

# Filosofía de la física: vínculos entre teoría y observación desde la mecánica cuántica y la relatividad desde el descubrimiento del bosón de Higgs

*Paniel Reyes Cárdenas*

## Resumen

En este artículo, propongo considerar problemas filosóficos que emergen a partir de la unificación de la teoría general de la relatividad y la mecánica cuántica. Dichos problemas, aunque relativos a los preguntas puramente técnicas de las matemáticas involucradas en ellas, conciernen a la interpretación y alcance de las reglas matemáticas y son evidencia de la siguiente tesis: la física del siglo XXI es testigo de que las constricciones lógicas y matemáticas de las teorías tienen prioridad sobre sus aplicaciones experimentales. Además, propongo que constricciones teóricas unidas a nuevos descubrimientos pueden aclarar estos problemas pero sin pretender una reducción definitiva.

**Palabras clave:** filosofía de la física, mecánica cuántica, espacio-tiempo, modelo estándar de la física de partículas.

## Abstract

In this article I propose to ponder a number of philosophical issues that emerge from the unification of General Relativity Theory and Quantum Mechanics. Such problems, though related to purely technical nuances of the mathematical theories involved in both theories, concern the interpretation and scope of mathematical rules and are evidence of the following claim: the Physics of the XXI Century is witness of logical and mathematical constrictions that hold priority over its experimental applications. In addition, I propose that these theoretical constrains, together with recent discoveries, render an increase in the understanding of the above-mentioned problems, although without aiming for a full reduction of these.

**Keywords:** philosophy of physics, quantum mechanics, space-time, standard model of particle physics.

## Introducción

En cierto modo, la teoría general de la relatividad y la mecánica cuántica en conjunción generan un modelo estándar que conduce a un macrouniverso como el actual. En otras palabras, las dos teorías explican y reducen las explicaciones de una manera que constriñe la producción de un universo como el existente de manera inevitable. Sin embargo, la conjunción es esencialmente impugnada y genera los dramas centrales de la física del siglo xx. Éstos no están resueltos y entre ellos se pueden mencionar la crisis de la concepción de espacio-tiempo frente a las nuevas teorías sobre la gravedad, las limitaciones de la mecánica cuántica debidas a la cosmología y por qué un universo descrito del modo mencionado (que lo hace inevitable) permite objetos macroscópicos.

Sobre este último problema, se debe decir que la inevitabilidad del universo es una consecuencia de concebir un universo macroscópico en principio y esto parece no estar justificado con claridad. Físicos como Nima Arkani-Hamed consideran que, a pesar de estos problemas y sus derivados, las teorías se encuentran constreñidas no sólo por las predicciones dadas en experimentos concebibles o prácticos, sino que las mismas restricciones teóricas impiden que uno pueda especular con las teorías que se consideran verdaderas, ya que estas constricciones teóricas, matemáticas y lógicas crean una limitada libertad de especulación. Por tanto, seguir las reglas matemáticas de las teorías físicas excluye otras expresamente inconsistentes o claramente erróneas. Sobre este último punto, la inconsistencia y el equívoco expreso no conciernen a experimentos inconcebibles o implausibles, sino a hipótesis que contradicen las reglas del juego matemático en los límites de las reglas provistas.

Esta situación es filosóficamente interesante, ya que, contrario al caso de la especulación y creatividad matemáticas, muchas de las teorías físicas proponen experimentos contraintuitivos en los que las reglas del mundo macroscópico observable parecen tener poca relevancia. Este contraste es un problema epistemológico sobre la prioridad de la teoría sobre la aplicación. El veredicto, al menos en la práctica contemporánea de la física, inclina la balanza del lado de los aspectos teóricos sobre los descubrimientos prácticos. La lógica del descubrimiento de la física teórica es una lógica del descubrimiento teórico que está abierta a la experimentación pero que no depende de ella.

Tal estado de cosas a propósito de la epistemología de la física contemporánea hace pensar si hay una razón metafísica que hace que las reglas lógicas impongan condiciones modales a la práctica. ¿Será posible que la evidencia de la física como ciencia exitosa incline a reconsiderar que la especulación teórica sea una interacción exitosa con la estructura del mundo? La tesis de este ensayo es una respuesta modesta pero afirmativa a esta pregunta.

Las teorías del siglo xx buscaron utilizar estas limitadas libertades para unificar la relatividad general y la mecánica cuántica de manera que se conecten con teorías no sólo predictibles, sino matemáticamente apegadas a las reglas proporcionadas por la física. Teorías como la de los campos cuánticos tratan de reconciliar el modelo estándar de la física de partículas y nuevas propuestas sobre las interacciones de la gravedad y el electromagnetismo.

