resultados: dice él, que los **agujeros negros no son negros en definitiva: tienen temperatura, entropía y radiación**, como cualquier otro cuerpo en el Universo.
- El presidente de la reunión **John Taylor**, refuta a **Stephen Hawking** en esa reunión celebrada en el laboratorio Rutherford-Appleton, de Oxford, por lo que Stephen Hawking queda conmocionado.
- Al mes, Stephen Hawking escribe el artículo en la revista Nature titulado **¿Explosiones en los agujeros negros?** y Freeman Dyson compara las fórmulas de Hawking con la trascendental teoría de Max Planck, escrita en 1900, de la cual surgirá luego la teoría cuántica.



Hacia la gravedad cuántica

- **Según Max Planck** $E = \lambda v$, siendo λ la constante de Planck, v 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.

Le otorgan orden Pío XI

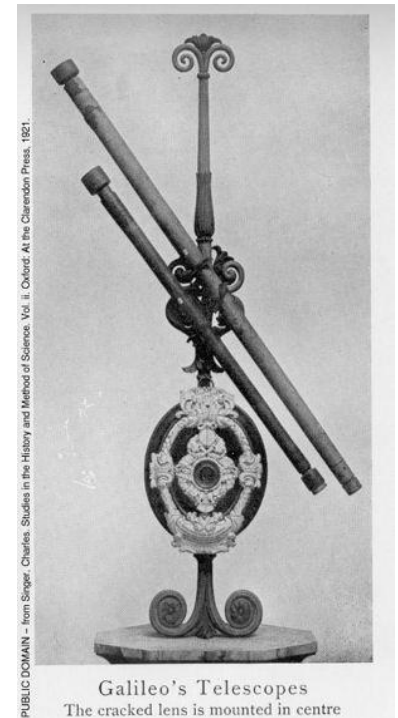
- Si en 1974 lo hacen miembro de la Real Sociedad con tan solo 32 años, ahora, viaja a Pasadena California **becado para estudiar cosmología** con el eminente teórico norteamericano Kip Thorne.
- Al tiempo **el Vaticano le informa a Stephen Hawking que la Academia Pontificia de Ciencia le ha otorgado de premio la Medalla del Papa Pío XI.**
- **Hawking, solidario con Galileo** primero no se decide a aceptar el premio, pero finalmente lo hace, y en el Vaticano solicita tener acceso a los documentos relacionados con la Inquisición de Galileo.
- Curiosamente Stephen Hawking se interesa a partir de entonces por el tema del origen del Universo, de gran interés para la Iglesia Católica romana.



Fuente: <http://www.raulybarra.com>

El origen del tiempo

- **Durante siglos la Iglesia Católica se mantuvo en las ideas de Aristóteles y en el modelo de Ptolomeo**, modelos que tenían como centro del Universo a la Tierra y al Hombre.
- Habiendo quemado vivo a Giordano Bruno en 1600 por difundir la idea heliocéntrica de Copérnico, en 1992 la Iglesia pide disculpas y reivindica a Galileo.
- **El modelo del Big Bang, que no le gustó a Einstein ni a Fred Hoyle**, propuesto por Lemaître en 1927, será adoptado por la Iglesia en 1951. **Es claro que tal modelo no le gustara a Fred Hoyle, pero no a Einstein quien ; después de todo, había dicho que encontraba bella la idea de la gran explosión.**
- El asunto es que tal modelo concretaba en un punto el origen de la energía y la materia, y esa era la mano de Dios para la creación.



<http://cienciaaldia.files.wordpress.com/>

De nuevo en el Vaticano

- **En 1981 es invitado, cuando el papa Juan Pablo II se reponía del atentado. Ahora ya trabajada sobre el origen el Universo.**
- **El Papa le dice a Hawking que no está mal estudiar sobre la evolución del Universo, pero que no debe indagarse esa explosión en sí misma, pues es el momento de la creación y por ende es obra de Dios.**
- **En su conferencia de 1981, en el Vaticano Stephen Hawking insinúa que el Espacio y el Tiempo eran de extensión finita, pero estaban cerrados sobre sí mismos SIN FRONTERAS ni BORDES.**
- **Con esa “propuesta de ausencia de límites” no existirían singularidades y además las leyes de la ciencia regirían en todas partes, incluido el momento del inicio del Universo.**
- **El Papa no se percata durante la conferencia de que Stepehn sugería un universo finito pero sin límites, lo cual implica que no tuvo COMIENZO; es decir, que no hubo un momento de creación.**

Aplicando la Teoría Cuántica al Universo

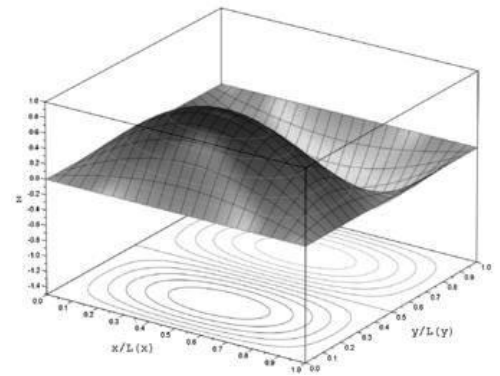
- En la actualidad, la idea de “AUSENCIA DE LÍMITES” ocupa a Stephen Hawking y **en ella intenta aplicar la Teoría cuántica a la singularidad existente durante el Big Bang.**
- La radiación cósmica de fondo apareció **300 mil años después del Big Bang** y la Vía Láctea hace 10 mil millones de años; es decir, 5 mil millones de años después del Big Bang.
- **¿Por qué necesitamos la Teoría Cuántica para el inicio del Universo?:** porque **la Relatividad General predice una Singularidad** y la **teoría fracasa**, es decir, fracasa cuando la materia está comprimida y **no puede producir Espacio Tiempo.**
- Esa teoría, que es clásica, sólo puede describir la evolución del Espacio- Tiempo después del Big Bang, hasta hoy.
- Es que **en el Big Bang no resultan válidas ninguna de las leyes de la Física Clásica**, por lo que se requiere la física cuántica y no de la física clásica.

