

Origen del Universo

Materia Oscura y Constante Cosmológica

Andrés Gomberoff

Origen del Universo

¿Cuándo y cómo se originó el universo? Ésta ha sido siempre una de las preguntas fundamentales del hombre, siempre enfrentada desde distintas áreas del conocimiento. Sin embargo, en las últimas décadas hemos presenciado por primera vez un intento serio de hacerlo desde la ciencia básica. Esto se debe a la luz que han arrojado sobre esta cuestión, distintas teorías y observaciones surgidas durante el siglo XX.

Primero *la Teoría de la Relatividad* de Einstein mostró que la masa era otra forma de energía y que el espacio y el tiempo eran dos aspectos de un mismo ente: *el espacio-tiempo*. Luego su *Relatividad General*, concluyó que el espacio-tiempo es dinámico, se mueve, se curva, se dobla. Esto, debido a la presencia de materia (o cualquier forma de energía). La atracción gravitacional entre dos objetos es interpretada como el movimiento de uno de ellos en el espacio-tiempo curvado por el otro.

Luego vino la *Mecánica Cuántica* de Heisenberg y Schroedinger, que dilucidó el comportamiento del mundo atómico (y más tarde también algunos aspectos del mundo subatómico). En particular, por ejemplo, esta teoría explicó porqué los electrones no se caen sobre los núcleos atómicos, cosa que no permitiría la existencia de la materia como la observamos.

Más tarde vino la espectacular observación de Hubble: Las galaxias se alejan unas de otras. Pero si la materia en el universo se expandía, era por que en el pasado estaba toda muy cerca, muy densamente agrupado. Y mientras más atrás mayor densidad, hasta que llegamos a un instante en que toda la materia del universo estaba concentrada en una región de tamaño ínfimo: El *Big-Bang*.

Con el Big-Bang nace el universo tal como lo conocemos. Cuando decimos "universo" no nos referimos sólo a la materia que en él existe, sino además al espacio y al tiempo. El Big-Bang es el nacimiento del espaciotiempo.

Para entender el origen del universo, debemos por lo tanto utilizar tanto el comportamiento de las grandes masas de materia en el espaciotiempo (la relatividad general de Einstein) como el del mundo subatómico (la mecánica cuántica).

Aquí es precisamente donde surge el misterio más grande de la física teórica del siglo pasado: la relatividad general y la mecánica cuántica son incompatibles. No podemos usarlas para estudiar el mismo fenómeno. Es por esto que requerimos de algo nuevo. Una teoría distinta a todo lo conocido: la "*Gravitación Cuántica*".

Existen distintas visiones de cómo debiese ser esta hipotética teoría. La más popular hoy es la *Teoría de Supercuerdas*, donde los constituyentes fundamentales de la materia son pequeñas cuerdas cuyas distintas formas de vibrar dan cuenta de

las distintas partículas elementales que existen en el universo (y que incluyen al gravitón, responsable de la interacción gravitacional).

Materia oscura, Energía Oscura

No todos los problemas de la cosmología están asociados a lo que sucedió la primera fracción de segundo en la vida del universo. Uno de estos problemas, y seguramente uno de los más importantes problemas actuales de la cosmología nació en la última década del siglo veinte. Por esos años se comenzó a acumular evidencia que el universo no sólo se expandía, sino además, que su velocidad de expansión está aumentando: la *expansión acelerada* del universo.

La única forma de explicar este fenómeno dentro de la teoría de Einstein es a través de la existencia un fluido con propiedades muy especiales que llena el universo: la *energía oscura*. Para dar cuenta de la aceleración observada esta materia debe corresponder al 70% de la totalidad de materia existente en el universo. Esto no es demasiado gratificante. Menos aún si a esto agregamos el hecho que de acuerdo a otras observaciones, el restante 30% está constituido, casi en su totalidad, por *materia oscura*, esta es materia que no podemos observar más que por sus efectos gravitacionales, y que de acuerdo a esto, sólo puede tratarse de materia con propiedades muy distintas a las que comúnmente observamos.

