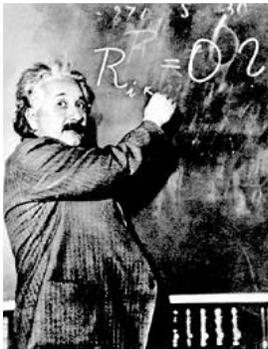


La evolución de los conceptos de espacio y tiempo

J. Rubén Morones Ibarra
Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, UANL.
rmorones@cfm.uanl.mx



Albert Einstein.

"¿Es el análisis matemático tan solo un vano juego de la mente?. ¿Le da al físico únicamente un lenguaje conveniente?. ¿no es éste un servicio mediocre del cual, estrictamente hablando, se podría prescindir?. y más aún, ¿no es de temerse que este lenguaje artificial pueda ser un velo interpuesto entre la realidad y el ojo del físico?. Lejos de ello; sin este lenguaje la mayor parte de las analogías íntimas entre las cosas nos seguirían siendo desconocidas; y, para siempre, habríamos permanecido ignorantes de la armonía interna del mundo, la cual es la única realidad verdaderamente objetiva".

Henri Poincaré.

RESUMEN

Newton desarrolló la ciencia de la mecánica bajo la hipótesis de que el tiempo y el espacio son absolutos. A principios del siglo XX Einstein desarrolló la teoría de la relatividad en la que el espacio y el tiempo ya no son absolutos, sino que están integrados en la estructura espacio-tiempo. La cosmología moderna, basada en la teoría general de la relatividad, presentó tres escenarios, dos de ellos corresponden a un universo infinito e ilimitado mientras que el tercero es un universo curvo finito pero ilimitado. La verdadera estructura del universo depende de la densidad másica de éste.

PALABRAS CLAVE

Espacio, tiempo, relatividad, cosmología.

ABSTRACT

It was in the ancient greek epoch when the hypothesis of objectivity and understandibility of nature and the regularity in the natural phenomena was stated. This is the time when we can consider the natural sciences started. Long time after, Newton developed the science of mechanics with the hypothesis of absolute time and absolute space. At the begining of the XX century, Einstein developed the theory of relativity where space and time are not more absolute, mixing both in the structure of spacetime. The modern cosmology, supported in the general relativity theory, presents three scenarios an infinite unlimited,, two of them correspond to universe the third one is a space curved universe, finit but unlimited. The real structure of the universe depends on the mass density of it.

KEYWORDS

Space, time, relativity, cosmology.

ANTECEDENTES DE LA CIENCIA

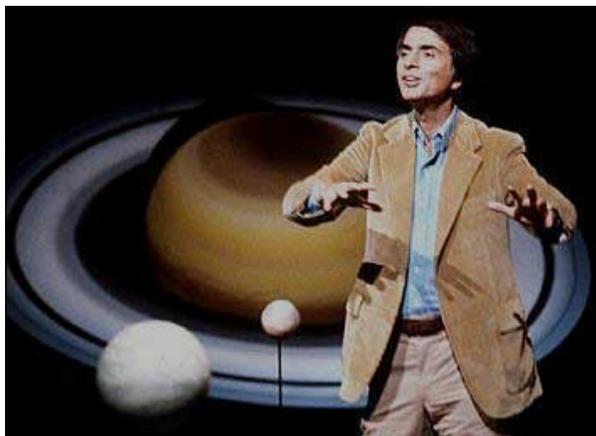
Los fundamentos de la física son un conjunto de principios o leyes sobre los cuales descansa toda su estructura. Estas leyes son el resultado de la observación y la experimentación, por eso decimos que son empíricas, lo cual es una condición que caracteriza a todas las ciencias naturales. En este artículo nos referiremos a algo más primordial, a ciertas hipótesis básicas de carácter más fundamental aún que las leyes generales de la física, es decir, más fundamentales que los principios de conservación de la energía, del momento lineal o del momento angular. Las hipótesis primigenias a que nos referiremos están asociadas con puntos de vista filosóficos y con las propiedades del espacio y el tiempo.

