

¿PODEMOS HACER FÍSICA SIN COORDENADAS?

Enrique Fernández Borja

Introducción

En todo el desarrollo de la física hemos descrito los fenómenos en términos de posiciones y tiempos. Sin embargo, las teorías actuales que intentan la descripción cuántica de la gravedad nos están abocando a prescindir del concepto de espaciotiempo. Tenemos una propuesta de gravedad cuántica denominada Gravedad Cuántica de Lazos, (*Loop Quantum Gravity*, LQG), que es una nueva forma de hacer física: física sin espaciotiempo.

Una breve reflexión de la teorías que manejamos actualmente nos muestra que estas estructuras tienen una clara división entre los objetos dinámicos, partículas y campos, y donde interaccionan estos objetos, el espaciotiempo. Podemos pensar en las bolas de billar que ejemplifican la dinámica Newtoniana, la propagación de ondas electromagnéticas, la probabilidad cuántica de localizar un electrón, etc. Todos estos ejemplos, aún sin mencionarlo explícitamente, conllevan un contenedor donde localizamos y describimos estos sistemas. Este contenedor es el espaciotiempo.

Pero también tenemos indicaciones de que la hipótesis de un espaciotiempo, ajeno a la dinámica propia del resto de los campos, no se puede mantener más allá de unas ciertas escalas. Por ejemplo, la aparición de los resultados infinitos en teoría cuántica de campos, cuando intentamos calcular masas o cargas de partículas. Esto nos obliga a un proceso, algo abrupto, de redefinición de estas cantidades denominado renormalización, debido a que ignoramos que nuestra imagen de un espaciotiempo continuo a todas las escalas no es reconciliable con las evidencias adquiridas en Relatividad General y Mecánica Cuántica.

En este trabajo queremos expresar que, en el espíritu de LQG, hemos de comenzar a pensar en describir la física sin la presencia de una caja, el espaciotiempo, que actúa simplemente como un contenedor inerte donde pasan los fenómenos. Más bien, hemos de considerar que lo que ahora entendemos por espaciotiempo es una descripción conveniente de las relaciones entre los distintos campos, unos sobre otros pero no sobre el espaciotiempo continuo.

Universo Newtoniano

En la física Newtoniana, el espacio y el tiempo son dos entidades absolutas. Además son dos objetos distintos entre sí y que no participan de la dinámica de los sistemas, es decir de las interrelaciones entre los mismos, sino que simplemente los contiene.

El espacio y el tiempo son entidades prefijadas e inmutables respecto a las cuales nosotros describimos las posiciones y las relaciones entre sistemas (fig. 1). Por tanto, en la física de Newton necesitamos de una estructura que en realidad es ajena a la propia física que está describiendo la teoría.

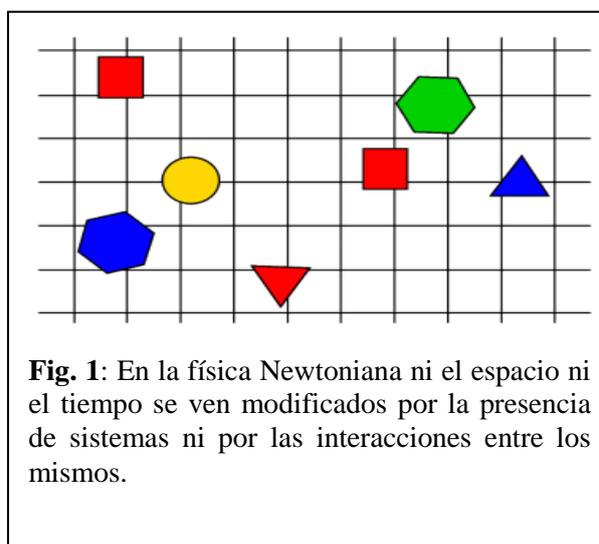


Fig. 1: En la física Newtoniana ni el espacio ni el tiempo se ven modificados por la presencia de sistemas ni por las interacciones entre los mismos.

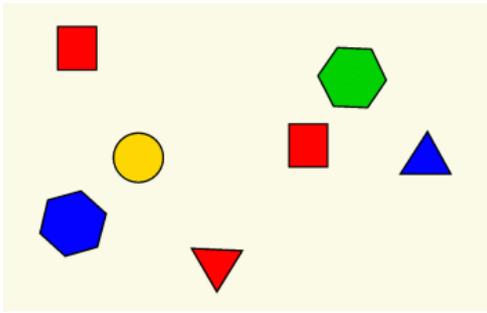


Fig. 2: Una visión sin estructura de fondo nos lleva a tener que definir las relaciones espaciales y temporales en función de las interacciones existentes.

