

28/10/2019

Un ataque al azar

TXT ALE HACKER IMG SIBERIANO

¿La física cuántica es una teoría completa? ¿Existe una realidad objetiva independiente del observador?

"Dios no juega a los dados con el Universo. Juega a un juego inefable de su propia invención que podría ser comparado, desde la perspectiva de los demás jugadores [es decir, todo el mundo], con estar en una compleja y confusa variante del poker en una habitación oscura, con cartas en blanco, con apuestas infinitas y con un croupier que no te quiere explicar las reglas y que sonríe todo el tiempo."

Terry Pratchett y Neil Gaiman, Buenos Presagios

¿Qué le dice un electrón acelerado en la superficie de un cuerpo negro a un detector de radiación electromagnética? Bueno, eso era lo que estaban intentando

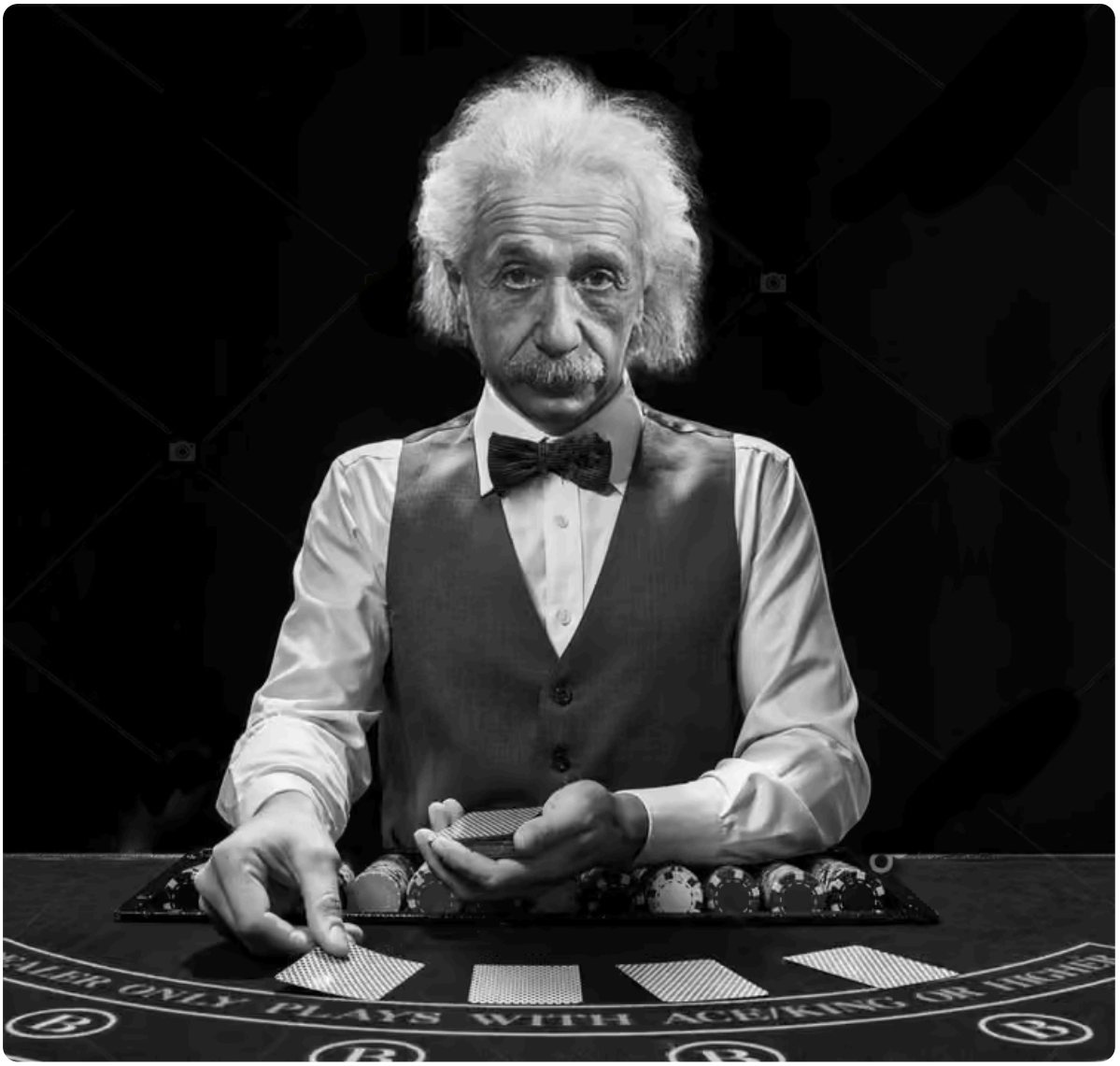
descifrar muchos físicos a principios del siglo XX. Para quien no sea físico en estos principios de siglo XXI, le alcanza con saber que **un cuerpo negro es un objeto que absorbe toda la radiación** que recibe y que, en aquel entonces, la teoría clásica andaba fallando a la hora de explicar qué es lo que pasaba cuando el cuerpo negro -además de recibir- emitía radiación. Básicamente la teoría decía que el cuerpo debía aumentar considerablemente su radiación en el rango ultravioleta, pero en todos los experimentos el cuerpo iba y hacía exactamente lo opuesto (disminuía su radiación en ese rango), cosa bastante frustrante, lo cual explica por qué se terminó bautizando a este pequeño gran pifie como 'Catástrofe Ultravioleta'.

