



12.1. ALGUNOS CONCEPTOS

12.1.1. Antimateria. Por cada partícula elemental, existe una **antipartícula** (raras excepciones); por ejemplo del electrón el positrón; entre ellas sus propiedades son opuestas, en su reacción se aniquilan produciendo energía en rayos gamma, equivalentes a 100 veces la energía de fusión nuclear, del aniquilamiento del **positronio** (par $e^+ e^-$) se demuestra que masa y energía son dos aspectos de la misma cosa. Como hipótesis, de existir cuerpos de antimateria, deberían estar separados de la materia. Una galaxia y una antigalaxia se deberían repeler por la interacción gravitatoria.

12.1.2. Cuásares. Los hay de dos tipos: los ópticamente observables que pueden ser galaxias cuasiestelares y los radio-eléctricamente observables que se presentan como fuentes cuasiestelares (radio-ondas). Ambos son fuentes radiantes casi puntuales, (a modo de estrellas), y de **espectro insólito**, por su gran desplazamiento al rojo, lo que significaría que se alejan casi a la velocidad de la luz y por lo tanto estarían en los confines del Universo. Así, sería la macro-estructura más antigua que se ha detectado y en tales circunstancias su luminosidad sería enormemente superior a la de una galaxia. Pero, paradójicamente, por la energía emitida su diámetro debería ser mucho mayor que el de las galaxias y su contorno observable, más sin embargo en las fotos, apenas presentan el tamaño de una estrella gigante. Tan pequeño diámetro y tan alta densidad (como estrellas masivas que chocan y producen reacciones en cadena) permiten la **hipótesis** de un núcleo galáctico en explosión a modo de galaxia supernova.

12.1.3. Nebulosas. Pueden ser interestelares (entre estrellas) e intergalácticas (entre galaxias). Por la actual **composición del Universo**, $^1\text{H} = 90\%$, $^4\text{He} = 9\%$, otros = 1% así: $^{12}\text{C} = 0.03\%$, $^{14}\text{N} = 0.01\%$ $^{16}\text{O} = 0.06\%$, su edad estaría entre 10 mil y 20 mil millones de años. Las nubes se orientan en el campo magnético de la galaxia o con el campo magnético del cúmulo galáctico.

Otra clasificación de las nebulosas es en Región H1 y Región H2. Las de la **Región H1** se forman por Hidrógeno frío, $t = 100^\circ\text{K}$, no emiten luz, el gas está menos denso y no es ionizado, mientras que en las de la **Región H2** la temperatura es 10000°K y los gases están ionizados, por la luz ultravioleta procedente de las estrellas en el interior de la nube, ejemplos, las nebulosas Orión y Tarántula.

12.1.4. Agujeros negros. Es la fase última de una estrella de gran masa que ha colapsado por su propio peso, comprimiéndose hasta formar un punto de densidad infinita y volumen cero. Los físicos llaman a este punto **singularidad**; una región en la que se vienen abajo las leyes normales de la física y en las que el concepto de tiempo pierde el sentido.