Sin embargo, podemos intentar una descripción en ausencia de una estructura de fondo prefijada. En la misma sólo tendremos los objetos dinámicos y sus interacciones (fig. 2). La cuestión a plantearse es qué entendemos por espacio y por tiempo. La respuesta es simple, pero su implementación no lo es tanto. Hemos de poder entender cómo se modelizan las relaciones espaciales (por ejemplo distancias) a través de las propias interacciones. Y en la cuestión del tiempo, se entenderá como una relación de orden, siempre ha de ser posible decidir si un fenómeno ocurre antes o después que otro. La cuestión de la unidad de tiempo se resuelve fácilmente si encontramos un fenómeno periódico.

Si nos replanteamos esta cuestión notaremos que lo que queremos hacer es justamente lo contrario a lo que venimos haciendo. Es decir, vamos a describir las relaciones espaciales y temporales en función de las interacciones de los sistemas físicos y no al contrario que es lo usual. Es evidente que este trabajo no sería nada útil para la física clásica, ya que a todos los efectos el espaciotiempo es una estructura fija y continua.

Lo que de verdad nos enseña la Relatividad General

Todos hemos oído o leído alguna vez que la Relatividad General es la mejor teoría de la gravitación que tenemos. Hasta la fecha, todos los fenómenos gravitatorios observados han sido explicados por esta teoría. Y actualmente hay experimentos en marcha diseñados para contrastar una de su más sutiles predicciones, la existencia de ondas gravitacionales (Existen evidencias indirectas de existencia como la variación del periodo de sistemas binarios. Se supone que emiten energía en forma de ondas gravitacionales lo que implica que su órbita se vaya reduciendo. Esto está bien documentado en el comportamiento del púlsar binario PSR 1913+16)

La Relatividad General nos fuerza a abandonar la idea de una fuerza gravitatoria de tipo Newtoniana. Esta teoría nos dice que la gravitación es el efecto que tiene la curvatura del espaciotiempo, es decir su geometría, sobre el resto de campos. A todos los efectos el campo gravitatorio no es más que la geometría del espaciotiempo. Lo novedoso del planteamiento es que consideramos al propio espaciotiempo sujeto a una dinámica que modela su geometría a través de su interacción consigo mismo y con el resto de campos.

Hemos de percibir aquí una ruptura con toda la tradición anterior. En este esquema, el espaciotiempo no es una entidad prefijada donde se disponen el resto de campos y sus interacciones. Es decir, la Relatividad General no es una teoría de campos que interaccionan en un espaciotiempo curvo, es una teoría de campos, incluido el gravitatorio, interaccionando entre sí. Como resultado de esta interconexión nosotros describimos el propio espaciotiempo como un objeto contenedor y continuo.

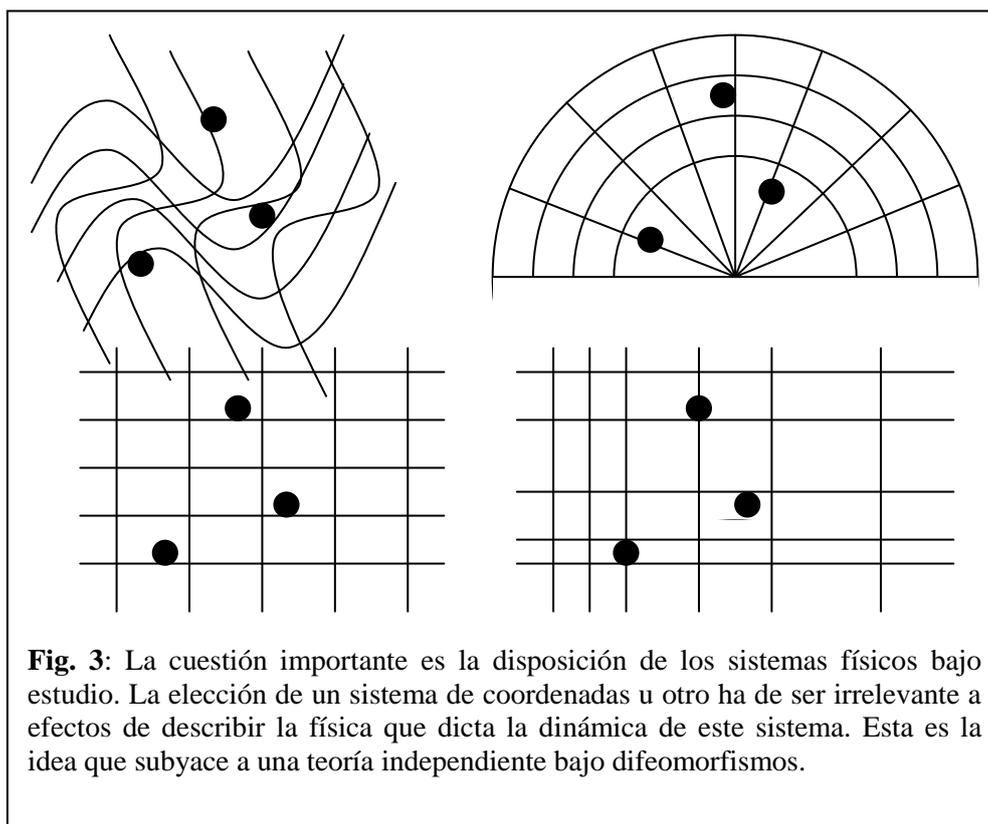
Por tanto, la lección fundamental que hemos extraer de la Relatividad General es que **NO EXISTE EL ESPACIOTIEMPO** como una entidad prefijada que no participa de la dinámica con otros campos.