La Teoría del Todo (TDT)

- La **Cosmología Cuántica** nace de Hawking y su colaborador Jim Hartle -H&H-. Entonces H&H emplean el **tiempo imaginario** para estudiar la singularidad de la gran explosión.
- **La propuesta** de H&H (Hawking y Hartle), es que en sus comienzos el Universo se encuentra en un **ESTADO CUÁNTICO**, por lo que trata de establecer su **FUNCIÓN DE ONDA**.
- Esto es, con el tiempo virtual, la idea es aplicarle al Universo los principios de la Mecánica Cuántica, durante el Big Bang y esto se conoce como **Teoría del Todo –TDT-**, es decir, indagaciones de la **GRAVEDAD CUÁNTICA**.
- Es similar a los esfuerzo de Richard Frynman (1918-1988), preguntándose sobre si los campos cuantificados puede o no funcionar para la gravitación, que fue lo que se preguntó cuando él elaboró la teoría de la **electrodinámica cuántica** y con lo que cuantificó el campo electromagnético de los fotones.

Función de onda del Universo

- Pero el **enfoque de Stephen Hawking es distinto frente a este problema de Frynman: dijo no a la gravedad cuántica y “sí a la cosmología cuántica”**, procurando para el efecto encontrar la **función de onda del Universo**, basándose en la propuesta de la AUSENCIA DE LÍMITES.
- En mecánica cuántica, una **función de onda (Ψ)** es una forma de describir el estado físico de un sistema de partículas.
- Recuérdese que **tal propuesta de ausencia de límites, elimina la singularidad que hace fracasar la física clásica** para los comienzos del Universo.
- El problema es que **la cosmología no puede predecir nada, si no se le mete la mano** con ciertos supuestos como punto de partida.



<http://enciclopedia.us.es>

Las condiciones iniciales

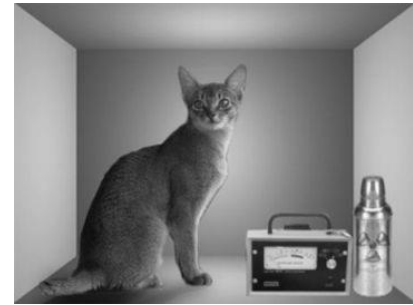
- **El dilema** es si dejarle a la Metafísica y la Religión, y no a la Ciencia, lo de **las condiciones iniciales** que caracterizan el cómo empezó el Universo.
- ¿**Pero qué trae de nuevo la cosmología cuántica y el tiempo complejo?**
- A partir de la propuesta H&H, con tiempo complejo pueden examinarse todos los universos posibles surgidos del espacio cuántico inicial.
- Para el efecto el tiempo complejo tiene dos componentes: la Real y la Imaginaria. **La componente real del tiempo se desvanece** en la gran explosión **pero la componente imaginaria del tiempo nó**, lo que resuelve el problema de la singularidad.
- Enseguida, con procedimientos normales de la mecánica cuántica se llega a la **Función de Onda del Universo**.
- Los supuestos para las condiciones iniciales del Universo son problema: **todo lo que puede afirmarse** es que las cosas son ahora como son, porque antes fueron como fueron.

Principio de incertidumbre

- Fue el físico de Viena (Austria) Erwin Schrödinger quien concibió esta variable de la física moderna y creó la ecuación para resolver la fuerza y los obstáculos de una partícula dentro de un sistema.
- **El Principio de incertidumbre acepta** la broma de la naturaleza para los físicos que parte de la **dualidad onda-partícula**.
- La luz observada en los experimentos muestra que un rayo de luz **actúa como onda** al producir efectos de interferencia, y también **actúa como partícula** al colisionar contra electrones.
- Análogamente a lo visto en la dualidad de la luz, **los electrones** poseen toda clase de propiedades físicas de las partículas, **siendo partículas elementales (leptones)**, **actúan** al tiempo **como ondas** dado cuando un rayo de electrones que incide sobre una rejilla provoca un patrón de difracción.
- Lo anterior es consecuencia del conocido **PRINCIPIO DE INCERTIDUMBRE**, o a la inversa

El gato de Schrödinger

- **El físico Erwin Rudolf Josef Alexander Schrödinger (1887- 1961)**, tras una larga correspondencia con Albert Einstein propuso un experimento mental con un gato que mostraba las paradojas de la física cuántica.
- Propuso un sistema formado por una caja cerrada y opaca, y en su interior un gato, una botella de gas venenoso, una partícula radiactiva con un 50% de probabilidades de desintegrarse en un tiempo dado y un dispositivo tal que, si la partícula se desintegra, se rompe la botella y el gato muere.
- **El sistema gato-dispositivo describe una función de onda:** mientras no abramos la caja, el sistema tiene dos aspectos, el de un gato vivo y el de un gato muerto; esto es, sólo podemos hablar sobre la probabilidad del estado final del gato y no de su estado actual.
- La sola acción de **abrir la caja** para observar el gato, **modifica el estado del sistema**, pues al hacerlo se habrá de observar un gato vivo o un gato muerto.



www.commonswiki.org

La ecuación de Schrödinger

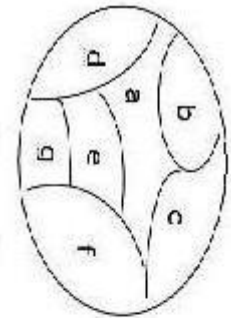
- La ecuación de Schrödinger **desarrollada en 1925**, describe la evolución temporal de una partícula masiva no relativista.
- En mecánica cuántica, **el estado en el instante t de un sistema** se describe por un elemento $\psi(t)$ del espacio complejo de Hilbert .

$$\hat{H} |\Psi(t)\rangle = i\hbar \frac{d}{dt} |\Psi(t)\rangle = \frac{\hat{\mathbf{p}}^2}{2m} |\Psi(t)\rangle + V(\hat{\mathbf{r}}, t) |\Psi(t)\rangle$$

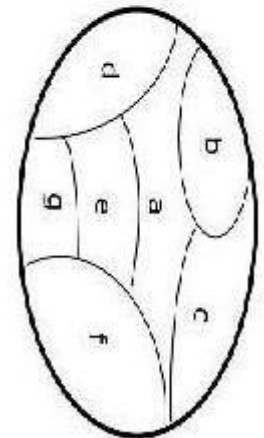
- $\psi(t)$ representa las probabilidades de resultados de todas las medidas posibles de un sistema.
- Con esta ecuación que describe la evolución temporal de $\psi(t)$, **se obtiene la solución** que da información acerca del sistema en todos los puntos del espacio y en cualquier tiempo.
- Esta ecuación es **aplicable a ondas de luz** que actúan como partículas, **y a partículas** que actúan como ondas de luz.

