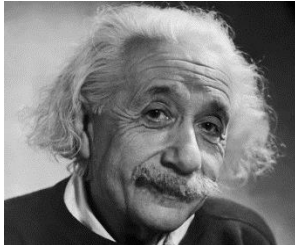


Nuestro universo cumple 100 años: nota sobre la historia del origen del big bang

Sergio Torres Arzayús

Noviembre, 2015

(versión web: http://astroverada.com/_/Main/T_GR_big_bang.html)



Nuestro universo nació en el mes de noviembre hace 100 años durante las cuatro semanas cuando el físico Albert Einstein llegó a la conclusión conceptual y formal de la teoría de la relatividad general y la presentó a la Academia Prusiana de Ciencias en Berlín. Decimos que el universo nació con la teoría de Einstein, porque la relatividad general es la base y punto de partida del big bang.

El sendero hacia la relatividad

Durante el mes de noviembre de 1915, Einstein finalmente resolvió un problema en que venía trabajando por 10 años. Lo que perseguía Einstein era una manera matemática que le permitiera expresar un concepto clave —intuido por él mientras pensaba en ascensores y en personas dejando caer objetos dentro del ascensor— según el cual la gravedad y la aceleración son dos fenómenos indistinguibles. El problema no era simplemente el de hallar una fórmula matemática que incorpore el concepto, de hecho Einstein ya tenía una ecuación que parecía funcionar; el problema era que la ecuación debería satisfacer la condición de covariancia, lo cual quiere decir que las ecuaciones deben preservar su forma ante cualquier transformación arbitraria del sistema de coordenadas. El primer intento de Einstein no satisfizo esa condición.

La Academia Prusiana de Ciencias invitó a Einstein a dar una serie de conferencias en noviembre de 1915. Esas cuatro semanas fueron las más intensas y productivas de su vida. Para la primera, el 4 de noviembre, Einstein ya se daba cuenta que la formulación de su teoría como estaba en ese momento no funcionaba; las ecuaciones no eran covariantes. Para la segunda conferencia del 11 de noviembre ya tenía una solución parcial usando la formulación que había trabajado 3 años atrás con su amigo y colega el matemático Marcel Grossman. La intensidad y el drama aumentan exponencialmente las dos últimas semanas de noviembre. En esos días, finalmente encuentra la respuesta y todo cuaja, aplica sus nuevas ecuaciones para calcular la órbita de Mercurio y encuentra que su solución explica el fenómeno — conocido por astrónomos pero aun no explicado — de un exceso en el desplazamiento del perihelio. Mientras que gozaba del mayor triunfo intelectual de su vida, el 18 de noviembre recibe una nota del matemático David Hilbert donde presenta una formulación covariante similar a la solución final de Einstein.

Seguramente el artículo de Hilbert le causó mucha angustia y molestar a Einstein. Igual a lo que sucede en las competencias deportivas, el premio se lo lleva el primero que llegue a la meta, no el segundo. Después de 10 años de intenso trabajo aparece un matemático que resuelve el problema en pocos días ¡golpe duro! El trabajo de Hilbert fue motivado por una conversación entre Hilbert y Einstein durante la visita de Einstein a Gotinga cinco meses antes, en la cual Einstein le explicó el problema en el que se ocupaba. Hilbert, quien era versado en cálculo tensorial y en espacios curvos, vio una solución

rápidamente. Los detalles técnicos sobre cómo llegó Einstein a la formulación definitiva de la relatividad general están resumidos en un reciente artículo escrito por Jurgen Renn, director del Instituto Max Planck de Historia [1]. En ocasión de los 100 años de relatividad, Renn y Hanoch Gutfreund sacaron un maravilloso libro para público no especializado donde reproducen el manuscrito de Einstein de 1915 y lo explican detalladamente [2].