En todas las civilizaciones antiguas encontramos historias y explicaciones fantásticas sobre los fenómenos naturales y el origen del mundo. El rasgo común de todas estas “explicaciones” es que en ellas estaba implícita la presencia de uno o varios seres invisibles y con poderes extraordinarios. Para los miembros de estas civilizaciones, el universo era un sistema caótico donde no había regularidad, a excepción de algunos fenómenos como el día y la noche, y todo lo que ocurría era resultado de caprichos o enojos de las divinidades. El hombre no podía tener ni conocimiento ni mucho menos control de los fenómenos que observaba. No se sabe exactamente cuando, pero según Carl Sagan¹ fue en la antigua Jonia, con los primeros filósofos materialistas, Tales de Mileto, Anaximandro, Anaxímenes y Empédocles donde se desarrolló una de las grandes ideas de la especie humana: la noción de que el universo se puede

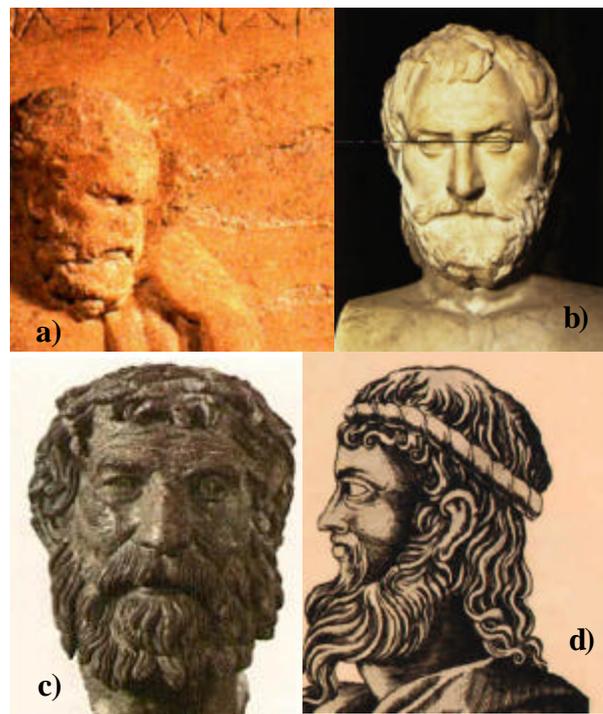
conocer; esta sería la semilla de lo que hoy conocemos como ciencias naturales. Esta idea surgió como consecuencia de la observación de que algunos fenómenos mostraban una cierta regularidad, como el aparente movimiento diario del sol de oriente a poniente, las estaciones del año, las fases de la luna, etc.

Las hipótesis fundamentales sobre las que descansa toda la estructura teórica de la física son hipótesis filosóficas sobre el papel del hombre en la comprensión del mundo o los conceptos “prefísicos” sobre el espacio el tiempo y la materia. Estos son los pilares fundamentales sobre los que se levanta todo el edificio de la ciencia.

La existencia objetiva del universo, la cognoscibilidad del mismo, y la existencia de regularidades en los fenómenos de la naturaleza, son las hipótesis más básicas de la concepción científica del mundo. La objetividad del universo expresa la idea de que la materia existe independientemente de la conciencia del hombre, es decir, que la materia está ahí, no importa si hay seres que la observan o no. Este postulado, aparentemente ingenuo, no lo es tanto y existe una doctrina filosófica, conocida como



Carl Sagan en la época de la serie televisiva Cosmos.



Filósofos materialistas: a) Anaximandro, b) Tales de Mileto (624-546 AC), c) Anaxímenes, d) Empédocles

Solipsismo, que lo niega; nada existe fuera de mi conciencia, dicen los solipsistas.²

La cognoscibilidad o intelegibilidad del mundo significa que el hombre es capaz de explicar los fenómenos que observa a su alrededor, de reconocer un orden y una regularidad en los fenómenos de la naturaleza y que podemos alterar e intervenir en la evolución y desarrollo de los mismos.

