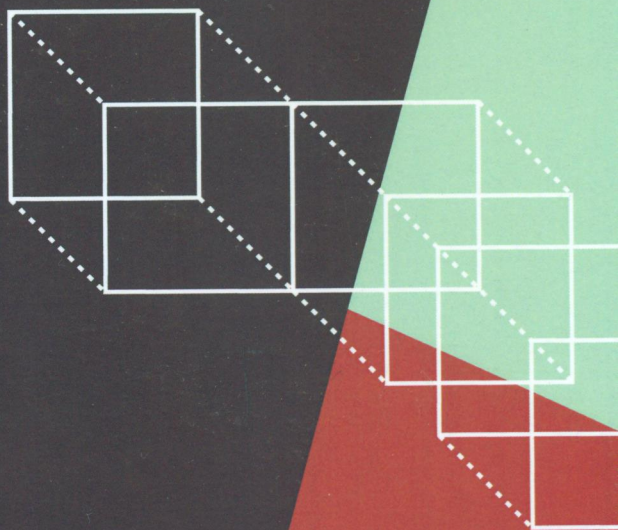


---

# Filosofía e Historia de la Ciencia en el Cono Sur

---

Selección de trabajos del VIII  
Encuentro de Filosofía e Historia  
de la Ciencia del Cono Sur



## Editores

---

Pablo Lorenzano  
Cláudio Abreu  
José Ahumada  
Lucía Federico  
Santiago Ginnobili  
María de las Mercedes O'Lery  
Luis Salvatico

# **FILOSOFÍA E HISTORIA DE LA CIENCIA DEL CONO SUR**

**Selección de trabajos del**

*VIII Encuentro de Filosofía e Historia de la Ciencia del Cono Sur*

**Editores**

Pablo Lorenzano

Cláudio Abreu

José Ahumada

Lucía Federico

Santiago Ginnobili

María de las Mercedes O'Lery

Luis Salvatico

© Todos los derechos reservados.

ISBN 978-987-707-026-2

## ÍNDICE

<b>Presentación</b> .....	v
<i>Los editores</i>	
<b>Definición de elemento químico: análisis histórico y filosófico</b> .....	1
<i>Salvador Pascual Alí, María Angélica Di Giacomo, Susana Gallardo y Marisol Montino</i>	
<b>Filosofia da Química: uma disciplina nascente no âmbito da Filosofia da Ciência</b> .....	9
<i>Nelson Rui Ribas Bejarano y Marcelo Eichler</i>	
<b>A fenomenotecnia bachelardiana e a Teoria da Relatividade</b> .....	15
<i>José Ernane Carneiro Carvalho Filho</i>	
<b>A natureza da matéria e a explicação cartesiana dos fenômenos meteorológicos</b> .....	23
<i>Paulo Tadeu da Silva</i>	
<b>Una perspectiva diacrónica en la estructura de la lógica cuántica</b> .....	31
<i>Sebastian Fortín y Leonardo Vanni</i>	
<b>La proliferación teórica de Paul Karl Feyerabend: una respuesta dialéctica al principio de complementariedad de Bohr</b> .....	41
<i>María Teresa Gargiulo</i>	
<b>La biología funcional del darwinismo y de la teología natural</b> .....	51
<i>Santiago Ginnobili</i>	
<b>La observabilidad: empirismo constructivo y ciencia</b> .....	59
<i>German Guerrero Pino</i>	
<b>¿Materia oscura o gravedad modificada? Un análisis del estatuto hipotético de las entidades teóricas de la Física</b> .....	65
<i>Alan Heiblum, María Alejandra Jiménez y Claudia Vanney</i>	
<b>Historias cuánticas y procesos de decaimiento</b> .....	71
<i>Marcelo Losada y Roberto Laura</i>	
<b>Los supuestos teológicos del orden natural en Francis Bacon</b> .....	79
<i>Silvia Manzo</i>	
<b>La naturaleza de las emociones, entre la cognición y la percepción</b> .....	85
<i>Andrea Florencia Melamed</i>	
<b>Causalidad y explicación homológica</b> .....	93
<i>Julio Torres Meléndez</i>	
<b>Causalidade na física: repensando a controvérsia entre Schrödinger, Born e Bohm</b> .....	101
<i>Caroline Elisa Murr</i>	
<b>Experimentación en economía sobre racionalidad humana:</b>	

