NO-CAUSALIDAD Y MECÁNICA CUÁNTICA

Posted on 12 noviembre, 2014 by Victor Romero Rochin



Sin lugar a dudas la Mecánica Cuántica ha sido la teoría más exitosa sobre la naturaleza que la humanidad haya desarrollado en toda su historia. Sin embargo, como es casi ya un lugar común, sus fundamentos e interpretación siguen siendo considerados poco claros y, por lo tanto, acaloradamente debatidos...

Category: Ciencia

Tag: Ciencias Exactas

Sin lugar a dudas la Mecánica Cuántica ha sido la teoría más exitosa sobre la naturaleza que la humanidad haya desarrollado en toda su historia.

Sin embargo, como es casi ya un lugar común, sus fundamentos e interpretación siguen siendo considerados poco claros y, por lo tanto, acaloradamente debatidos. Existen, actualmente, además de la interpretación *oficial*, un sinnúmero de versiones alternativas que pretenden quitarle ese velo incómodo que nos impide sentirnos satisfechos con tan formidable teoría. Para atizarle más al debate, el propósito de este escrito es especular que el origen de todas las discrepancias existentes es que la Mecánica Cuántica nos "obliga" a aceptar que la naturaleza realmente no es causal, propiedad que parece ser inaceptable para los humanos. Al no aceptar tal precepto, estamos hechos bolas y lo seguiremos estando mientras no lo reconciliemos con nuestra vida diaria que, a todas luces, es causal.

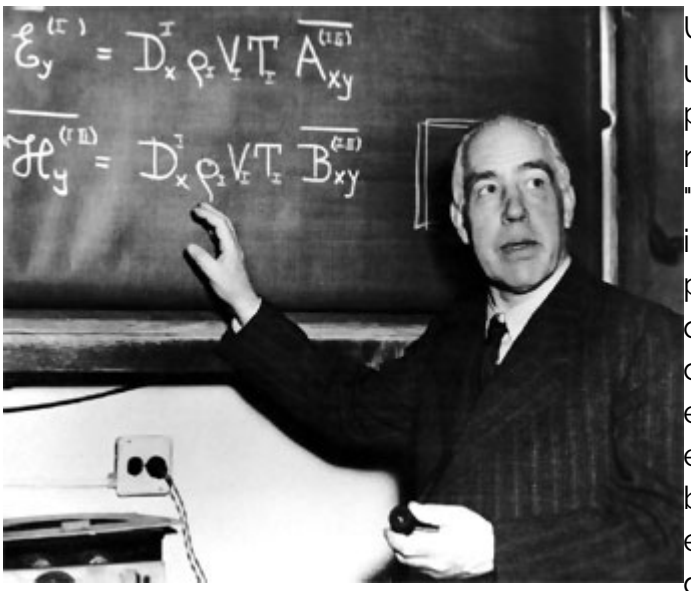


Antes de entrar en materia, quisiera enfatizar por qué podemos calificar a la Mecánica Cuántica como la teoría más exitosa que tenemos. Primero, parafraseando al científico estadounidense Richard Feynman, el descubrimiento más grande que ha hecho el ser humano es la existencia de los átomos y las moléculas, así como la reglas que nos dicen cómo se comportan; esto es la Mecánica Cuántica. Consecuencias de este hecho son los grandes avances tecnológicos que van desde el uso de las telecomunicaciones, el cómputo, los láseres, el horno de microondas y toda la electrónica que nos rodea. Por otro lado, la Mecánica Cuántica nos ha permitido entender que nosotros mismos estamos "codificados" en moléculas como el ADN y que dependemos de otras como las proteínas.

Por otro lado, la Mecánica Cuántica nos ha permitido entender que nosotros mismos estamos "codificados" en moléculas como el ADN

Y en un plano más grande, nos ha dado la pauta para saber, o creer saber, de qué están hechas las estrellas y todo el Universo. Y de paso, nos ha señalado un hecho que nos concierne en este escrito y que es que el mundo parece ser irreversible con una clara distinción entre lo que es una causa y su consecuente efecto; es decir, nos ha ayudado a entender qué es el pasado, el presente y el futuro. La Mecánica Cuántica, con su concomitante prescripción de la existencia de los átomos, nos da todo eso y mucho más. Sin embargo, insisto, no sabemos bien a bien cómo interpretarla en su forma más elemental.

Como segundo preámbulo, permítame el lector aclarar qué quiero decir por causal. Me adelanto a algunos expertos que argüirán que lo que realmente quiero decir es determinismo, y a otros que dirán que las acepciones de causa y efecto que usaré no son las usuales. Por un lado, no son tan importantes los vocablos, sino lo que les atribuimos a ellos, y por el otro, apelo a la bondad del lector que apruebe el uso de tales términos siempre y cuando los defina de la manera más precisa posible.

