Einstein…..y algo más

Einstein…and something else

J. A. Astorga-Moreno[a] y E. A. Mena-Barboza[b]

Una de las figuras más sobresalientes en la ciencia es sin duda, I. Newton, al estar asociado a diferentes ramas de la física, y con el desarrollo del cálculo diferencial e integral (esta invención fue concebida casi al mismo tiempo, pero de manera independiente por el también matemático, G. Leibniz en el siglo XVII). Una de las contribuciones importantes de Sir Newton fue el haber notado y descrito (mediante leyes) la fuerza que nos mantiene sobre la superficie de la tierra y de cómo permite a la Luna orbitar alrededor del planeta Tierra, conocida como fuerza de gravedad. Al establecer Newton la Ley de Gravitación Universal se pensaba que dicha teoría daba una descripción definitiva de cómo parecía funcionar el Universo, dejando ver que había un margen muy pequeño de duda para que alguien pudiera aparecer con una propuesta diferente que rompiera con el paradigma de la física newtoniana y cambiar las ideas fundamentales de la física.

Pero fue en 1905, que el físico A. Einstein, con su teoría especial de la Relatividad terminó con la duda de si la luz estaba compuesta por "corpúsculos" (diminutas esferas), propuesto por Newton, o la hipótesis de naturaleza ondulatoria, defendida por J. C. Maxwell en el siglo XIX, acertando el primer tropiezo a lo conjeturado por Newton. El segundo gran golpe viene en 1911, ya que en los principios de su teoría General de la Relatividad, Einstein abordó la gravedad terminando con la idea de que los objetos se atraían entre sí con una fuerza proporcional a sus masas, afirmando que

[a] Departamento de Física, Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN, Apartado Postal 14-740, 07000, CDMX, México. jesus.astorga@cinvestav.mx

[b] Centro Universitario de la Ciénega, Universidad de Guadalajara, Ave. Universidad 1115, Ed. de Investigación y Tutorías, C. P. 47820, Ocotlán, Jalisco, México. eri.mena@academicos.udg.mx

un objeto distorsiona el espacio a su alrededor provocando que cualquier otro de menor masa cerca de éste se “deslice” hacia él, es decir cambiando las fuerzas de Newton por la curvatura del espacio de Einstein, Fig. 1.

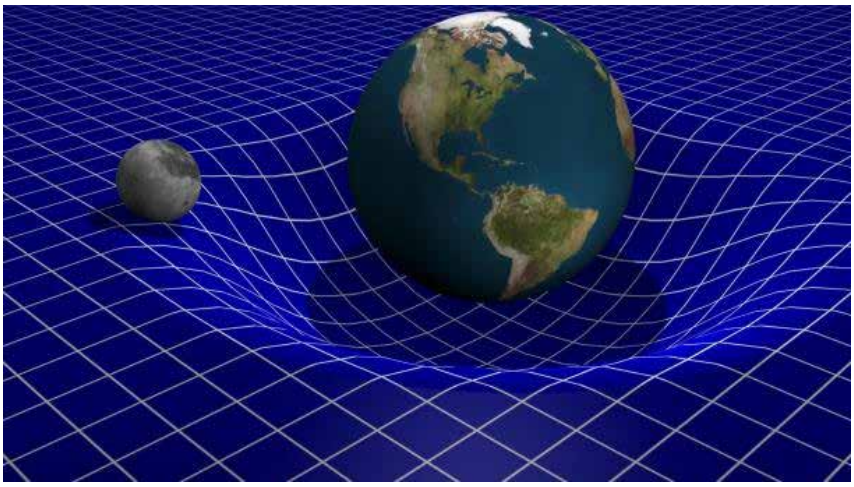


Fig. 1 Teoría General de la Relatividad.

Fuente: Diario Libre, YouTube.