Este episodio, junto con otros famosos experimentos realizados por famosos científicos en los años siguientes, mostraban famosas incoherencias entre lo que pasaba en los sistemas microscópicos y todo lo que se sabía cierto de la física: las cosas chiquitas no se portaban como se suponía que debían hacerlo. La luz, por ejemplo, que creíamos que actuaba ondulatoriamente, cuando interactuaba con la materia parecía en cambio estar hecha de paquetitos chiquititos, a los cuales llamamos fotones. Esto llevó a muchos científicos a preguntarse qué onda (a la vez que llevó a muchos otros a preguntarse qué partícula). Y así nació la teoría física más simpática del siglo pasado: la física cuántica.

¿Y qué tiene de simpática esta teoría? Solamente que dice que hay cosas que pareciera que no existen antes de observarlas, que es imposible medir el estado de una partícula sin cambiar dicho estado, que si se sabe dónde está jamás se sabrá a qué velocidad se mueve y si se supiera a qué velocidad se mueve automáticamente dejaríamos de saber dónde está, que si uno hace exactamente el mismo experimento repetidas veces con las mismas condiciones puede obtener siempre resultados diferentes. Y peor aún: que todo este azar indeterminista no se debe a que todavía no encontramos la teoría justa que nos deje dormir tranquilos con la idea de que el mundo es un lugar ordenado y armonioso, sino que surge de un origen fundamental e inexplicable, y nada podemos hacer al respecto.

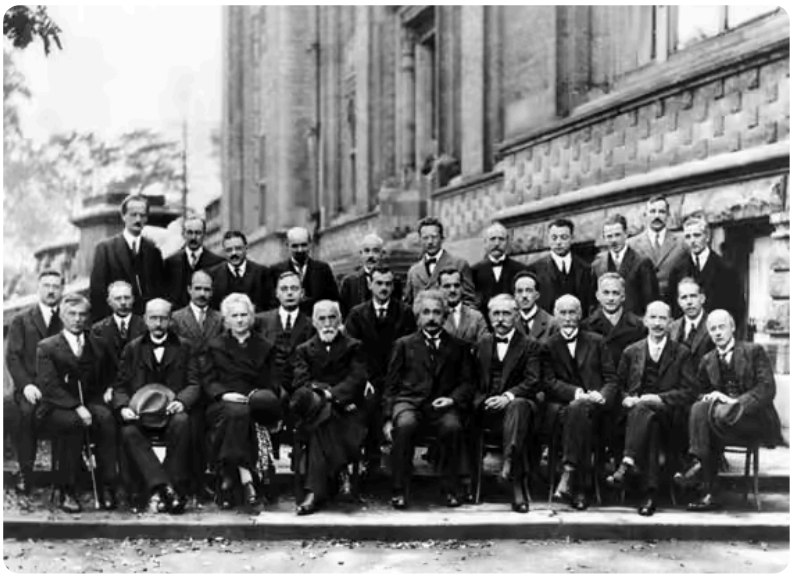
En una de esas suene familiar el nombre del físico alemán Albert Einstein. Cuando no estaba ocupado tocando el violín, fumándose una pipa o revolucionando