La hipótesis de la existencia de regularidades en los fenómenos naturales se expresa en el “postulado de causalidad”.³ Este postulado establece que aún y cuando no conozcamos las causas que dan lugar a un fenómeno determinado, estas tienen que existir. En otros términos, que todo fenómeno de la naturaleza está determinado por circunstancias y condiciones específicas. Este principio de causalidad, nos lleva al determinismo y a las leyes de la naturaleza, las cuales podemos entender como regularidades que ocurren en el comportamiento de los sistemas materiales siempre que se presenten las condiciones adecuadas. La certeza en el determinismo o principio de causalidad llevó a Einstein a pronunciar su famosa frase “Dios no juega a los dados”, refiriéndose a la interpretación probabilística de la mecánica cuántica, la teoría que describe el comportamiento de átomos, moléculas, núcleos atómicos y partículas subnucleares. Aspectos de esta teoría en la cual no se pueden determinar las cantidades físicas con precisión absoluta y solo se pueden calcular probabilidades de sus valores, serán tratados en otro artículo. El determinismo de la física clásica se refiere al hecho de que la evolución de un sistema está determinado por las condiciones iniciales y que en principio es posible conocer el futuro si conocemos el presente.

Aún anterior al postulado de causalidad, elaborado con base en el hecho de que “siempre” que se dan determinadas condiciones ocurren determinados resultados, está, por supuesto, la validez del método inductivo. El principio de causalidad se apoya en el método inductivo, pero el método inductivo no se apoya en nada, en este sentido la hipótesis de la validez del método inductivo es una suposición primigenia. La palabra “siempre” no tiene un significado literal, por supuesto. Solo significa que se hicieron un número razonablemente grande de observaciones y se extrapoló el resultado, en el tiempo y en el espacio.

EL ESPACIO Y EL TIEMPO EN LA FÍSICA NEWTONIANA

El método científico, apoyado en estas hipótesis prefísicas, es el instrumento mediante el cual se desarrolla y adquiere nuevo conocimiento en las ciencias naturales.

La homogeneidad e isotropía del espacio y la homogeneidad del tiempo son otras hipótesis de trabajo no empíricas que se establecen en la física clásica.⁴ La homogeneidad del tiempo se refiere a la equivalencia entre cualesquier dos instantes de tiempo, independientemente de en que momento se tomen. El concepto de homogeneidad del tiempo se introduce en forma práctica al utilizar marcos de referencia donde el origen de coordenadas puede seleccionarse arbitrariamente. Una forma equivalente de expresar la homogeneidad del tiempo es plantear que las leyes de la física son las mismas ahora que hace mil años. La aplicabilidad de este principio se lleva a cabo al observar los fenómenos que ocurren en estrellas o galaxias lejanas y usamos los conocimientos de física actuales para interpretarlos. La información que nos llega del espacio exterior, es radiación electromagnética (luz visible, ondas de radio, microondas, rayos X, etc.), la cual fue emitida hace miles o millones de años, dependiendo de la distancia de la estrella o galaxia que estemos observando. Las conclusiones que obtenemos se realizan basados en nuestro conocimiento actual de la física, y esto lleva implícito la suposición de que las leyes de la física hace miles o millones de años,



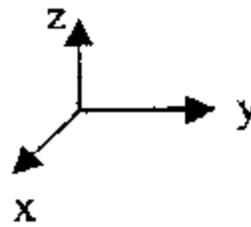
Isaac Newton (1642-1727) físico, matemático y astrónomo inglés que desarrolló la ciencia de la mecánica y descubrió la ley de la gravitación universal.

cuando se emitió la radiación, son las mismas que las de ahora.