En este texto, esbozaré qué clase de constricciones o condiciones matemáticas están detrás de la teoría cuántica y de la física de partículas. La presentación de estas características es introductoria, pero suficiente para entender qué clase de restricciones lógicas crean necesidad. En este texto, defenderé la tesis que explica que, al menos *de facto*, las reglas matemáticas y lógicas tienen preeminencia sobre la información arrojada por las prácticas experimentales de la física contemporánea, incluso en experimentos tan notables como el Gran Colisionador de Hadrones (LHC: Large Hadron Collider), que han permitido el descubrimiento de una partícula (o tipo de partícula) descrita hipotéticamente dada la necesidad de cubrir problemas lógicos, *i. e.*, el bosón de Higgs.

### **La mecánica cuántica**

Es un modelo que predice los comportamientos de las partículas subatómicas. Desde el punto de vista matemático, es una teoría bien entendida y desarrollada con gran consistencia. Con todo, no provee una descripción unificada del mundo: hay diferentes interpretaciones de la teoría y difícilmente se ensamblan con consideraciones teoréticas de la física del mundo macroscópico.

Sin embargo, la predicción de los comportamientos de las partículas involucradas, aunque aproximativa, es bastante acertada. Esta virtud se basa en el tipo de matemáticas que utiliza para dividir los sistemas físicos en “tipos” con propiedades constantes que revelan un “estado” del sistema en un tiempo determinado. La descripción

de un sistema es la descripción de un tipo de ellos en un momento particular (discreto) de su historia. Una cantidad física es mutuamente exclusiva y exhaustiva con respecto a la información de una familia de propiedades físicas.

Conocer qué tipo de objetos matemáticos representan los elementos de un conjunto dice mucho sobre las relaciones entre ellos, aunque no todo: la mecánica cuántica utiliza elementos que son cantidades físicas y que se llaman “observables” (no precisamente porque se puedan observar, sino porque son menos teóricos que sus relaciones en el conjunto).

Otro elemento fundamental de la física cuántica es el “estado-espacio” de un sistema: éste es el conjunto de sus estados posibles, que se obtiene al combinar los valores de las posibilidades físicas como coordenadas. Para la mecánica cuántica, esto funciona en los llamados espacios de Hilbert. El núcleo de este modelo es encontrar familiaridad con la estructura interna en estos espacios; el objeto matemático fundamental es un vector que tiene longitud, dirección y sentido. En el espacio  $n$ -dimensional de Hilbert se pueden representar vectores en todas direcciones, pero la física cuántica se interesa por aquellos perpendiculares, llamados ortogonales.

### **La relatividad general y sus relaciones con el modelo estándar de la física de partículas**

La relatividad general es una teoría geométrica de la gravitación publicada por Albert Einstein en 1915. Generaliza la relatividad especial de la ley de Newton sobre la gravitación universal al proporcionar una descripción de la gravedad que la hace una propiedad geométrica no sólo del espacio sino del tiempo bajo el concepto de “espacio-tiempo”. La curvatura de éste es una función de la materia y de la radiación. La teoría es, en último término, una matemática basada en las ecuaciones de campos de Einstein, que son un subconjunto de las ecuaciones diferenciales parciales.

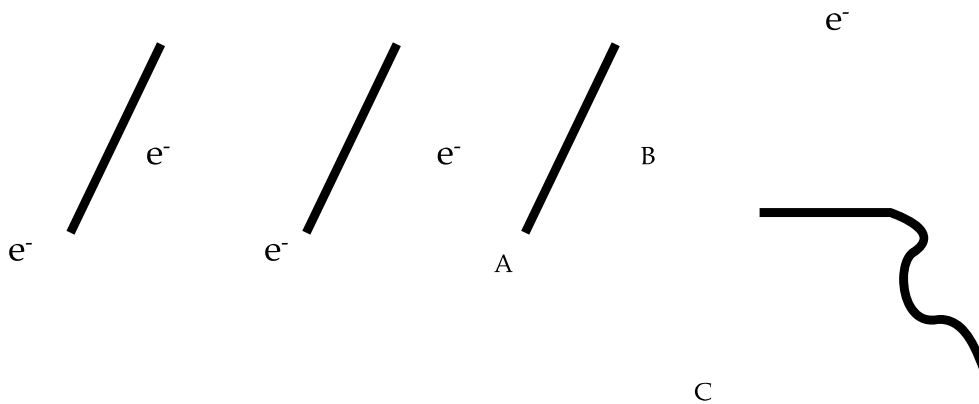
La relatividad general es una teoría famosa por su radical distinción de la física clásica, especialmente porque la constante de la velocidad de la luz, debido a las reglas matemáticas de la teoría, tiene un tipo de preeminencia que relativiza el continuo espacio-tiempo. La teoría ha sido indirectamente confirmada y es bastante exitosa desde el punto de vista experimental.