Cabe mencionar que las expresiones matemáticas de Newton no son erróneas, sino que lo hecho por Einstein completa lo anterior, ofreciendo una respuesta genial a como funciona la gravedad. Después de 1915, ya con una completa exposición de la teoría General y Especial de la Relatividad, ha habido diversos fenómenos que fortalecen y comprueban la veracidad de las ideas de Einstein, uno de ellos sucedió en 1919 cuando un grupo de astrónomos liderados por A. Eddington durante un eclipse solar observó como la posición aparente de las estrellas cambiaba cuando en la trayectoria de su luz hacia la Tierra se interponía el Sol, concluyendo que la única explicación a este hecho es que en presencia de una Masa un rayo de luz sigue una trayectoria “curva”. Otro resultado importante de cómo la Relatividad General fue comprobada es cuando se pudo predecir los 43 segundos de arco faltantes para el perihelio de Mercurio (Fig. 2), ya que con la mecánica newtoniana se obtenía un desfase de sólo 532 arcos de segundo por siglo cuando en realidad es a un ritmo de 575 arcos de segundo, tomando en cuenta que su órbita seguiría avanzando aunque no existieran los demás planetas, sólo por el hecho de

estar muy cerca del Sol, donde este distorsionaría el espacio provocando la acción de la gravedad.

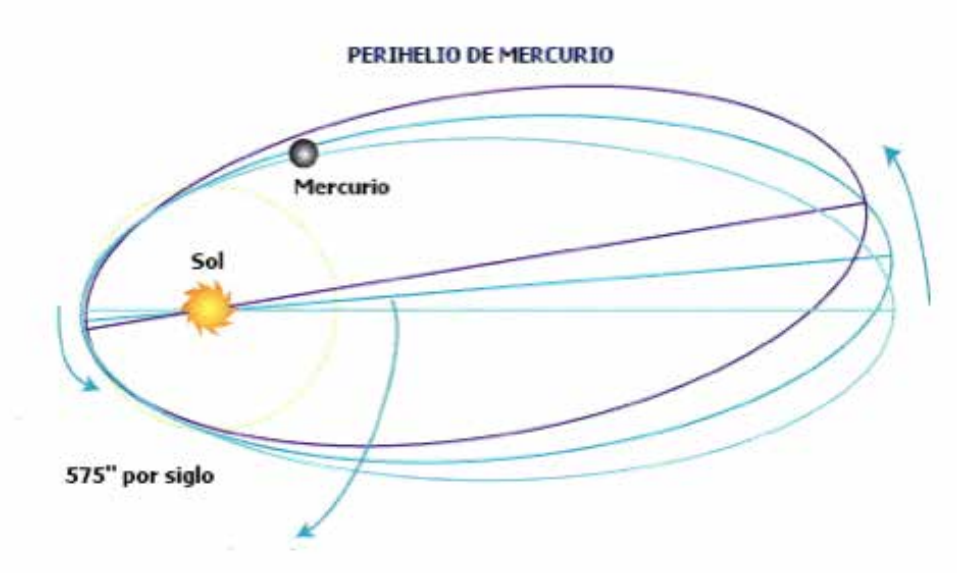


Fig. 2 Perihelio de Mercurio.

Fuente: https://www.konradlorenz.edu.co

Ya con estos antecedentes la teoría de Einstein permite inferir que la geometría del Universo está directamente determinada por la cantidad de materia que contiene, sentando las bases para el área de la física teórica que se encarga del estudio de las propiedades, origen y evolución del Universo visto como un todo, y que generalmente se engloba dentro de la Cosmología [**1**]. Es aquí cuando científicos como el físico K. Schwarzschild 1916 y el matemático A. Friedmann 1922 aparecen en escena, ya que a el primero se le considera el pionero en cuanto a soluciones exactas de las ecuaciones asociadas a la Teoría de la Relatividad General, dejando las bases para el estudio de lo que hoy se le conoce como agujeros negros. Por su parte, Friedmann [**2**] al resolver las ecuaciones de Einstein propuso un modelo cosmológico el cual describía un universo que se contraía o expandía, esto al no tomar en cuenta la famosa "Constante Cosmológica" introducida en un principio por Einstein para representar un universo de tamaño estable. El modelo dinámico de Friedmann encuentra una sólida base en las observaciones de galaxias realizadas por E. Hubble en 1924, Fig. 3.