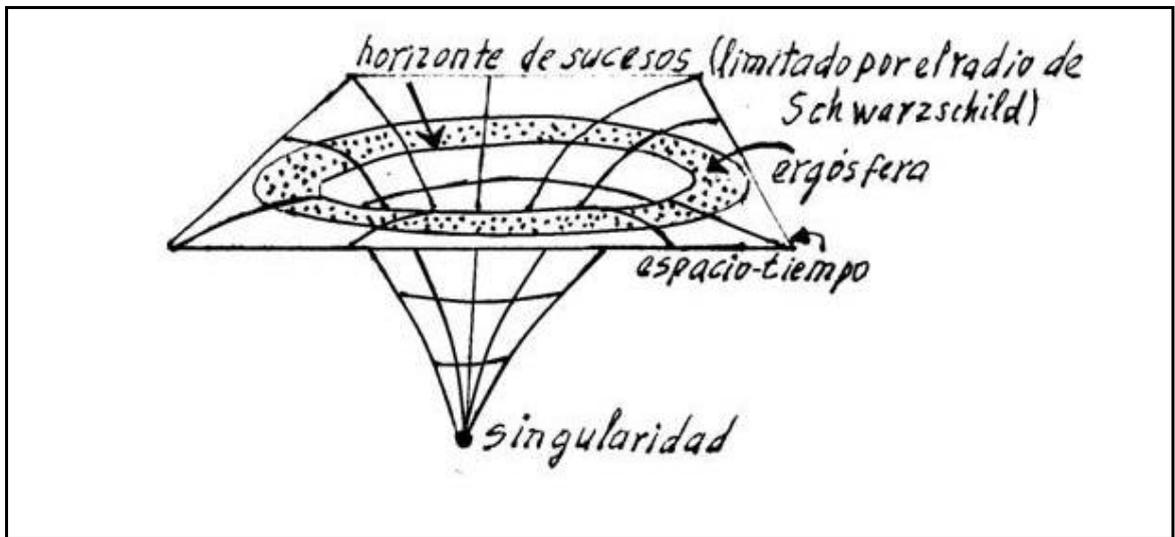


Figura 12.1. El agujero negro: aquí se dibuja el espacio deformado, en solo dos dimensiones.

Tal singularidad está rodeada de enormes fuerzas gravitatorias. La atracción gravitatoria impide que la luz salga de un cierto entorno, denominado **horizonte de sucesos**, manteniendo así invisible el agujero y dándole su nombre. Incluso, la materia que se aproxima demasiado es atraída y queda atrapada para siempre, incluso por fuera de este horizonte, en una región denominada **ergósfera**. Si de la ergósfera, puede salir la luz, no podrá hacerlo un planeta.

12.1.5. Agujeros blancos. Entes hipotéticos, **reversos** de agujeros negros, por donde se generaría materia proveniente de otro Universo. El mejor candidato sería el Universo en su conjunto.

12.1.6. Radiación remanente. Puede ser Radiación Cósmica Galáctica y Radiación de Fondo.

La primera, explicada por supernovas, consiste en **rayos cósmicos** (alta frecuencia) que pueden incidir o escapar de la galaxia, según su campo magnético la oriente.

La radiación de Fondo, está constituida por ondas de radio omni-direccionales (en todas las direcciones), que podrían ser el remanente del Big Bang. Esta radiación, equivalente a una temperatura actual para el Universo de $\sim 3^\circ \text{K}$, y que ha disminuido con su expansión, nos permite calcular su edad termodinámica.

12.1.7. Materia oscura. Para elaborar un modelo satisfactorio del Universo se debe evaluar su masa total de materia. El valor de la expansión o de la contracción del universo depende de su contenido de materia. Si la actual densidad es mayor que la densidad crítica, las fuerzas gravitatorias detendrán la expansión y el Universo se comprimirá en sí mismo para luego iniciar un nuevo ciclo de expansión. En cambio, si el universo tiene una densidad menor que ese valor, se expandirá para siempre.

Gonzalo Duque-Escobar

En la actualidad, la densidad de materia detectada, -la que brilla, que refleja la luz y que la absorbe, es un 20% menor que la necesaria para alcanzar la densidad crítica. Sin embargo, los astrónomos sospechan que una cierta cantidad de materia podría faltar en esta evaluación: la contenida en agujeros negros o la omitida en las estimaciones afectadas por graves errores o por los métodos instrumentales, pues existe materia oscura no detectable por medio de la luz visible, pero sí en otras longitudes de onda (por ejemplo: infrarrojas) o no inventariada por estar localizada en las enanas marrones

Se ha sugerido que las enanas marrones (cuerpos que no tienen luz propia) podrían constituir halos invisibles rodeando las galaxias. Esta idea ha sido introducida para tratar de explicar los movimientos de objetos ubicados en los alrededores de las galaxias, y que indican así la presencia de cuerpos celestes imposibles de detectar con las técnicas actuales de observación.

12.1.8 Las lentes gravitatorias. La enorme masa de una galaxia lejana de poco brillo puede actuar como una pequeña lente gravitacional, creando múltiples imágenes un objeto brillante más lejano y alineado detrás de ella..Es el caso de imágenes dobles y cercanas de quásares, que tienen igual brillo y el mismo corrimiento al rojo.