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

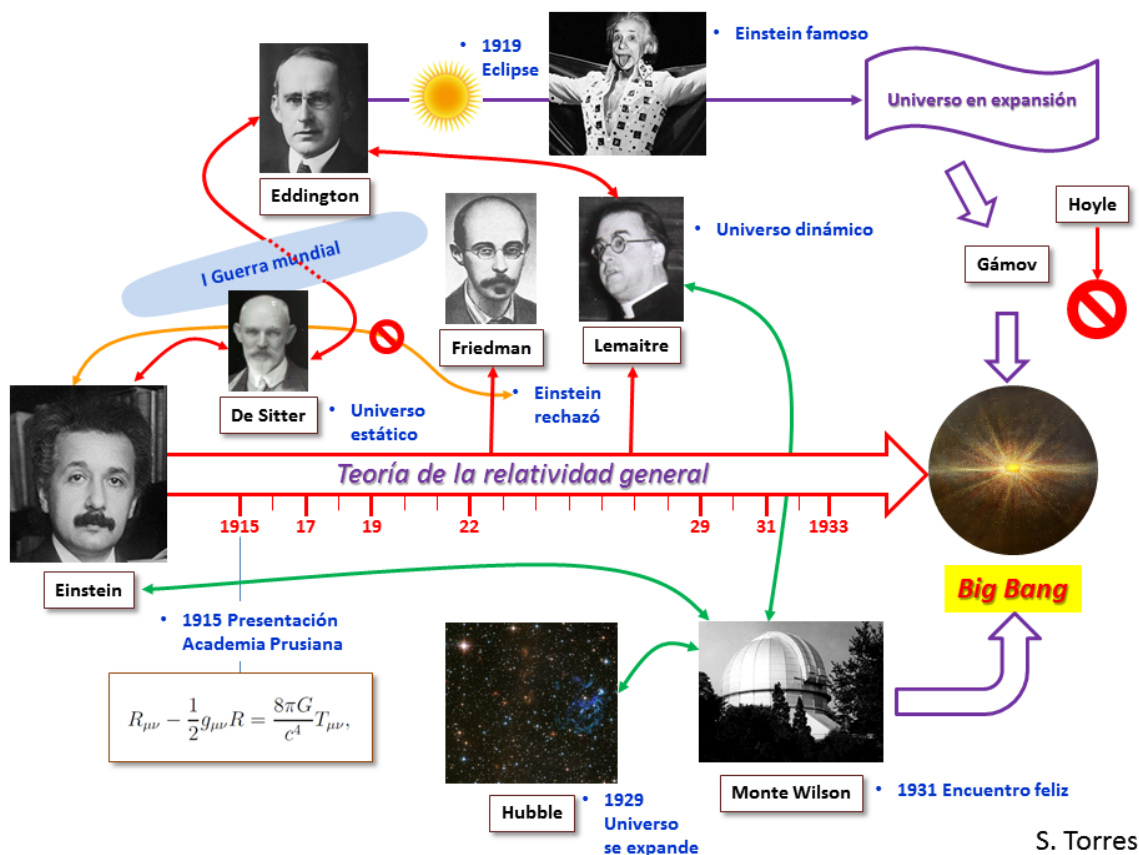
Ecuación de Einstein. El lado izquierdo de la ecuación describe la geometría del espacio (R) y el lado derecho la distribución de masa y energía (T). Los subíndices en letras griegas representan las 4 dimensiones de espacio y tiempo

Bien, pero cómo se llegó del trabajo de Einstein de 1915 al big bang? Los libros divulgativos mencionan el trabajo del sacerdote belga Georges Lemaitre y del ruso Alexánder Friedman como originadores de la idea del big bang. Es cierto que estos dos individuos aplicaron la relatividad general para elaborar un modelo del universo en expansión, pero un examen de la historia nos informa que esos trabajos fueron desconocidos por lo menos hasta el año 1933. La pregunta es, cómo llegó la idea del big bang a ser aceptada como tema legítimo de investigación científica? y cómo llegó al público? El diagrama (Figura 1), que seguiremos a continuación, resume los 18 años del proceso de aceptación del big bang.

Eddington: Embajador de la relatividad

La respuesta la encontramos en el astrónomo inglés Arthur Eddington, quien poseía el pomposo título de profesor *plumian* de Astronomía en Cambridge. Cambridge fue el laboratorio intelectual donde se echaron los cimientos de la cosmología moderna.

