

Seminario de la Cátedra de Ciencia, Tecnología y Religión

TEORÍAS COSMOLÓGICAS CONTEMPORÁNEAS

*Crónica de la tercera sesión básica
(15 de abril de 2005)*

**Prof. Manuel Carreira, Catedrático de Física y Filosofía.
John Carroll University, Cleveland.
Universidad Comillas, Madrid, Observatorio Vaticano.
Prof. Julio Gonzalo, Catedrático de Física.
Universidad Autónoma de Madrid.**

¿Qué es el Universo? Universo es la totalidad de cuanto existe de orden material susceptible de ser verificado experimentalmente. ¿Qué es la materia? Materia es todo aquello que interacciona con alguna de las cuatro fuerzas de la naturaleza: gravitatoria, electromagnética, nuclear fuerte y nuclear débil. Partículas, energía, vacío físico, espacio y tiempo son materia. Desde las experiencias sobre la materia, la cosmología, rama de la Astrofísica que estudia la estructura y evolución del Universo en su conjunto, se propone construir una representación unificada y coherente del orden cósmico: una teoría cosmológica.

Previamente a su disertación sobre cosmología, el Prof. Carreira realizó una breve introducción sobre las limitaciones y método de la física. En ella, explicó cómo todo conocimiento físico comienza por los sentidos; bien directamente, o bien, a través de la tecnología apropiada. La ciencia pues, supone una realidad sensible que se impone, susceptible de estudio científico porque no es absurda sino inteligible. Como fruto del trabajo de la ciencia, resulta el conocimiento científico como una representación lógica de las estructuras de la realidad, comprobada experimentalmente. Hablar por tanto, de parámetros infinitos o de multiuniversos, no es propio del proceder de la ciencia; pues no pueden ser sometidos a experimento alguno. Arte, ética o Dios no forman parte del estudio científico.

Al contemplar el cielo en una noche clara, sin luna y suficientemente alejados de la luz de la ciudad, observamos que existe un número finito de pequeñas regiones superficiales de luz, estrellas, dispersas en un fondo de oscuridad. De haber infinidad de estrellas, la bóveda celeste sería tan brillante como la superficie del Sol. Del conocimiento de la astrofísica, sabemos que cada estrella es un horno activo con una cantidad finita de combustible que termina consumiéndose en unos miles de millones de años. Puesto que aún se observan estrellas, la edad del Universo es finita. De ser infinita, todas las estrellas deberían haber cesado su actividad. De estas observaciones se obtienen consecuencias que, al usar el concepto de creación van más allá de la física; se introducen en la metafísica:

- i)* Antes del tiempo de vida del Universo no había Universo y es necesario hablar de **creación en un solo golpe**.

- ii) El Universo es eterno y hay **creación continua** de materia para hacer nuevas estrellas que sustituyan a las que se van apagando.

Desde el punto de vista científico, las teorías físicas acordes con estas propuestas metafísicas son:

- a) **Teoría del *Big Bang*** (Gamow, Lemaître): Existe una gran explosión donde se debieron sintetizar el hidrógeno y el helio: materia prima de estrellas y nuevos elementos. Consecuentemente, debe existir tanto un *eco* de esta explosión (radiación de fondo de microondas) que haga no nula la temperatura del Universo, como *cenizas* de la misma (abundancia de helio).
- b) **Teoría del estado estacionario** (Bondi, Gold, Hoyle): No hay gran explosión. La temperatura del Universo debe ser cero y elementos como el helio sólo se forman en las estrellas. El Universo se expande a densidad constante.

Constantemente, llega a la Tierra radiación electromagnética procedente del cosmos. La parte de ésta que alcanza la superficie con mayor intensidad es la luz visible: una reducida fracción de todo el espectro de dicha radiación. Desde Newton sabemos de qué están hechas las estrellas gracias al espectro que resulta tras hacer pasar la luz estelar a través de un prisma. El prisma descompone la radiación que lo atraviesa, permitiendo observar el tipo de ondas que la constituyen. Este fenómeno, descubierto por Newton, es la base de los espectroscopios más evolucionados. Gracias a estos instrumentos, sabemos que la materia corpuscular en el Universo es aproximadamente, una cuarta parte helio y tres cuartas partes hidrógeno¹: el átomo más sencillo a partir del que se pueden construir sintetizarse todos los demás. Toda la composición que observamos de las estrellas se basa en los elementos de la tabla periódica que estudiamos en la Tierra.