<b>el contexto del dilema del viajero</b> .....	109
<i>Rodrigo Moro y Esteban Freidin</i>	
<b>Um estudo sobre a visão de ciências e educação em Marie Curie</b> .....	115
<i>Ingrid Nunes Derossi y Ivoni Freitas-Reis</i>	
<b>La controversia Harman-Gerschman y la invisibilidad de las revoluciones científicas</b> ....	123
<i>María de las Mercedes O’Lery</i>	
<b>Ciência social e senso comum: O fracasso do naturalismo e a improficuidade do compreensivismo</b> .....	131
<i>Alberto Oliva</i>	
<b>Conciliando a neutralidade e a carga teórica das observações</b> .....	143
<i>Oswaldo Pessoa Jr.</i>	
<b>Uma axiomatização operacional da teoria quântica</b> .....	149
<i>Oswaldo Pessoa Jr.</i>	
<b>Las explicaciones psicológicas por análisis funcional frente a la encrucijada de las explicaciones neurocientíficas mecanicistas... ¿O viceversa?</b> .....	157
<i>Adrián Omar Ramírez</i>	
<b>Modelos incompatibles y relaciones interteóricas en la física contemporánea</b> .....	165
<i>Claudia Vanney</i>	

# Presentación

La *Asociación de Filosofía e Historia de la Ciencia del Cono Sur* (AFHIC) es una asociación sin fines de lucro, fundada el 5 de mayo de 2000, en Quilmes, Argentina, durante el acto de clausura del *II Encuentro de Filosofía e Historia de la Ciencia del Cono Sur*.

La creación de esta Asociación resultó del interés en profundizar el intercambio entre los investigadores en filosofía e historia de la ciencia de los países del Cono Sur, a partir de los dos primeros encuentros celebrados en Porto Alegre (Brasil, 1998) y Quilmes (Argentina, 2000), realizándose desde entonces tales encuentros de forma bienal y bajo su responsabilidad.

El objetivo principal de AFHIC es contribuir a un mejor conocimiento de la ciencia desde una perspectiva tanto filosófica como histórica en los países de habla española y portuguesa, especialmente los del Cono Sur americano, promoviendo un espacio para la reflexión, el intercambio, la discusión, la comunicación y la difusión de dicho conocimiento.

El presente libro reúne algunos de los trabajos presentados en el *VIII Encuentro de Filosofía e Historia de la Ciencia del Cono Sur*, realizado del 16 al 20 de octubre de 2012, en Santiago de Chile, Chile. Dichos trabajos fueron reelaborados y enviados para su posterior publicación. Sin embargo, la publicación se realiza bajo la modalidad de “Selección de trabajos”, y no de “Actas” del mencionado evento, ya que los trabajos enviados fueron sometidos a evaluación conocida como “referato doble ciego”.

Quisiéramos agradecer a todos aquellos que, de un modo u otro, colaboraron con esta publicación, incluyendo a los que actuaron como evaluadores anónimos de los trabajos que la integran.

*Los editores*



# Definición de elemento químico: análisis histórico y filosófico

Salvador Alí<sup>†</sup>

María Angélica Di Giacomo<sup>‡</sup>

Susana Gallardo<sup>§</sup>

Marisol Montino<sup>°</sup>

## Resumen

En este trabajo se discutirá acerca de la conveniencia de clarificar la distinción entre los términos “elemento químico” y “sustancia simple” para evitar problemas epistemológicos y didácticos que pueden surgir a partir de las definiciones comúnmente usadas y de la fuerte polisemia del término “elemento”. Se hará un breve recorrido histórico del uso de dicho término a fin de resaltar cómo ha ido variando su significado según las corrientes filosóficas de cada época.

## 1. Introducción

El concepto “elemento” es central en la química para comprender la naturaleza de las entidades con las que se trabaja en esta disciplina y construir otros conceptos como el de reacción química, átomo, sustancia elemental y sustancia compuesta. El fuerte carácter polisémico del término y la ambigüedad con la que es utilizado por los especialistas de la disciplina genera muchas dificultades, especialmente entre los estudiantes (Alí *et al.* 2013).

La Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC) da dos definiciones del concepto “elemento”:

- Una especie de átomo, átomos con el mismo número de protones en el núcleo atómico.
- Una sustancia química pura compuesta de átomos con el mismo número de protones en el núcleo atómico.

No obstante, la IUPAC hace una aclaración, y señala que, “a veces, este último concepto de sustancia elemental se diferencia del de elemento químico de la primera definición, pero en general el término elemento se utiliza para ambos conceptos”. Estas definiciones operan como sugerencia para los docentes y los autores de libros de texto de la disciplina Química.

Raviolo (2008) pone en evidencia que la IUPAC acepta que las dos acepciones corresponden a conceptos diferentes. Este autor se manifiesta a favor de definir elemento químico sólo con la primera acepción, es decir, como “un tipo o clase de átomo (que incluye a los respectivos iones

---

<sup>†</sup> Química CBC, Universidad de Buenos Aires (UBA). Para contactar al autor, por favor, escribir a: [alisalva@gmail.com](mailto:alisalva@gmail.com).

