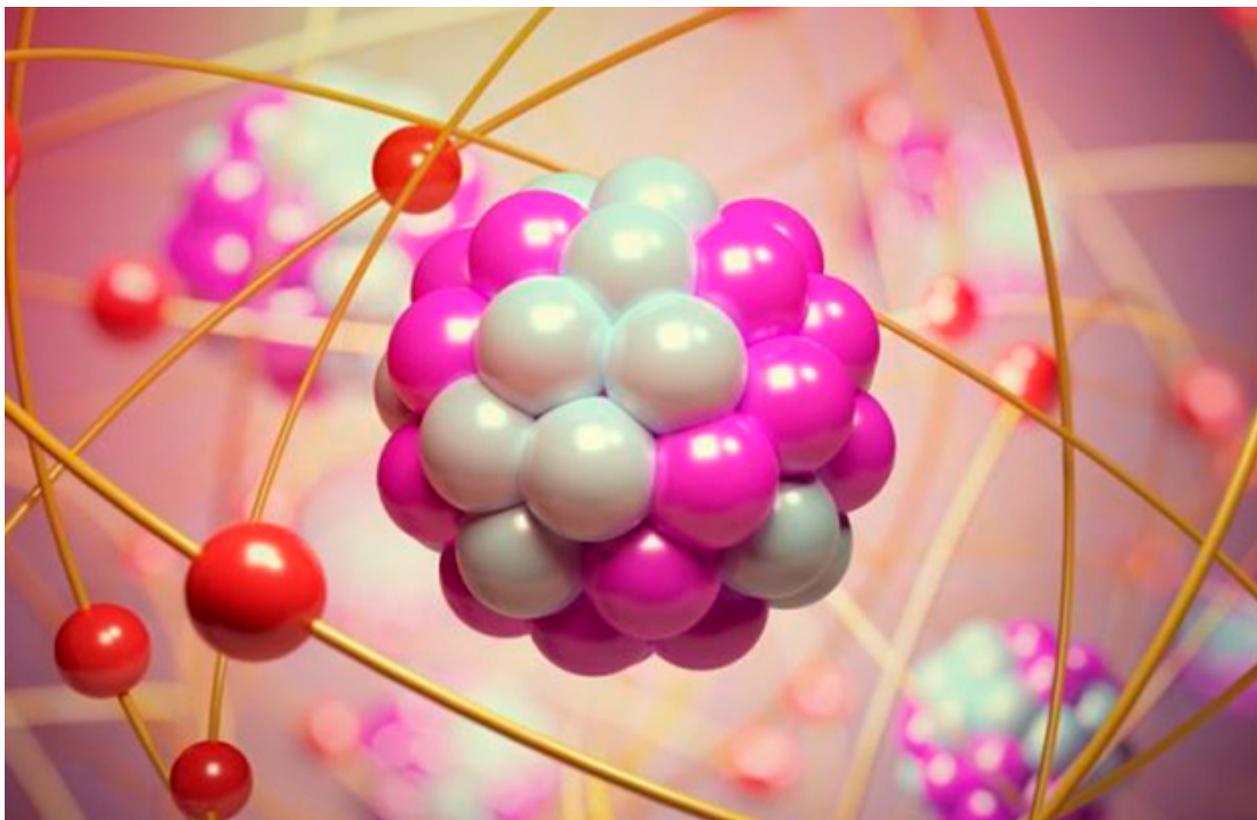


Sobre la incertidumbre y las encrucijadas infinitas



Colaboración Especial

Jorge Peredo

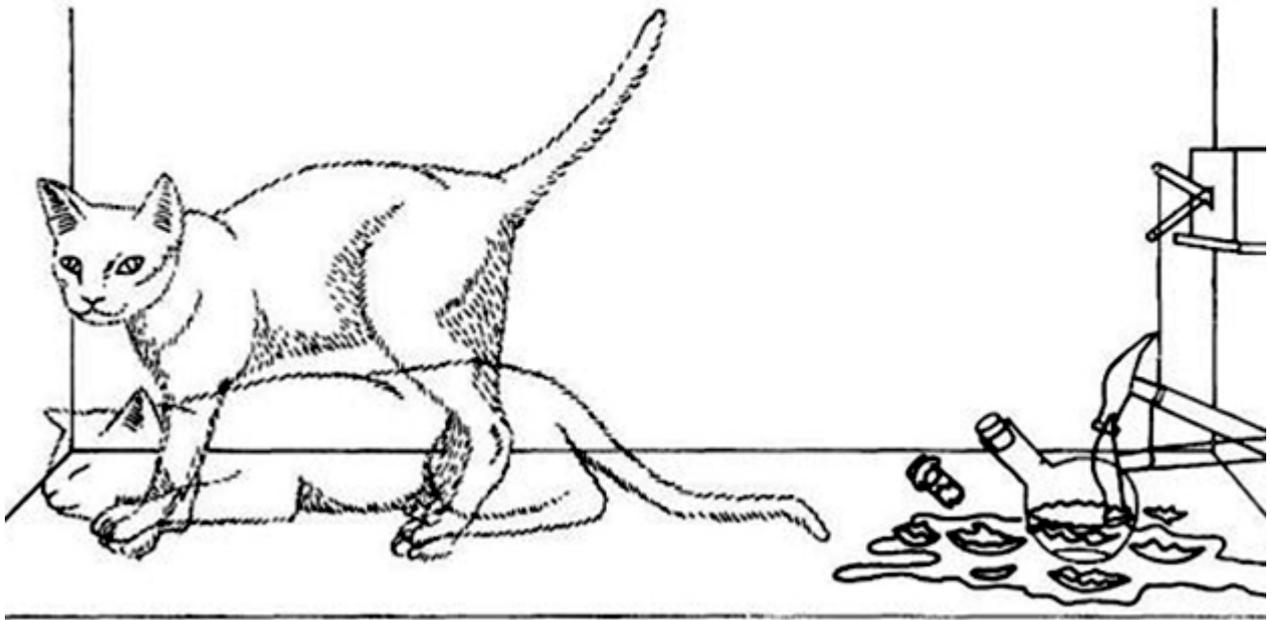
Para Ely

La Paz, Baja California Sur (BCS). Solo, perdido, casi paralizado ante el oscuro horizonte de la incertidumbre que me confronta, así se siente a veces la existencia; así debe sentirse también el gato en una caja. A veces parece que la vida misma es un experimento de aquel genio maligno del que hablaba **René Descartes**. Al filo de un prolongado estado de duda (en un cruce de caminos), hostigado por fuerzas a las que no quiero ponerle nombre y perplejo ante los misteriosos colores de nuestro encuentro, me siento impelido a retomar

contigo estas reflexiones que se instalan (debo admitirlo) en una tenaz niebla. Son para mí, formas del fantasma o el mito primordial que me ha perseguido o fascinado desde que lo liberé al hojear ***La noche de los gatos cuánticos***, una novela de ciencia ficción que narraba la existencia de interminables mundos donde todos los posibles sueños (o pesadillas) se hacen realidad.

Conoces la historia, pero no importa, te la cuento: imagina una caja de acero cerrada herméticamente. En el interior un gato observa como su destino depende de un “mecanismo perverso” (Blanco, 2023). En palabras del físico Erwin Schrödinger (personaje de suma importancia para este relato):

En un contador Geiger hay una cantidad mínima de una sustancia radiactiva, tan pequeña, que quizá en el transcurso de una hora uno de los átomos se desintegre, pero quizá también, con la misma probabilidad, ninguno lo haga. Si ocurre, se produce una descarga en el tubo del contador y mediante un rielé se libera un martillo que hace pedazos una pequeña ampolla con una solución de ácido cianhídrico. Si se abandona el sistema a su suerte durante una hora, se dirá que el gato permanece vivo siempre y cuando no se haya desintegrado ningún átomo. La primera desintegración atómica lo envenenaría. (Schrödinger, 1935).