El fenómeno se explica así: para dos cuerpos alineados de esa manera, galaxia y cuasar, el haz de luz que proviene del cuasar y pasa rozante a la galaxia , se desvía acercándose a la recta que une ambos cuerpos con el observador. Si se consideran dos haces luminosos avanzando desde el cuasar hasta el observador, pasando por costados diametralmente opuestos de la galaxia pero rozantes a ella, se producen dos imágenes del quásar, muy próximas, ya que para el observador ambos haces de luz aparecen

separados en el cielo. En ciertas condiciones se pueden observar más de dos imágenes del mismo cuasar.

12.2. PRINCIPIOS COSMOLÓGICOS.

La cosmología es la ciencia que estudia el Universo: sus propiedades, origen, estructura y evolución. Para el efecto, los cosmólogos utilizan modelos consistentes en esquemas hipotéticos de cómo sería el Universo bajo ciertas condiciones; para comprobar o rechazar la validez de sus hipótesis a través de los datos observacionales.

Los modelos cosmológicos tienen postulados: Uno, es el llamado "**principio cosmológico**" que establece la homogeneidad del espacio. Según este, el aspecto de Universo es el mismo independientemente del lugar en que se encuentre el observador

Pero otro postulado, el del "**principio cosmológico perfecto**", va más lejos. Dice que el Universo debe parecer igual a todo observador, en cualquier punto y en cualquier época, Este soporta la teoría del **Estado Estacionario del Universo** que propone que el Universo debe verse idéntico desde cualquier lugar y no debe experimentar cambios en el tiempo. Si la teoría del Estado Estacionario es válida, conforme se expande el Universo, se mantendría constante la densidad de materia del Universo e igual la proporción de galaxias viejas y jóvenes a lo largo y ancho del espacio, como condición necesaria para que el aspecto del Universo no varíe en el tiempo. Pero hasta hoy no se ha logrado ninguna evidencia al respecto, ni de la creación continua de materia ni de sea uniformidad.

Gonzalo Duque-Escobar

Si en lugar de ambos postulados, sólo se cumple el primero el Universo sería finito y con la expansión, estadísticamente los astros se estarían separando, independientemente del movimiento propio que tenga cada sistema. Esto implica un Universo en evolución expandiéndose y se atenuando la atracción gravitatoria. Como la velocidad de la expansión del Universo depende de esta fuerza y de la energía inicial del mecanismo que la ha generado, dependiendo de la cantidad de materia disponible, podría contraerse de nuevo.

El valor de la desaceleración del Universo (parámetro de frenado q) depende de dos números: la constante de Hubble y la densidad de materia en el espacio. Según sea el valor de q se tendrá la forma del Universo evolutivo cerrado o abierto.

- **El Principio Antrópico.** Es una noción casi metafísica según la cual, si el Universo no hubiera incorporado las constantes fundamentales para permitir la vida inteligente, no existiría quién pudiera informar de sus propiedades.

12.3. PROYECTOS SETI.

En busca de vida inteligente, más allá de la Tierra, y de un puente de comunicación, tal como soñaron Tales de Mileto, Pitágoras, Anaximandro, Epicuro y Demócrito, en contravía al pensamiento de Platón y Aristóteles quienes conciben a la especie humana como el Centro del Universo, hoy se acepta esta posibilidad y desde 1988 se despliegan esfuerzos independientes y mancomunados para intentar un resultado positivo.

El cálculo especulativo sobre esa posible comunicación, parte de un inventario probable de 100 mil millones de estrellas en nuestra galaxia, de las cuales el 10 % puede tener en promedio 10 planetas, y uno de ellos con condiciones aceptables. Suponiendo se desarrolle la vida en 1 de cada 1000, habría un potencial de 10 millones de civilizaciones probables. Pero se supone para el planeta promedio una duración de 10 mil millones de años, de los cuales sólo durante 1000 millones de años su civilización puede establecer el puente de comunicación. Esto es, ahora podrían existir en la galaxia 10 millones de civilizaciones. Pero agréguese a esto la idea de que la zona propicia de la galaxia excluye zonas por la radiación intensa de su centro y por la carencia de elementos pesados en su periferia. Así, aunque el número final de civilizaciones probables se reduce, sigue siendo alto.