Eddington desarrolló un modelo estelar que explicó la relación entre la masa y el brillo de una estrella. Con su trabajo en teoría estelar, aplicando la física a la astronomía, Eddington prácticamente creó el campo de la astrofísica y se convirtió en reconocida autoridad, ejerciendo inmensa influencia desde su trono en Cambridge. Cuando el joven Chandrasekhar llegó a Cambridge con una teoría que explicaba lo que ocurre a una estrella al final de su proceso evolutivo (enana blanca y colapso gravitacional), Eddington la rechazó agresivamente. La teoría de Chandrasekhar era incompatible con la de Eddington. Con todo el peso que le permitía su posición de poder Eddington se propuso bloquear el avance de la teoría de Chandrasekhar. Por un tiempo Eddington logró su objetivo, pero al final no pudo suprimirla: la teoría de Chandrasekhar se demostró correcta. Este episodio indecoroso de la astrofísica está tratado brillantemente en el libro de Arthur Miller [3] y es de particular relevancia para el entendimiento del proceso científico: *a pesar de* que Eddington poseía las llaves, fue la teoría de su rival la que sobrevivió.



S. Torres

Figura 1. Proceso de aceptación del concepto del universo en expansión

Eddington fue un verdadero embajador de Einstein al habla inglesa. En medio de la primera guerra mundial la comunicación entre Alemania e Inglaterra obviamente era muy restringida. Solo hasta 1916 llegó la teoría general de la relatividad a Inglaterra y fue Eddington el primero en estudiarla y divulgarla en inglés. La teoría de Einstein le llegó a Eddington por medio del astrónomo Willem de Sitter, con quien Einstein intercambiaba ideas relacionadas a la aplicación de las ecuaciones de la relatividad a la cosmología. En 1917 Einstein escribió un artículo donde expone un modelo cosmológico derivado de su teoría relativista de la gravitación. De Sitter elaboró una variante de ese modelo y así comenzó su relación con Einstein en temas de cosmología. Los modelos de Einstein y de De Sitter asumían que el universo es estático, es decir, las ecuaciones incluían la constante cosmológica (el "término lambda"). Lo interesante es que De Sitter predijo que la luz proveniente de fuentes lejanas deberían exhibir un redshift. El "efecto De Sitter" de corrimiento de las longitudes de onda hacia el lado rojo del espectro no era debido al movimiento de recesión de las galaxias (como más tarde lo observaría Hubble), más bien era producido por efectos relativistas que afectan la coordenada tiempo.

Eddington fue quien lanzó a Einstein a la esfera pública cuando presentó los resultados de su expedición a la isla de Príncipe, África occidental, donde realizó mediciones durante el eclipse de 1919 que detectaron la desviación de los rayos de luz tal como Einstein lo había predicho. Los titulares de los periódicos anunciaron los resultados de Eddington como algo de gran trascendencia. La fama de Einstein se disparó de manera comparable a la de los miembros de la farándula.

El error de Einstein

En 1931 Einstein viajó a California y tuvo la oportunidad de visitar el observatorio astronómico de Monte Wilson. El astrónomo Edwin Hubble le presentó sus observaciones de galaxias lejanas y sus mediciones que indicaban que el universo está en expansión. Aquí fue cuando las cámaras lo captaron en el momento en el que Einstein retractaba su creencia en un universo estático, diciendo esa memorable frase de tono lapidario "...el peor error de mi vida". Se refería Einstein a haber modificado las ecuaciones de la relatividad general (con la constante cosmológica) para que las soluciones aplicadas al universo en su totalidad le dieran un universo estático. Antes de Hubble la noción aceptada por astrónomos era la de un universo estático. Esta fue la razón por la cual Einstein originalmente rechazó el trabajo de Lemaitre y Friedman que mostraba cómo la teoría general de la relatividad implicaba que el universo es dinámico, posiblemente en expansión o en contracción. Aquí vemos cómo funciona la ciencia: Einstein cambió de idea cuando le mostraron evidencia contraria a su supuesto universo estático.