Modelo H&H (Hawking y Hartle)

- Este modelo de **Hawking** y su colega **James Hartley** parte del Universo de Einstein, para luego cuantizarlo y establecer el punto de partida de la cosmología cuántica
- La imagen permite aludir a dos opciones: universos posibles y universos probables.
 - I =Universos posibles como puntos de partida.
 - II =Los dos universos probables obedecen a la Relatividad General
- El modelo H&H sólo elige universos **sin** límites, tanto en el Espacio como en el Tiempo, y estos son los que resultaban congruentes con las actuales observaciones de nuestro Universo.
- Para (Hawking y Hartle) H&H lo más probable es que el espacio sea cerrado, lo cual hace posible un universo espacialmente finito: $c > 0$.



U. Posible

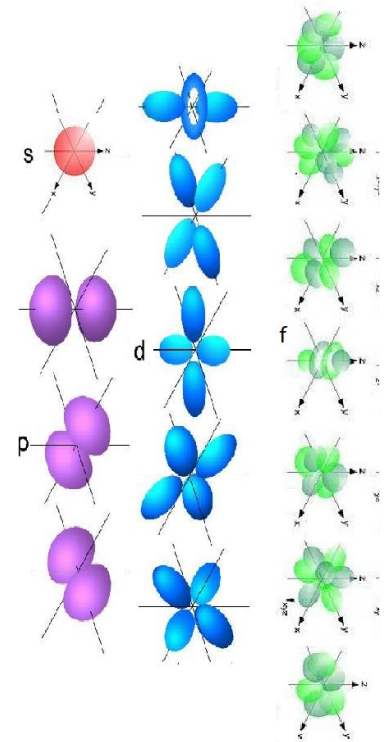


U. Probable

Universos posibles y probables

- **Max Born**, irónicamente **sigue una idea de Albert Einstein para describir la función de onda**, al señalar que el núcleo del átomo está envuelto en una nube probabilística, en la cual es más probable encontrar el electrón que lo rodea.
- Según Schrödinger, nunca se podrá saber con exactitud dónde se encuentra en un momento dado y **sólo** se podrá especificar **la probabilidad** de que el electrón se encuentre en diversos lugares, de **la nube probabilística**.
- **Una SIMILITUD:** si Schrödinger reemplazó las órbitas de los electrones por las funciones de onda, el modelo **H&H cambia el concepto de universo determinístico, por el de universos probables**, o al menos le asigna al Universo una Función de Onda con la cual se le indica la probabilidad de tener tal o cual geometría.
- Imagen: Forma de los orbitales atómicos, adaptado de <https://cursoparalaunam.com/>

FORMAS DE LOS ORBITALES ATÓMICOS



Del Big Bang al Big Crunch

- **Los universos cerrados**, de curvatura positiva, $c > 0$, satisfacen la restricción al ser finitos pero ilimitados, y que **pueden expandirse, detenerse y contraerse** luego.
- El **Big Bang** sucede después de una previa expansión por inflación del Universo, y el **Big Crunch** sería el estado final después de alcanzar el Radio máximo para contraerse de nuevo más adelante.
- En ellos el límite se puede establecer en el tiempo real, pero su **componente imaginaria**, que resulta continua, sólo **contribuye a deshacer la singularidad** inicial en el Big Bang, y al final en el Big Crunch.
- El modelo H&H demuestra que son **más probables los universos uniformes**, y por lo tanto considera más probable que nuestro Universo sea cerrado y uniforme. La uniformidad alude a la **distribución uniforme** de las galaxias, y conduce a un espacio cerrado de **curvatura “ $c > 0$ ”**.

Cualquier universo

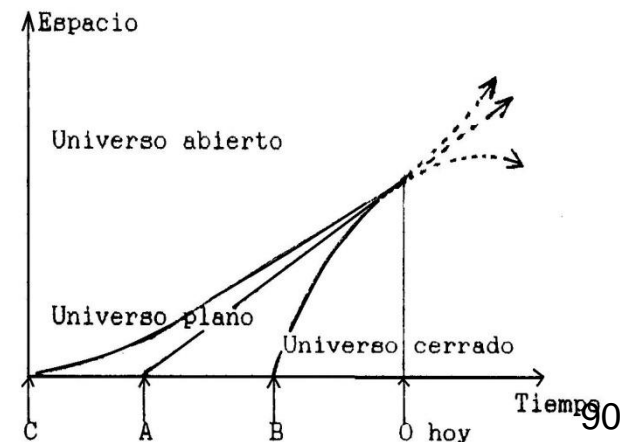
- **En la Teoría General de la Relatividad cualquier universo es igualmente probable.**
- **La inflación** es un introito que expande el Universo en su primer instante lo suficiente **para resolver los problemas cosmológicos** de falta de homogeneidad y curvatura, entre otros, lo que **supone una tasa inflacionaria mínima** de un factor de 10^{30} .
- En 1995 dice Stephen Hawking, **el Universo comienza de modo regular y ordenado**, antes del Big Bang (estado inflacionario), pero concluye en la singularidad del Big Crunch de modo irregular y caótico: allí terminará el tiempo real, pero el Universo continuará existiendo.
- Así, **la teoría de Stephen Hawking predice que es más probable el Universo cerrado y uniforme**, y que las fluctuaciones cuánticas, se deben a que hubo variaciones de densidad en el Universo primitivo.

¿Y el momento inicial?

- En la Teoría General de la Relatividad, cualquier universo tiene igual probabilidad, así su geometría sea continua o discontinua. Si es continua, valdría: $C > 0$ para el U. cerrado, $c < 0$ para el U. abierto, y $c = 0$ para el U. plano.
- Incluso, son igualmente probables universos con variaciones de curvatura, que se expanden en grado diferente, según las direcciones y distribución de masas en el Espacio-Tiempo: estos serían **universos no continuos, no uniformes** y para los cuales no existe una geometría que los interprete.

- Evidentemente, la curvatura del Universo, que parece ser casi plano, tiene consecuencias sobre el momento inicial, o sea sobre **la edad del Big Bang**.

- Tal como se muestra en la figura su origen pudo ocurrir: antes de A si es abierto (en C) o después de A si es cerrado (en B). A, corresponde al origen en el tiempo para el universo plano



El Universo de Hawking 1

- El Universo de Stephen Hawking **supone tres conceptos**:
 - 1. Inflación.
 - 2. Fluctuaciones cuánticas.
 - 3. Principio Antrópico.
- La **Inflación**: es un término surgido en 1970 para explicar la expansión del Universo y resolver al tiempo los **dos problemas claves** surgidos entonces:
 - a) ¿Por qué la curvatura del Universo **tiende a cero**?
 - b) ¿Por qué es tan uniforme la **radiación de fondo**?
- Lo de la curvatura cero debido a que la veloz expansión del Universo, en su momento inicial, cuando alcanza un radio de 10 metros, es la responsable de que se haya achatado.