La **Ecuación de Drake** llamada **Fórmula de Green Bank**, evalúa el número **N** de civilizaciones tecnológicas capaces de un puente de comunicación, en nuestra Galaxia, así:

$$N = N^* \cdot f_p \cdot n_e \cdot f_1 \cdot f_i \cdot f_c \cdot f_L$$

Donde: **N*** es el número de estrellas en la Vía Láctea, **f_p** es la fracción de estrellas con planetas, **n_e** es número de planetas por sistema, en condiciones biológicas favorables, **f₁** es la fracción de planetas en los que efectivamente surge la vida, **f_i** es la fracción de planetas habitados por vida inteligente, **f_c** es la fracción de planetas con vida inteligente y con civilización tecnológica, y **f_L** es la fracción de tiempo de vida planetaria en la que la civilización podría enviar señales útiles. Las fracciones son porcentuales.

12.4. LAS TEORIAS COSMOGONICAS

Cuatro teorías principales explican el origen del Universo. Las tres primeras (Explosiva 1ª y 2ª y la Estacionaria), aceptan el Universo en expansión; la 4ª lo considera de radio constante, y por lo tanto, no acepta la Ley de Hubble, según la cual, si retrocedemos en el tiempo, disminuiría el radio del Universo y la materia estaría comprimida.

Explosiva 1ª o del Big Bang (Gran explosión): dice que hace 15000 millones de años, materia y energía se comprimían en un superátomo radiactivo al máximo, donde la concentración de neutrones llegaba a una densidad de 1000 millones de toneladas/cm³. Su explosión desintegra los neutrones para formar protones y electrones y luego los elementos.

Bajo el presupuesto de que nacen aquí el Espacio y el Tiempo, no cabe preguntar qué existía antes, como tampoco tiene sentido hablar de qué hay más allá de los confines del actual Universo. Igualmente el lugar, en que se registra la gran explosión, está hoy en todas partes.

Explosiva 2ª: sólo difiere de la anterior al suponer que en la gran explosión se formó el H. Elementos **más allá del Hidrógeno se forman en las estrellas**, y más pesados que el hierro, pasando la materia por la onda de choque de las supernovas.

La diferencia entre estrellas de la Población I y II advierte que hay generaciones de estrellas. Las primeras (jóvenes y blancas) tienen elementos más pesados, ya que se formaron con productos de nucleosíntesis anteriores (residuos de estrellas que explotaron). El Sol sería de 2ª o 3ª generación.

Para ambas teorías hay dos posibilidades: que la actual densidad media de la materia supere un valor crítico, de tal manera que la gravedad domine en el futuro la expansión del Universo, obligándole a su **contracción**. Así el Universo sería pulsante. O bien, que la densidad media de la materia no alcance el valor crítico, por lo que las fuerzas de **expansión** dominarían, cayendo a un Universo abierto. Si en el primer caso, la curvatura del Espacio-Tiempo resulta positiva (Riemann), en el segundo resultará negativa (Lobachevsky).

Teoría Estacionaria: supone que el aspecto del Universo es el mismo en cada época (uniformidad en el tiempo); ello supondría el nacimiento de nuevas galaxias y por tanto de nueva materia (un átomo de H al año en cada 5 Km³ de volumen).

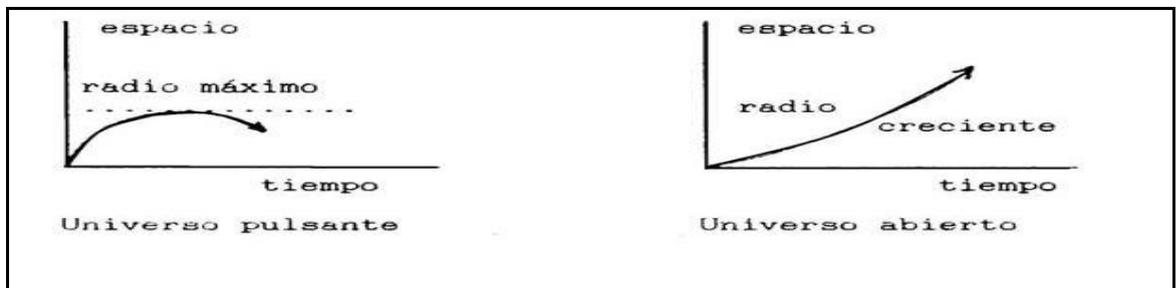


Figura 12.2. Curvas de expansión de un Universo finito: obsérvese que la velocidad o relación espacio/ tiempo cambia, en especial en el Universo pulsante.