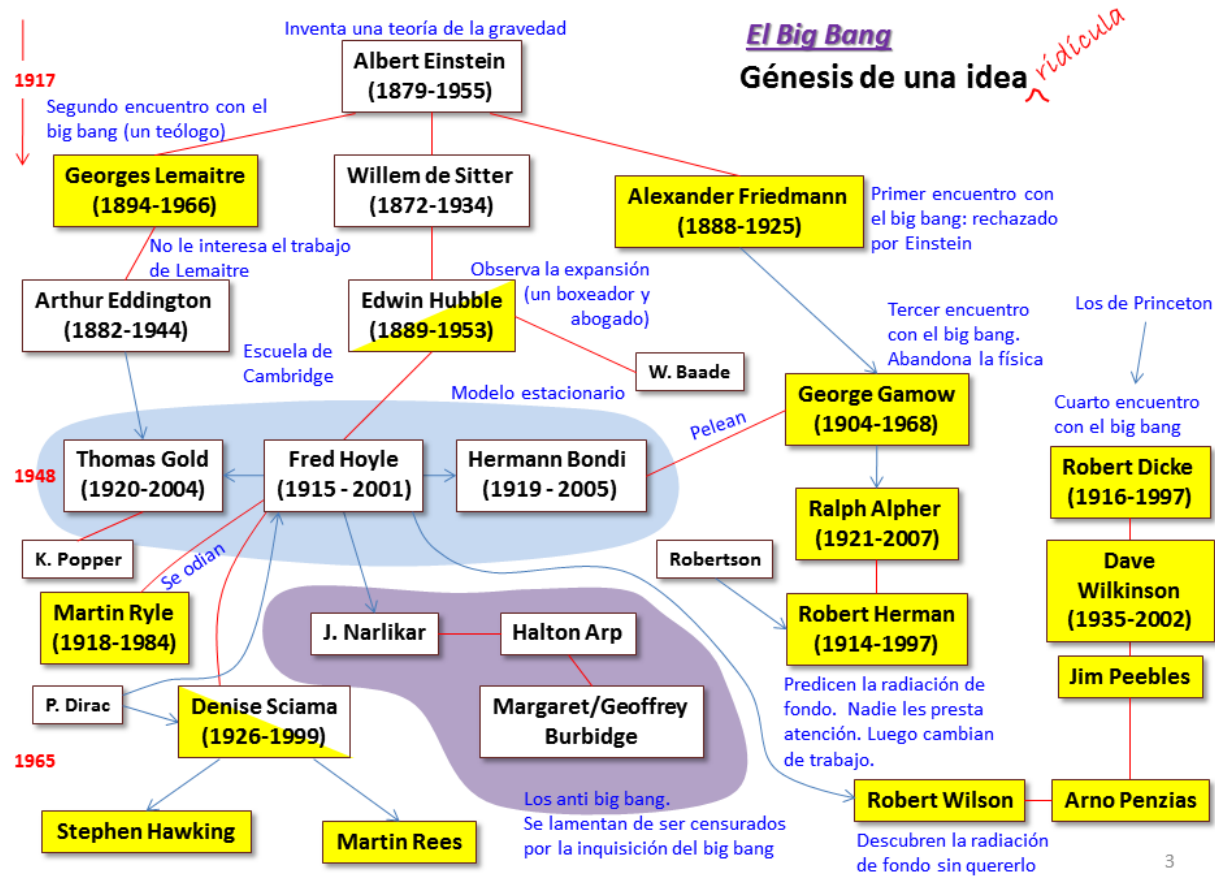
La noticia de Einstein aceptando el universo en expansión motivó a Lemaitre para enviarle su artículo a Eddington. Ya Lemaitre le había enviado el artículo a Eddington 4 años atrás, pero este quedó sepultado bajo los otros miles de artículos nunca leídos. En esta ocasión, sin embargo, Eddington lo leyó y todo cuadró en su cabeza, posiblemente en cosa de pocos minutos. En el artículo, Lemaitre resuelve las ecuaciones de la relatividad general para un modelo del universo consistente en un mar de galaxias distribuidas de manera homogénea. La solución que obtiene es que la gravedad conjunta de todas esas galaxias no puede permanecer en un estado estático; obligatoriamente las galaxias emprenderán un movimiento conjunto de atracción o de repulsión (dependiendo del estado de movimiento inicial). Con el trabajo de Hubble quedó claro que el modelo de expansión era consistente con las observaciones astronómicas. Entusiasmado por estos eventos Eddington tradujo el artículo de Lemaitre al inglés y lo divulgó ampliamente.