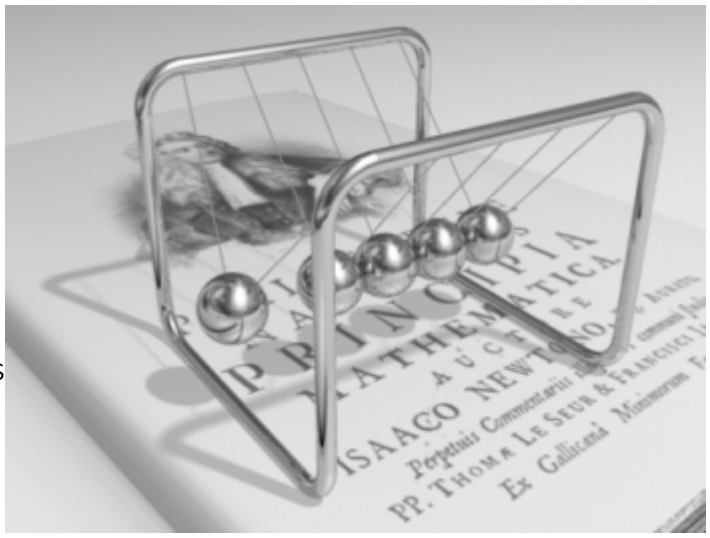


Niels Bohr (1885-1962)

Usaré el término *causal* pues fue el que originalmente usó el danés Niels Bohr, considerado uno de los padres de la teoría cuántica. Diremos que la naturaleza es causal en el sentido que, dado un "efecto" (que involucre a todo el Universo) en un instante dado, existe una y solo una "causa" que lo produce (que involucra también a todo el Universo) en otro instante previo dado. Y funciona al revés, toda causa produce un solo efecto, en instantes especificados. Recalquemos dos hechos: uno, que esta definición de causalidad involucra dos instantes bien definidos, es decir, la "unicidad" de la causa y efecto solo se refieren a los hechos que ocurren en dos instantes bien especificados; y segundo, que es necesario involucrar a todo el Universo. Esto suena muy difícil pues pareciera necesario conocer en detalle lo que está haciendo todo el Universo en un instante dado para poder concluir lo que hará en otro posterior. Y sí, estrictamente deberíamos de saber lo que hace todo el Universo, sin embargo, y he aquí el poder de abstracción de la Física: lo que hacemos es *suponer* que un fenómeno dado puede aislarse del resto del Universo y ser analizado de manera detallada ignorando a ese resto. Por ejemplo, cuando estudiamos la rotación de la Tierra alrededor del Sol, solo consideramos a esos dos entes y nos olvidamos que existe la Luna, los demás Planetas y ¡todas las demás estrellas del Universo!

La suposición anterior resulta ser muy buena y nos permite entender y predecir cómo ocurre tal movimiento. Y esencialmente eso hacemos con todo lo que analizamos con todas las teorías que tenemos actualmente. Por supuesto, a veces no es posible olvidarse de la presencia de otros cuerpos y en ese caso los incluimos y de nuevo nos olvidamos del resto. Por lo tanto, podemos afinar un poco más el concepto de causalidad diciendo que si aislamos lo suficiente a un fenómeno del resto del Universo, entonces un efecto es causal cuando tiene una y solo una causa dentro de dicho aislamiento. Muchas veces tal aislamiento es imposible y en ese caso recurrimos a la probabilidad. Es decir, afirmamos que existe una y solo una causa, pero que no sabemos cuál es pues cada vez que se pueda repetir el fenómeno observaremos que el efecto varía. No es que el fenómeno no sea causal, creemos que sí lo es, el problema radica en nuestra incapacidad de

conocer en detalle todo lo que ocurre en cada caso y que afecta al fenómeno en cuestión. Reitero, y volveré a este punto, en esa situación recurrimos a la probabilidad y decimos que dada una causa no completamente especificada, existen en ese caso varios efectos con diferentes probabilidades de ocurrencia.