Estudiamos las estrellas por su distancia y luminosidad. Observamos que existen estrellas un millón de veces más brillantes que el Sol con una temperatura de 35.000 grados. Con mayor frecuencia encontramos estrellas más pequeñas que el Sol, un billón de veces menos brillantes, con una temperatura de unos 2.500 grados. Cada estrella funciona produciendo luz y calor. Su origen se debe a la compresión gravitatoria de un gas que contiene los elementos que entrarán a formar parte de la estrella. Tal compresión permite que se alcancen en su núcleo temperaturas de diez millones de grados. Tan elevada temperatura ocasiona la fusión del hidrógeno para producir un elemento más pesado, helio, en tres etapas que producen energía. El hidrógeno será el combustible que sostenga a la estrella durante el 90% de su vida. Cuando las reservas de hidrógeno escasean en el centro estelar, el núcleo sufre una transformación que provoca el desprendimiento de las capas superficiales: tan sólo permanece un núcleo denso, incapaz de producir energía. En el caso de estrellas de masas similares a la del Sol, durante esta transformación el núcleo alcanza cientos de millones de grados, permitiendo la formación de elementos pesados como carbono y oxígeno, constituyentes fundamentales del cadáver estelar: la enana blanca. Estrellas más masivas, de 20 a 50 veces la masa del Sol, con una temperatura nuclear de miles de

¹ Esta proporción es aproximada. Una reducida fracción la constituyen los elementos pesados ($\cong 1\%$).

millones de grados, son capaces de sintetizar hierro. Elementos más pesados: oro, plata, uranio, sólo pueden sintetizarse durante una fase violenta en la que la estrella masiva² finaliza su vida en una enorme explosión denominada supernova. Una sola estrella en esta fase tiene una luminosidad comparable a la de una galaxia.

Mientras que elementos pesados como el hierro son menos abundantes en estrellas primitivas que en las modernas. El helio, que se encuentra en todas las estrellas tiene la misma abundancia en todas ellas; incluso en gases donde no han llegado a formarse estrellas. Si el helio observado no procede de reacciones de fusión en las estrellas, debe haberse sintetizado en épocas previas a la de los inicios de la formación estelar. Con otras palabras, el exceso de helio observado es ceniza de la gran explosión: un residuo del comienzo mismo del Universo.

Nuestra estrella, el Sol, es una más de las cientos de miles de millones que se reúnen formando nuestra galaxia: la Vía Láctea, una entre las cientos de miles de millones existentes en el Universo. Otras galaxias, cercanas a la nuestra, tienen componentes y formas parecidas. A mayores distancias observamos grupos de galaxias en interacción, que llegan a sufrir choques, y terminan fundiéndose originando nuevas galaxias con formas llamativas. El Sol y su conjunto de planetas ocupan una diminuta región de la periferia de la Vía Láctea, cuyo diámetro es de cien mil millones de años luz. El Sistema Solar tarda unos 250 millones de años –un año galáctico– en establecer una órbita completa alrededor de su centro, que no resulta observable debido a la existencia de materia opaca, impidiendo el paso de luz a su través.