Nota. El gato se encuentra en una superposición de estados: vivo y muerto hasta el momento del colapso de la función de onda, Princeton University Press (1973).

También te podría interesar: [Proyecto minero submarino de fosfatos en el Golfo de Ulloa. Crónica de una autorización denegada](#)

Lo desconcertante es que, desde la perspectiva de la **mecánica cuántica**, marco de referencia de este ejercicio mental, la incertidumbre de quien espera a que se abra la caja, podría ser reflejo de la realidad al interior: el gato existe en una superposición de estados, está vivo y muerto a la vez.

En el umbral de las maravillas

Hubo un día, en el que un grupo de seres humanos, que se hacen llamar *físicos*, tuvieron la osadía y vanidad de pensar que con ellos había llegado el fin de todas las incógnitas que durante milenios acuciaron a filósofos, naturalistas, magos y alquimistas. Pretendían haber agotado la comprensión del

universo. Estaban convencidos de que no era otra cosa que un inconmensurable mecanismo de relojería. En 1814, el físico Simon-Denis Laplace aseveró que: el estado presente del **universo** es el efecto de su estado anterior, y la causa del que vendrá y que, por tanto, si existiera una inteligencia capaz de conocer todas las fuerzas y situaciones de los entes del universo, podrían conocerse los movimientos de todos los cuerpos existentes desde los átomos a las estrellas, el presente y el pasado. Vivimos, según esto, en un cosmos determinista.

Tras los grandes triunfos teóricos de la física del siglo XIX con la interpretación mecánica y estadística de la termodinámica y la electrodinámica, parecía quedar poco por resolver, pero el problema que se presentó, terminó por iniciar una turbulencia que cimbraría para siempre nuestra idea de lo real. Al internarse en el reino de lo infinitamente pequeño, los científicos notaron que el sueño ilustrado de un cosmos conformado a la medida del entendimiento del “hombre” se desmoronaba. Mientras que para la física clásica los fenómenos obedecen siempre a una cierta lógica inherente a la creación, lo que implica que, dependiendo de las condiciones, siempre observaremos los mismos resultados, y que por tanto podemos predecirlos, para la **teoría cuántica** “hay una probabilidad de que todos los sucesos posibles, por muy fantásticos que sean”, pueden ocurrir (Kaku, 2022, p.175).

A principios del siglo veinte la **física clásica** era incapaz de explicar fenómenos misteriosos. Las certezas se tambalearon y todos estos hombres que se sentían tan cerca de la verdad se encontraron de nuevo sumidos en la incertidumbre. Según las leyes clásicas de la física, como las leyes de Maxwell, se pensaba que un cuerpo caliente debería emitir radiación de manera continua en todas las longitudes de onda. Esto implicaría que a medida que se aumenta la temperatura de un cuerpo, la cantidad total de energía radiada en cada longitud de onda también debería aumentar sin límite. Sin embargo, las observaciones experimentales de la radiación emitida por

cuerpos calientes, como el sol o cualquier objeto a alta temperatura, mostraron un fenómeno contradictorio con las predicciones clásicas. En lugar de emitir radiación en todas las longitudes de onda de manera continua, los cuerpos calientes emitían radiación en espectros discretos y específicos.

El problema central era que las teorías clásicas no podían explicar por qué la radiación emitida por un cuerpo caliente tenía un espectro de energía tan particular, en lugar de ser un continuo sin restricciones. Este desafío fue conocido como el *problema del cuerpo negro*, nombrado así por la propiedad idealizada de un cuerpo que absorbe toda la radiación incidente sin reflejar nada.