violentamente el pensamiento humano y la manera en la que entendemos el Universo, acostumbraba cuestionar y desafiar la teoría cuántica, de la cual, curiosamente, él había sido uno de los creadores. En la primera mitad del siglo XX, Einstein pasó de una pasión y dedicación extrema en el área –llegando él mismo a calificar de 'revolucionaria' su contribución, y eso que jamás había usado ese calificativo con ninguna de sus otras ideas, ni siquiera para la relatividad–, a una separación y automarginación exagerada, volviéndose autor de bardos como "Cuantos más éxitos logra, más tonta me parece" o "La teoría explica muchas cosas, pero realmente no nos acerca más al secreto de <El Viejo> (the Old One). Yo, en cualquier caso, estoy convencido de que Él no juega a los dados", sin olvidar la matadora "Encuentro intolerable que un electrón sometido a radiación decida por su propia voluntad, no sólo en qué momento saltar sino también en qué dirección. Si las cosas fueran de ese modo, yo preferiría haber sido zapatero, o hasta empleado de casino, en vez de físico." Durísimo.



¿Y qué era lo que le molestaba a Einstein de la cuántica? ¿Qué era lo que más le rompía las partículas, lo que más le hinchaba los electrones, lo que le dolía en lo más profundo del movimiento browniano? Básicamente, tomó su decisión de desligarse de la cuántica en cuanto esta puso de manifiesto todo lo enumerado arriba, en pocas palabras, la idea de que **a la naturaleza la rige el azar.** Imagínense a Einstein sentado tranquilo en su estudio, escuchando Mozart, pipa en boca, mirando con nostalgia una brújula y pensando en cómo la física fue avanzando exitosamente en el estudio del Universo proponiendo teorías y fórmulas que predecían con absoluta certeza los resultados de los experimentos en todos los campos, desde la mecánica clásica hasta el electromagnetismo, la mecánica de fluidos, la termodinámica, etc., cuando de repente entran Niels Bohr, Werner Heisenberg y Max Born gritando cosas como 'INCERTIDUMBRE, INDETERMINISMO, ESPONTANEIDAD, PROBABILIDADES'. Esto es una

ilustración figurativa de lo que bien pudo haber sido una pesadilla de Einstein durante los años siguientes al quinto congreso Solvay. Este se celebró en Bruselas en 1927 y allí se exhibieron todos los últimos aportes a la cuántica, en particular la interpretación probabilística presentada por físicos como Bohr y Heisenberg, entre otros, la cual tomó por desprevenido a Einstein. ¿Cómo podía ser que dos experimentos igualitos lleven a resultados distintos? ¿Cómo podía ser que un gato esté vivo y muerto a la vez? ¿Cómo podía ser que la realidad se base no en el principio de causalidad sino en probabilidades?