A pesar de su increíble éxito como paradigma de la física macroscópica, permanece fundamentalmente sin reconciliar con la mecánica cuántica. Tal reconciliación es el objetivo de la propuesta (una vez más, teórica y matemáticamente hipotética) de la gravedad cuántica. La siguiente sección presenta los acercamientos más recientes desde el punto de vista teórico de las dos teorías mediante la consideración de los problemas de las interacciones débiles y fuertes en la física de partículas.

### Estructura generalizada de las interacciones débiles y fuertes

Una clara virtud del esfuerzo de esta teorización (y un triunfo de su parsimonia) es que tanto las interacciones fuertes como débiles contienen la misma estructura triple. Esta similaridad luce diferente en el nivel macroscópico, aunque este problema es resuelto por los teóricos mediante la explicación siguiente: en el nivel macroscópico, la similaridad de las interacciones se encuentra enmascarada debido a las grandes distancias en las que difícilmente se puede cuantificar la triple interacción (Fig. 1).

Figura 1: Estructura de las interacciones en partículas



### Invariabilidad del *spin* de las partículas

Otra característica saliente de las partículas es la invariabilidad de sus giros (*spin*) en valores constantes que permiten un “menú” (fig. 2) limitado de partículas de acuerdo a las posibilidades de sus giros.

**Figura 2: Menú de partículas de acuerdo a su “spin”**

	Gluones	“W’s”	Fotones	$x \hbar$ (constante de Planck reducida) y estructura de la interacción
Matrices de-Gell-Mann	$SU(3)_C$ 3	X $SU(2)_L$ 2	X $U(1)_Y$ -1/6	
Q				F
$U^c$	3	-	- 2/3	
$D^c$	3	-	+1/3	G
L	-	2	-1/2	Gr
$E^c$	-	-	+1	

Tal invariabilidad en estos dos prominentes aspectos de las teorías contemporáneas restringen futuras propuestas y son producto no de resultados experimentales sino de constricciones teóricas. Dos preguntas que aparecen relevantes tienen una respuesta que hasta hoy es filosófica, lógica o matemática, pero no claramente experimental: ¿por qué hay una interacción fundamental triple en las partículas, opuesta a una múltiple o más simple? ¿Por qué hay un menú tan limitado de *spins* en las partículas consideradas fundamentales?

La respuesta a estas preguntas tiene que ver con la consideración de las normas matemáticas como reglas que constriñen la especulación sobre lo posible y que obligan al teórico a limitar su creatividad a lo que sea compatible con los principios matemáticos. En otras palabras, la física del siglo XXI, cualquiera que ésta sea, se tiene que constreñir a las interacciones permitidas por estos dos (relativamente simples) aspectos permitidos por la estructura y el menú de spins que hay disponibles.

Se dice que al menos la mecánica cuántica ha dado la lección de que los parámetros no pueden ser sino aproximados, ya que al final

del día los mejores resultados con respecto a objetos en las teorías de la física cuántica son valores estimados para la predicción. Desde este punto de vista, aparece contradictorio (o al menos contraintuitivo) que haya tan poca libertad especulativa en un modelo teórico que es estimativo y audaz frente a las intuiciones. La respuesta matemática a este problema es uno de los logros más importantes de la física contemporánea: el problema es establecer cuáles son las determinaciones que las teorías imponen. En definitiva, es un problema fundamentalmente teórico.

### **El descubrimiento del bosón de Higgs y la relación entre teoría y observación**

La teoría matemática que produjo la especulación sobre el bosón de Higgs es un bello resultado de las constricciones mencionadas. El bosón de Higgs es una partícula con *spin* 0, que la hace única y capaz de explicar la importante diferencia entre partículas masivas y partículas con *spin*; funciona tanto para interacciones a bajas y altas energías. El LHC ayudó a determinar la realidad del bosón de Higgs (o una partícula del tipo) en altas energías. Esto ayuda a extrapolar la física de energías altas y débiles.