Las predicciones fallaron en proporcionar una explicación precisa de este espectro de radiación observado. Esta discrepancia entre la teoría y la observación experimental marcó un punto crucial en la historia de la física, ya que condujo a la necesidad de un nuevo marco teórico que pudiera abordar y resolver estos problemas: la **mecánica cuántica**.

La propuesta de Max Planck en 1900, al introducir el concepto de cuantización de la energía, es decir, según esto, la energía no se distribuye de manera continua, sino en pequeños "paquetes" llamados cuantos. Este fue uno de los eventos clave que condujeron a la revolución cuántica y transformó nuestra comprensión del mundo subatómico.

No mucho después, en 1905, Albert Einstein propuso que la luz también posee características de partículas, presentando el concepto de fotones. Este enfoque explicó el efecto fotoeléctrico, un fenómeno en el que la luz expulsa electrones de un material. Se reveló a raíz de esto que los electrones actúan al mismo tanto como partículas que como ondas. La **física cuántica** desentrañó este misterio al mostrar que el electrón, que danzaba alrededor del átomo, era una partícula, pero iba de la mano de una enigmática onda (Kaku, 2022,

p.180).

El modelo cuántico del átomo, propuesto por Niels Bohr en 1913, consolidó aún más las ideas cuánticas. Bohr postuló que los electrones se movían en órbitas cuantizadas alrededor del núcleo, explicando el misterioso espectro de emisión del hidrógeno. El modelo de Bohr demostró que era posible explicar fenómenos atómicos utilizando principios cuánticos y abrió la puerta a nuevas investigaciones en este campo revolucionario de la física.

En 1924 Louis de Broglie postuló que dependiendo de las condiciones ciertas partículas pueden comportarse como corpúsculo o como ondas, a eso se le conoce como "dualidad onda corpúsculo". Esto despertó el interés de Erwin Schrödinger, quien en 1927 desarrolló la ecuación de onda, que describe la evolución temporal de la función de onda de una partícula. De forma simultánea, Werner Heisenberg introdujo el principio de incertidumbre, desafiando cualquier intuición, al afirmar que no se puede conocer simultáneamente con precisión la posición y el momento de una partícula. El sueño de la razón se cimbraba y sus adalides se vieron impelidos a cruzar el umbral al país de las maravillas, de donde, muchos juraban haber escapado para no volver.

Incertidumbre

El **Principio de Incertidumbre de Heisenberg** sostiene que no podemos conocer, simultáneamente, con precisión, la posición y la velocidad de una partícula subatómica. Cuanto más precisamente intentamos medir una de estas propiedades, menos precisión tendremos en la otra. Esta relación de intercambio entre la posición y la velocidad es un límite intrínseco en el mundo cuántico.

Este insólito principio, fue puesto a prueba con un experimento. Utilizando una rendija doble y un dispositivo de detección, un grupo de científicos enviaron electrones uno por

uno a través de las rendijas hacia una pantalla de detección. Se esperaría que, al igual que con ondas de luz, se formarían patrones de interferencia en la pantalla.

La sorpresa llega cuando se coloca un detector en una de las rendijas para averiguar por cuál pasa cada electrón. Al hacer esto, los patrones de interferencia desaparecen, y se obtiene un patrón de dos franjas, como si los electrones se comportaran como partículas. Si se retira el detector, los patrones de interferencia vuelven a aparecer.

Este experimento resalta la llamada dualidad onda-partícula y la esencia del **Principio de Incertidumbre**. Cuando intentamos medir el camino exacto de un electrón, interferimos con su comportamiento ondulatorio, y perdemos la información sobre su velocidad y dirección. La interferencia entre los caminos posibles desaparece, y obtenemos un comportamiento más determinista, pero a expensas de perder información sobre la velocidad.