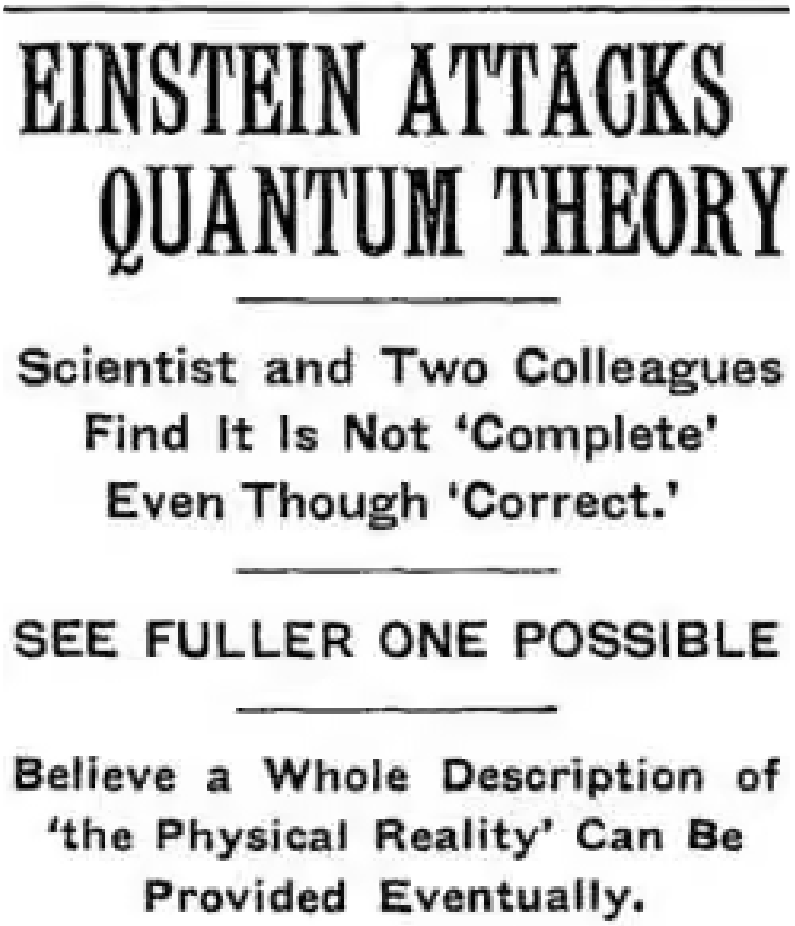


Congreso Solvay, 1927: Los Avengers se encuentran con la Liga de la Justicia, La Comunidad del Anillo, Los Simuladores y Los Beatles. Tercera en la primera fila, Marie Curie logrando meter estrógenos en un ámbito dominado por la testosterona. Si fueran jugadores de fútbol **este equipo** habría ganado el primer mundial, Uruguay 1930.

EPR

EPR. ¿Qué tiene que ver el Ejército Popular Revolucionario con la física cuántica? Nada. Bah, qué sé yo, capaz algo sí. Pero en vez de entrar en ese tema, concentrémonos en el artículo publicado en 1935 en *Physical Review* por Albert Einstein, Boris Podolsky y Nathan Rosen, quienes pasaron a la historia como EPR. Este artículo formó parte de la batalla declarada de Einstein contra la cuántica y su búsqueda infructuosa de una teoría alternativa que coincidiera con sus principios filosóficos, la cual sostuvo hasta el final de sus días.

El título (para nada provocador) reza: **¿Puede considerarse que la descripción cuántica de la realidad física es completa?** Podemos imaginar la respuesta que da EPR pero lo interesante es el razonamiento que hay detrás. Lo primero que hacen es definir las palabras 'completa', 'realidad' y 'descripción' (por suerte 'puede', 'que', los signos de pregunta y las demás palabras del título ya estaban más o menos definidas). La condición para que una teoría sea completa, dice EPR, es que "cada elemento de la realidad física debe tener una contraparte en la teoría física", con lo cual nos podríamos conformar una vez que definamos 'realidad física'. Vamos pues: "Si podemos predecir con total certeza el valor de cierta magnitud física sin perturbar de ninguna manera el sistema, entonces existe un elemento de realidad física correspondiente a dicha magnitud". Esto quiere decir que si, por ejemplo, una astrónoma predice que va a haber un eclipse solar el 14 de diciembre de 2020 (o sea que la Luna pasará exactamente entre la Tierra y el Sol) y, llegado el día, sucede precisamente eso, entonces –ya que la astrónoma no puede influir en el movimiento de los cuerpos celestes–, la posición de la Luna señalada por la astrónoma es real (aunque no la estemos viendo). Cualquier filósofo o epistemólogo podría discutir este criterio de realidad pero tomémoslo por ahora ya que es aceptable para la mayoría de las personas y es compatible con las ideas de la física clásica y cuántica.



EINSTEIN ATTACKS QUANTUM THEORY

Scientist and Two Colleagues Find It Is Not 'Complete' Even Though 'Correct.'

SEE FULLER ONE POSSIBLE

Believe a Whole Description of 'the Physical Reality' Can Be Provided Eventually.

EPR tuvo repercusión inmediata en los medios. "Einstein ataca la teoría cuántica: El científico y dos colegas descubren que no es 'completa' aunque sí 'correcta'". Así se mostró en la primera plana del New York Times el 4 de mayo de 1935. El diario de Tatooine titulaba "May the Fourth be with you, Albert".