Gonzalo Duque-Escobar

Conforme se expande el Universo y conforme retrocedemos en el tiempo, la densidad de galaxias resulta inmodificable. Ni habría principio ni habrá fin; sería un Universo **eterno y uniforme**, pero en continua expansión.

Una contrapropuesta: nace en el principio de Mach, según el cual las partículas elementales aumentan de masa con sus interacciones. A mayor tiempo mayor número de interacciones, mayor masa en las partículas elementales y por lo tanto mayor atracción gravitatoria en el interior de los átomos y en todas las macroestructuras atómicas. De lo anterior se desprende que el Universo no se expande, simplemente sus componentes materiales disminuyen en tamaño. El desplazamiento al rojo que observa el astrónomo mide su empequeñecimiento y el de su telescopio. En tales circunstancias, el radio del Universo es infinito, y para serlo, debe ser eterno.

12.5. EDAD DEL UNIVERSO

Aún los astrónomos no saben con exactitud la edad del Universo y menos si éste es cerrado o abierto. La mayor parte admite que tenga 15 mil millones de años, y prácticamente, todos admiten que se originó a partir de la gigante explosión.

Una de las pruebas del Big Bang es la expansión que se deduce al observar el corrimiento al rojo de las galaxias lejanas, hecho que nos lleva a un origen de materia comprimida si retrocedemos en el tiempo. En tales circunstancias deberíamos observar la luz de la gran

explosión y deberían existir unos determinados desechos en la composición química del Universo, a causa de las reacciones nucleares ocurridas durante el paroxismo.

Ambas **evidencias** se tienen, de un lado la radiación de fondo de 3°K y de otro, las grandes cantidades de helio y las concentraciones de deuterio, isótopo del hidrógeno, que está presente en todo el Universo en una proporción de 20 a 30 partes por millón, confirmando que la temperatura, tres minutos después de la explosión, estaba en el justo punto para facilitar que los núcleos de deuterio se formaran, pues en las estrellas no pueden porque los enlaces de un neutrón con un protón (deuterio) no son muy fuertes.

En cuanto al origen del Universo caben **tres posibilidades**: 1) el Universo existía de alguna forma antes del Big Bang. 2) El Universo fue creado en un instante determinado. 3) Tanto el propio tiempo como el espacio fueron creados con el Big Bang.

Ninguna de estas posibilidades conduce a aclarar por qué la **curvatura media** del espacio tiempo es tan próxima a cero. Las observaciones actuales nos dan un error en la masa del Universo, entre diez veces y la décima parte de un valor crítico, que se correspondería con curvatura cero. De no ser así, la velocidad con la cual se ha expandido en los inicios (**tiempo de Planck**) no hubiese alcanzado un justo valor cercano al valor crítico, con una precisión de uno por 10^{60} , que permitiera el que la materia no se disipe tan velozmente, como para no permitir la formación de galaxias, ni tan lentamente, como para que la gravedad hubiera interrumpido rápidamente la actual estructura que ofrece el Universo.

Posiblemente, la mayor dificultad que se puede afrontar hoy el problema de la edad del Universo, es la de los cálculos que permiten obtenerse con evidencias directas e indirectas:

Gonzalo Duque-Escobar

Las segundas conducen a estimar una edad del orden de los 12.5 mil millones de años, mientras las observacionales muestran objetos ubicados a distancias en el, mayores que esa cuantía.