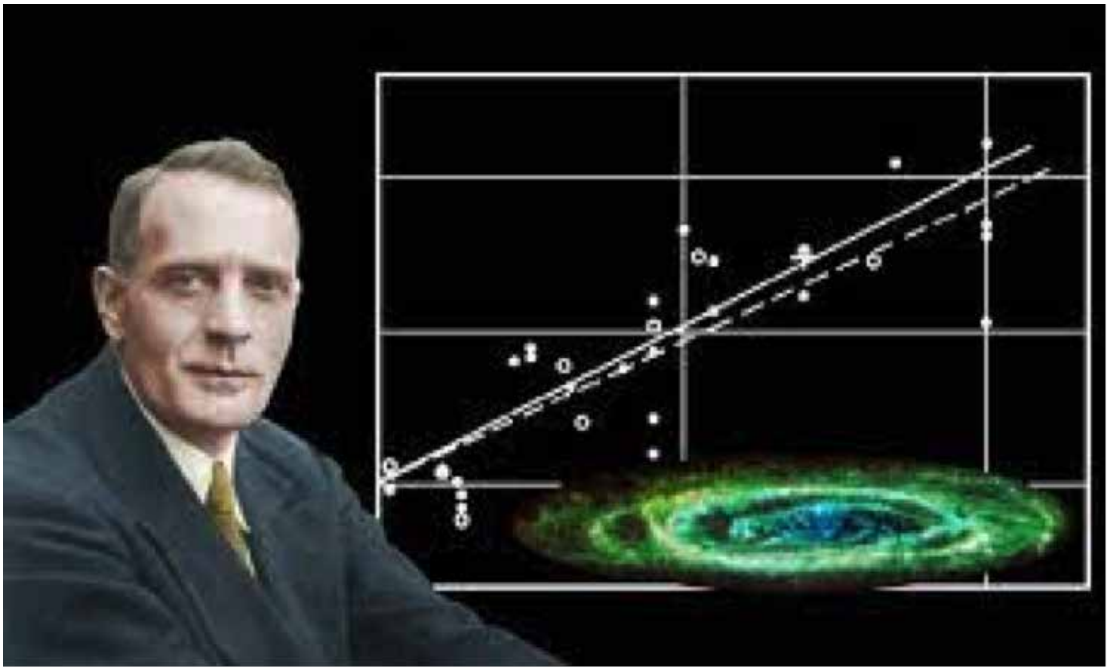


Fig. 3 Hubble y el Universo dinámico.

Fuente: Ciencia UNAM

Ahora, partiendo de la idea de que el Universo comenzó con un "Big Bang" precedido de una etapa de "inflación" o expansión acelerada, así como que, dentro de un radio específico, se ha observado que es casi igual para donde quiera que apuntemos los telescopios, es decir, homogéneo e isotrópico, esto se considera al trabajar con las propiedades y comportamiento del Universo ya que no es cosa sencilla. Por otro lado, si pedimos que este sea dinámico y acelerado, esto es, pasar de una etapa de expansión desacelerada a una acelerada, hecho que se termina de confirmar con las observaciones de supernovas Ia en 1998-1999 [**3**], nos obliga a introducir un modelo cosmológico que pueda representar dichos hechos, lográndose al introducir la Constante Cosmológica y con esto la posibilidad de que la gravedad pueda tener una reacción repulsiva que permita dicho fenómeno. Además, es necesario reajustar el contenido de materia en el Universo introduciendo la materia oscura fría que permita entender esa dinámica, ya que sólo interacciona gravitacionalmente ofreciendo una explicación para la rotación de las galaxias. Dicho modelo se le conoce como CDM o modelo estándar

cosmológico y dados los análisis teóricos y observacionales de alta precisión obtenidos en los últimos años es considerado, con ciertas reservas, como aquel que simula de mejor manera las propiedades y comportamiento del cosmos en el que vivimos.

Aún con las mejoras computacionales aunado con la gran variedad existente de datos astronómicos, hay ciertos aspectos que el modelo estándar no ha podido llegar a explicar en su totalidad, dando lugar a nuevas propuestas para estudiar la gravedad, que por lo descrito anteriormente están fuertemente basadas en la Relatividad General, traduciéndose formalmente en modificaciones a las ecuaciones derivadas por Einstein. En este contexto, podemos mencionar a la teoría , la cual permite introducir un miembro general en la parte asociada a la curvatura en lugar de uno lineal, como lo hizo Einstein. El interés en profundizar en esta teoría, es que permitió explicar de manera natural el periodo que viene después de la gran explosión, conocido como inflacionario, propuesto independientemente por A. Starobinsky y A. Guth [**4**] en 1980 y que ha alcanzado gran relevancia gracias a la imagen de la Radiación Cósmica de Fondo - CMB, Fig. 4.