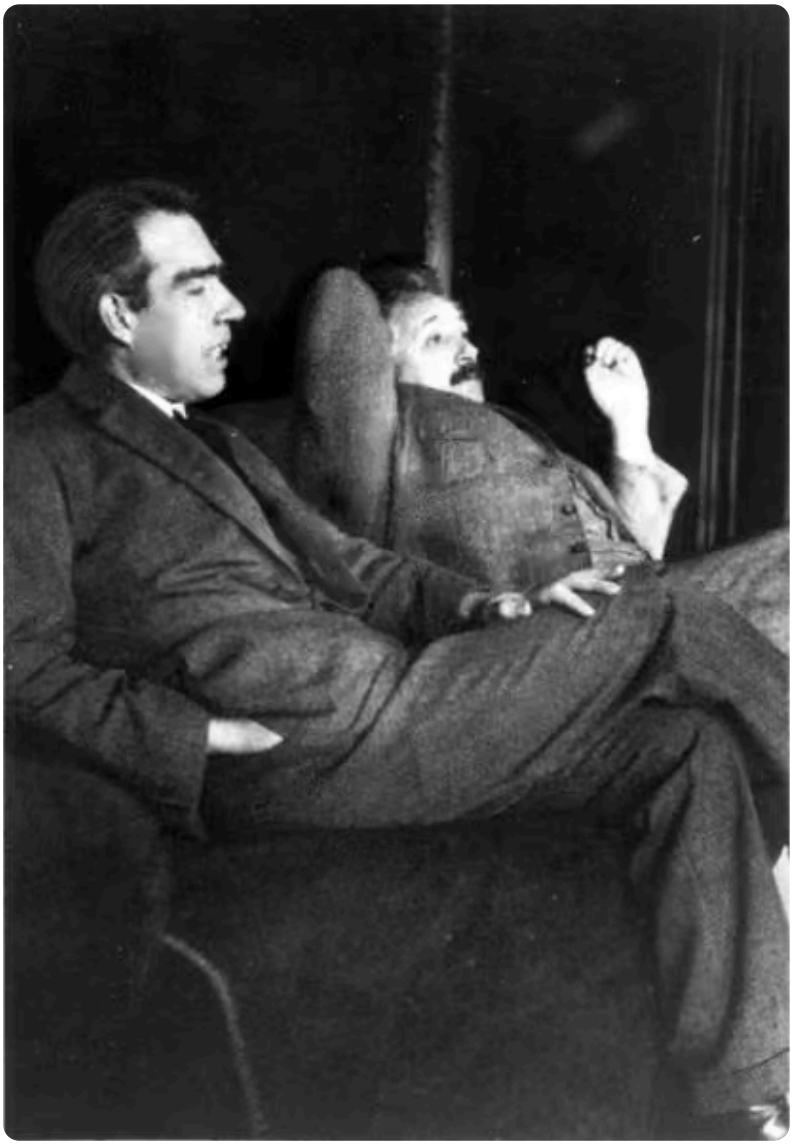
Paso siguiente, EPR está feliz de recordar las consecuencias de la teoría cuántica tales como que si sabemos la velocidad (más precisamente, el momento lineal, una magnitud proporcional a la velocidad) de una partícula, entonces es imposible saber su posición. Salvo que la midamos, claro está. **El tema es que si la medimos estamos alterando el estado de la partícula y ni bien nos enteramos de la posición, cambiamos su momento lineal y dejamos de saber cuál es su velocidad.** Salvo que la midamos, claro está. Para seguir voy a suponer que se entiende por dónde va la mano (y por lo tanto no sabemos a qué velocidad viaja). Conclusión: si no sabemos una magnitud, es porque no la podemos predecir, y por lo tanto cuando conocemos la velocidad de una partícula, su posición no tiene realidad física. También vale la inversa y esto se generaliza para cualquier par de magnitudes 'enfrentadas' (en física se dicen '*incompatibles*' o '*que no conmutan*').

O sea que partiendo de los postulados de la física cuántica se llega a que dos magnitudes enfrentadas entre sí (como lo son la posición y la velocidad) no pueden ser reales simultáneamente. Es decir que no se puede predecir ambas al mismo tiempo ya que si conocemos una y medimos la que no conocemos estamos perturbando el sistema y contradecimos la definición de realidad física.