<sup>‡</sup> Química CBC–CEFIEC, FCEN, Universidad de Buenos Aires (UBA)–Instituto Pestalozzi. Para contactar al autor, por favor, escribir a: [mariandig@gmail.com](mailto:mariandig@gmail.com).

<sup>§</sup> Centro de Divulgación Científica, FCEN, Universidad de Buenos Aires (UBA). Para contactar al autor, por favor, escribir a: [sgallardo@de.fcen.uba.ar](mailto:sgallardo@de.fcen.uba.ar).

<sup>°</sup> Instituto de Ciencias, Universidad Nacional de General Sarmiento (UNGS). Para contactar al autor, por favor, escribir a: [marisol.montino@gmail.com](mailto:marisol.montino@gmail.com).

mononucleares), es decir, como un concepto submicroscópico” (Raviolo 2008, p. 79), luego especifica las razones didácticas que justifican esa decisión; por un lado en una reacción química se conservan los elementos y no las sustancias simples y por otro lado, las sustancias oxígeno y ozono son diferentes, pero corresponden al mismo elemento químico.

Los avances en el análisis espectroscópico de sustancias elementales y compuestos condujeron al concepto de “número atómico”, que indica el número de protones que contiene el núcleo de un determinado elemento, y, junto con el concepto de valencia, permitió organizar la tabla periódica. Estos desarrollos llevaron a una nueva idea sobre el elemento químico como una “sustancia básica” cuya propiedad es el número atómico, que persiste en todas las combinaciones posibles en las que esa sustancia básica participe. Así el oxígeno se identifica por su número atómico 8, y esa propiedad se encuentra en diversas sustancias simples: por ejemplo, el oxígeno gaseoso ( $O_2$ , sustancia constituida por moléculas con dos átomos de oxígeno), o en el ozono ( $O_3$ , sustancia constituida por moléculas con tres átomos de oxígeno).

En relación con la asignación de propiedades a las sustancias, Paneth (1962) distingue entre “sustancia básica” y “sustancia simple”, y considera que son dos aspectos diferentes del concepto elemento químico. La sustancia simple tiene determinadas cualidades y es perceptible por los sentidos. La sustancia básica, sin cualidades perceptibles, persiste a través de las reacciones químicas que modifican las sustancias simples o compuestas. En este sentido, el concepto de sustancia básica sería el que más se adecua al de elemento químico. Asignar al elemento las propiedades observables de la sustancia simple responde, según Paneth, a una visión realista ingenua. Por otra parte, Scerri (2005) describe dos visiones metafísicas: por un lado, la de elemento como sustancia básica que confiere propiedades a las sustancias de las que puede formar parte pero carece de aquéllas (Paneth 1962), y por otro, la de considerarlos como clases naturales de acuerdo a la teoría causal de la referencia de Kripke y Putnam, y sugiere que ambas pueden ser convergentes. En nuestra opinión, ambas visiones podrían relacionarse con la noción submicroscópica de que lo invariable en los cambios químicos es el número de protones en el núcleo. Cabe destacar que recientemente, Labarca y Zambón (2013) han propuesto reconceptualizar esta definición, agregando al número atómico el rango de números másicos posibles como característica de cada elemento.

Ante la problemática expuesta, en este trabajo intentamos discutir las siguientes cuestiones: ¿se pueden atribuir las mismas propiedades observables a los elementos que a las sustancias simples?, ¿se debe hacer una distinción más clara entre elemento y sustancia simple o se pueden seguir considerando como términos equivalentes e intercambiables?

## 2. Evolución histórica del término “elemento”

Desde el punto de vista histórico, al término “elemento químico” se le han asignado diferentes significados según las corrientes de pensamiento de cada época.

Los presocráticos intentaron explicar la diversidad material del universo a través de una concepción monista y buscaron identificar el “*Arkhe*”, principio de todas las cosas, que no necesita de ninguna otra para existir. Para Tales de Mileto era el agua y para Anaxímenes, el aire. Anaximandro postuló la existencia del *Apeiron* (un principio indeterminado, carente de cualidades) y Heráclito sostuvo que era el fuego. En oposición a esta postura monista, otros filósofos propusieron un pluralismo, según el cual se debía contemplar la existencia de varios principios a la vez. Anaxágoras propuso que todas las cosas se originan a partir de una infinidad de partículas que actúan como “semillas”, que les confieren sus cualidades y están presentes en todas ellas (Sambursky 1990). Empédocles realiza la síntesis de las propuestas de sus antecesores al postular la existencia de cuatro raíces eternas e inmutables que constituyen el origen del universo: agua, aire, tierra y fuego. Aristóteles retomaría esta idea rebautizando a dichas raíces con el nombre de “elementos”, basando en ellos su cosmovisión acerca de la naturaleza de la materia que compone el mundo sublunar. Así considerados, estos elementos son el resultado de la acción