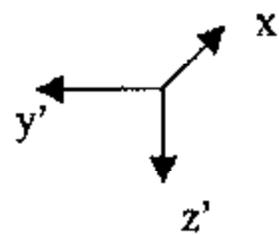
Similarmente, la hipótesis de isotropía del espacio aparece en el hecho de que la orientación de los ejes de coordenadas, los cuales nos sirven de marco de referencia para analizar un fenómeno físico, es arbitraria. En cuanto a la homogeneidad del tiempo, ésta está implícita en el hecho de que el origen del tiempo es completamente arbitrario. El concepto de homogeneidad del espacio significa que las leyes de la física tienen validez en todos los lugares del universo. La isotropía del espacio nos dice que si un experimento es efectuado en un laboratorio donde el equipo experimental tenga una cierta orientación espacial, los resultados obtenidos serán los mismos si la orientación de todos los instrumentos, el sistema que se va a analizar y el medio ambiente se modifica.

Las hipótesis de homogeneidad del tiempo y del espacio, así como la de isotropía del espacio, son utilizadas permanentemente en toda la física y la ingeniería. En el diseño de una construcción no se piensa que dentro de 10 años se pueda colapsar debido a que los principios físicos y ecuaciones utilizadas en los cálculos vayan a cambiar. Lo mismo se aplica al diseño de cualquier máquina o vehículo, como un automóvil, un barco, avión o nave espacial. Los diseñadores y constructores de los vehículos se apoyan en estos principios y confían en que se cumplirán aún cuando la nave espacial o el automóvil viaje miles de kilómetros.

Dado que la física es una ciencia experimental, cualquier hipótesis que se haga y que lleve a resultados que no están de acuerdo con los resultados experimentales debe ser desechada. Un ejemplo de esto ocurrió con la hipótesis de la simetría izquierda-derecha del espacio. Esta suposición establece que en el espacio no existe preferencia por la izquierda o la derecha. La forma como se aplica esta simetría es a través del uso indistinto de marcos de referencia levógiros o dextrógiros (ver figuras). Esta simetría, que se tomó como un postulado, resultó inadecuada para describir fenómenos relacionados con la desintegración nuclear por emisión de electrones. En el año de 1956 se realizó un experimento donde se probó que las interacciones débiles, una de las fuerzas fundamentales de la naturaleza, distinguían la derecha



Marco de referencia Dextrógiro



Marco de referencia Levógiro

de la izquierda; a esto se le conoce como la violación de la paridad por las interacciones débiles.⁵

La homogeneidad e isotropía del espacio así como la homogeneidad del tiempo, son hipótesis de trabajo para iniciar la construcción de un cuerpo de doctrina que permita explicar los fenómenos de la naturaleza. Estas hipótesis conducen a las leyes de conservación sobre los que se apoya toda la física: conservación del momento lineal, del momento angular y de la energía. Estos resultados tienen hasta el momento validez universal, no se ha encontrado hasta hoy ningún hecho experimental que los ponga en duda. Por otra parte, existen hipótesis en la física pre-relativista acerca del espacio y el tiempo donde se considera a estos como absolutos, es decir con propiedades que no dependen ni de la presencia de materia ni de los observadores que midan estas propiedades. Para Newton, el espacio es absoluto, es el escenario donde ocurren los fenómenos naturales y permanece siempre idéntico e inmóvil, sin relación a las cosas externas, y el tiempo es algo que fluye sin relación con nada, independientemente de la materia y su movimiento.⁶ Estas ideas permitieron el desarrollo de la física clásica. Sin embargo, con el advenimiento de la teoría de la relatividad desarrollada por Einstein, estos conceptos sufrieron modificaciones no sin provocar gran desconcierto entre los físicos debido a que estos

conllevar un cambio que está mas allá de nuestra experiencia inmediata.

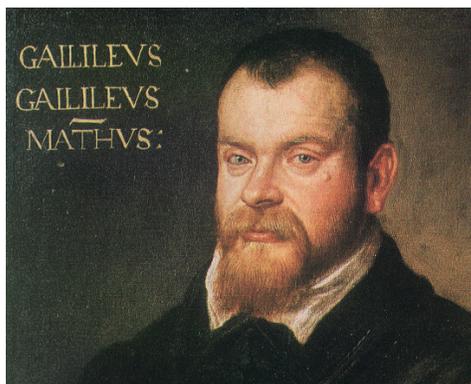
Un principio de la física clásica conocido como Relatividad Galileana, establece la forma como dos observadores que se encuentran en movimiento relativo a velocidad constante, relacionan sus observaciones de los fenómenos físicos. Este principio nos lleva a que las leyes de la mecánica son las mismas para todos los observadores, y está apoyado en los conceptos de espacio y tiempo absolutos.

