

# REALISMO ESTRUCTURAL ÓNTICO: ¿RELACIONES SIN RELATA?

**Ignacio Rojas\***  
([ignacio.rojas.h@gmail.com](mailto:ignacio.rojas.h@gmail.com))

## RESUMEN

El presente artículo tiene como objetivo estudiar la concepción ontológica planteada por el Realismo Estructural Óntico (REO), la que, a grandes rasgos, postula que el foco ontológico debiese estar puesto en las relaciones y no en los objetos. Esto, a su vez, constituiría una interpretación realista de las teorías físicas actuales. Como una posible defensa a la postura planteada por el REO, se estudiará el concepto de relaciones no-supervinientes y se afirmará que son este tipo de relaciones las que adquieren un carácter fundamental en Mecánica Cuántica, como, por ejemplo, en fenómenos como el denominado entrelazamiento cuántico (entanglement).

**Palabras clave:** realismo estructural óntico; ontología; relaciones; relata; mecánica cuántica; entrelazamiento cuántico.

## ABSTRACT

The aim of this work is to study the ontological thesis defended by Ontic Structural Realism, which, in general, states that the ontological commitments should be focused in the relations and not on objects. This would be a more coherent realist stance towards modern physical theories. In first place we will study the ontological conception defended by the Ontic Structural Realism, which, broadly speaking, postulates that the ontological focus should be placed on relations rather than on objects. This, in turn, would constitute a realistic interpretation of the current physical theories. Secondly, as a possible defense to the position stated by Ontic Structural Realism, the concept of non-supervenient relations will be studied and it will be argued that it is this type of relations that acquires a fundamental character in Quantum Mechanics, as, for example, in phenomena such as the so-called quantum entanglement.

**Key Words:** ontic structural realism; ontology; relations; relata; quantum mechanics; entanglement.

Fecha de Recepción: 05 / mayo / 2018

Fecha de Aceptación: 01 / septiembre / 2018

\*: Magíster en Filosofía de las Ciencias, Universidad de Santiago de Chile - Grupo de Causalidad Usach. Este artículo corresponde a una síntesis de la tesis escrita por el autor para optar al título de Magíster en Filosofía de las Ciencias de la Universidad de Santiago de Chile.

## Ontología estructuralista: relaciones, no objetos

Dado que las estructuras sobre las que el REO propone fundar su compromiso ontológico realista comúnmente son concebidas como relaciones entre objetos, la objeción natural contra este proyecto consiste en observar que resulta incoherente postular una ontología basada en relaciones, ya que estas dependen de los objetos portadores de propiedades, entidades usualmente consideradas como fundamentales. Esta visión, que ha sido bautizada por P. Teller (1989) como 'particularismo', es posible encontrarla de manera refinada en la doctrina establecida por D. Lewis (1986):

"La superveniencia humeana es llamada así en honor al gran negador de las conexiones necesarias. Es la doctrina según la cual todo lo que hay en el mundo es un vasto mosaico de cuestiones de hecho locales particulares, solo una pequeña cosa y luego otra. [...] Tenemos la geometría: un sistema de relaciones externas de distancia espacio-temporal entre puntos. Tal vez los puntos del espacio-tiempo mismo, tal vez trozos de materia puntuales o éter o campos, tal vez ambos. Y en estos puntos tenemos cualidades locales: propiedades intrínsecas perfectamente naturales que no requieren nada más grande que un punto para ser instanciadas. En breve: tenemos distribución de cualidades. Y eso es todo. No hay diferencia sin diferencia en la distribución de cualidades. Todo lo demás superviene en eso." (Lewis, 1986, p. ix).

Es interesante notar, en primer lugar, que esta doctrina sintetiza claramente la concepción tradicional que caracteriza a las relaciones como secundarias y derivadas de las propiedades poseídas por objetos ontológicamente robustos y, en segundo lugar, que la concepción geométrica que sustenta la doctrina de Lewis entra en directo conflicto con la geometría esbozada en el programa de Erlangen de F. Klein, la que se encuentra en la base del desarrollo de la teoría de grupos, que, a su vez, sustenta la posición estructuralista defendida por el REO. Sin embargo, nuestro análisis del pasaje anterior se centrará en defender la concepción de acuerdo a la cual las relaciones postuladas por el REO como ontológicamente fundamentales son relaciones no-supervinientes, de manera que no pueden ser articuladas en un marco como el propuesto por Lewis.