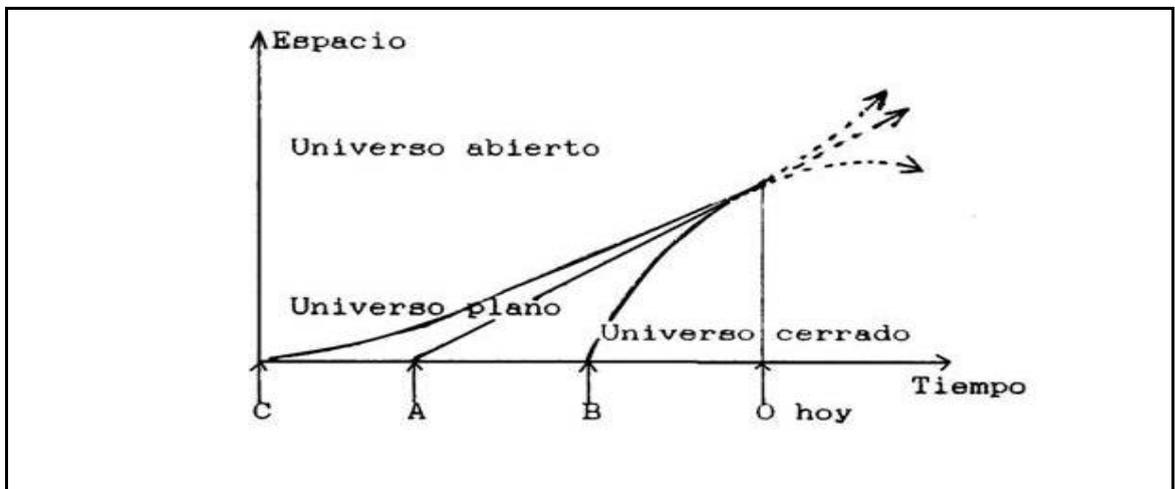


Figura 12.3. Edades de los Universos finitos: OA tiempo de Hubble ($1/H$); OB tiempo cósmico, Universo abierto; OC tiempo cósmico Universo cerrado.

Conforme se han determinado, con mayor precisión las distancias a las galaxias más lejanas, se hizo necesario modificar la constante de Hubble. Como bien es sabido, ella está dada por el cociente de la velocidad de recesión de una galaxia y la distancia a la misma, en años luz.

Si la distancia que nos separa de la galaxia B es el doble de la que nos separa de la galaxia A, entonces la galaxia B se está alejando de nosotros con una velocidad que el doble de la

velocidad de la galaxia A. Esta relación, conocida como la Ley de Hubble, se puede expresar así, siendo **H** la constante de Hubble :

$$\text{velocidad de recesión} = \mathbf{H} \times \text{distancia}$$

(Como $v = \frac{d}{t}$, el inverso de la constante H será tiempo).

En el capítulo anterior se ilustró la Ley de Hubble, mostrando la expansión relativista del Universo. Se desprende de la fig. 11.12 del la guía anterior, que existe un límite para el Universo observable, constituido por los cuerpos que viajan a la velocidad de la luz.

Trabajando en el tejido de expansión del Universo, para conocer su distancia, con el valor $H = 65 \text{ Km/s} \times \text{Mpc}$, donde la velocidad alcanza el límite c , tenemos:

$$300000 \text{ Km/s} = 65 \text{ Km/s} \times \text{Mpc} \times \text{radio del Universo visible}$$

Teniendo en cuenta que 1 parsec equivale a una distancia de 3.26 años luz, a fin de obtener el valor del tiempo por la antigüedad de lo observado, calculamos la distancia a la cual se encuentran los objetos más antiguos y lejanos, así:

Gonzalo Duque-Escobar

radio del Universo visible = $300000/65 \times 10^6 \times 3.26$ años luz

radio del Universo visible = 15000 millones años luz

De esta manera, la edad del Universo, correspondiente a la constante de Hubble de 65 Km/s x Mpc y dada por el inverso de dicha constante H, es el Tiempo de Hubble, así:

Tiempo de Hubble = 15000 millones años

Rehaciendo los cálculos indicados, con los valores de las distancias aceptadas actualmente, el **tiempo de Hubble** es superior a la edad del Universo. En tal caso el Universo sería abierto.

Surge, ahora un nuevo problema, los datos confirmados por otras determinaciones astronómicas, como la presencia de halos galácticos con materia poco luminosa, sugieren que nuestro Universo sería el descrito por la Teoría de la Relatividad General, y que se corresponde con un espacio cerrado. En tal caso su densidad, necesariamente, debe superar un valor crítico, para que el espacio sea cerrado y limitado.

A partir de datos astrofísicos disponibles en la actualidad, aquella densidad supera en una o dos veces a la densidad media de la materia condensada en estrellas y galaxias. Ello

conduce entonces a la posibilidad de que exista materia perdida en el espacio cósmico, en forma de agujeros negros, por una cuantía de entre 10 y 100 veces la materia observable.

Si en el futuro se pudiera llegar a afirmar que esa masa perdida no existe en realidad, habría que realizar una profunda revisión de las concepciones teóricas actuales a pesar de su magnífica cohesión lógica y múltiples comprobaciones de validez.