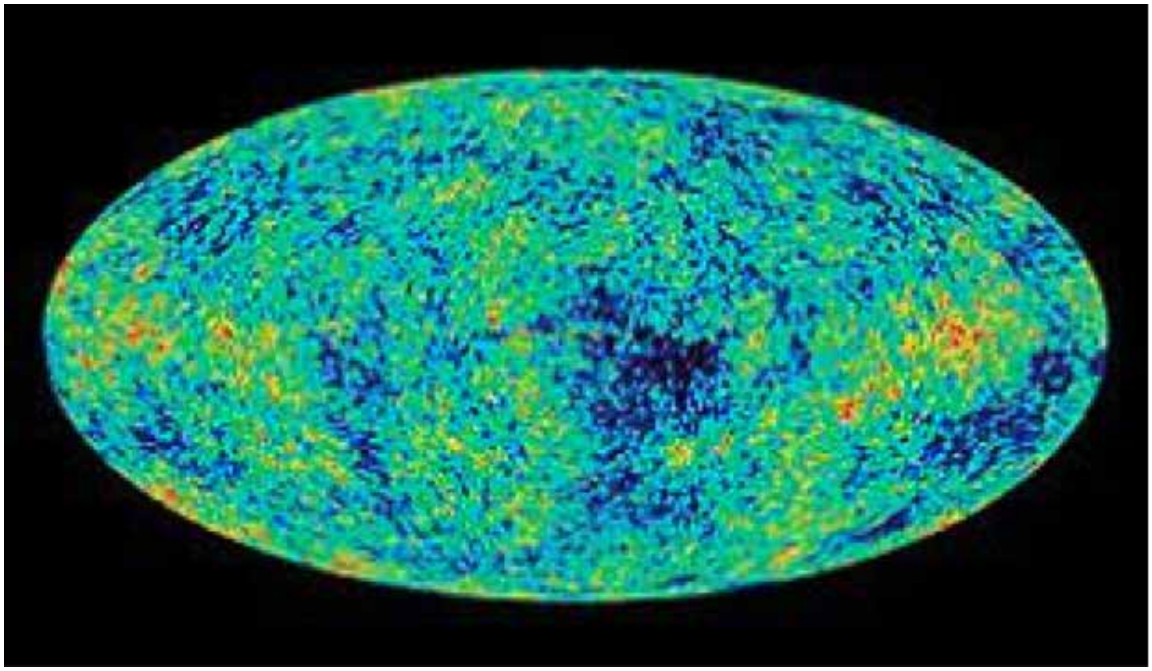


Fig. 4 Radiación cósmica de Fondo (CMB).

Fuente: A. Penzias, R. Wilson, Astrophysical Journal Letters 142 , pp. 419-421, 1965.

Por otra parte, encontramos a la Gravedad Unimodular introducida en 1919 por el propio Albert Einstein, la cual consiste en una simplificación de sus ecuaciones de gravedad y cuya relevancia radica en poder sacarle la vuelta a los problemas relacionados con la Constante Cosmológica, al aparecer de manera natural en sus ecuaciones, permitiendo fijar su valor desde un principio. A diferencia del modelo estándar, que ya no aparece la discrepancia de 121 ordenes de magnitud entre el cálculo teórico y lo observado para la densidad de energía de la Constante Cosmológica. De la misma manera, existen propuestas que no sólo modifican las ecuaciones de Einstein, sino también la topología o como entendemos el Universo, considerando la existencia de 5 a 11-dimensiones, no únicamente las 4 que estamos acostumbrados a escuchar desde secuandaria.

Así mismo, la cosmología de Branas [**5**] es una teoría reciente muy novedosa y compleja, que muestra a nuevos objetos conocidos como branas, los cuales tienen 4-dimensiones y contiene toda la materia, mientras que aquello que produce la expansión acelerada, como la constante cosmológica, se encuentra en un espacio 5-dimensional, que se conoce por bulto, Fig. 5, según la generalización de la Relatividad General establecida por Theodor Kaluza (1890) y Oskar Klein en 1996. Lo llamativo de este formalismo es que permite explicar la debilidad de la gravedad respecto a las otras fuerzas de la naturaleza, o lo que se conoce como problema de la jerarquía, ya que un gravitón al viajar de brana a brana va perdiendo su intensidad.