De ser todo esto cierto, significaría que las partículas que componen la materia que conocemos representan tan sólo un 5% del contenido total del universo. Este resultado es bastante decepcionante. El 95% de la materia del universo escapa a nuestras teorías. Otra posibilidad, sin embargo, es que la teoría de la relatividad general requiera de modificaciones a escalas grandes. No sabemos con exactitud qué es lo que está ocurriendo. Sólo sabemos una cosa. Hay mucho trabajo por hacer.

Agujeros negros

Una de las más fantásticas predicciones de la relatividad general es la existencia de *agujeros negros*. Estos objetos se forman en la etapa final de la vida de algunas estrellas.

Mientras el combustible nuclear permita mantener una temperatura suficientemente alta, la presión hacia afuera producida por el calor compensará la atracción gravitatoria, pero al enfriarse la estrella el colapso será inevitable. Si la estrella es liviana la atracción podrá ser compensada por fuerzas electromagnéticas o nucleares, pero si es suficientemente masiva, este colapso no podrá ser detenido, llevando toda la masa de la estrella a un solo punto. En este punto el campo gravitacional resultante será infinitamente intenso: *la singularidad*.

La propiedad más importante y sorprendente de estos agujeros negros, es que esta singularidad está rodeada por una superficie que llamamos *horizonte*. Cualquier objeto que se aproxime lo suficiente como para traspasar el horizonte no podrá volver a salir jamás. Ni siquiera la luz puede escapar, por lo que un agujero negro no puede emitir luz. De ahí su nombre.

La razón por lo que esto ocurre es que en el horizonte, el espacio-tiempo se curva de forma tal que en su interior el tiempo y el espacio invierten sus roles. Los objetos que caen dentro del agujero negro (que traspasan el horizonte) ya no deben ir hacia delante en el tiempo, sino que están condenados a seguir adelante

pues las ecuaciones originales son enormemente exitosas para explicar y predecir con gran precisión fenómenos en la escala "pequeña".

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R - \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi GT_{\mu\nu}}{c^4}$$

Einstein introdujo "a mano" la constante Λ en la ecuación de campo, constante a la que llamó *constante cosmológica*, a fin de explicar la existencia de un Universo estático.

(Notas del editor)

El cometido de la constante cosmológica era oponerse a la fuerza de la gravitación para que se conservara estable el Universo.

Cuando Hubble descubrió que el universo estaba en expansión y que por lo tanto no era estático, se dice que Einstein dijo que la constante cosmológica era el peor error de su vida. Efectivamente, las ecuaciones originales de Einstein son perfectamente compatibles con un universo en expansión.

Desde el punto de vista fenomenológico no hay diferencia alguna entre el efecto de una constante cosmológica y la energía oscura arriba descrita. Podemos decir por lo tanto que la constante cosmológica es producida por ésta. Aunque arriba señalamos que no sabemos el origen de esta energía oscura que da cuenta de la aceleración del universo, un candidato posible es la energía del vacío.

Uno de los resultados importantes de la mecánica cuántica es que el vacío absoluto no existe. Si intentáramos producir el vacío más perfecto, éste estaría limitado por la burbujeante realidad subatómica, donde partículas elementales se pueden crear y destruir espontáneamente. La mecánica cuántica nos enseñó que la naturaleza, incluso en sus estados de menor movimiento (energía), tiene mucha actividad. De este modo, el "vacío" posee una densidad de energía mínima que no podemos eliminar.

El aporte de esta energía del vacío a las ecuaciones de Einstein es indistinguible de aquella que entrega la constante cosmológica (o la energía oscura). Sin embargo, las estimaciones teóricas resultan en un número que difiere del medido por los astrónomos por el factor antes mencionado.

La pregunta actual es entonces por qué la constante cosmológica es tan pequeña. Muchos intentos se han hecho para responder este misterio sin existir hasta el día de hoy una respuesta satisfactoria.

Andrés Gomberoff
 Profesor Asociado del Departamento de Ciencias Físicas
 Pontificia Universidad Católica de Chile_PUC
gomberoff@fis.puc.cl