EL ESPACIO Y EL TIEMPO EN LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD

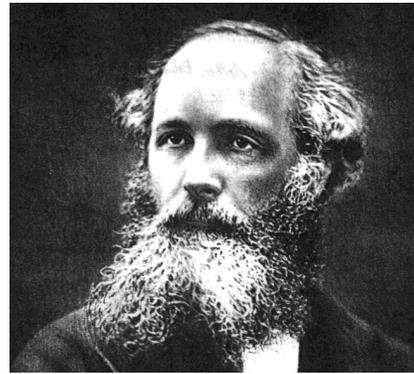
Desde que Newton presentó la formulación matemática de la mecánica, se entendió que las matemáticas marcaban el camino para los nuevos descubrimientos. El carácter universal de las leyes de la física y las analogías íntimas entre las cosas, como lo menciona Poincaré, solo se pueden entender a través del conocimiento de las matemáticas; En palabras de Galileo: “ El gran libro de la naturaleza está escrito en el lenguaje de las matemáticas”.⁷

Con la formulación matemática del electromagnetismo, por Maxwell en 1873, y la confirmación experimental de que la luz es una onda electromagnética, se hizo la suposición de la existencia de un medio para su propagación. La suposición respondía a la concepción mecanicista del mundo y a la idea de que se requiere un medio para la propagación de una onda. Este medio se denominó éter luminífero.

En 1886 los experimentos de Michelson y Morley para detectar al éter arrojaron resultados negativos. Lorentz, en su intento por salvar al éter, supuso que



Galileo Galilei



James Clerk Maxwell

los objetos se contraían en la dirección del movimiento. Por otra parte H. Poincaré insistía en redefinir los conceptos de espacio y tiempo.

En 1905 Albert Einstein, un físico completamente desconocido en ese entonces, publica tres trabajos que son ahora referencia obligada para quienes escriban la historia de la física. En uno de estos trabajos, intitulado “sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento”, Einstein salva las dificultades encontradas en los experimentos por detectar al éter con la hipótesis de que la luz se propaga con rapidez constante, independientemente del observador y de la fuente. Esta hipótesis es una de las suposiciones fundamentales de la teoría de la relatividad especial y condujo a una verdadera revolución en la física. En la física relativista, el espacio y el tiempo quedaron ligados indisolublemente. No existe el uno sin el otro. La relatividad del tiempo y del espacio significa que tanto uno como el otro dependen del observador. Esto quiere decir que los valores numéricos asignados a mediciones de tiempo y espacio por diferentes observadores para los mismos fenómenos, son distintos. La relación entre ellos depende de las velocidades relativas entre ambos observadores.

La relatividad especial permite estudiar los fenómenos donde los campos gravitacionales que intervienen son relativamente pequeños, como el campo gravitacional de la Tierra, o del Sol, por ejemplo. En el caso de este último, con pequeñas desviaciones entre lo que predice la teoría y lo que se observa experimentalmente. En 1915, Einstein publica la teoría general de la relatividad, donde el espacio, el tiempo y la materia quedan unidos en forma



Henri Poincaré

inseparable. La presencia de materia deforma el espacio y el tiempo. Una medición de tiempo realizada por un reloj en el último piso de un edificio es diferente del valor obtenido por el mismo reloj en la planta baja.

GEOMETRÍAS NO EUCLIDIANAS

El desarrollo de la teoría general de la relatividad, la cual es una teoría de la gravitación que es compatible con el resultado de la relatividad especial de que ninguna señal en la naturaleza se propaga a mayor velocidad que la luz, requirió el uso de geometrías no-euclidianas.