Mecánica newtoniana

Es el concepto de causalidad el que genera un hecho que parece ser obvio, y en el cuál descansa parte del Método Científico; a saber, que si "preparamos" a algún sistema en algún estado o configuración de manera que la podamos "repetir", entonces su historia futura será siempre la misma. Esto nos permite, a su vez, diseñar diferentes experimentos sobre el "mismo" fenómeno, de tal forma que después de repetirlo y observarlo muchas veces, podemos "reconstruir" su historia pasada. La conclusión inevitable es que cualquier sistema físico, sea un átomo, una estrella o un ser vivo, siempre está "haciendo" algo bien definido y, por lo tanto, susceptible de ser descrito de manera precisa instante a instante. Las teorías llamadas clásicas, como la Mecánica de Newton y el Electromagnetismo de Maxwell, por ejemplo, están construidas y basadas en este concepto de causalidad. E insisto, las teorías de probabilidad también son causales pues suponen que de fondo el mundo es clásico en ese sentido. El punto de este escrito es hacer notar que la aparente obviedad de la causalidad es realmente debida a una postura filosófica que dio lugar a que las teorías clásicas de la naturaleza fueran desarrolladas de esa manera. Dicha postura, por supuesto, no es un capricho ni una arbitrariedad, sino que es provocada, por un lado, por la observación de la naturaleza a través de nuestros sentidos, y por otro, arguyo, porque está de acuerdo con la "existencia" finita misma de los humanos y de lo que le damos sentido de existencia, como por ejemplo, al planeta Tierra donde vivimos.


La "existencia"

Para la Mecánica Cuántica, el concepto de causalidad expuesto en realidad no existe. Es muy simple, nos afirma que si conocemos una causa, con el máximo posible conocimiento de su realización en un momento dado, existe en general un número indefinido de posibles efectos de los cuales no podemos saber cuál ocurrirá. No sólo eso, nos dice rigurosamente que tal incertidumbre no es un problema de nuestra falta o incapacidad de conocimiento o de experimentación. Nos dice, contundentemente, que la naturaleza así es y que no hay nada qué hacer. Una primera "víctima" de esta situación es el hecho de que no es posible repetir un experimento; cada vez que pretendemos repetir una situación, realmente estamos haciendo otro experimento con su posible resultado diferente al anterior. Una consecuencia muy difícil de entender es que la Mecánica Cuántica es incapaz de describir lo que sucede en un solo experimento o realización de un fenómeno, contrario de manera esencial a lo que suponen las teorías clásicas. La alternativa que impone la teoría es que las predicciones que arroja deben ser *interpretadas* de manera probabilística, aunque en este caso no debido a nuestra ignorancia o incapacidad, sino porque resulta ser que la naturaleza es así. Esta última afirmación es la diferencia crucial entre las teorías causales y la Mecánica Cuántica. Sin embargo, hay que tener cuidado en no aparentar que no sabemos "nada" de lo que ocurrirá. Sí sabemos y mucho. Para ser más claros, lo que la Mecánica Cuántica predice, de manera extraordinariamente precisa, son todos los efectos posibles de una causa dada, así como las probabilidades de ocurrencia de cada uno de ellos. Lo que debe quedar claro es que, no importa cuantas veces "repitamos" los experimentos, nunca podremos decir qué es lo que ocurrirá en la realización de uno solo de ellos.

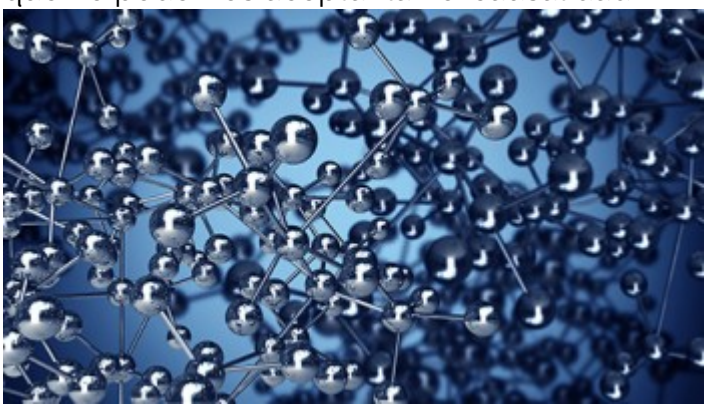
Esta es la no-causalidad que la Mecánica Cuántica le adjudica a la naturaleza.

Esta es la no-causalidad que la Mecánica Cuántica le adjudica a la naturaleza. El capturar este hecho en una teoría matemática parece ser la razón de su éxito.

A primera lectura suenan casi absurdos los enunciados del párrafo anterior y lo primero que la gente dice es, bueno, no es la última teoría que los humanos desarrollaremos y lo más seguro es que esta esté todavía incompleta. Como nota personal, se me hace casi injusta esta postura cuando,