12.6. EL UNIVERSO DE HAWKING

En 1981, Stephen Hawking va a al Vaticano para recibir la medalla Pío XI que le otorgara la Academia Pontificia de Ciencias bajo el presupuesto de que su teoría cosmológica contemplaba el origen temporal del Universo, lo que ponía en firme la idea de la creación.

La conferencia para esta ocasión incluye otra idea diferente, en la cual admite la extensión finita de espacio y tiempo, pero ambos cerrados sobre si mismos, sin fronteras ni bordes.

El modelo HH propuesto por Hawking y Hartle, alude al estado cuántico del Universo inicial, para el cual establece su función de onda. Con el tiempo virtual se le aplica al Universo los principios de la mecánica cuántica, durante el Big-Bang, lo que se conoce como la Teoría del Todo

Gonzalo Duque-Escobar

En las indagaciones de la cosmología cuántica, se elimina la singularidad que hace fracasar a la mecánica cuántica antes de terminar el tiempo de Planck, cuando el Universo está aún comprimido, por lo que no puede predecir el espacio-tiempo, aunque si pueda describir su evolución posterior.

Ahora bien, la cosmología por regla general, debe asumir para sus asuntos un punto de partida y esto equivale a condicionar sus resultados, porque sólo podría afirmarse que ahora las cosas son como son porque antes fueron como fueron.

Edwin Schrödinger concibió la Ecuación de Onda que resuelve la dualidad onda partícula de un rayo de luz. Este produce interferencias como fuera onda pero también colisiona con electrones como si fuera partícula; y lo mismo ocurre con los electrones.

Así que esa ecuación es aplicable a ondas de luz que actúan como partículas y a partículas que actúan como ondas de luz, aunque a pesar de la ecuación de onda, nunca podamos saber con exactitud donde se encuentra en un momento dado una partícula elemental, de la cual solo podremos especificar la probabilidad de que se encuentre en diversos lugares de la nube probabilística.

Los Universos probables obedecen a la relatividad general y los posibles son los puntos de partida. En el modelo H H solo se eligen universos sin límites de espacio y tiempo. Y estos son los que resultan congruentes con las actuales observaciones de nuestro Universo

El modelo $H H$, cambia el concepto de universo determinístico por universos probables o al menos le asigna a este Universo una función de onda con el cual se le puede estimar la probabilidad de una cierta geometría.

Ahora bien, los universos de curvatura positiva, son los que pueden satisfacer la restricción de ser finitos pero ilimitados, capaces de expandirse y luego, contraerse, y en ellos el límite o frontera se puede establecer en el tiempo real. La componente imaginaria del tiempo que había servido para resolver la singularidad del Big-Bang, y útil para resolver la del Big-Crunch, resultará continua

En 1995 dice Hawking, el Universo empieza de modo regular y ordenado, antes del estado inflacionario con el Big-Bang, para culminar después en la singularidad del Big-Crunch, de forma irregular y caótica. Allí terminará el tiempo real pero el Universo continuará existiendo.

Así, en esta teoría se predice un universo más probable que otros a diferencia de los que predice la Teoría General de la Relatividad. Y el más probable es cerrado, y uniforme, Es un universo que supone Inflación, Fluctuaciones Cuánticas y Principio Antrópico.

Con la **Inflación**, término de 1970, se resuelven al tiempo dos problemas: el de la tendencia del Universo a la curvatura cero y el de la uniformidad de la radiación de fondo. La primera debida a la alta velocidad de expansión cuando el radio del Universo era de unos 10 m. Lo de la radiación de fondo, porque durante los primeros 300 mil años del Universo, se preservaron las condiciones iniciales de homogeneidad, al mantenerse integradas la radiación y la materia.

Gonzalo Duque-Escobar

Desde 1989 hasta 1992 el proyecto COBE, en el que participa el astrónomo colombiano Sergio Torres, consigue identificar los rizados de la radiación de fondo, asociados a las pequeñas variaciones de densidad que parecen dar origen a las galaxias. Esas **Fluctuaciones Cuánticas**, anomalías que la inflación del Universo no puede anular, quedan impresas como cambios del orden de las cien millonésimas de grado en la temperatura en la radiación omnidireccional.