El concepto de relaciones no-supervinientes fue definido por Cleland (1984), de acuerdo a quien, es posible definir dos tipos de relaciones: las supervinientes y las no-supervinientes. Son dos las condiciones que definen a una relación como **superviniente**:

- a) Es necesario que propiedades monádicas sean instanciadas.
- b) La relación es necesariamente determinada por las propiedades monádicas de los relata.

Así, la primera condición establece que para instanciar una relación es necesario que preexistan relata autónomos, caracterizados laxa pero tradicionalmente como portadores de propiedades monádicas, y la segunda determina que dos objetos que instancian ciertas propiedades monádicas están relacionados por una misma relación. Estos relata, a su vez, son los que establecen la base sobre la cual las relaciones supervienen. Por otra parte, de acuerdo a Cleland, existen dos tipos de relaciones no-supervinientes:

- a) **No-supervinientes débiles**: respetan condición a) pero no respetan condición b).

b) **No-supervinientes fuertes:** no respetan ni condición a) ni b).

Para caracterizar a las relaciones no-supervinientes débiles, podemos tomar como ejemplo la relación 'estar a una distancia  $d$  de...', donde se pueden considerar dos objetos comunes cualquiera localizados a una distancia  $d$  entre sí: la relación de distancia espacial  $d$  no está determinada por, o no superviene en, las propiedades de dichos objetos, ya sea su forma, tamaño, etc. Lo interesante para nuestro trabajo es que el contexto físico más adecuado para caracterizar a las relaciones no-supervinientes fuertes lo constituye la Mecánica Cuántica. De acuerdo a Bitbol (1996), es posible estudiar las relaciones no-supervinientes fuertes investigando el concepto de entrelazamiento o 'entanglement', que ve reflejada su riqueza y complejidad en cuatro niveles distintos:

**Matemático:** el entrelazamiento cuántico o 'entanglement' se expresa por medio del álgebra de vectores de estado en el espacio de Hilbert.

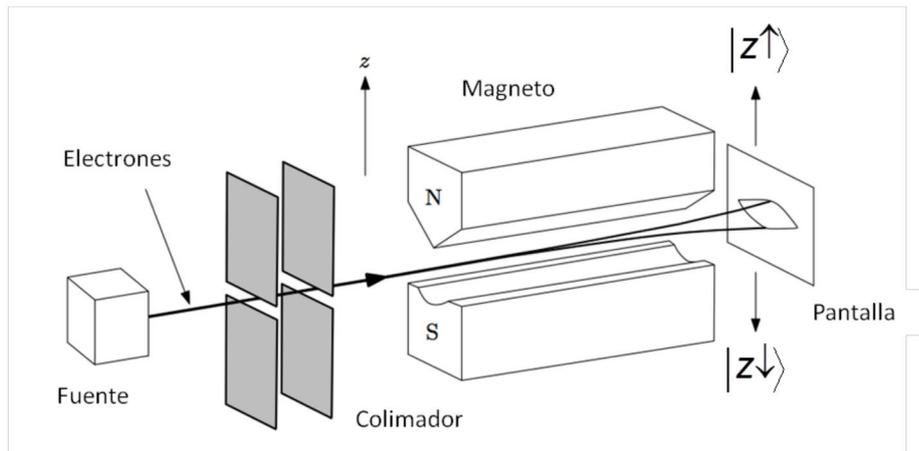
**Conceptual:** la no-separabilidad de los estados cuánticos describe la relación particular entre el estado global de un sistema y sus partes.

**Interpretativo:** la no-localidad es una explicación posible de la aparente causalidad a distancia corroborada experimentalmente en los experimentos tipo EPR.

**Experimental:** las correlaciones cuánticas corresponden a una peculiaridad de las probabilidades que se expresan en todo experimento a nivel cuántico.