El Universo de Hawking 2

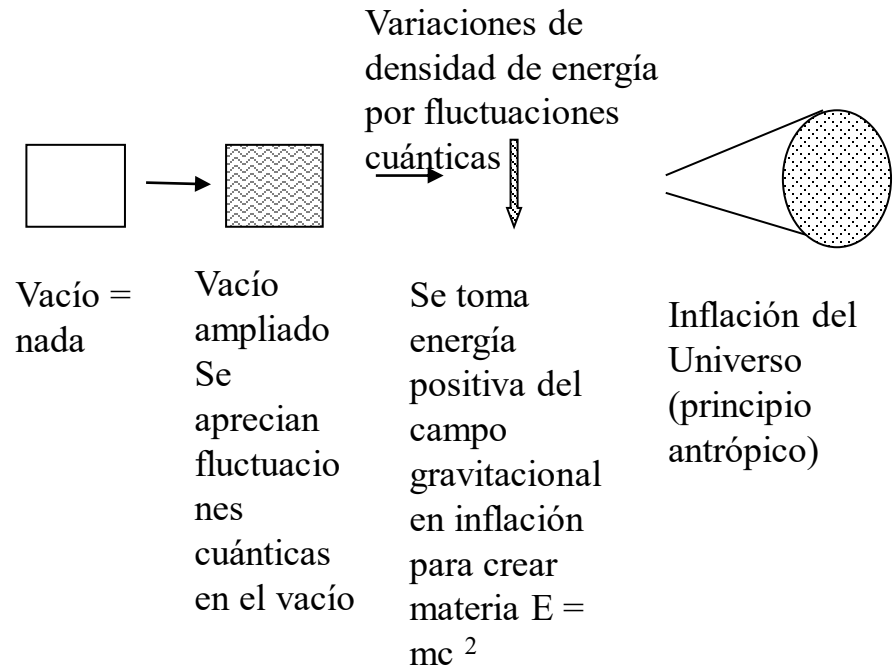
- Lo de la radiación uniforme, porque la expansión inicial **hasta los 300 mil años, cuando se separan radiación y materia**, garantiza que se preserven las condiciones iniciales de homogeneidad del Universo.
- Recuérdese que en $T = 0$, masa y energía son uniformes.
- Pero la inflación que uniformó temprano el Universo puede crear las pequeñas variaciones de densidad, que explican las galaxias.
- Los gérmenes de las galaxias surgen con el tiempo y el espacio, y con la materia primogénita, en el Big Bang, hace unos 15.000 millones de años.



Galaxias: <http://img.seti.cl/c>

Fluctuaciones cuánticas

- La inflación no puede emular las **fluctuaciones cuánticas** sino que las fija como **variaciones de densidad**, a modo de rizos de materia-energía que se imprimirán en la radiación de fondo como cambios de temperatura. Estos rizos serán los que se propuso averiguar el **Proyecto COBE** dirigido por George Smoot y el grupo de NASA de Berkeley, utilizando el satélite de Exploración del Trasfondo Cósmico lanzado en 1989.



El Principio Antrópico

- Este principio establece que **cualquier teoría válida sobre el Universo tiene que ser consistente con la existencia de los seres humanos**: *"Si en el Universo se deben verificar ciertas condiciones para nuestra existencia dichas condiciones se verifican ya que nosotros existimos"*.
- Hawking, en su libro *"Historia del tiempo"*, al tratar sobre el origen y formación del Universo, concluye diciendo que **si el Universo no hubiese evolucionado como evolucionó**, no existiríamos y por lo tanto, no tendría sentido preguntarse por qué "no existimos".
- **El Principio Antrópico** es una noción casi metafísica según la cual "si el Universo no hubiera incorporado las constante fundamentales para permitir la vida inteligente, no existiría quien pudiera informar de sus propiedades".
- El Nobel Steven Weinberg autor del libro *"Los últimos tres minutos"*, sobre el origen el Universo, cree que en la cosmología cuántica el Principio Antrópico no es tonto, sino una consecuencia natural; y agrega **"El Universo más probable es aquél en el que estamos"**.

¿Y el Nóbel de Estocolmo?

- ¿Por qué Hawking **no ha ganado el premio Nobel** de la Academia Real de Ciencia de Estocolmo?
- Rara vez se adjudica el premio por estudios o trabajos en Astronomía o Cosmología, salvo la física pura, pues Alfred Nobel era un hombre práctico que hizo fortuna con patentes del explosivo TNT y exigía a los premiados que sus descubrimientos deberían ser verificados EXPERIMENTALMENTE.
- El **Premio Nóbel de Física** ha sido entregado desde 1901 y premiado a **Max Planck** (1918) por su contribución al estudio de la física por medio de su teoría cuántica y a **Niels Bohr** (1922) por sus investigaciones sobre la estructura atómica y la radiación.
- Pero a diferencia de lo que comúnmente se piensa, fue el trabajo de **Einstein** sobre el efecto fotoeléctrico el que le proporcionó el Premio Nóbel de física en 1921, y no su Teoría de la Relatividad.
- El **laboratorio de Stephen Hawking es el Universo** y la verificación experimental podrá durar décadas en el mejor de los casos, o nunca en el peor de ellos.

Principales aportes

Los **principales aportes** de Stephen Hawking, son:

- 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**; y como cuerpos termodinámicos, **tienen una temperatura** que es función de la gravedad en su superficie y **tienen 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.