Esto desafía nuestra intuición clásica, donde podríamos esperar que las partículas siguieran trayectorias definidas. La mecánica cuántica, encapsulada en el Principio de Incertidumbre y ejemplificada por el experimento de las franjas, nos insta a reconsiderar nuestra percepción de la realidad y aceptar que, a nivel cuántico, la certeza completa es una ilusión. La formulación más estricta de la ley de la causalidad indica que "si conocemos con exactitud el presente, podemos calcular el futuro", mientras que para Heisenberg: "Nosotros no podemos, en principio, llegar a conocer el presente en todas sus partes determinantes." (Heisenberg, 1927, p.197).

Función de onda

La introducción de la función de onda propuesta por Schrödinger en 1926 desempeña un papel clave en abordar el problema de la incertidumbre. Si bien, postula que no se

pueden conocer, simultáneamente, con precisión la posición y el momento lineal de una partícula, la función de onda ofrece una descripción probabilística que la abarca.

La función de onda denotada comúnmente por la letra griega Ψ (psi), es una cantidad matemática asociada a una partícula cuántica que proporciona información sobre la probabilidad de encontrar la partícula en diferentes posiciones y estados de momento. La magnitud al cuadrado de la función de onda, Ψ^2 , se interpreta como la densidad de probabilidad de encontrar la partícula en una ubicación particular. Esto significa que a nivel cuántico, la naturaleza funciona de forma totalmente distinta a la del universo observable: es fundamentalmente probabilística.

Esta teoría y su formalismo matemático fueron celebrados y aceptados de forma general, incluso por el mismísimo Heisenberg, quien había desarrollado su propia propuesta, llamada *mecánica matricial*. Aunque la función de onda proporciona una descripción probabilística más completa, no elimina completamente la incertidumbre. La incertidumbre está presente en la propia naturaleza de la teoría cuántica, y la función de onda propone una forma de cuantificar y trabajar con esa incertidumbre en lugar de eliminarla.

Imagina que estás en un juego de escondite, pero en lugar de esconderse detrás de muebles, las partículas subatómicas, como electrones tienen su propio juego de probabilidades llamado *función de onda*. Esta función es como un mapa que nos dice las probabilidades de encontrar una partícula en diferentes lugares.

La *función de onda* es como un sueño matemático, donde las ecuaciones nos dicen las formas en que una partícula podría estar distribuida en el espacio. Pero aquí está el truco: no nos dice exactamente dónde está la partícula, solo nos arroja un *catálogo de expectativas*, es decir todos los posibles escondites de la partícula. Parecería que las reglas de este

juego, fueron ideadas por un demente: la partícula está escondida en todos los sitios que el mapa despliega.

Colapso

Un aspecto intrigante es que cuando observamos o medimos una propiedad de una partícula, esta deja de estar en todos los lugares posibles y, aparentemente “elige” un valor específico para la propiedad medida. Si seguimos la metáfora del juego, decide dejarse encontrar, en el momento en el que decidimos buscarla, el cual, no es nunca, donde esperábamos hallarla.

De acuerdo a la interpretación más tradicional de la cuántica, también llamada de Copenhague, se dice que la función de onda “colapsa”. Este “colapso” consiste en la transición de un mundo probabilístico a uno concreto. Es decir que en el momento de realizar la observación del comportamiento de un electrón “la suave evolución de la función de onda es interrumpida y emerge un único resultado. Todas las demás probabilidades se desvanecen de la realidad clásica. (Byrne, 2007)”. El resultado parece ser por completo arbitrario, ya que no sigue la lógica de la información contenida en la onda. Hay que tener en cuenta que se trata de un postulado que no tiene lugar en las ecuaciones de Schrödinger y que sirve para explicar la emergencia de un estado específico de la partícula.