De acuerdo a Maudlin (2007), el supuesto de la separabilidad de los sistemas físicos es lo que sustenta la posición metafísica elaborada en el pasaje anteriormente citado de Lewis, y que él sintetiza como la Doctrina 1 (Separabilidad): "El estado físico completo del mundo esta determinado por (o superviene en) el estado físico intrínseco de cada punto espacio-temporal (o cada objeto puntual) y las relaciones espacio-temporales entre esos puntos." (Maudlin 2007, p. 51). Y es este supuesto, como brillantemente intuyó Einstein en el famoso artículo EPR, el que pareciera entrar en conflicto con la Mecánica Cuántica. Siguiendo a Maudlin, esta teoría se formula utilizando la noción de función de onda para caracterizar a los sistemas cuánticos. Estas funciones de onda obedecen al Principio de Superposición, según el cual si  $A$  representa el estado cuántico de un sistema y  $B$  representa otro estado, entonces  $\alpha A + \beta B$  representa un tercer estado posible del sistema, donde  $\alpha$  y  $\beta$  son números complejos tal que  $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$ .

Si consideramos el estado del espín de electrones, el que se mide utilizando el dispositivo experimental introducido por Stern y Gerlach en 1922 (ver figura), se obtendrán dos valores posibles para una dirección espacial arbitrariamente determinada (por ejemplo, el eje  $z$ ), lo que se refleja experimentalmente en que los electrones son desviados ya sea hacia 'arriba' ( $|z \uparrow\rangle$ ) o hacia 'abajo' ( $|z \downarrow\rangle$ ).



**Figura 1:** Experimento de Stern y Gerlach

La plasticidad del formalismo cuántico permite que todo estado de espín de una partícula definido en una dirección cualquiera puede ser escrito como una superposición de los estados de espín 'arriba' y 'abajo' en otra dirección. De este modo, el estado de espín de un electrón en la dirección  $z$  puede ser expresado como una superposición de los estados de espín en la dirección  $x$  (ortogonal a la dirección  $z$ ):

$$|z \uparrow\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} |x \uparrow\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}} |x \downarrow\rangle$$

$$|z \downarrow\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} |x \uparrow\rangle - \frac{1}{\sqrt{2}} |x \downarrow\rangle$$

lo que expresa además que, si se mide el espín en la dirección  $x$  del electrón en el estado  $|z \uparrow\rangle$ , la probabilidad de obtener  $|x \uparrow\rangle$  es de  $1/2$ , idéntica probabilidad de obtener  $|x \downarrow\rangle$ .

De acuerdo a Maudlin, el ejemplo del estado del espín de las partículas se vuelve interesante cuando consideramos el estado de dos o más partículas, análisis que tiene importantes consecuencias en relación a la Separabilidad. Si se consideran los estados posibles para dos electrones, estos se pueden encontrar, por ejemplo, en una misma dirección,  $|z \uparrow\rangle_1 |z \uparrow\rangle_2$  (los subíndices se refieren a la partícula 1 y a la partícula 2, respectivamente) o en direcciones opuestas,  $|z \downarrow\rangle_1 |z \uparrow\rangle_2$ . Estos estados, llamados estados producto, "[...] asignan un estado de espín perfectamente determinado a cada una de las dos partículas, y el estado del [sistema] compuesto no es nada más que la suma lógica de los estados de los componentes." (Maudlin 2007, p. 56). Si en Mecánica Cuántica los sistemas compuestos solo estuvieran formados por estados productos, observa Maudlin, "[...] entonces la teoría cuántica no implicaría ninguna amenaza para la Separabilidad." (Maudlin 2007, p. 56). Sin embargo, debido al principio de superposición ya mencionado, es posible formar sistemas

compuestos a partir de la superposición de estados producto, método a partir del cual es posible obtener un estado cuántico de enormes implicancias, tanto físicas como metafísicas, y que juega un rol preponderante en los experimentos tipo EPR: el *estado singlete*. Este estado se formaliza de la siguiente forma:

$$\text{Singlete} = \frac{1}{\sqrt{2}} |z \uparrow\rangle_1 |z \downarrow\rangle_2 - \frac{1}{\sqrt{2}} |z \downarrow\rangle_1 |z \uparrow\rangle_2.$$