Fluctuaciones cuánticas y COBE

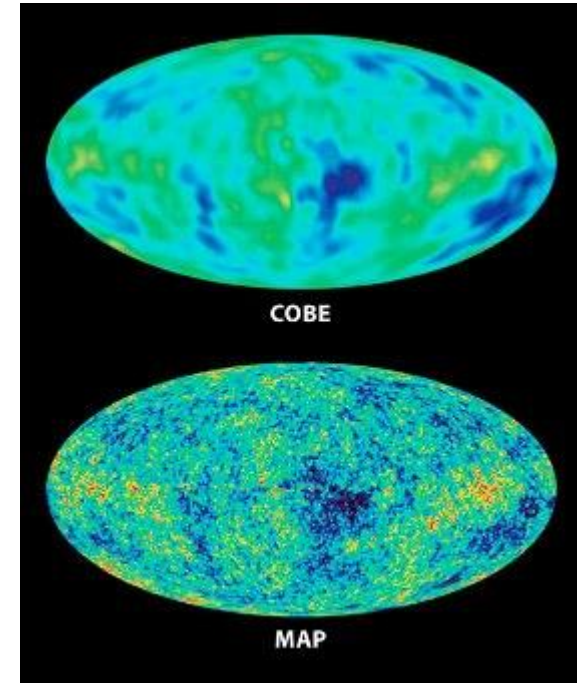
- Irónicamente, la radiación de Hawking que es lo más significativo, no candidatiza hasta hoy para el Nobel por ser imposible detectarla.
- Sin embargo, podrían probarse, y esto se hizo con el COBE entre 1989 y 1992, **buscando las fluctuaciones cuánticas que surgen del Big Bang y originaron las galaxias.**
- Con el Explorador de la Radiación Cómica de Fondo COBE, se persiguieron **dos medidas**:
 - a) Las **Absolutas** muy precisas, de la radiación de fondo.
 - b) Las **Diferenciales** muy sensibles de la radiación de fondo.
- **COBE** duró proyectándose 12 años y sus **resultados** fueron **espectaculares**: lanzado en 1982, a los 8 minutos confirmó las conclusiones de Penzias y Wilson (1964), pero ya para diferente longitud de onda.
- El destacado astrónomo colombiano **Sergio Torres Arzayús**, participó en este proyecto, distinguido con el premio Nóbel de física del 2006 otorgado a los americanos George Smoot y John Mather líderes del experimento COBE de la NASA.

Los rizos del Espacio-Tiempo

- Si la radiación detectada por Penzias y Wilson proviene del Big Bang, debe mostrar ciertas características con las cuales se reafirme su naturaleza cósmica asociada al origen del Universo:
 - Mostrar equilibrio térmico en el espectro, como un cuerpo negro.
 - Que se haya enfriado en el tiempo por la expansión del U.,
 - Ser casi homogénea e isotrópica, lo que admite rizos,
 - Y ser omnidireccional dado que su fuente es el Universo todo.
- El proyecto medía **los rizos del Espacio-Tiempo del Universo con 300 mil años** de edad, y en abril de 1992, **después de 2 años de evaluar las medidas, Smoot hace el formidable anuncio:** con el **COBE se midieron diferencias de la temperatura** del orden de 10^{-5} grados **en la radiación de fondo.**

El mapa del Universo

- Según el modelo COBE la temperatura medida era mayor hacia los grupos de galaxias y un poco menor hacia los grandes vacíos.
- COBE el primer satélite construido especialmente para estudios de cosmología, logra sacar el mapa del Universo, con su estructura mostrando los rizos cósmicos.
- Según Stephen Hawking, **los rizos son la prueba de las fluctuaciones cuánticas de un Universo inflacionario.**
- *De acuerdo con el Comité del Premio Nobel, "el proyecto COBE se puede considerar como el punto de partida para la cosmología como una ciencia de precisión".*



www.nasa.gov

ANEXO: Biografía I; primeros años y educación

- Los padres de Hawking huyeron de Londres durante la Segunda Guerra Mundial. Nació el 8 de enero de 1942 en Oxford, siendo sus padres, Isobel Hawking y Frank Hawking, investigador biológico. Tiene además dos hermanas menores, Philippa y Mary, y un hermano adoptado, Edward. Después del nacimiento de Stephen, la familia volvió a Londres, donde su padre trabajaba como parasitólogo del National Institute for Medical Research. En 1950 ingresó al instituto St Albans y a los once años cambió al colegio homónimo, donde fue un buen estudiante aunque no brillante.
- En un primer momento, Hawking quiso estudiar matemáticas en la Universidad, pero su progenitor quería que estudiara en el University College de Oxford donde no había profesor de matemáticas, por lo que Hawking debió matricularse en ciencias naturales; allí en el University College consiguió una beca y se especializó en física. Su interés en esa época se centraba en la termodinámica, la relatividad y la mecánica cuántica. Durante su estancia en Oxford su tutor de física, Robert Berman, comenta que solo le bastaba saber que se podía hacer algo y él era capaz de hacerlo autónomamente.
- Aunque los hábitos académicos de Hawking estaban lejos de impresionar, en su examen final alcanzó la frontera entre los honores de primera y segunda clase, requiriendo un examen oral donde los examinadores se percataron de que se trataba de alguien mucho más inteligente que la mayoría de ellos. Después de recibir su título de grado en Oxford en 1962, hizo sus estudios de posgrado en el Trinity Hall de Cambridge donde obtuvo su doctorado en física en 1966 y acumuló más de una docena de títulos honorarios.

ANEXO: Biografía II; su notable obra científica

- Ya en Cambridge Hawking interactuó con los teóricos de cuerdas David Gross y Edward Witten, pero comienza a presentar síntomas de esclerosis lateral amiotrófica (ELA), la enfermedad motoneuronal que le haría perder control neuromuscular. Después de dos años en Cambridge cuando la enfermedad se estabiliza, gracias a la ayuda de su tutor doctoral, Dennis William Sciama, vuelve a trabajar en la tesis.
- Terminada la década de 1960, con su colega de Cambridge Roger Penrose, desarrolla un nuevo modelo matemático soportado en la teoría de la relatividad general de Albert Einstein, del cual se pone a prueba en 1970 el primer teorema de la singularidad para el Espacio-Tiempo.
- En 1974, calculó que los agujeros negros debían emitir térmicamente partículas subatómicas, lo que actualmente se conoce como radiación de Hawking. En 1974 es elegido miembro de la Royal Society, el mismo año que visita el Instituto de Tecnología de California. En Caltech inicia una relación con Kip Thorne que perdurará hasta su muerte.
- Hawking sugirió que después del big bang se formaron diminutos agujeros negros primitivos, y junto con Bardeen y Carter, propuso las cuatro leyes de la termodinámica de los agujeros negros.
- Hawking desarrolló en colaboración con James Hartle un modelo topológico en el que el Universo no tenía fronteras en el espacio-tiempo, reemplazando la singularidad inicial de los modelos clásicos del big bang por una región similar. Aunque en un principio la propuesta de un Universo sin fronteras predecía un Universo cerrado, los debates con Neil Turok le hicieron darse cuenta de que la ausencia de límites es coherente con un Universo no cerrado.
- En 2006, junto con Thomas Hertog de la CERN, Hawking propuso una teoría según la cual el Universo no tenía un único estado inicial, por lo cual no se puede explicar el Universo actual sobre la base de un estado inicial en concreto.
- Desde 1979 Hawking asume la cátedra Lucasiana de Cambridge por treinta años, pasando después a Director de investigación en el Centro para Cosmología Teórica de la misma universidad. El 14 de marzo de 2018, a los 76 años de edad, fallece en Cambridge.

FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

- **Principal:**
- “Stephen Hawking para principiantes”, Joseph Mc Evoy y Oscar Zárate. Errepar Buenos Aires, 1996.
- **Complementos:**
- [*Astronomía en la Edad Media y el Renacimiento*](#). Por: Claudia Torres Arango y Gonzalo Duque Escobar (2020). Contexto en Astronomía del OAM. U.N. de Colombia.
- [*Cultura y Astronomía - C&A*](#). Duque Escobar, Gonzalo (2007) Contexto en Astronomía, [Objeto de aprendizaje U.N. de Colombia]
- [*El Universo*](#). Por Gonzalo Duque-Escobar (2020). Museo Interactivo Samoga y Observatorio Astronómico de Manizales OAM- U.N. de Colombia.
- [*Guía astronómica*](#). Duque Escobar, Gonzalo (2003. Act 2020) Observatorio Astronómico de Manizales OAM. Universidad Nacional de Colombia.
- [*Isaac Newton*](#). Duque Escobar, Gonzalo (2009); Contexto en Astronomía, Observatorio Astronómico de Manizales OAM. U.N. de Colombia.
- [*Albert Einstein*](#). Duque Escobar, Gonzalo (2016) Contexto en Astronomía, Observatorio Astronómico de Manizales OAM. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.

Muchas gracias



Gonzalo Duque Escobar. Ingeniero Civil con Estudios de Postgrado en Geofísica, Economía y Mecánica de Suelos. Expresidente de la Red Colombiana de Astronomía. Director del Observatorio Astronómico de Manizales OAM, Director del Museo Interactivo “Samoga” y Profesor de la Universidad Nacional de Colombia, desde 1976.

<http://oam.manizales.unal.edu.co>

Documento del Museo Interactivo Samoga de la Universidad Nacional de Colombia. Manizales, 2009, Act 2022

Bibliografía Complementaria

- ASIMOV, Isaac. El universo I y II. Biblioteca temática Alianza. I.S.B.N.: 84-7838-424-3 y 84-7838-425-1 Madrid. 1994.
- ASIMOV, Isaac. El colapso del universo. Editorial Diana. Méjico 1987.
- ASIMOV, Isaac. Fronteras I y II. Ediciones B. I.S.B.N.: 84-406-2042-X, I.S.B.N.: 84-406-4473-6. Barcelona 1994.
- ASIMOV, Isaac. Soles en explosión. Editorial Planeta I.S.B.N.: 958-614-311-2. Colombia. 1989.
- Astronomía para todos. Segunda edición. Facultad de ciencias. Universidad Nacional de Colombia. Editorial UNIBIBLOS. I.S.B.N.: 958-701-104-X. Bogotá. 2001.
- BATTANER LÓPEZ, Eduardo. Planetas. El libro de bolsillo Alianza Editorial. I.S.B.N.: 84-206-0543-3. Madrid. 1991.
- BRIX, James. Un universo infinito. Revista Universo. No. 37, mayo 1998. Página 36 a 41. España. 1998.
- CERNUSCHI, Félix, CODINA, Sayd. Monografía: Panorama de la astronomía moderna. Secretaría General de los Estados Americanos. Tercera edición. Washington D.C. 1976.
- Cultura & Astronomía. Gonzalo Duque-Escobar. Universidad Nacional de Colombia. Manizales. 2007. En: <http://www.bdigital.unal.edu.co/12426/>
- DAVIES, Paul. El universo desbocado. Biblioteca científica Salvat. I.S.B.N.: 84-345-8361-5. Barcelona. 1986.
- *El bosón de Higgs*. Duque Escobar, Gonzalo (2012) La Patria . <http://www.bdigital.unal.edu.co/7037/>
- El Universo acelerado. Gonzalo Duque Escobar (2011).Universidad Nacional de Colombia. <http://www.bdigital.unal.edu.co/4878/>
- ERICKSON, Jon. La exploración de la tierra desde el espacio. Mc Graw Hill. I.S.B.N. 84-7615-781-9. España. 1991.
- FERNÁNDEZ CASTRO, Telmo. La construcción de los cielos. Espasa Minor. I.S.B.N.: 84-239-6488-4. Madrid. 2000.
- Guía Astronómica. Gonzalo Duque-Escobar. Universidad Nacional de Colombia. Manizales. 2002. En: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1700/>
- GUAL GARCIA, Carlos. Los siete sabios (y tres más). Biblioteca temática Alianza. I.S.B.N.: 84-7838-459-6 Madrid. 1995.
- GOLDSTEIN, Thomas. Los albores de la ciencia. Fondo Educativo Interamericano. I.S.B.N. 968-858-001-5. Méjico. 1985.
- GREENE, Brian. El Universo Elegante. Editorial Crítica. I.S.B.N. 958-42-0248-0. Colombia. 2002.
- GIBILISCO, Stan. Cometas, meteoros y asteroides. Cómo afectan a la tierra. Mc Graw Hill. I.S.B.N. 84-7615-727-4. España. 1991.
- GÓMEZ CARDER, Gabriel Jaime. El día que Humboldt llegó a Cartagena de Indias. Editorial Colina. I.S.B.N.: 958-33-4018-9 Colombia. 2002.
- Grandes obras del pensamiento. Nicolás Copérnico. Traducción Carlos Mínguez Pérez. I.S.B.N.: 84-487-0158-5. Barcelona. 1994.

