



## Partículas enmarañadas

Luis Estrada

La física cuántica se ha distinguido por mostrar aspectos extraños de la naturaleza. Esto podría no parecer sorprendente ya que esa disciplina se avoca a la exploración del mundo microscópico, lugar muy alejado de la experiencia de la vida cotidiana. Es importante señalar que esa ciencia ha sido la base para formar la visión actual del universo y que ésta ha sido muy aceptada. Sin embargo los fenómenos cuánticos siguen siendo sorprendentes aún para los mismos científicos.

El extraño mundo cuántico ha puesto de manifiesto el enmarañamiento de partículas, situación en la cual las interacciones entre ellas parecen ser imposibles de localizar y actúan en forma instantánea. El descubrimiento de este fenómeno tuvo su origen en 1935 cuando Albert Einstein publicó, con la colaboración de Boris Podolsky y Nathan Rosen, un artículo en el que cuestionaban si la teoría cuántica era completa planteando un efecto que, de acuerdo con el sentido común, parecía tener una explicación paradójica. Este fenómeno se conoce ahora, honrando a sus autores, como el efecto EPR.

La física cuántica establece que hay limitaciones en la medición de las características del movimiento de las partículas. En especial el principio de indeterminación de Heisenberg prescribe que no se pueden determinar con toda precisión y simultáneamente, la posición y la velocidad de una partícula. El efecto EPR surgió del intento de encontrar fallas en tal prescripción.

Para describir esa tentativa consideremos un sistema de dos partículas idénticas que estando juntas y en reposo, se hacen repeler para que se alejen entre sí. Lo que se esperaría es que su movimiento se realizara con velocidades de la misma magnitud pero de sentido contrario. Para determinar la posición y la velocidad de esas partículas se espera a que ellas se alejen mucho y entonces se miden la posición de una y la velocidad de la otra, con lo cual se puede obtener la determinación completa de sus características de movimiento.

Lo esencial de la propuesta de Einstein, Podolsky y Rosen es aprovechar que si la separación de las partículas es lo suficientemente grande, la medición de las características de una no pueda ser influida por la medición realizada en la otra, ya que sabemos que la propagación de las interacciones toma tiempo (no puede superar la velocidad de la luz). Esta razón, la independencia de las mediciones distantes, fue llamada el "realismo local" y Einstein fue un gran defensor de esa causa.

Resumiendo lo dicho el efecto EPR permite, de acuerdo con sus autores y gracias al realismo local, determinar la posición y la velocidad de las partículas con toda precisión. Sin embargo para la física cuántica la situación es diferente ya que ese especial movimiento de las partículas se debe al modo como se originó y esto debe ser tomado en cuenta. Si inicialmente su distancia y su velocidad relativas son cero, las partículas estuvieron originalmente relacionadas en forma definida

y su situación posterior debe conservar tal relación. Esta situación constituye lo que ahora se designa como un “estado enmarañado” y éste es el que debe estar sujeto a las leyes de la física cuántica. Por lo tanto la indeterminación de la posición y la velocidad de las partículas es ineludible y el "realismo local" no sucede.

Las discusiones acerca de este fenómeno forman una parte muy interesante de la historia y del anecdotario de la mecánica cuántica, siendo las más conocidas las que tuvieron Einstein y Niels Bohr acerca de la interpretación de esa teoría. Sin entrar en esas controversias puede señalarse que la gran dificultad para dilucidar el caso fue la imposibilidad de realizar el efecto EPR en un laboratorio y cuestionar directamente a la naturaleza, como se hace en todo estudio científico. Es importante señalar que el mayor problema siempre fue aceptar la posibilidad de la existencia de interacciones lejanas e instantáneas, de "acciones fantasmagóricas" como las llamó Einstein.

En 1954 un físico irlandés, John S Bell, replanteó el problema y propuso cómo hacer un experimento para probar la validez del realismo local. El fondo de su propuesta fue más profundo que la verificación de la física cuántica y en 1982 un grupo de científicos, encabezado por Alain Aspect, realizó el experimento en un laboratorio francés, empleando partículas luminosas, fotones. El resultado fue completamente favorable a las predicciones de la física cuántica.

La extraña naturaleza de los estados enmarañados dificulta todavía su completa aceptación y promueve nuevos experimentos para comprenderlos. Para precisar el problema conviene señalar que en un estado enmarañado de dos partículas la situación global está perfectamente definida aunque el estado de cada una de las partículas esté indefinido. En otras palabras, la información disponible de un estado enmarañado se refiere a las correlaciones entre las dos partículas sin especificar nada acerca de la situación particular de cada una de ellas.

Es fácil notar que entre las dificultades para comprender el enmarañamiento de partículas está que los experimentos han sido realizados con corpúsculos cuya imagen es en sí extraña, como sucede con los fotones que han sido las partículas más empleadas para realizar los experimentos. Por ello es importante mencionar ahora que, a fines del pasado mes de febrero se publicó, en la prestigiada revista científica *Nature*, otro experimento con partículas enmarañadas, en el que los corpúsculos empleados fueron partículas más cercanas a las del mundo ordinario y, por tanto, con un comportamiento más fácil de entender. El experimento se realizó con un par de iones de berilio y el resultado fue lo esperado: nuevamente quedó claro que en la naturaleza hay efectos no locales por lo que el realismo local no tiene efecto. Otra conclusión que puede derivarse del éxito de ese experimento es la necesidad de seguir haciendo esfuerzos para entender mejor el mensaje de la física cuántica, en especial el significado de sus extrañas predicciones.