Y así llegamos al clímax del artículo de EPR y a la vez a su parte más engorrosa, así que *atenti*. En una de las mejores cucharadas de su propia medicina, EPR saca sorpresivamente la carta del *entrelazamiento de estados cuánticos*, otro de los conceptos de la misma teoría. En pocas palabras, si tenemos un sistema compuesto de varias partes (un sistema de dos electrones por ejemplo), los estados de esos subsistemas están *entrelazados* si al realizar una medición sobre uno de ellos sucede lo que se llama que los estados de las demás partes 'colapsan', y esto quiere decir que definitivamente existen y podemos conocerlos. Y acá viene el golpe de gracia: Esto se cumple sin importar qué tan separadas están ambas partes del sistema compuesto. Nada mejor que un buen ejemplo para entender: un electrón A podría estar en la esquina de mi casa y otro electrón B en la galaxia de Andrómeda, a 2,5 millones de años luz de la Tierra (que es, para más información, donde queda mi casa), distancia a la cual sería imposible que una medición sobre A perturbe instantáneamente a B. Pero como están entrelazados, **al medir en A, puedo conocer el estado de B, es decir, puedo predecir alguna magnitud física del electrón B sin alterar su sistema: no lo toqué, referí, si estaba a 2,5 millones de años luz.** En otras palabras, esa magnitud que predije de B es real, según la definición que dimos de realidad (algo es real si se puede –sin meter mano– predecir lo que le va a pasar). Y si hago esto con dos magnitudes enfrentadas entonces estaría demostrando que esas dos magnitudes son reales ya que pertenecen a la misma realidad (la realidad del electrón B en Andrómeda, en este ejemplo), lo cual se contradice con el razonamiento del párrafo anterior (que dos magnitudes enfrentadas no pueden ser reales al mismo tiempo) al que se llegó afirmando que la física cuántica es completa. Por lo tanto, la descripción que realiza la cuántica es incompleta. *Fatality*. EPR wins. Victoria rotun... momentito.

Loca, loca localidad

No pasó mucho tiempo hasta que el artículo de EPR recibiera sus correspondientes respuestas. El primero en contestar fue Bohr, el eneamigo declarado de Einstein y principal blanco de los continuos ataques de parte de Albert y compañía. Cinco meses después del artículo, en la misma revista y con el mismo título (ya fue todo), Bohr demuestra acertadamente que el argumento EPR no expone ninguna inconsistencia interna de la teoría cuántica y que encima hace razonamientos contrafácticos (imagina experimentos que se pueden hacer mezclados con experimentos que no se pueden hacer). En todo caso, que lo único que muestra es que la cuántica a priori no es compatible con una teoría en la que valga el Principio de Localidad. ¿El qué?



Bohr y Einstein charlando en el sofá. Porque si dos personas no discuten acerca de la naturaleza fundamental del Universo,

El Principio de Localidad, que juega un rol fundamental en el argumento EPR, forma parte del sentido común, con todas las pros y contras que tenga dicho sentido (si lo sabrá Einstein), pues dice lo siguiente: dos objetos sumamente alejados entre sí no pueden afectarse uno al otro instantáneamente (i.e. más rápido que la luz). Esto es lo que justifica que los electrones A y B no puedan perturbar el sistema del otro debido a la gran distancia entre ellos. Si esto es así, lo que la cuántica dice que les pasaría a los electrones entrelazados para Einstein era, en sus propias palabras, una '*spukhafte Fernwirkung*', **una 'acción fantasmal a distancia', algo imposible si aceptamos el principio de localidad. Por lo tanto tal principio, el cual es innegociable para Einstein, es incompatible con la teoría cuántica.**

Todo esto es muy lindo pero dejaba abierta la pregunta: ¿existirá finalmente una teoría alternativa a la cuántica que sí sea completa en los términos EPR y, a la vez, sea compatible con el sentido común? Este fue el emprendimiento que se puso Einstein al hombro durante los siguiente 20 años. O sea, dale, no es mucho lo que pedía, media pila. Sólo quería que las cosas existan antes de medirlas, que las mismas causas lleven siempre a sus correspondientes efectos y que las cosas que están muy, muy lejos no se puedan afectar mutuamente. Él buscaba una teoría que probara que existen unas variables microscópicas que todavía no conocemos, y que si conociéramos estas variables ocultas podríamos determinar, con 100% certeza, sin incertidumbre ni esas guarangadas, la evolución del sistema para todo tiempo futuro. Esto demostraría que el estado del electrón entrelazado no lo determina una acción fantasmal a distancia debido a mi medición sobre el otro electrón a años luz, sino que los estados de ambos electrones ya están predeterminados de por sí simplemente porque ya existen y son reales desde antes de cualquier medición. Tal teoría de '*variables ocultas*' limpiaría la enorme mancha que él consideraba que era el azar de la física cuántica y cumpliría todos los requisitos de buena fé de Einstein, evitándole de esta manera un inefable destino como croupier o zapatero.