La postura de científicos como Bohr y Heisenberg, conocida como interpretación de Copenhague es que el funcionamiento del mundo cuántico únicamente cobra sentido en términos de los fenómenos “clásicamente observables”, no al revés. Las ecuaciones sólo pueden explicar lo que sucede en el mundo subatómico y que existe una clara separación entre este y el mundo clásico. Dicho enfoque privilegia el lugar de un observador externo ubicado en un “reino clásico” bien diferenciado del reino cuántico en el que ocurren los fenómenos observados. (Byrne, 2007, p.100) ¿Es la observación del científico la que causa el colapso? Esto implicaría una

suerte de magia, más allá del mundo observable y por tanto perteneciente al reino de la metafísica.

En el contexto del experimento, cuando la caja se abre y se realiza la observación, la función de onda del gato, (que originalmente estaba en una superposición de estados, como vivo y muerto) colapsa en un estado específico. Esto significa que, después de la observación, el gato se encuentra en un estado definitivo, ya sea vivo o muerto, no en una superposición de ambos.

Es precisamente debido al peso de esta sospecha que Schrödinger confabuló aquella escena que parece más obra un genio maligno aficionado a las caricaturas de Bugs Bunny. El absurdo de aceptar la discontinuidad entre lo ocurrido en el sistema a nivel subatómico y la realidad en la que se instala el observador salta a la vista en el momento en el que se construye un sistema donde ambas interactúan irremediablemente, es decir se expresa su interdependencia. Este ejercicio obliga a ver las implicaciones de esta ruptura, de tal modo que la incertidumbre cuántica produciría un emborronamiento donde la muerte y la vida son indistinguibles hasta la intervención del observador.

A pesar de no poder explicar ese límite entre la realidad observable y el mundo clásico, los científicos adscritos a esta visión recurrieron a la **mecánica cuántica** con gran éxito. La lección aprendida por innumerables generaciones de físicos es que las ecuaciones sólo operan en el reino de lo microscópico, mientras que para el macroscópico carece de relevancia (Byrne 2007, p.100).

Bifurcaciones

Schrödinger, en una conferencia que se llevó a cabo en Dublín en el año de 1952, sugirió de forma casi casual un posible camino que permitiría encontrar solución a la paradoja: "Casi cualquier resultado que declare [un teórico de la mecánica

cuántica] se refiera a la probabilidad de que esto o eso o aquello [...] suceda, normalmente entre una gran cantidad de alternativas. La idea de que no sean alternativas sino que *todas* sucedan a la vez se le antoja demencial, sencillamente *imposible*.”

Diez años antes, en otro hemisferio, una pluma que hacía otro tipo de magia escribió una alegoría sobre la literatura, que parecía presagiar la fragorosa poesía encerrada en esa demente visión. Jorge Luis Borges imaginó un laberinto en el que cualquier principio o cualquier posible desenlace era una realidad:

La explicación es obvia: El jardín de senderos que se bifurcan es una imagen incompleta, pero no falsa, del universo tal como lo concebía Ts'ui Pên. A diferencia de Newton y de Schopenhauer, su antepasado no creía en un tiempo uniforme, absoluto. Creía en infinitas series de tiempos, en una red creciente y vertiginosa de tiempos divergentes, convergentes y paralelos. Esa trama de tiempos que se aproximan, se bifurcan, se cortan o que secularmente se ignoran, abarca todas las posibilidades. No existimos en la mayoría de esos tiempos; en algunos existe usted y no yo; en otros, yo, no usted; en otros, los dos. En este, que un favorable azar me depara, usted ha llegado a mi casa; en otro, usted, al atravesar el jardín, me ha encontrado muerto; en otro, yo digo estas mismas palabras, pero soy un error, un fantasma.

Seguramente te preguntarás qué sentido tiene que traiga esto a colación. Se trata de intentar discernir qué es lo que pasa con todas esas probabilidades que aparentemente se disuelven tan pronto como una se materializa. Esta posible respuesta es conocida como **“la interpretación de los muchos mundos”**.

Hugh Everett III fue un físico teórico estadounidense nacido el 11 de noviembre de 1930 en Washington D.C. Se graduó de la

Universidad Johns Hopkins con una licenciatura en física en 1953 y obtuvo su doctorado en física teórica en la Universidad de Princeton en 1956.