Bibliografía Complementaria1 de 2

- Grandes obras del pensamiento. Johannes Kepler. Trad: Eloy Rada García. I.S.B.N.: 84-487-0146-1. Barcelona. 1994.
- GONZÁLEZ VILBAZO, Kay E. Nicolás de Oresme. La rotación de la Tierra en la Edad Media. Revista Universo. No. 42 Octubre 1998. Página 30 a 35. España. 1998.
- HATHAWAY, Nancy. El Universo para curiosos. Editorial Crítica. I.S.B.N. 84-7423-770-X. Barcelona. 1996.
- HAWKING, Stephen W. Historia del tiempo. Editorial Crítica. I.S.B.N. 958-639-048-9. Colombia. 1988.
- HAWKING, Stephen W. Agujeros negros y pequeños universos. Editorial Planeta. I.S.B.N. 950-742-530-6. Colombia. 1996.
- HAWKING, Stephen W. El universo en una cáscara de nuez. Editorial Planeta. I.S.B.N. 84-8432-293-9. Barcelona. 2002.
- Historia de la Astronomía, en: <http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd98/Astronomia/03/astronomia-03.html>
- Historia de la astronomía en Méjico. Fondo de Cultura Económica. I.S.B.N.: 968-16-5769-1. Tercera edición. Méjico. 1995.
- Historia Universal El Tiempo. I.S.B.N.: 958-95674-7-9. Colombia.
- Historia de la Ciencia 1543 a 2001. John Gribbin. Editorial Crítica. ISBN: 84-8432-607-1. Barcelona. 2005.
- Historia del método científico moderno. Alejandro Vela Quico. Perú, 2007. En: <http://www.monografias.com>
- HERMAN, Robin. Fusión. La búsqueda de la energía eterna. Mc Graw Hill. I.S.B.N. 84-481-0085-9. España. 1993.
- FERRIS, Timothy. La aventura del universo. Editorial Crítica. I.S.B.N.: 84-8432-005-7. Barcelona. 1999.
- Isaac Newton. Gonzalo Duque Escobar. Universidad Nacional de Colombia. 2009. En: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1668/>
- KRUPP, E. C. En busca de las antiguas astronomías. Ediciones Pirámide. I.S.B.N.: 84-368-0554-6. Madrid. 1989.
- KOYRÉ, Alexandre. Del mundo cerrado al universo infinito. Siglo Veintiuno Editores. Méjico. I.S.B.N. 968-23-0499-7 Novena edición 1996.
- La astronomía en Colombia: perfil histórico. Gonzalo Duque Escobar (2009) <http://www.bdigital.unal.edu.co/1703/>
- *La Luna*. Duque Escobar, Gonzalo (2009) [Teaching Resource] <http://www.bdigital.unal.edu.co/1663/>
- LEVY, David H. Observar el cielo. Editorial Planeta. I.S.B.N.: 84-08-01474-9. Barcelona. 1998.
- Los planetas. Colección científica. Time Life. Ediciones Culturales Internacionales S. A. de C. V. I.S.B.N.: 968-418-042-X Méjico. 1989. MORENO CORRAL, Marco Arturo.
- *Los albores de la civilización*. Duque Escobar, Gonzalo (2009) In: I Encuentro Internacional de Culturas Andinas , 20 Agosto de 2009, Pasto. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1666/>
- MACLAGAN, David. Mitos de la Creación. Editorial Debate. I.S.B.N.: 84-7444-325-3. España. 1989.
- MÁROV, M. Planetas del Sistema Solar. Editorial MIR. Impreso en la URSS. Moscú. 1985.

Bibliografía Complementaria 2 de 2

- Miguel Lorente; Epistemología y Filosofía de la Ciencia: El espacio-tiempo sigue siendo un enigma para la ciencia y la filosofía. En: <http://groups.msn.com/1407tubnl0p/>
- Nicolson, Ian. Astronomía. Biblioteca Juvenil Bruguera. 1980.
- Nicolson, Ian. La Exploración del espacio. Biblioteca Juvenil Bruguera. 1980 PELLEQUER, Bernard. Guía del cielo. Biblioteca temática Alianza. I.S.B.N.: 84-7838-402-2 Madrid. 1994. RESTON, JR. James. Galileo. Ediciones B, S. A. I.S.B.N. 84-406-6697-7. Barcelona. 1996.
- PUERTA RESTREPO, Germán. Guía para viajeros del cielo. Editorial Planeta. I.S.B.N.: 958-614-605-7. Cuarta edición. Colombia. 2002.
- PUERTA RESTREPO, Germán. Vida en otros mundos. Editorial Planeta. I.S.B.N.: 958-42-0008-9. 2001.
- Revista Colombiana de Astronomía, astrofísica, cosmología y ciencia afines. I.S.B.N.: 0123-6172. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 1999.
- Recopilacion De Articulos De La Recherche. Astrofísica. Biblioteca de Divulgación Científica "MuyInteresante". Ed. Orbis. 1985.
- Sloan Digital Sky Survey: <http://cas.sdss.org/dr6/sp/>
- *Sol, clima y calentamiento global*. Duque Escobar, Gonzalo (2014) La Patria . ISSN 0124-9320 <http://www.bdigital.unal.edu.co/39782/>
- The Reference Frame: Hartle-Hawking-Susskind unification: www.motls.blogspot.com/2006/02/
- Teoría de partículas elementales; Federico Tejeiro, en: <http://www.monografias.com/trabajos6/teori/teori.shtml>
- Trefil, James S. El momento de la creación. Biblioteca Científica Salvat. 1986.
- VAN DOREN, Charles. Breve historia del saber. Editorial Planeta. Primera reimpresión. I.S.B.N. 970-37-0558-8 Méjico 2006.
- Wagoner, Robert V. Y Goldsmith, Donal W. Horizontes Cósmicos. Editorial Labor. 1985.
- Werner Karl Heisenberg: Werner Karl Heisenberg: http://es.wikipedia.org/wiki/Werner_Heisenberg
- Wikipedia: Albert Einstein, en: http://es.wikipedia.org/wiki/Albert_Einstein
- Wikipedia: Constante de Planck, en: http://es.wikipedia.org/wiki/Constante_de_Planck
- Wikipedia: Evolución biológica, en: http://es.wikipedia.org/wiki/Evoluci%C3%B3n_biol%C3%B3gica
- Wikipedia: Mecánica cuántica, en: http://es.wikipedia.org/wiki/Mecánica_cuántica Wikipedia: Stephen William Hawking, en: http://es.wikipedia.org/wiki/Stephen_Hawking
- Wikipedia: Teoría de la Relatividad, en http://es.wikipedia.org/wiki/Teoría_de_la_Relatividad
- Wikipedia: Teoría del Big Bang, en: http://es.wikipedia.org/wiki/Teoría_del_Big_Bang
- VÉLEZ, Antonio. Del big bang al homo sapiens. Editorial Universidad de Antioquia. I.S.B.N.: 958-655-159-8. Medellín, 1998.
- Viaje a través del universo. Time Life Libros. Tomos 1 a 40. I.S.B.N.: 84-7583-925-8 obra completa. España. 1995.