A gran escala el Universo es homogéneo; es decir, no existen lugares preferidos: no existen bordes ni centro geométrico. De acuerdo con la teoría de la Relatividad General de Einstein, el Universo es finito pero ilimitado. Del mismo modo que una superficie esférica es una geometría de dos dimensiones (norte-sur, este-oeste) inmersa en un espacio de tres dimensiones (el espacio ordinario), la geometría del Universo es la cuasisuperficie tridimensional de una hiperesfera de cuatro dimensiones. La presencia de una masa altera la geometría del Universo: distorsiona el espacio y el tiempo, que se *doblan* en la cuarta dimensión; hecho inimaginable pero físicamente mensurable y correctamente descrito por las matemáticas. El Prof. Carreira resaltó claramente que esta dimensión no es el tiempo. Ha de ser una dimensión espacial hacia la que se distorsiona el propio espacio de tres dimensiones³. En 1919, cuatro años después de que Einstein diera a conocer su teoría geométrica de la gravedad, Arthur Eddington comprueba durante la observación de un eclipse solar, una de las predicciones de la nueva teoría gravitatoria: los rayos de luz, que según la mecánica newtoniana siempre describen trayectorias rectilíneas, se curvan por la distorsión del espacio-tiempo. La nueva teoría gravitatoria, la Relatividad de Einstein, supera en capacidad de predicción y precisión a la teoría clásica de Newton. En la actualidad, se han observado cuasares cuya luz alcanza la Tierra por cuatro lugares distintos. Tal observación no puede ser explicada por la gravitación newtoniana; Einstein ha destronado a Newton.

² Estrellas cuya masa es mayor que 1.4 veces la masa solar.

³ La ecuación geométrica más sencilla es la que describe un espacio-tiempo plano, sin curvatura. Dicha ecuación es la métrica de Lorentz que describe el espacio geométrico de Minkowski:

$$ds^2 = c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2$$

Como puede observarse existen cuatro dimensiones: tres del espacio ordinario (x,y,z) y una cuarta dimensión, también espacial: el producto de la velocidad de la luz c y el tiempo t .

De las ecuaciones de Einstein puede deducirse que el universo se encuentra en expansión o contracción. Según la observación de Hubble desde el telescopio de Monte Wilson, el espacio del Universo se expande, arrastrando consigo las galaxias contenidas en él. Tanto mayor es la velocidad de alejamiento de las galaxias cuanto más distan del punto de observación. A pesar de que resulta tentativo sugerir un centro de dicha expansión; no existe, conforme a la homogeneidad del Universo un centro geométrico desde el que todo se expanda. Independientemente del punto de observación, el Universo parece expandirse como si éste fuera el centro geométrico de la expansión. Dos observadores, situados en galaxias distintas, afirmarían que la expansión del Universo parece tomar como centro su lugar de observación.

Si imaginamos hacia atrás la evolución del Universo nos encontramos con un único punto, cuya densidad y temperatura tienden hacia infinito. Las propias leyes de la física predicen su final según tratan de describir los instantes iniciales del Universo. Como decíamos la física es la ciencia de la materia; en ausencia de ésta, no hay tiempo, no hay espacio, no hay energía: no puede haber física. El instante inicial resulta desconocido para la física. Cualquier juego de condiciones iniciales resulta arbitrario porque no existe física previa de la que poder deducirlas: no existe prueba experimental alguna. Según se desarrolla la expansión, la densidad y temperatura del Universo se reducen permitiendo la formación de las primeras partículas elementales, así como los núcleos de los primeros átomos. Se ha de esperar medio millón de años hasta que las condiciones del Universo se suavicen lo suficiente para permitir la estabilidad de las primeras estructuras atómicas; la temperatura del Universo se ha reducido a 3000 grados. A partir de estos supuestos y de la observación de la expansión del Universo, el físico George Gamow dedujo a mediados del siglo XX, que la temperatura actual del Universo habría de ser unos 3 K (tres grados sobre el cero absoluto de temperaturas)⁴. Recientemente, el satélite COBE⁵ ha permitido medir la temperatura de la radiación que inunda el Universo: un fondo electromagnético de microondas. Este resplandor, que es el remanente del gran estallido en el nacimiento del Universo, tiene una temperatura de aproximadamente 3K; esto es, en buen acuerdo con la predicción teórica de Gamow. Con el proyecto WMAP⁶ se han podido detectar también, pequeñas variaciones en este fondo de radiación, posiblemente producidas por pequeñas acumulaciones de materia de donde surgirían las galaxias.