Se nos presentan entonces dos posibilidades:

1. Existe la localidad (vale el Principio de Localidad) y todas las magnitudes físicas son reales antes de medirlas. La razón por la cual la física cuántica no las puede determinar y solamente nos habla de azar y probabilidades es porque hay variables ocultas que no conocemos. Una teoría de variables ocultas con localidad incluiría en ella a la cuántica y llegaría a los mismos resultados cuantitativos que ella. Podemos llamar a esta posibilidad '*la de Einstein*'.

2. No existe la localidad. Todo el Universo está relacionado instantáneamente. Si medimos sobre un sistema A, entonces otro sistema B sumamente alejado de A se entera inmediatamente de la medición. Las predicciones de la cuántica no son compatibles con la localidad. Podemos llamar a esta posibilidad '*la correcta*'. Ups, *spoiler*.

Lo cierto es que esta dicotomía, que se metía en el ámbito de la filosofía, quedó abierta hasta después de las muertes de Einstein y Bohr y fue considerada por varios autores durante varios años sin ninguna respuesta definitoria. Hasta que en 1964 entró en escena el físico irlandés John Stewart Bell, quien se ganó su merecido lugar en el Salón de la Fama de la cuántica al arrebatar la discusión de las garras seductoras de la filosofía y devolverla sana y salva bajo el manto de la física, en una original y sorprendente jugada. Sorprendente para él más que nadie: Bell pretendía probar que Einstein tenía razón y buscaba argumentos en su favor. "Yo pensaba que la superioridad intelectual de Einstein sobre Bohr en este punto era enorme: una distancia gigante entre un hombre que veía claramente lo que se necesitaba (Einstein) y un oscurantista (Bohr)" afirmó el irlandés. Y demostró exactamente lo contrario.

Bell fue ideando teorías de variables ocultas que predijeran los mismos resultados que la cuántica para así, algún día, reemplazarla. Tuvo éxito con los primeros modelos pero mientras avanzaba en sus investigaciones llegó inevitablemente a un resultado contundente: cualquier teoría de variables ocultas con localidad predice resultados distintos a los que predice la física cuántica. ¿Qué buscamos entonces? Evidencia, evidentemente: ya que las predicciones de la cuántica son distintas a las

de las teorías locales, hagamos **los experimentos correspondientes** y dejémonos de joder que todo el mundo quiere saber si Einstein se equivocó o no.

Llegando entonces al final de esta historia, tal y como habíamos anticipado, la confrontación empírica se encargó de coronar victoriosa a la física cuántica como ya lo venía haciendo desde que se formuló por primera vez de la mano de Bohr, Einstein y compañía. Los experimentos que se encargaron (y se siguen encargando) de esto son los llamados '*experimentos de prueba de Bell*', de los cuales un típico ejemplo consiste en crear pares de fotones entrelazados, mandarlos lo más lejos posible uno del otro y medir inteligentemente ciertas propiedades en cada extremo. Hasta el día de la fecha se han realizado numerosos de estos experimentos los cuales han ido formando un abrumador consenso con respecto a la imposición de la cuántica por sobre una teoría de variables ocultas *locales*. Lo que sí, cabe aclarar que todavía hay científicos en busca de una teoría de variables ocultas que sea no local, es decir, que sacrifique el Principio de Localidad, pero sostenga la lucha contra la idea del azar.

Aparte de una exagerada cantidad de preguntas, ¿qué lecciones nos deja esta historia? Básicamente, que es mejor tomarse cuatro tazas de café antes de hablar de cualquier cosa relacionada a la física cuántica. Y que Einstein también se equivocaba. Él no llegó a ver los experimentos que le demostraban su error, pero podemos estar tranquilos: seguramente no habría abandonado la física para ser zapatero o empleado de casino ya que, si hubiera que elegir entre Einstein y la evidencia empírica, hasta Einstein se quedaría con la evidencia.

Sumate en
eglc.ar/bancar