Durante su tiempo en Princeton, Everett trabajó bajo la supervisión del renombrado físico John Archibald Wheeler. Fue durante este período cuando desarrolló su controvertida interpretación de la **mecánica cuántica**, conocida como la ***interpretación de los muchos mundos***.

La interpretación de los muchos mundos, propuesta por Everett en su tesis doctoral en 1957, desafió las interpretaciones convencionales de la mecánica cuántica, especialmente la interpretación de Copenhague. Para resolver el problema de la función de onda, Everett fundió los mundos macroscópico y microscópico. Esto significa que la función de onda es universal y que por lo tanto la mecánica cuántica opera en la totalidad del universo. El observador no es ajeno al sistema cuántico sino que tanto él como el objeto observado lo conforman.

Everett se planteó las siguientes preguntas:

¿Qué pasaría si la evolución continua de una función de onda no es interrumpida por actos de medición? ¿Qué pasaría si la ecuación de Schrödinger siempre se aplica y se aplica a todo, tanto a objetos como a observadores? ¿Qué pasaría si ningún elemento de superposiciones es eliminado de la realidad? ¿Cómo se vería un mundo así para nosotros? (Byrne, 2017, p.100).

Concluyó que la función de onda de un observador se bifurcaría en cada interacción del observador con un objeto superpuesto. La función de onda universal contendría ramas para cada alternativa que compone la superposición del objeto. En cada una existe una copia del observador que percibe una de esas alternativas como único resultado. Según una propiedad matemática fundamental de la ecuación de Schrödinger, una vez

formadas, las ramas no se influyen entre sí. Por lo tanto, cada rama emprende un futuro diferente, independientemente de las demás (Byrne, 2017, p.100).

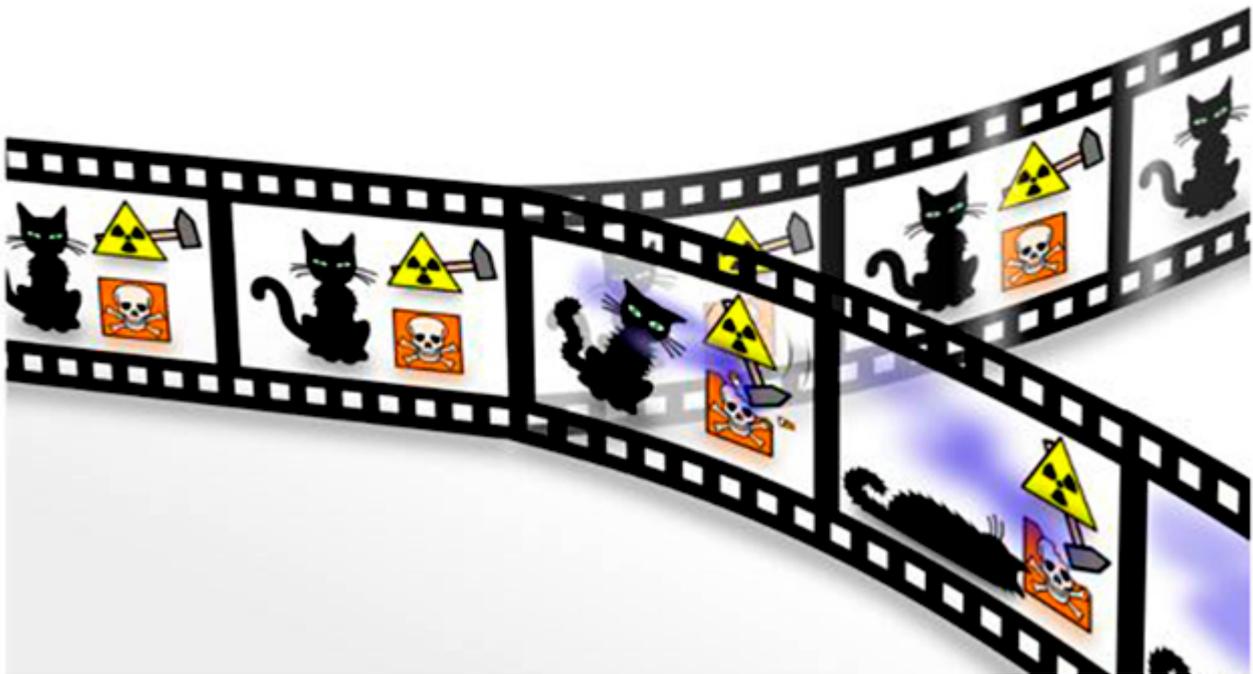
Esto significa que todas las probabilidades cuánticas se realizan en universos paralelos separados, lo que implica la existencia de una multiplicidad de realidades coexistentes. En cada uno de estos mundos, una versión diferente del resultado cuántico se manifiesta, lo que elimina la necesidad de un colapso de la función de onda y mantiene la coherencia de la evolución cuántica.