Sin embargo, también es posible obtener, vía superposición de estados producto, el estado  $m = 0$  Triplete, que se escribe

$$m = 0 \text{ Triplete} = \frac{1}{\sqrt{2}} |z \uparrow\rangle_1 |z \downarrow\rangle_2 + \frac{1}{\sqrt{2}} |z \downarrow\rangle_1 |z \uparrow\rangle_2.$$

Este tipo de estados son lo que, con mayor generalidad, se denominan como *estados entrelazados* o 'entanglement' y son los que capturan la no-localidad o no-separabilidad cuántica y, por lo tanto, son los que sustentan una de las más importantes innovaciones filosóficas de la Mecánica Cuántica. Esto, debido a que el sistema compuesto por el estado de dos partículas entrelazadas no es analizable a partir de los estados puros de cada uno de sus componentes.

La denominación de estado puro responde a que, en la literatura, este tipo de estados son los que describen completamente a un sistema cuántico, de modo que, en el caso del componente de espín de una partícula, si esta se encuentra en el estado  $|z \uparrow\rangle$ , por ejemplo, y se mide su espín en la dirección  $z$ , entonces el resultado que se obtendrá con certeza será  $|z \uparrow\rangle$ . Ahora, si consideramos dos electrones separados espacialmente a una misma distancia entre sí, que son descritos ya sea por el estado singlete o por el estado  $m = 0$  Triplete, estados compuestos por la superposición de dos estados 'producto', el primero como una resta y el segundo como una suma de ellos, y se interpreta que cada estado 'producto' le asigna un espín intrínseco a cada partícula, como, por ejemplo, que el estado  $|z \downarrow\rangle_1 |z \uparrow\rangle_2$  asigna el espín-arriba a la partícula 1 y el espín-abajo a la partícula 2 en la dirección  $z$ , de manera que el espín del sistema compuesto por ambas partículas estaría determinado completamente por el estado de cada partícula individual, es decir, sería posible aplicar el principio de Separabilidad en esta situación experimental, entonces resultaría imposible distinguir entre el estado singlete y el estado  $m = 0$  Triplete, ya que ambos están compuestos por estados 'producto' idénticos separados por una misma distancia espacial.

Debido a que las predicciones experimentales de estos estados entrelazados son diferentes entre sí, esta diferencia no puede ser explicada por el estado puro de cada partícula individual. De este modo, podríamos decir que ni el estado Singlete ni el  $m = 0$  Triplete supervienen en los estados de los electrones individualmente considerados, surgiendo así la no-localidad o, mejor, la no-separabilidad característica del mundo cuántico. Esto, de acuerdo a Maudlin, implica que "[...] ninguna teoría física que tome en serio a la

función de onda puede ser una teoría Separable. Si tenemos razón en creer que la teoría cuántica, o cualquier extensión de ella, es parte de una descripción verdadera del mundo, entonces tenemos razón en creer que el mundo no es Separable.” (Maudlin 2007, p. 61).

Ahora bien, así como podemos afirmar, junto con Maudlin, que los estados intrincados de la mecánica cuántica desafían directamente el principio de Separabilidad, también podemos interpretar que estos estados manifiestan un tipo de relación no-superviniente fuerte: como dijimos anteriormente, el estado global del estado de partículas intrincadas no superviene en las propiedades intrínsecas de sus componentes. En este sentido, y retomando un argumento planteado por Teller (1986), French y Krause sostienen que:

1) Los estados intrincados representativos de las correlaciones cuánticas no pueden ser reducidos a simples productos de la función de onda de cada partícula individual;

2) Un estado posee cierta propiedad si y solo si se encuentra en el estado propio correspondiente; entonces,

3) Un sistema que se encuentra en el estado propio representado por una superposición (o ‘entanglement’) posee una propiedad relacional que no puede ser reducida a una propiedad monádica de cada partícula.

Este argumento lleva a concluir que “[...] las relaciones ‘entrelazadas’ de la mecánica cuántica son fuertemente no-supervinientes con respecto a las propiedades no-relacionales o monádicas en general.” (French y Krause 2006, p. 187).