De hecho, ésta es la única partícula realmente “nueva” que confirma las teorías y la fidelidad a sus principios. La caza del bosón de Higgs en el limitado rango de posibilidades de las teorías, que no son expresamente inconsistentes o erróneas, muestra que la necesidad matemática (y lógica) está vinculada con la realidad experimental, aunque de una manera que escapa a la total sistematización. Por primera vez en la historia, se dice en los círculos de la física que hay una teoría autoconsistente que permite extrapolar los valores de energías cuánticas a niveles de energía exponencialmente altos.

### **Los confines de la filosofía de la física del siglo XXI**

Una pregunta filosófica emanada de la evidencia es si la idea de espacio-tiempo está condenada a ser reemplazada por la extensión de la teoría exitosa. Pero el entusiasmo emanado de este estado de cosas se quiebra cuando uno se da cuenta de que las teorías reduccionistas aparecen insuficientes para dar cuenta de los problemas sobre la gravedad cuántica y sus efectos dominantes en singularidades como los hoyos negros o el Big Bang.

El exitoso modelo presentado en estas líneas no sólo tiene problemas con respuestas a las cuestiones del macrouniverso, sino que en el campo de las partículas hay problemas para validar las probabilidades negativas de las partículas fundamentales. Esta situación ha conducido a la adopción y al creciente interés en pequeñas estructuras circulares. Teorías como la de las supercuerdas nacen de los conflictos en las fórmulas de las estructuras fundamentales generalmente aceptadas, que en último término constriñen la probabilidad y las reglas que establecen lo que está permitido en el juego matemático y que, al menos a la fecha de la escritura de este artículo, no parecen dar remota esperanza de imaginar situaciones en las que haya observaciones locales que corroboren las intuiciones de estas teorías.

Una imposibilidad práctica es sobresaliente: hoy por hoy, existen experimentos tan masivos como el LHC que pueden alcanzar altas energías de hasta..., pero la construcción de experimentos de mayor envergadura es contraproducente, ya que a medida que el aparato se hace mayor, los efectos de su gravedad y de sus estados físicos colapsan los observables que pretenden manifestar.

### **Cuestiones de espacio-tiempo y los orígenes del macrouniverso**

Las consideraciones sobre estructuras matemáticas y sus hipótesis exitosas se encuentran en alta estima al momento de la escritura de este artículo, sin embargo, uno podría pensar que en realidad no se trata sino de un reforzamiento del paradigma corriente y sus logros, pero que otro esquema podría sustituirlo con la misma legitimidad mientras juegue dentro de los límites de sus reglas, cualesquiera que éstas sean. Pero esto último es un error: las teorías que unifican la relatividad general y la mecánica cuántica son inclusivas y anhelan abrazar lo que cada una de ellas contiene como descripción consistente del mundo. Éste es un contraejemplo de la filosofía de la ciencia que Kuhn ha divulgado.

Autores como Audretsch reclaman que los deseos de unificación de la teoría de campo cuántico o la teoría de gravedad cuántica no serán una sustitución de un paradigma inservible sino la reconciliación de ellas en un anhelo de una teoría universal. Este anhelo no proviene de una tensión empírica sino de la posibilidad de unifi-



cación que está sancionada y permitida por las reglas matemáticas tanto de la relatividad general como de la mecánica cuántica.

Tal rango de libertad ha permitido que hipótesis como la existencia de una partícula de *spin* 0, emanadas de la especulación matemática, hagan notar que la práctica científica de la física actúe con un realismo tácito (o pragmático). Este realismo no es uno de objetos matemáticos *per se*, sino otro sobre las condiciones de posibilidad de las relaciones y propiedades de estos tales objetos. En conclusión, la física contemporánea es realista con respecto a las estructuras teóricas que permiten reglas matemáticas como las de la mecánica cuántica o la relatividad general.

### **Bibliografía**

- Arkani-Hamed, Nima, *Public Lecture: Quantum Mechanics and Space-time in the 21<sup>st</sup> Century*, Toronto: Perimeter Institute, 2014.
- Audretsch, Jürgern, “Quantum gravity and the structure of scientific revolutions”, *Journal for General Philosophy of Science* 12 (2), pp. 322-339.
- Ismael, Jenann, “Quantum Mechanics”, en Edward N. Zalta (ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Disponible en <http://plato.stanford.edu/archives/spr2015/entries/qm/Smolin, Lee, The Trouble with Physics: The Rise of String Theory, the Fall of a Science, and What Comes Next>, Nueva York: Houghton Mifflin, 2006.
- Weinstein, Steven y Dan Rickles, “Quantum Gravity”, Edward N. Zalta (ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Disponible en <http://plato.stanford.edu/archives/win2014/entries/quantum-gravity/>