Los resultados de Lemaitre coincidían con los del matemático ruso Alexánder Friedman, quien en 1922 había hallado soluciones a las ecuaciones de Einstein. El universo -- según Friedman -- es un conjunto de galaxias metidas en un espacio que se expande. Con el tiempo, la distancia entre las galaxias aumenta. El trabajo de Friedman y Lemaitre, sin embargo, no tomó vuelo, la cosmología no se tomaba muy en serio por los astrónomos y físicos, y el fuerte rechazo de Einstein a estos dos trabajos ayudó a suprimir el tema. Todo esto cambió comenzando en 1931 con Eddington. Luego en 1933 salió el libro de Eddington titulado *el universo en expansión*, un libro de popularización de la ciencia, que ejerció una influencia clave para la aceptación del concepto expuesto en el título.

Matrimonio de la física nuclear con la relatividad

Mientras que esto ocurría en el mundo de la astrofísica, la mecánica cuántica y la física nuclear avanzaban a pasos agigantados y para el final de la década de 1930 se tenía un entendimiento del funcionamiento del átomo de acuerdo a la teoría cuántica. El siguiente paso en el desarrollo de la teoría del big bang se dio cuando George Gamóv usó la naciente física nuclear para explicar cómo el modelo del universo en expansión implica que en el pasado el universo debió pasar por una época, antes de la

formación de las estrellas y galaxias, donde el universo era caliente y denso permitiendo reacciones nucleares. El matrimonio de este modelo con la física nuclear permitió a Gamóv explicar cómo al inicio del big bang se produjo el hidrogeno y el helio primordial en el universo. El modelo del big bang comenzó a levantar vuelo. Bueno, hasta que llegó otro físico de Cambridge, Fred Hoyle y le hizo la guerra. Los 18 años de gestación del big bang fueron seguidos por 30 años de confrontación contra el modelo alternativo de Hoyle (véase diagrama).



(véase: "El Big Bang: aproximación al universo y a la sociedad", Siglo del Hombre, Bogotá, 2011)

Figura 2. Tribulaciones del modelo cosmológico del big bang

El resto de los 100 años de exploración intelectual del universo, que Einstein echó a andar, es una historia fascinante, que muestra cómo funciona el proceso científico. La historia del big bang no es lineal. En mi libro *El Big Bang...* [4] se exponen los detalles de esta historia. La biografía de Einstein por el autor Walter Isaacson (el mismo autor de la biografía de Steve Jobs) es maravilloso [5]. Durante estos 100 años el big bang ha sido atacado por todos los lados (hago énfasis en las críticas hechas por los científicos) y sigue siendo criticado y escudriñado, lo cual es parte del carácter distintivo de la ciencia. Así es como logramos deshacernos de teorías que no funcionan. Hoy no hablamos del flogisto o del calórico, teorías que en su tiempo gozaban de credenciales científicas.

Estamos celebrando 100 años de la teoría de la relatividad de Einstein [6]. Gracias a esa maravillosa creación del intelecto humano hemos logrado aumentar el conocimiento que tenemos sobre el universo.

Referencias

- [1] Janssen, M., Renn, J., "Arch and scaffold: How Einstein found his field equations", *Physics Today*, 68 (11), November 2015, pp. 30-36.
- [2] Gutfreund, H., Renn, J., *The Road to Relativity*, Princeton University Press, 2015.
- [3] A. I., Miller, *Empire of the Stars*, Litle Brown, Great Britain, 2005
- [4] Torres, S., *El Big Bang: aproximación al universo y a la sociedad*, Siglo del Hombre, Bogotá, 2011.
- [5] Isaacson, W., *Einstein – His Life and Universe*, Simon & Shuster, New York, 2007.
- [6] Torres, S., "100 años de relatividad", 2015, (http://astroverada.com/_/Main/T_Einstein.html)