



Conversación sobre mecánica cuántica con

CREDITO: Francois Leyvraz Waltz
Instituto de Ciencias Físicas, UNAM
Academia de Ciencias de Morelos

A *migo*: He oído decir que la mecánica cuántica permite cosas muy curiosas, como una comunicación mágica y misteriosa a distancia. ¿Será cierto?

Yo: Mmmmm, lo más sencillo es explicártelo con un ejemplo que hasta a nosotros los físicos nos deja perplejos.

Amigo: ¿Y le podrá entender?

Yo: Sí, y sin requerir mayores matemáticas. Te contaré una historia sencilla. Comprenderla no tendrá mayor dificultad que los acertijos que tanto te gustan, aunque *tendrás que concentrarte* para que encuentres el *profundo* misterio que encierra.

Amigo: ¡Adelante! Acepto el reto.

Yo: Imagínate que una mañana un niño llamado Juan entra en un cuarto en el mismo momento en que su amigo Pedro entra a otro cuarto muy lejano. Los amigos en sus cuartos no tienen manera de comunicarse.

Amigo: Supongo que estar incomunicados es importante.

Yo: Sí. Los niños podrían haber platicado antes, pero al entrar cada uno a su cuarto, no hay modo de que sepa uno lo que hace, dice o ve el otro. En cada cuarto hay un aparato con tres focos de colores azul, rojo y verde. Simultáneamente se prende al azar uno de estos focos en cada cuarto. Como es obvio, cada niño sabe cuál es el color del foco prendido en su cuarto, pero no sabe cuál es el color del que se prendió en el cuarto de su amigo.

Amigo: Entiendo.

Yo: Bien. Ahora, cada niño anota en un papel el color del foco prendido y una *respuesta* que consiste de una palabra: un *sí* o un *no*.

Amigo: ¿Sí o no qué?

Yo: Sí o no nada. No hay una pregunta y la respuesta es sólo una palabra. No te preocupes por su significado. Cada uno simplemente decidirá si responde "Sí" o responde "No", después de anotar el color del foco que se prendió.

Amigo: ¿Podrían Juan y Pedro haberse puesto de acuerdo sobre cómo responder o eso sería trampa?

Yo: Sí podrían y no sería trampa. La respuesta de Juan puede depender de lo que hubiese acordado con Pedro.

Amigo: ¿Y podría depender del color del foco prendido en su cuarto?

Yo: Sí, pero de ninguna manera podría depender del foco prendido en el cuarto de Pedro; y lo mismo aplica para Pedro.

Amigo: Claro, pues además Juan no le puede preguntar a Pedro.

Yo: Exacto, ni Pedro a Juan, lo entendiste perfectamente. Ahora imagina que esta historia se repite todas las mañanas durante muchísimos años.

Amigo: ¡Pobres niños!

Yo: Sí, la historia corresponde a un experimento real que se haría sin niños.

Amigo: Y entonces, ¿por qué están en esta historia?

Yo: Porque el misterio es más evidente si uno lo ilustra con niños que se pueden poner de acuerdo.

Amigo: Te creeré.

Yo: Después de miles de repeticiones de este *experimento* y de recolectar los papelitos que escribieron los niños, transcribimos los resultados a una tabla similar a la *tabla 1* y al analizarla notamos que se cumplen cuatro reglas:

Regla 1: En *todos* los casos en que los focos prendidos fueron del mismo color (los dos rojos, los dos verdes o los dos azules), las respuestas de Juan y Pedro *coincidirón*, es decir, ambos escribieron *sí* o ambos escribieron *no* en sus respectivos papeles.

Regla 2: En los casos en que en un cuarto se prendió un

foco azul y en el otro un foco de otro color, las respuestas de Juan y Pedro *difirieron* (uno escribió *sí* y el otro escribió *no*) con una probabilidad de 1% (dicho de otra manera, coincidieron con una probabilidad de 99%).

Regla 3: En los casos en que prendió un foco verde y uno rojo, las respuestas de Juan y Pedro *difirieron* con una probabilidad de 4% (coincidieron con una probabilidad de 96%).

Regla 4: Las respuestas de Juan (y de Pedro) por sí solas son absolutamente azarosas, la mitad *sí's* y la otra mitad *no's*, y sin orden alguno.