Desde la matematización de la física con Newton, se consideró que el espacio físico era descrito por la geometría euclidiana. Esta geometría que aprendimos en los cursos elementales, donde la suma de los ángulos internos de un triángulo es de 180° y la razón entre la circunferencia y su diámetro es el conocido número $\pi=3.14\dots$, corresponde a un espacio



Albert Einstein, físico que desarrolló la teoría de la relatividad.

plano o llano. Pero existen otras geometrías, conocidas como geometrías no euclidianas que fueron desarrolladas a mediados del siglo XIX. Una geometría para un espacio curvo es, como un ejemplo, la geometría de la superficie de la esfera. Sobre la superficie de la esfera no se puede trazar una línea recta, por ejemplo. Pero si definimos como línea recta en una superficie en general, la distancia más corta entre dos puntos, entonces en la superficie de una esfera dos puntos definen dos segmentos de recta, que son las dos partes de un círculo máximo. También se puede ver fácilmente que los ángulos internos de un triángulo esférico no suman 180° . Fue el célebre matemático alemán Karl Friedrich Gauss, quien estableció que las propiedades de una superficie en general, y toda la geometría asociada a ella, quedan determinadas al definir una regla para medir distancias sobre esta superficie.⁸ Bernhard Riemann, un matemático alemán del siglo XIX, generalizó la geometría de superficies curvas para un número arbitrario de dimensiones y surgieron así las geometrías no euclidianas N-dimensionales.



Karl Friedrich Gauss

En la física clásica el espacio y el tiempo existen en forma independiente el uno del otro y a la vez son independientes de la materia. La geometría de la física newtoniana es la geometría euclidiana de tres dimensiones, donde el espacio es homogéneo e isótropo. La regla para medir distancias es siempre la misma, no importa donde coloquemos el origen de coordenadas ni como lo orientemos. La total independencia entre el espacio, el tiempo y la materia se manifiesta en la métrica del espacio euclidiano, es decir en la regla para medir distancias en este espacio. La distancia ΔS entre dos puntos con

coordenadas (x_1, y_1, z_1) y (x_2, y_2, z_2) está dada por $\Delta S = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$, y el tiempo absoluto. Claramente el espacio es plano y no depende ni del tiempo ni de la materia.

En la teoría especial de la relatividad, el espacio y el tiempo están conectados de forma inseparable, es un espacio de cuatro dimensiones y la geometría que lo describe es la geometría de Minkowski, con una fórmula para medir “distancias” o mejor dicho, pseudodistancias, dada por:

$$\Delta S = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2 - (t_2 - t_1)^2}.$$
 Se observa aquí la conexión entre tiempo y espacio.

Por otra parte, en la teoría de la gravitación de Einstein el espacio, el tiempo y la materia están estrechamente conectados, el uno no existe sin el otro y la geometría que lo describe es la geometría Riemanniana, donde la métrica está dada por

$$ds^2 = \sum_{m=1}^4 \sum_{n=1}^4 g_{mn} dx^m dx^n$$

siendo ds^2 el cuadrado de la distancia entre dos puntos cuyas coordenadas en el espacio-tiempo son: (x, y, z, t) y

$$(x + dx, y + dy, z + dz, t + dt).$$

Aquí se ha usado x^m con $m=1,2,3$ y 4 para x, y, z y t respectivamente. Las cantidades g_{mn} se conocen como las componentes del tensor métrico y dependen de cómo está distribuida la materia y la energía en el espacio. Se aprecia entonces la interrelación espacio-tiempo-materia.