Como hemos visto, para establecer la posibilidad de considerar a las relaciones como ontológicamente fundamentales es viable articular en su defensa el concepto de relaciones no-supervinientes, cuyo ejemplo más significativo lo encontramos en los estados entrelazados característicos de la mecánica cuántica. Sin embargo, se podría contra argumentar que el fenómeno del entanglement es un ejemplo muy específico y particular, solo aplicable a situaciones experimentales como las de tipo EPR, por lo que resultaría excesivo construir una ontología del mundo físico a partir de una mera correlación estadística, la que además se podría explicar por medio de una no-localidad cuántica. Sin embargo, y más allá de lo problemático de esta estrategia que implica recurrir a una explicación que apela a algo así como una causa no-local que causa pero no causa las correlaciones experimentales, algunos autores consideran que la intrincación cuántica no es solo una propiedad exótica de los sistemas cuánticos, sino que una propiedad fundamental del mundo físico. Así, por ejemplo, E. Schrödinger, en reacción al artículo de Einstein, Podolsky y Rosen (EPR) de 1935, dirá que:

"Cuando dos sistemas, de los cuales conocemos sus estados por sus respectivas representaciones, entran en interacción durante un cierto tiempo debido a fuerzas conocidas entre ellos, y cuando luego de un tiempo de mutua influencia los sistemas se separan nuevamente, entonces no pueden ser descritos de la misma forma anterior, es decir, atribuyéndole a cada uno de ellos una representación propia. No llamaría a esto un sino más

bien el rasgo característico de la mecánica cuántica, el que refuerza su entera desviación de las líneas de pensamiento clásico." (E. Schrödinger, 1935, citado en M. Bitbol, 1996, p. 53.)

En este sentido, una de las consecuencias más importantes que implica la mecánica cuántica, que significativamente se desarrolla en el contexto filosófico anti-partículas adoptado por Schrödinger, y una de las posibilidades para enfrentar el problema conceptual que plantea el entrelazamiento cuántico consiste en "[...] reemplazar completamente la idea semi-clásica de partes que interactúan por la descripción vía funciones de onda de un sistema como un todo. No pluralidad de objetos, cada uno de ellos teniendo que estar en un estado: un estado global, punto." (Bitbol, 1996, p. 54).

## Consideraciones Finales

La idea de considerar a las relaciones como fundamentales, por sobre los relata, no solo desafía el cómo se han entendido tradicionalmente las relaciones en filosofía sino que ha sido utilizado como argumento para demostrar lo incoherente de adoptar una postura ontológica estructuralista. Sin embargo, apoyándose en los ejemplos analizados anteriormente provistos por la Mecánica Cuántica, es posible sostener que las relaciones no-supervinientes fuertes, cuya expresión física es el así llamado entrelazamiento cuántico, constituyen la mejor alternativa para entender los desafíos filosóficos planteados por el mundo subatómico. Así, podemos decir que la alternativa ontológica estructuralista, que concibe a las relaciones – no-supervinientes fuertes – como fundamentales, no solo es una posición coherente y bien articulada filosóficamente, sino que además encuentra sustento tanto en las observaciones experimentales como en una teoría física fundamental: la Mecánica Cuántica.

## Bibliografía

- Bitbol M., (2010). *De l'interieur du monde. Pour une philosophie et une science des relations*, Paris: Flammarion.
- Born, M., (1943). *Experiment and Theory in Physics*, Cambridge University Press.
- Cleland, C. "Space: An Abstract System of Non-Supervenient Relations", *Philosophical Studies*, Vol. 46 (1984): 19-40.
- French, S., (2014). *The Structure of the World: Metaphysics and Representation*. Oxford University Press.
- French, S. y Krause, D., (2006). *Identity in Physics: A Historical, Philosophical and Formal Analysis*, Oxford University Press.
- French, S. y Rickles, D., (2003). "Understanding Permutation Symmetry", en Brading, K. y Castellani, E. (eds.), *Symmetries in Physics: Philosophical Reflections*, (pp. 212-238), Cambridge University Press.
- Lewis, D., (1986). *On the Plurality of Worlds*, Oxford: Blackwell.
- Maudlin, T., (2007). *The Metaphysics Within Physics*, Oxford University Press.