Amigo: A ver si entiendo: si de entre todas las repeticiones tomo diez mil casos en que prendió un foco azul y otro rojo, de acuerdo con la regla 2, en 9,900 de ellas las respuestas de los niños serían iguales y en las otros 100 serían diferentes, mientras si tomo diez mil en que prendió un foco verde y otro rojo, de acuerdo con la regla 3, en 9,600 las respuestas serían iguales y en las 400 restantes serían distintas.

Yo: En promedio *sí*, pero recuerda que las reglas mencionan *probabilidades*, por lo cual los números pueden *fluctuar* alrededor de sus promedios.

Amigo: No lo había pensado, pero ahora está claro. Lo que no veo es el misterio profundo. Los niños se han de haber puesto de acuerdo antes de separarse para que sus respuestas coincidan tantas veces como establecen las reglas que mencionas. Es algo ¡que no ha de requerir el menor esfuerzo!

Yo: Muy bien. Si eso piensas, ¡intenta adivinar cuál pudo ser el acuerdo entre los niños! (*Le sugiero al(a) lector(a) que también lo intente antes de seguir leyendo*).

Amigo: Vamos por pasos: empecemos con la Regla 1. Para que sus respuestas sean las mismas cada vez que prendan focos del mismo color, los niños deben haber acordado qué contestarían *para cada uno* de los tres colores. Por ejemplo, podrían acordar un día que elegiría un *sí* a quien le toque azul o rojo y un *no* a quien le toque verde. Así, si a ambos les toca el mismo color, ambos escribirán la misma respuesta.

Yo: De acuerdo. ¿Podrían permitirse dejar un color sin definir la correspondiente respuesta? Por ejemplo ¿no acordar el caso del rojo?

Amigo: No, porque entonces no podrían garantizar que contestarían lo mismo de tocarles rojo a ambos y violarían la Regla 1. Por esto deben siempre tener *certeza* sobre lo que contestarán. Tampoco puede admitirse que Juan o Pedro se desvíen de vez en cuando de lo acordado.

Yo: Hasta ahora nos entendemos bien. Ahora, ¿qué pueden acordar para cumplir la regla 2?

Amigo: Fácil. Podrían ponerse de acuerdo primero en qué respuesta darían de tocarles el color azul, *sí* o *no*. Esta decisión podría ser al azar, echando volados, pero la deben tomar juntos, antes de separarse y dirigirse a sus cuartos, para no violar la regla 1. Después podrían acordar la respuesta que darían para el color verde, pero deberán elegir la respuesta de tal forma que coincida con 99% de probabilidad con la que dieron para el color azul y obviamente, que difiera con una probabilidad de 1%. Por ejemplo, uno de ellos podría cerrar los ojos y extraer una bola de una bolsa con 99 bolas negras y una bola blanca y acordar la misma respuesta que para el azul si la bola extraída es negra y la respuesta opuesta si la bola extraída es blanca. Similarmente podrían acordar la respuesta correspondiente al color rojo. Entonces, si a Juan le toca el azul y a Pedro el verde, darán respuestas distintas con probabilidad de uno entre cien. Con esto lograrían satisfacer la regla 2 y seguirían cumpliendo la regla 1.

Yo (sonriendo): Ya casi llegas... Sólo falta asegurar que se cumpla la regla 3.

Amigo: ¡No me gusta tu sonrisa! No soy tan tonto como crees y bien veo la bronca en qué me estás metiendo (*Y tú, querido(a) lector(a) ¿ya vislumbras el problema? ¡Piénsalo tantito!*).

Yo: ¿Cuál bronca?

Amigo: Déjame escribir una posible serie de respuestas elegidas para los casos en que el foco prendido sea el azul. Por ejemplo, *sí, no, no, sí, sí, no, no, sí, no, no, no...* Las respuestas correspondientes al verde deben diferir de esta serie en 1% de los casos, y lo mismo debe pasar con la serie de respuestas correspondientes al rojo. Pero entonces la serie correspondiente al verde y la correspondiente al rojo serían iguales entre sí excepto en aquellos casos en que una o la otra (pero no las dos) difieran del correspondiente caso azul, *a lo sumo ¡en dos por ciento de los casos! Y la regla 3 dice que se ven diferencias en cuatro por ciento de los casos. ¡Esto sí que no es posible!*

Yo: Sí es posible, pero no con arreglos previos entre Juan y Pedro. Las tres reglas se ven inocuas, pero *son imposibles de cumplir usando comunicación clásica*.