como afirmamos, no ha existido ninguna otra teoría con mayor impacto y trascendencia en nuestra vida diaria como la Mecánica Cuántica. En particular, las apreciadas teorías clásicas son simplemente incapaces de explicar y predecir la gran mayoría de los fenómenos que observamos. Lo que es notable es que claramente estamos incapacitados no solo para aceptar que en su forma más íntima la Naturaleza es no-causal, sino que parece ser que ni siquiera contemplamos que tal posibilidad fuera cierta. No deberíamos de sentirnos tan mal; el primero en señalar este problema fue ni más ni menos que el gran Albert Einstein, quien trató de mostrar que la teoría era incompleta, desde un punto de vista técnico. Einstein fracasó en tal intento de demostración, como se lo señaló Niels Bohr, y en su momento eso pareció quedar claro para la comunidad científica de la época. Sin embargo, con el paso de los años, ha resurgido la querella y muchos afirman que Einstein sí tenía razón. En opinión del autor, casi todos los intentos que existen en tratar de "explicar" el "indeterminismo" (o no-causalidad) de la Mecánica Cuántica se deben a nuestra incapacidad de darle cabida a la posible no-causalidad como una propiedad inherente del Universo. Quizá si abriéramos nuestras mentes a esa posibilidad hallaríamos nuevas vetas de entendimiento del mundo.

Este escrito no pretende ser exhaustivo de ninguna manera y solo desea resaltar que la no-causalidad de la Mecánica Cuántica parece ser inaceptable. Sin embargo, para concluir este argumento nos quedan al menos dos tareas. La primera es realmente muy técnica y es la siguiente: ¿cómo es posible que la Mecánica Cuántica nos dice que la Naturaleza es esencialmente no-causal y mucho de lo que observamos los humanos parece sí serlo? La segunda es más especulativa: ¿por qué no podemos aceptar la no-causalidad?



La respuesta a la primera es relativamente sencilla aunque no aceptada por todos. Como mencionamos, la Mecánica Cuántica está profundamente ligada al hecho de la existencia (o creencia de su existencia) de los átomos y las moléculas. Es decir, nos impone un límite a lo pequeño y nos dice que toda la materia del Universo está "granulada" con el mismo tipo de "granitos". No importa que estemos hablando de un pedazo de gis, de un perro, de la Luna, de la estrella Alfa Centauri, o de la más remota galaxia, todo, absolutamente todo, está compuesto de lo mismo y es de átomos y moléculas, que su vez absorben y emiten luz en todas las frecuencias. La Mecánica Cuántica describe a esos átomos solamente y no a otras especulaciones y arbitrariedades de nuestra mente. El problema es que los átomos son pequeñísimos y solo a esa escala la no-causalidad se manifiesta de manera evidente. Los átomos son tan pequeños que es imposible que nuestros ojos los vean y nuestros demás sentidos los detecten; simplemente la Naturaleza no diseño a nuestros sentidos con la capacidad de poder apreciarlos uno a uno. Y lo hizo así, quizás,

porque casi cualquier objeto o cuerpo que podamos discernir está hecho de un número incomprensiblemente enorme de átomos y moléculas. Por ejemplo, lo más pequeño que podemos observar con un microscopio está compuesto de 1,000,000,000,000,000 átomos aproximadamente. Los físicos le llamamos macroscópico a todo lo que podemos observar y siempre está compuesto de al menos ese número enorme y formidable de átomos. Como las teorías clásicas se desarrollaron observando el comportamiento de cuerpos macroscópicos, debería ser evidente a la luz de la Mecánica Cuántica que la causalidad es una propiedad (¡aproximada!) de agregados enormes de átomos y moléculas como nosotros mismos. Y esa es la respuesta. Es el mundo macroscópico el que parece ser causal. Y mientras más grande lo sea más precisa parecerá ser la causalidad. Esto se puede mostrar de manera técnica, aunque no todos los investigadores se sienten satisfechos con tal respuesta.

Termino con una especulación y me meto en terrenos fangosos. ¿Por qué no podemos aceptar la no-causalidad? Mi creencia es porque los humanos tenemos una vida finita. De manera más precisa, tenemos un principio que es nuestro nacimiento (o concepción). No nos cuesta trabajo creer que podríamos ser inmortales; abundan novelas, películas y hasta esfuerzos científicos "serios" que tratan tal posibilidad. Sin embargo, nos queda claro que hay un instante en el curso del tiempo cuando nacemos. Tenemos un principio. Me atrevo a decir: todas las culturas y religiones tienen un Principio. No solo eso, ¡la ciencia misma!: tenemos a la Gran Explosión (Bing-Bang) que consideramos como el Principio del Universo. El concepto riguroso de eternidad parece ser otro imposible para los humanos. Por lo tanto, el tener un Principio implica un Después y un Posterior y un Futuro y, creemos que lo que ocurrirá en un instante es tan solo consecuencia de lo que ocurrió un instante previo, pero de manera única pues nosotros y nuestro Universo lo somos. Aunque no sepamos qué, creemos que el resto del Universo siempre está haciendo algo único y que, si se repitiera con las mismas condiciones que al Principio, volvería a ocurrir lo mismo. Desprenderse de esta obviedad es lo difícil. C^2

Más precisamente, el Modelo Estándar es la mejor descripción que tenemos; el experto lector perdonará esta simplificación.