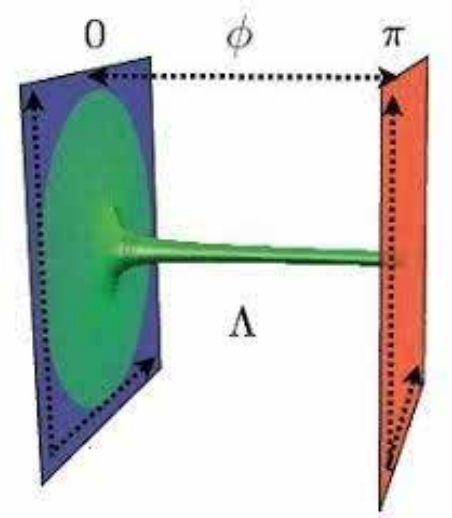


Fig. 5 Branas y bulto.

Fuente: Tesis M. Estrada “Goemetry of branes and the Gauss-Bonnet lagrangian“, 2012.

Ya en nuestros días, y con la necesidad de explicar la presencia de la materia y energía oscura, podemos encontrar propuestas como la teoría de campo escalar, que básicamente y en cualquiera de sus variantes, sustituye la Constante Cosmológica que tiene un valor fijo casi nulo, por una función especial conocida como campo escalar, permitiendo comprender de mejor manera los cambios en la expansión, así como la formación de estructura en el Universo. Lo único innegable que podemos encontrar en las propuestas descritas, así como en otras vertientes de gravedad modificada, por muy complejas que parezcan, como la cosmología de cuerdas o teorías involucrando torsión, es que la esencia de Einstein estará siempre presente ya que su aporte permite poder acercarnos cada día mas a explicar el origen y comportamiento de nuestro Universo.

AGRADECIMIENTOS

E. A. Mena-Barboza fue parcialmente apoyado por Adler ingenieros.

REFERENCIAS

[1] S. Dodelson, "Modern Cosmology", Academic Press, (2003).

[2] A. Friedmann, "Uber die krummung des raunes", Zeitschrift fur Physik 10(1), pp. 377-386, (1922).

[3] Riess et al, "Observational evidence from supernovae for an accelerating universe and a cosmological constant", Astronomical Journal 116, pp. 1009-1038, (1998). S. Perlmutter et al, "Measurement of and from 42 high redshift supernovae", The Astrophysical Journal 517, pp. 565-586, (1999).

[4] A. Starobinsky, "Spectrum of Relict Gravitational Radiation and The Early State of the Universe", JETP Lett. 30, (1979). A. Guth, "The Inflationary Universe: A Possible Solution to the Horizon and Flatness Problems". Phys. Rev. D23, 347 (1981).

[5] L. Randall and R. Sundrum, Phys. Rev. Lett. 83 (1999) 3370. L. Randall and R. Sundrum, Phys. Rev. Lett. 83 (1999) 4690.

J. A. ASTORGA-MORENO. Estudió la licenciatura en Matemáticas en la Unidad Académica de Matemáticas de la Universidad Autónoma de Zacatecas, mientras que su estudio de maestría en la UNAM-UMSNH y el doctorado en CUCI-UdeG. Sus áreas de interés en la investigación son la Cosmología, gravitación y Física matemática contando con mas de 10 artículos en diversas revistas de publicación internacional y también algunas aportaciones en difusión y divulgación de la ciencia. Actualmente se encuentra de estancia posdoctoral en el Departamento de Física perteneciente al Cinvestav, unidad Zacatenco y cuenta con la distinción de nivel 1 en el sistema nacional de investigadoras e investigadores SNII del Secihti (antes conahcyt).

E. A. MENA-BARBOZA. Estudió la licenciatura en Física en la Universidad Autónoma de Baja California, sus estudios de maestría y doctorado en el Instituto de Física de la Universidad de Guanajuato. Sus áreas de interés son la Cosmología, Física-Matemática y las teorías alternas a la relatividad. Cuenta con mas de 25 artículos revistas internacionales, 2 patentes y algunas aportaciones en difusión y divulgación de la ciencia. Actualmente trabaja en el Centro Universitario de la Ciénega de la Universidad de Guadalajara como profesor-investigador titular B. Cuenta con la distinción de nivel 1 en el sistema nacional de investigadoras e investigadores SNII del Secihti.