Amigo: Y esto ¿con qué se come?

Yo: No se pueden cumplir como sugeriste que habrían hecho Juan y Pedro: comunicando sus intenciones de contestar y ajustando sus respuestas antes de llegar a los cuartos; llevando instrucciones preestablecidas sobre qué hacer para cada color. Lo podrían haber logrado si en cada cuarto hubiera habido un teléfono y se hubieran puesto de acuerdo *después* de ver los colores... Pero supusimos que no había comunicación: en la jerga, supusimos *localidad*.

Amigo: Pero en este caso no había forma de comunicarse, así que ¿cómo lo podrían haber hecho sin usar teléfonos?

Yo: La única manera es que ambos, Juan y Pedro, hubiesen contado con cierto aparatito que funcionara con base a la *mecánica cuántica* y que determinara sus respuestas. Lo maravilloso de esa rama de la física es que permite hacer cosas asombrosas que, como lo decías al principio, *parecen mágicas*.

Amigo: Eso de los aparatitos me suena a trampa. Seguramente el de Juan se comunicaría con el de Pedro y le permitiría a un niño conocer el color que le tocó al otro, igual que si hubiesen hablado por teléfono.

Yo: No es esto. Estos aparatitos *no* se comunican entre sí y funcionarían aunque los niños se alejaran a distancias astronómicas tales que la información sobre el color que ve Juan no pudiera llegarle a Pedro antes de que anote su respuesta, ni siquiera si dicha información viajara a la velocidad de la luz.

Amigo: ¡Órale! ¿Y podrías explicarme cómo funcionan esos "aparatitos"?

Yo: Realmente, no. Eso sí necesitaría el uso de matemáticas. Te podría decir que cada uno guarda una de dos partículas (como un fotón o un electrón) en un *estado cuántico enredado* y que de acuerdo al color, cada niño mediría alguna componente de su *polarización* antes de contestar, pero quizás esa palabrería solo te confundiría. Lo importante es que funcionan sin que *comuniquen* cosa alguna entre sí, sin pasar información sigilosamente de un cuarto al otro. Más bien, el aparatito actúa de una manera que *no es explicable* en el lenguaje cotidiano. Vemos que dos series de respuestas, completamente azarosas (recuerda la Regla 4) tienen relaciones inexplicables. Sin embargo, precisamente por ser azarosas, no contienen información transferida de Juan a Pedro ni de regreso: sea lo que sea, no es comunicación.

Amigo: Pero entonces, ¿cuál es la explicación? ¿Será que no lo sabes?

Yo: No lo sé, amigo. Pero sí resulta útil. Ideas similares permiten, por ejemplo, mandar una clave de un lugar a otro teniendo la certeza que nadie la intervino. Los bancos ya pronto lo usarán.

Amigo: ¡A lo mejor no eres el único que no entiende lo

Tab

No.

551

552

553

554

555

556

557

558

559

560

561

562

563

564

565

ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS, A.C.

¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTÁCTANOS: editorial@acmor.org.mx



un amigo

que hacen los bancos! Y ¿dónde puedo aprender más de todo esto?
Yo: Busca "desigualdades de Bell" en la red, o lee el artículo de Mermin, N. D. *Spooky Actions at a Distance* (Fantasmales acciones a distancia) (1981), *American Journal of Physics*, volumen, 49 (número 10), pgs. 940-943.

la 1

Juan	Pedro	Juan	Pedro
Color	Palabra	Color	Palabra
Verde	No	Verde	No
Azul	Sí	Rojo	Sí
Verde	No	Verde	No
Azul	No	Rojo	Sí
Azul	No	Azul	No
Rojo	No	Verde	Sí
Verde	Sí	Rojo	No
Verde	No	Verde	No
Azul	Sí	Azul	Sí
Azul	Sí	Verde	Sí
Verde	Sí	Rojo	Sí
Rojo	No	Azul	No
Rojo	No	Verde	Sí
Azul	Sí	Verde	Sí
Verde	No	Verde	No

Pie de tabla:

Pequeño fragmento de una tabla larguísima como la descrita en el artículo, aunque con probabilidades de diferir mayores, de 33% y 66% en lugar de 1% y 4%, para poder ilustrar todos los resultados posibles. Notamos que en todos los renglones en que ambos colores son iguales (como el 551, 553, 555, 558, 559, 565) ambas respuestas, la de Juan y la de Pedro, coinciden. En algunos renglones con un color azul y algún otro color las palabras coinciden (552, 560, 562, 564) pero en otros (554) difieren. Análogamente, en los renglones con rojo y verde, a veces coinciden (561) y a veces difieren (556, 557, 563). Si sólo vemos las palabras elegidas por Juan o las elegidas por Pedro (tercera y última columna) la secuencia de sí's y no's será aleatoria, con cada respuesta apareciendo en promedio la mitad de las veces. Las secuencias de parejas de colores son aleatorias también. Para estimar las probabilidades correspondientes se requiere un fragmento de la tabla mucho más largo.



2ª JORNADA DE INNOVACIÓN Y EMPRENDIMIENTO

en el Campus Morelos de la UNAM

Instituto de Biotecnología - Auditorio Francisco Bolívar Zapata
Jueves 23 de junio, 2016 | 9:00 a 14:00 hrs.

APERTURA

<p style="color: orange; font-weight: bold;">9:00 - 9:05</p> <p>Bienvenida Dr. Enrique Galindo, Secretario de Vinculación del IBT</p>	<p style="color: orange; font-weight: bold;">9:05 - 9:15</p> <p>Presentación de la reunión M.C. Grecia Fuentes Coordinadora del Club de empresas Spin-offs del Campus Morelos de la UNAM</p>
--	---

PONENTES

<p style="color: orange; font-weight: bold;">9:15 - 10:00</p> <p>Dr. Rodrigo Roque Díaz Asesor legal del Foro Consultivo Científico y Tecnológico, Socio en Lozano Gracia Abogados, S.C. <i>"Nuevo marco legal de vinculación"</i></p>	<p style="color: orange; font-weight: bold;">11:45 - 12:15</p> <p>Mtra. Sandra Sainz Heredia Socia Administradora de SV Latam Fund, Fondo de Venture Capital <i>"Capital Emprendedor, Innovación y Crecimiento Económico"</i></p>
<p style="color: orange; font-weight: bold;">10:00 - 10:30</p> <p>Dr. Leonardo Ríos Guerrero Dir. General de la Oficina de Transferencia de Conocimientos UAEM Universidad Autónoma del Estado de Morelos <i>"La Transferencia de Conocimientos en las Universidades Públicas: El Caso de la UAEM"</i></p>	<p style="color: orange; font-weight: bold;">12:15 - 12:35 CAFE</p> <p style="color: orange; font-weight: bold;">12:40 - 13:10</p> <p>Mtro. Mario Mendieta Serrano Estudiante de Doctorado del Instituto de Biotecnología UNAM <i>"Emprender desde la ciencia básica: experiencia de un estudiante del Instituto de Biotecnología-UNAM"</i></p>
<p style="color: orange; font-weight: bold;">10:30-11:00</p> <p>Dr. Miguel Ángel Gómez Lim Investigador 3E, SNI III, Cinvestav – Centro de Inv. y de Estudios Avanzados, Unidad Irapuato <i>"Las proteínas recombinantes: interés académico y comercial"</i></p>	<p style="color: orange; font-weight: bold;">13:10 - 13:40</p> <p>Dr. Leobardo Serrano Carreón Investigador del Instituto de Biotecnología-UNAM <i>"Investigadores vueltos empresarios, para lograr comercializar un biofungicida: la historia del desarrollo de Fungifree AB®"</i></p>
<p style="color: orange; font-weight: bold;">11:00 a 11:15 CAFE</p> <p style="color: orange; font-weight: bold;">11:15 - 11:45</p> <p>Dra. Karla Cedano Villavicencio Dir. General de InnoBa, el Centro Lavin para el Desarrollo de Innovación y Transferencia Tecnológica <i>"Gestión de Innovación Basada en Ciencia a la Mexicana: Casos exitosos de generación de conocimiento sobre innovatividad."</i></p>	<p style="color: orange; font-weight: bold;">COMENTARIOS FINALES</p> <p style="color: orange; font-weight: bold;">13:45 - 14:00</p>

ENTRADA LIBRE CUPO LIMITADO



MAYORES INFORMES:
[CIVT: Unidad de Innovación y Transferencia Tecnológica](#) | [Unidad Consultiva México](#)
[Instituto de Biotecnología UNAM](#)

