



# SIMETRÍAS:

## Un Cambio de Paradigma

Escrito por Wilfredo Yupanqui Carpio

Desde que la humanidad desarrolló la capacidad de razonar, ha intentado comprender cómo funciona y de qué está hecho el mundo que la rodea. En su afán por responder a estas preguntas, se ha descubierto que el universo en el que habitamos es mucho más fascinante de lo que parece a simple vista. Uno de los descubrimientos que cambió el paradigma de nuestro entendimiento fueron las “**simetrías**”, que gobiernan las leyes fundamentales de nuestro universo y que pueden condensarse en una única fórmula matemática maestra.

La búsqueda de esta fórmula comenzó en Cambridge a finales de los años 20, liderada por **Paul Dirac**, un genio que, a los 30 años, fue nombrado profesor lucasiano en la Universidad de Cambridge, una distinción que también ostentaron figuras como Isaac Newton y Stephen Hawking. Dirac se centró inicialmente en los electrones, la única partícula

elemental descubierta hasta ese momento. Los electrones se describen mediante una fórmula conocida como la ecuación de Schrödinger, la cual permitía calcular su energía. Sin embargo, había ciertas características de los electrones que esta ecuación no podía explicar.

Para encontrar una fórmula que describiera correctamente a los electrones, Dirac se guió por su sentido de la estética, afirmando que **"las leyes físicas deben tener belleza matemática"**. Para los físicos, la belleza se equipara con la simetría; una fórmula es bella cuando permanece inalterada desde diferentes puntos de vista. En este sentido, podemos afirmar que las leyes de la naturaleza no cambian ni en forma ni en contenido cuando modificamos nuestra perspectiva de manera específica.

En un ensayo publicado en 1928, Dirac presentó su ecuación, conocida como la **ecuación de Dirac**. Esta fórmula, sencilla en apariencia, poseía la simetría de Lorentz, relacionada con la teoría de la Relatividad Especial de Einstein, que describe cómo el tiempo y el espacio son, en esencia, lo mismo. La ecuación de Dirac era notablemente eficaz, ya que lograba explicar con precisión las misteriosas propiedades de los electrones, incluyendo su movimiento y magnetismo. En contraste, la ecuación de Schrödinger carecía de la simetría de Lorentz, lo que provocaba que cambiara significativamente cuando se observaba desde un punto de vista diferente.

Posteriormente, se descubrió que la ecuación de Dirac también se aplicaba a otras partículas elementales, como los neutrinos y los quarks, que serían descubiertos más adelante. Así, al incorporar diferentes tipos de simetría, se llegó finalmente a una fórmula que explicaba de manera perfecta las propiedades de las partículas elementales.

El siguiente desafío al que se enfrentaron los físicos fue encontrar las fórmulas que describieran tres de las **cuatro fuerzas fundamentales** que unen y mueven a las partículas: la fuerza electromagnética, la fuerza débil y la fuerza fuerte. Primero se abordó la más conocida, la

fuerza electromagnética, que atrae a los electrones hacia el núcleo y une átomos para formar diversas sustancias.

En la década de 1930, Robert Oppenheimer y sus contemporáneos dirigieron su atención a un tipo particular de simetría conocida como **simetría gauge**, un concepto complejo que, en términos simples, es comparable a la simetría rotacional. Por ejemplo, si imagináramos un transportador en cada punto del espacio para medir la magnitud del electromagnetismo, la fórmula permanecería inalterada aunque se cambiara el ángulo en el transportador. Así, surgió una nueva fórmula que puede considerarse como una versión evolucionada de la ecuación de Dirac. Esta fórmula incorporaba las cuatro simetrías fundamentales (rotacional, traslacional, de Lorentz y gauge) y era capaz de explicar las propiedades de la fuerza electromagnética.