Bernhard Riemann



Hermann Minkowski

EL ESPACIO Y EL TIEMPO EN LA COSMOLOGÍA MODERNA

Las ecuaciones de Einstein para el campo gravitacional tienen la siguiente forma⁹

$$R_{mn} - \frac{1}{2} g_{mn} R = kT_{mn}$$

Las R_{mn} son funciones de las funciones potenciales g_{mn} y sus derivadas, las cuales dependen a su vez de la distribución de materia; a R se le conoce como la curvatura del espacio, y T_{mn} depende de la distribución de materia y energía. Son 10 ecuaciones diferenciales parciales no lineales, de una gran complejidad. No existe un método general para resolverlas y la primera solución fue obtenida por Karl Schwarzschild¹⁰ en 1916, para el caso del espacio “vacío” exterior a una estrella sin rotación y esféricamente simétrica. Ninguna otra solución fue encontrada a estas ecuaciones sino hasta el año 1963,¹⁰ esto nos da una idea del grado de dificultad que representa obtener soluciones para las ecuaciones de Einstein.

Esencialmente en las ecuaciones de Einstein tenemos que el miembro izquierdo de la ecuación se refiere a la geometría del espacio-tiempo y el miembro derecho a la distribución de masa y energía en ese espacio. La idea central detrás de estas ecuaciones la podemos expresar verbalmente como sigue:

“curvatura del espacio-tiempo” = “densidad energética de la materia”,¹¹ la cual establece que la materia causa que el espacio se curve.

En la cosmología moderna se tiene como hipótesis fundamental de trabajo el “principio cosmológico”, que establece que el universo se observa igual desde cualquier punto y en cualquier dirección desde donde se le vea.¹² Técnicamente esto significa que el universo es homogéneo e isótropo a gran escala. La Tierra, por ejemplo, es esférica en primera aproximación, cuando se le considera como un todo o vista desde lejos, pero localmente la topografía de su superficie no se le parece en nada a la superficie lisa de una esfera. Similarmente, el universo es homogéneo e isótropo cuando se le considera como un todo, a gran escala. Con estas hipótesis sólo existen tres posibles geometrías para la estructura espacial del universo.¹² Una es que el universo sea plano, en cuyo caso la geometría del espacio es euclidiana. Otra es que la geometría del espacio tridimensional sea hiperbólica como la que corresponde en el caso bidimensional a la geometría de la superficie de una silla de montar. Y la tercera posibilidad es que la geometría del espacio tridimensional sea esférica.

Tres son entonces los modelos del universo compatibles con las hipótesis de homogeneidad e isotropía del espacio. Dos de ellos son abiertos, infinitos e ilimitados. Estos universos son los que corresponden a las geometrías euclidianas (espacio plano), o a la hiperbólica (espacio curvo) y el tercero es un universo cerrado, finito pero ilimitado, este corresponde a la geometría de la superficie esférica tridimensional.

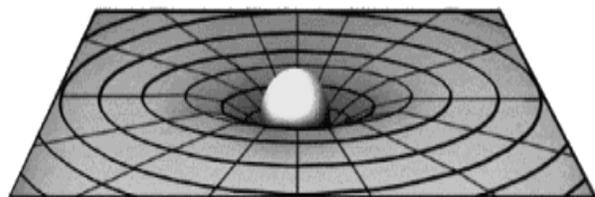
Es importante aclarar que las superficies curvas de tres dimensiones no pueden ser visualizadas por nosotros. Una superficie curva de dos dimensiones sí es posible visualizarla debido a que estamos

inmersos en un espacio tridimensional. Por ejemplo, la superficie esférica bidimensional, muy familiar para todos, se define como el conjunto de puntos en el espacio tridimensional que satisfacen la ecuación $x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 = r^2$, siendo las variables x_1, x_2, x_3 las coordenadas x, y, z respectivamente, del sistema de coordenadas cartesiano, y r el radio de la esfera. El caso de la superficie esférica tridimensional, no es más que una extensión a una esfera en el espacio de cuatro dimensiones. El conjunto de puntos que la representan satisface la ecuación: $x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2 = r^2$, siendo ahora x_1, x_2, x_3, x_4 las coordenadas de un sistema cartesiano en cuatro dimensiones. No podemos tener una representación pictórica de esta superficie, al menos yo no, necesitaríamos vivir en un espacio de cuatro dimensiones, pero nuestra capacidad de abstracción nos permite saber que esta superficie es finita, encierra un volumen cuatridimensional finito y que es ilimitada.