ENLACES U.N. DEL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO DE MANIZALES 1 de 2

[A propósito de Kaguya: ciencia y contaminación en la Luna.](#)
[Acuerdo Climático: avance necesario pero insuficiente.](#)
[Albert Einstein en los cien años de la Teoría de la Relatividad.](#)
[Año Internacional de la Astronomía IYA 2009.](#)
[Artemis I, abre nuevo camino a la Luna.](#)
[Astronomía en América Precolombina.](#)
[Astronomía en la Edad Media y el Renacimiento.](#)
[Asuntos del clima en Colombia vistos desde El Niño. .](#)
[Atlantis cierra la era del transbordador.](#)
[Bosques, Cumbre del Clima y ENSO.](#)
[Bosques: regulación hídrica y pluviométrica.](#)
[Cambio Climático en Colombia: La Amenaza.](#)
[Carta abierta de CORALDEA GLOBAL a la ciudadanía y medios institucionales.](#)
[Cátedra “José Celestino Mutis”](#)
[Cien años el universo relativista de Einstein.](#)
[Ciencia, Tecnología y Sociedad CT&S.](#)

[Ciencias Naturales & CTS.](#)
[Científicos del IPCC cuestionan informe de ONU sobre cambio climático.](#)
[Cincuenta años de la llegada del hombre a la Luna.](#)
[Clima: las heladas en Colombia.](#)
[Colombia, por un desarrollo satelital.](#)
[Colombia, trópico andino y agua.](#)
[¿Cómo educar y para cuál sociedad?](#)
[Contexto en Astronomía OAM– U.N.](#)
[Sede Manizales.](#)
[Conviviendo con el volcán.](#)
[Coordenadas astronómicas.](#)
[COP-27, Colombia y la debacle por La Niña.](#)
[Cosmografía.](#)
[Crisis del clima: y el calentamiento global ¿qué?](#)
[CTS, Economía y Territorio.](#)
[Cultura y Astronomía \(CyA\)](#)
[Del geocentrismo y heliocentrismo al universo relativista.](#)
[Desarrollo y revoluciones tecnológicas.](#)
[Descubrir el universo desde Colombia.](#)
[Día del Medio Ambiente: El Universo.](#)
[Dinámicas del clima andino colombiano.](#)
[El Bosón de Higgs.](#)

[El camino a las estrellas.](#)
[El camino por el Río Grande de La Magdalena.](#)
[El cuidado de la casa común: Agua y Clima.](#)
[El desarrollo urbano y económico de Manizales.](#)
[El misterioso lado oscuro del universo.](#)
[El quehacer de los astrónomos en Colombia.](#)
[El Sistema Solar.](#)
[El territorio caldense, ¿un constructo cultural? – UMBRA.](#)
[El Universo acelerado.](#)
[El volcán y el desastre de Armero.](#)
[Elementos de Astrofísica y Las Estrellas.](#)
[Elementos de mecánica planetaria.](#)
[F J de Caldas y J Garavito Armero.](#)
[Guía astronómica.](#)
[Fisiografía y geodinámica de los Andes de Colombia.](#)
[Historia de la astronomía.](#)
[Historia de la Astronomía: Edad Media y Renacimiento.](#)
[Galileo: el conflicto entre la razón y el poder.](#)
[Geotecnia para el Trópico Andino.](#)

ENLACES U.N. DEL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO DE MANIZALES 2 de 2

[Ingeniería, incertidumbre y ética.](#)
[Ingenierías, medio ambiente y](#)
[humanidades.](#)

[Isaac Newton: de Grecia al](#)
[Renacimiento.](#)

[José María González Benito \(1843-](#)
[1903\)](#)

[Juno auscultaría en Júpiter origen del](#)
[Sistema Solar.](#)

[La astronomía de los Muisca a la](#)
[Colonia.](#)

[La astronomía en Colombia: perfil](#)
[histórico.](#)

[La Comisión Colombiana del Espacio](#)
[CCE.](#)

[La cosmología de Stephen Hawking.](#)
[La economía azul en la esfera de la](#)

[producción.](#)

[La farsa de las dos lunas en cielo.](#)

[La “luna roja” de octubre 8 de 2014.](#)

[La Luna.](#)

[Las cuentas del agua.](#)

[Las estrellas.](#)

[Las galaxias.](#)

[Lecciones de la Comisión Corográfica:](#)
[un reto para el urbanismo de hoy.](#)

[Los albores de la civilización.](#)

[Los Calendarios.](#)

[Los seis eclipses del 2020.](#)

[Llegamos a Marte.](#)

[Manual de geología para ingenieros.](#)

[Materia y Energía.](#)

[Mecánica Planetaria.](#)

[Misiones Galileo y Cassini a los](#)

[Planetas Jovianos.](#)

[Muelle de Tribugá.](#)

[Modelo académico administrativo para](#)
[el Planetario de Manizales.](#)

[Museo Interactivo Samoga: 2001-2015.](#)

[Nobel de Física a tres astrónomos.](#)

[Observación del Cielo y Carta Celeste.](#)

[Observatorio de alta montaña para la](#)
[astronomía de Colombia.](#)

[Océanos: ecosistemas vitales](#)
[amenazados.](#)

[Otra prueba de la TGR: el agujero](#)
[negro en M87.](#)

[Patrimonio hídrico: carencias en la](#)
[abundancia.](#)

[Periplo científico de Humboldt por](#)
[América.](#)

[¿Por qué el Aeropuerto del Café?](#)

[Preservación Ambiental e Hídrica](#)
[dentro de la Declaratoria del PCCC.](#)

[Primer alunizaje en la cara oculta de la](#)
[Luna.](#)

[Problema “ALEPH”: planteamiento y](#)
[solución a un problema topográfico.](#)

[Pronósticos a lo largo del tiempo para](#)
[el macroclima.](#)

[Protagonistas de la astronomía.](#)

[Red de Veedurías de Caldas -Carta](#)
[Abierta 2022.](#)

[Réquiem por la meteorología en](#)
[Colombia.](#)

[Riesgo en zonas de montaña por](#)
[laderas inestables y amenaza](#)

[volcánica.](#)

[Río Magdalena: Historia y Derechos](#)
[Bioculturales del Territorio.](#)

[Sismos y volcanes en Colombia.](#)

[Sol, clima y calentamiento global.](#)

[Sol Lunas y Planetas del Sistema](#)
[Solar.](#)

[Teorías cosmogónicas.](#)

[Terremotos en el occidente](#)
[colombiano.](#)

[Textos “verdes”.](#)

[Tiempo y Calendarios.](#)

[Tierra sólida y fluida.](#)

[Turismo espacial: ¿riesgos o](#)
[beneficios?](#)

[Tres décadas del Hubble.](#)

[UMBRA: la Ecorregión Cafetera en los](#)
[Mundos de Samoga.](#)

[Una proeza tecnológica y un desafío](#)
[para los cosmólogos.](#)

[VIDEOTECA DEL MUSEO SAMOGA](#)
[Webb, el telescopio capaz de descifrar](#)
[grandes misterios.](#)