La fórmula describía cómo los electrones interactúan al emitir partículas de luz llamadas fotones y cómo se conectan al núcleo, postulando que son estas partículas las que transmiten la fuerza. Sin embargo, cuando se realizaron los cálculos, los resultados indicaron que la **energía de los electrones era infinita**, lo que implicaba que la materia no podría existir. Este problema fue resuelto por el físico japonés **Shinichiro Tomonaga**, quien, en un artículo publicado en la revista *Physical Review*, presentó un nuevo método de cálculo que superaba con éxito el problema del infinito. La fórmula desarrollada por Tomonaga y otros físicos permitió realizar cálculos cuyos resultados coincidían con los hallazgos experimentales con una precisión de 10 decimales, manteniendo la belleza de la simetría postulada por Dirac.

A principios de los años 50, los físicos dirigieron su atención hacia la interacción nuclear fuerte, que mantiene unidos los quarks que conforman el núcleo, y al estudio de la interacción débil, que permite que los neutrinos escapen del núcleo. Nuevamente, la búsqueda de fórmulas para estas fuerzas estuvo guiada por la belleza de la simetría. El físico Chen Ning Yang, en particular, se centró en este aspecto en su investigación.

Yang descubrió un nuevo tipo de simetría en el núcleo, conocida como **simetría gauge no abeliana**. En 1954, publicó su trabajo de investigación

en colaboración con su colega R. L. Mills. Juntos, incorporaron este nuevo tipo de simetría gauge y desarrollaron una fórmula para la fuerza que actúa entre las partículas, avanzando así en el campo de la electrodinámica cuántica.

La **fórmula de Yang** era realmente elegante; sin embargo, sugería que las **partículas portadoras** de las interacciones fuertes y débiles **no tenían masa**, sin importar cómo se calculara. Esta predicción se apartaba claramente de la realidad, ya que se sabía que solo los fotones carecían de masa, mientras que los bosones W y Z se suponía que tenían masa.

Los avances posteriores en la investigación de la simetría revelaron que no solo las partículas portadoras de fuerza, sino todas las partículas elementales, aparentemente tenían masa cero, al menos según las fórmulas matemáticas. Si todos los átomos hubieran adoptado este estado de perfecta simetría, en el que todas las partículas tuvieran masa cero, se habrían desintegrado, y todas las partículas se habrían dispersado a la velocidad de la luz. Esto habría llevado a la inexistencia de la química y la biología.

En los años 60, en Chicago, Estados Unidos, el físico **Yoichiro Nambu** resolvió el misterio de la masa cero de los quarks al introducir el concepto de "**ruptura espontánea de la simetría**". Este concepto, que más tarde le valdría el Premio Nobel, postulaba que es posible que existan simetrías en las leyes de la naturaleza que no sean respetadas por los fenómenos físicos. En 1961, Nambu presentó sus hallazgos y demostró que la belleza perfecta de las simetrías estaba destinada a desmoronarse, dando origen a la masa de los quarks, los cuales experimentan la interacción nuclear fuerte.

A continuación, solo faltaba atribuir masa a los electrones, neutrinos y partículas de interacción débil. Stephen Weinberg, Abdus Salam y Sheldon Glashow, trabajando con la idea de la ruptura espontánea de la simetría de Nambu, demostraron que, al igual que los quarks, la belleza matemática se rompe espontáneamente, permitiendo que las partículas elementales y las partículas portadoras de fuerza adquieran masa. Por este descubrimiento, recibieron el Premio Nobel de Física en 1979.

El responsable de esta ruptura de simetría es un campo asociado al **bosón de Higgs**, descubierto en el CERN el 4 de julio de 2012. Este campo se extiende por todo el universo y su efecto se puede interpretar como una resistencia al movimiento de las partículas; en efecto, la dificultad para moverse es lo que experimentamos como masa. El trabajo de investigación que sirvió de referencia para este descubrimiento fue el de Peter Higgs, quien recibió el Premio Nobel de Física en 2013.

Finalmente, contamos con una única fórmula del modelo estándar que explica los cuatro tipos de partículas elementales y tres de las cuatro fuerzas fundamentales del universo. Sin embargo, aún queda una gran incógnita por resolver: **la fuerza gravitatoria**.

Si no se considera esta fuerza, nunca se podrá descubrir la fórmula definitiva que unifique todos los aspectos fundamentales del universo.