Para imaginarnos un universo finito pero ilimitado, podemos recurrir a una analogía bidimensional. Con este propósito, consideremos el caso de seres bidimensionales que viven sobre la superficie de una esfera. Para estos seres, su universo será ilimitado, podrán desplazarse sobre su superficie sin encontrar nunca un borde o una frontera, y también será finito en el sentido que no pueden alejarse indefinidamente del punto de partida. Estos seres podrán realizar mediciones locales y encontrar que su espacio es curvo, trazando por ejemplo un triángulo suficientemente grande y encontrando que la suma de sus ángulos internos es mayor de 180° . Esta analogía llevada a tres dimensiones es lo que conocemos como espacio curvo. La comprobación experimental de esto se realizó en 1919 cuando se observó en un eclipse total de Sol, que la luz proveniente de estrellas lejanas, sufría una desviación al pasar por la vecindad del Sol. Las ecuaciones de



Karl Schwarzschild



La presencia de materia deforma el espacio, de acuerdo con la teoría de Einstein de la gravitación.

Einstein predecían este resultado y se confirmó así la curvatura del espacio-tiempo.

Tenemos entonces que el espacio, el tiempo y la materia no existen en forma independiente el uno del otro sino que se entrelazan en lo que podríamos llamar “la estructura de la realidad”.

Actualmente se observa que el universo está en expansión; de la geometría del espacio dependerá si el universo continuará su expansión eternamente o si esta se detendrá y se iniciará la contracción que terminará en un Gran Colapso, iniciando posteriormente un nuevo Big Bang, resurgiendo así el universo de sus propias cenizas, como el Ave Fénix, en una sucesión infinita de ciclos de expansión y contracción.

REFERENCIAS

- 1.- Sagan, Carl, Cosmos, Ballantine Publishing Group, 1980.
- 2.- Deutsch, David, The Fabric of Reality, Penguin Books, 1997.
- 3.- Wartofsky, M.W. Introducción a la Filosofía de la Ciencia, Alianza Editorial, 1973.
- 4.- Landau L. y Lifshitz E., Mecánica, Editorial Reverté, S.A. 1972.
- 5.- Morones, I.R., La Simetría Izquierda-Derecha en la Naturaleza, Ingenierías, Julio-Sept. 2002, Vol. V, No.16.
- 6.- Resnick, Robert, Introducción a la Teoría Especial de la Relatividad, Limusa, 1977.
- 7.- Britannica 2001, Deluxe Edition.
- 8.- Weyl, Hermann, Space-Time-Matter, Dover, 1952.
- 9.- Landau L. y Lifshitz E., Teoría Clásica de los Campos, Editorial Reverté, S.A. 1972.
- 10.- Weinberg, Steven, Gravitation and Cosmology, John Willey, 1972.
- 11.- Wald, R.M. Espacio, Tiempo y Gravitación, Fondo de Cultura Económica, 1984.
- 12.- Chaisson, Eric, Universe, Prentice-Hall, 1988.

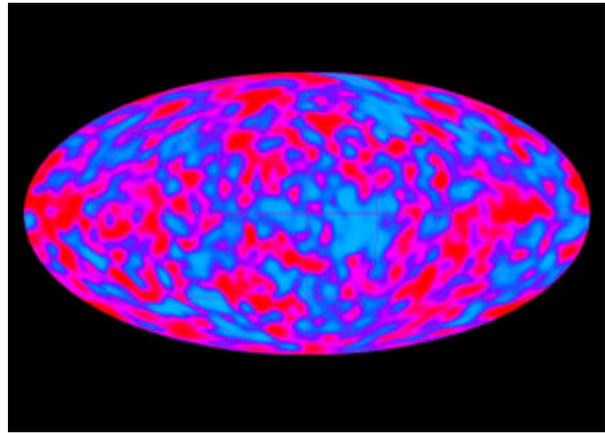


Imagen de microondas de la radiación de fondo del espacio que representa el eco del Big Bang (NASA).