En la observación del Universo vemos galaxias a tales distancias que la luz tardaría 10000 millones de años en alcanzar la Tierra. A una distancia de 12000 millones de años, se observan los objetos más distantes; los cuasares: supuestos núcleos activos de galaxias. A distancias mayores, no se observan más cuasares, tan sólo observamos radiación: no existen cuasares más distantes. Teoría y observación nos conducen hacia un Universo finito en el tiempo. Entre 13000 y 14000 mil millones de años atrás en el tiempo, el Universo comenzó con una gran explosión que permitiría la formación posterior de galaxias y estrellas. La explosión de una estrella en la periferia de la galaxia produjo una onda de choque que comprimió una nube de polvo que contenía la materia prima para la formación del Sistema Solar. En palabras del prestigioso físico Zeldovich, el mismo *Big Bang* es tan certero como la mecánica de Newton.

⁴ Léase, tres kelvin: unidad de temperatura en honor del físico británico Lord Kelvin.

⁵ *COsmic Background Exploration*: exploración del fondo cósmico

⁶ Wilkinson Microwave Anisotropy Probe: comprobación de la anisotropía de microondas.

Desde el conocimiento que nos proporciona la física, podemos explicar la historia evolutiva del Universo desde tiempos muy cercanos a la gran explosión hasta nuestros días. El Prof. Carreira afirmó que la conocida expansión del espacio-tiempo proseguirá en el futuro. No existe materia suficiente en el Universo para poder frenar, mediante interacción gravitatoria, dicha expansión. La materia ordinaria supone apenas el 2% de la necesaria para conseguir frenar la expansión. Existe otro tipo de materia en el Universo, invisible, que sólo puede ser detectada indirectamente, a partir del estudio de movimientos anómalos de ciertas secciones galácticas. Esta exótica materia, la materia oscura, tan sólo puede contribuir un 20% a frenar la expansión. La radiación y la pequeña masa en forma de neutrinos tampoco resultan suficientes. Otro tipo de materia en forma de energía desconocida podría representar el 70% de la masa del Universo; pero no existe comprobación experimental. De acuerdo con las observaciones, el Universo no sufrirá un retroceso y continuará expandiéndose; el Universo es pues, abierto.

La intervención del Prof. Gonzalo consistió en un comentario crítico de una teoría física, sin comprobación experimental que, sobre los trabajos de teorías de gran unificación, trata de explicar los estados primigenios del Universo: la teoría del estado inflacionario. Su autor, Allan Guth, es un físico que ha trabajado en prestigiosas instituciones americanas como Cornell o el MIT. En 1997, publicó una obra titulada *El universo inflacionario*, donde expone su teoría sobre la dinámica del Universo en un tiempo del orden de 10^{-39} segundos después del *Big Bang*. En este tiempo el Universo debió sufrir un enorme aumento de escala a densidad constante; es la etapa de la gran inflación⁷.

La teoría inflacionaria se propone, desde sus inicios, explicar la falta de observación de los monopolos magnéticos –cargas magnéticas– que habían sido predichos por el Nobel en física, Paul A. M. Dirac. Según la teoría de Dirac debe existir un número de monopolos suficientemente grande para que pudieran haber sido observados desde la Tierra. Los autores del modelo inflacionario afirman que la falta de observación de dichos monopolos es un indicio experimental de su teoría.

El Prof. Gonzalo afirmó que las densidades de energía y materia, en los primeros instantes del Universo, son insospechadas; muy lejos del alcance experimental de los grandes aceleradores de partículas. Debido a la imposibilidad de comprobación experimental, sugiere que la teoría del estado inflacionario es sólo una elucubración teórica que trata de explicar, absurdamente, el origen del Universo desde la nada. La teoría del estado inflacionario es un modelo superficial del origen del Universo que, desde su punto de vista metafísico es algo contingente, es decir, no necesario; por tanto, necesitado de un Creador.

Manuel Béjar, Cátedra CTR.

⁷ La proporción de la inflación se estima en 1 a 10^{40} en un pequeñísimo intervalo de tiempo.