Esto puede resultarnos sorprendente, cuando en casi toda la literatura relacionada el aspecto al que se le ha dado más importancia es a la identificación de gravedad con geometría. Nuestro punto de vista no rompe con este hecho. Es más, lo lleva hasta sus límites obligándonos a renunciar al propio espaciotiempo tal y como lo entendemos actualmente.

Invariancia bajo difeomorfismos

Esta es una característica de la Relatividad General íntimamente relacionada con la no existencia de una estructura espaciotemporal prefijada. Vamos a mostrar qué queremos decir cuando decimos que la Relatividad General es una teoría invariante bajo difeomorfismos. Aunque es un concepto matemático sutil, no es difícil captar su significado.

Como ya hemos comentado la física se formula en términos de coordenadas espaciotemporales. Desde un punto de vista matemático podemos definir distintos sistemas de coordenadas. Físicamente no hay ningún motivo para preferir un sistema u otro en la descripción de un fenómeno (fig. 3).



La exigencia de que nuestras teorías sean invariantes bajo difeomorfismos nos dice que la física que describimos es independiente del sistema de coordenadas que estamos empleando en describirla.

Un punto en el espaciotiempo únicamente se puede especificar si está ocupado por un sistema. Es decir, no tenemos una estructura prefijada que dé un significado

absoluto a las coordenadas que asignamos a los distintos componentes involucrados en un fenómeno físico.

Según lo expuesto en este trabajo, Relatividad General es una teoría que implica un espaciotiempo dinámico, no prefijado. Además vemos que los nombres de las coordenadas tampoco tienen un significado absoluto. Por lo tanto, Relatividad General es una teoría del tipo relacional, sólo podemos localizar los sistemas mediante las relaciones entre los mismos.

La búsqueda de la gravedad cuántica

Hasta nuestros días no hemos conseguido vislumbrar un esquema coherente en el que los principios de la Relatividad General y la Mecánica Cuántica se armonizaran de manera coherente. Desde los inicios de la teoría cuántica se han efectuado intentos de describir la gravedad en términos cuánticos. Sin embargo, todos los intentos han fracasado.

Actualmente tenemos una versión de gravedad cuántica, LQG, que se formula sin una estructura espaciotemporal prefijada y que respeta la invariancia bajo difeomorfismos de la Relatividad General. Este esquema conceptual se está desarrollando y, salvo algunos problemas de formalización, a cada paso se muestra como una teoría cuántica coherente sin el lastre de un espaciotiempo preexistente.

Pero, sin lugar a duda, la propuesta de gravedad cuántica más popular es la Teoría de Cuerdas. A todos los efectos, esta teoría es dependiente de una estructura espaciotemporal prefijada, espacio de Minkowski, espacio anti-DeSitter, etc. Hay indicaciones de que las diferentes versiones de la Teoría de Cuerdas son manifestaciones de una teoría más fundamental, la conocida como Teoría M. Esta teoría aún no existe, simplemente sabemos que debe estar ahí. La cuestión fundamental es que hay fuertes exigencias que nos obligarán a describir esta teoría sin una estructura de fondo espaciotemporal prefijada. Por lo tanto, la convergencia entre la manera de hacer física de LQG y la espectacular Teoría de Cuerdas podría ser el camino a explorar para encontrar la teoría fundamental de la naturaleza.

Conclusión

A pesar de ser una idea totalmente sorprendente, la física nos conduce a renunciar al concepto usual de espaciotiempo. Hemos de poder expresar nuestras teorías sin hacer una referencia explícita al mismo y recuperar dicho concepto como un modelo de las relaciones más fundamentales entre los sistemas físicos. Evidentemente, la revolución no modificará las teorías asentadas y perfectamente útiles: la mecánica newtoniana, la electrodinámica, el Modelo estándar, etc. Pero una descripción de las leyes más fundamentales de la naturaleza hace necesaria esta búsqueda.

Bibliografía

- FERNÁNDEZ-BORJA, E. (2005): *Teorías sin fondo espaciotemporal*, ¿Editorial? (en prensa)
ROVELLI, C. (2004): *Quantum Gravity*, Cambridge Univ. Press.
SMOLIN, L. (2000): *Three roads to Quantum Gravity*, Perseus Books.