A pesar de la originalidad y el rigor matemático de su trabajo, la *interpretación de los muchos mundos* de Everett fue inicialmente recibida con escepticismo y críticas por parte de la comunidad científica establecida. Tal vez porque la idea de un **universo** infinitamente ramificado desafía por completo nuestro entendimiento y parece más la creación de un poeta visionario o de un chamán delirante que una teoría científica:

Para entender lo que el concepto de muchos mundos implica, sólo se necesita notar que, cualquier causa, por microscópica que sea, puede propagar sus efectos, a través del universo, por consiguiente toda transición cuántica que ocurre en toda estrella, en toda galaxia, en cada remoto rincón de este universo ramifica nuestro mundo local en miríadas de copias de sí mismo (DeWitt, p.179).

El gato está vivo en una realidad y muerto en la otra.

Figura 2. Ramificación de la realidad



Nota. Para Everett el gato vive en un mundo, en otro muere. Es un gato cuántico, *Wikimedia Commons*.

Desde esta perspectiva puedo decir: tú (qué me lees) y yo habitamos las ramificaciones de un árbol infinito. En unas somos amigos, en otras nos odiamos, en otras nunca nacemos, en unas existes y yo no, en otras nunca nos encontramos en nuestra encrucijada. Quizás de casualidad leas estas palabras y sientas una extraña curiosidad, y es todo. Tal vez en un mundo nos conocimos y el azar nos extravió al uno del otro; pero en otro nos volvemos a encontrar. Esta es la verdadera incertidumbre, la certeza de saber que en otro lado las cosas son como las soñamos y acá donde se afianza nuestra existencia, el azar nos arroja a regiones indómitas.

Referencias

Blanco, D.(2012), *Schrödinger: El universo está en la onda*, España: RBA.

Byrne, P. (2007), "The many worlds of Hugh Everett", en *Scientific American* , Vol. 297, No. 6 (December 2007), pp.

98-105.

DeWitt, B. (1973), en Dewitt Bryce S. (Edit), *The Many Worlds Interpretation of Quantum Mechanics*, (p.p. 178-179), Nueva Jersey: Princeton University Press.

Heisenberg, W. (1927), "Sobre el contenido descriptivo de la Cinemática y la Mecánica teórico-cuántica" en *Z.Phys* 43, p.p. 172-198.

Schrödinger, E. (1983), "The Present Situation in Quantum Mechanics. A translation of Schrödinger's Cat Paradox Paper" en *Proceedings of the American Philosophical*

Society, 124, p.p. 323-38

—

AVISO: CULCO BCS no se hace responsable de las opiniones de los colaboradores, ésto es responsabilidad de cada autor; confiamos en sus argumentos y el tratamiento de la información, sin embargo, no necesariamente coinciden con los puntos de vista de esta revista digital.