de un par de cualidades –frío, caliente, húmedo y seco– sobre un sustrato material común, inmutable y carente de propiedades. A diferencia de las raíces de Empédocles, los elementos aristotélicos no son inmutables, ya que cambiando alguna de sus cualidades pueden transformarse unos en otros, quedando abierta la posibilidad de transmutación. Toda sustancia (en el sentido moderno del término) estaría constituida por una mezcla de los cuatro elementos y sus propiedades dependerían de la proporción en que aquellos se combinan. De este modo, las cualidades primarias de una sustancia son perceptibles, en cambio los elementos que la constituyen son intangibles, sólo son representaciones mentales de ese par de cualidades que se le asignan (Partington 1945).

La escuela atomista fundada por Leucipo explicaba la diversidad a partir de la existencia de una incontable variedad de átomos, que tienen forma, extensión y movimiento propios. Las cualidades observables de los cuerpos se deben a la combinación de átomos y no a las propiedades de estos últimos (Sambursky 1990).

Durante el Renacimiento, Paracelso, siguiendo la tradición de los alquimistas árabes, agrega, a los cuatro elementos aristotélicos, tres principios conocidos como la “tría prima”: Azufre, principio de combustibilidad, Mercurio, volatilidad y carácter metálico, y Sal, corporeidad (Partington 1945).

Luego Sebastièn Basso sostuvo una avanzada teoría atómica para la materia y utilizó dos metáforas para dar cuenta del concepto de átomos: los consideró como caracteres alfabéticos cuya combinación produce una gran variedad de palabras; o como “ladrillos” con los que se construye todo el universo. Sin embargo, en cada una de estas metáforas subyace una concepción diferente, ya que los ladrillos son indistinguibles entre sí, pero cada uno de los caracteres alfabéticos posee rasgos que lo diferencian del resto. Como dicen Bensaud-Vincent y Stengers (1997), “los químicos vacilan y se dividen entre estas dos metáforas”.

En el siglo XVII, Robert Boyle, influenciado por la metodología propuesta por Francis Bacon, puso en duda las ideas dogmáticas de sus antecesores y desafió a sus contemporáneos a demostrar experimentalmente sus hipótesis sobre la constitución de la materia. Propuso una filosofía mecanicista al considerar a los átomos dotados de “cualidades primarias” (forma, tamaño y movimiento) y que las cualidades secundarias, perceptibles sensorialmente, surgen de la agrupación y configuración de dichos átomos.

Muchos químicos actuales atribuyen a Robert Boyle la definición “moderna” de elemento, y consideran que la definición operacional de este concepto es la que corresponde usar (Ibíd.).

[...] entiendo aquí por elementos, ciertos cuerpos primitivos y simples que, al no estar hechos de cualesquiera otros cuerpos o unos de otros, son los ingredientes de los que se componen todos los cuerpos denominados perfectamente mixtos, y en los que últimamente se resuelven (Boyle, citado por Solís Santos, 1985, p. 114).

Pero una lectura más detallada de “The Sceptical Chymist” nos permite apreciar que Boyle consideraba la existencia de una materia “universal” subyacente a todos los elementos y que las cualidades primarias determinaban la diferencia entre las distintas sustancias, idea más concordante con la metáfora del átomo-ladrillo.

*Ahora bien, lo que pongo en tela de juicio es que haya tales cuerpos que se encuentren constantemente en todos y cada uno de aquellos que se consideran cuerpos compuestos de elementos* (Boyle, citado por Solís Santos, 1985, p. 114).

Sin embargo, la definición operacional que refiere a elementos como sustancias obtenidas en el último punto del análisis químico se origina en Antoine Lavoisier y es sostenida por los químicos que han seguido la tradición empirista que prevaleció a lo largo de los siglos XIX y XX.

Todo lo que puede decirse sobre el número y naturaleza de los elementos se reduce, en mi opinión, a puras discusiones metafísicas [...]. Me contentaré pues, con decir que si con el término elemento queremos expresar las moléculas simples e indivisibles que componen los cuerpos, es probable que no

sepamos nada de ellos. Pero si, por el contrario, con el término elementos o principios de los cuerpos expresamos el último punto alcanzado por el análisis, todas las sustancias que no hemos sido capaces de descomponer aún son elementos para nosotros (Lavoisier, citado por Alzate Cano 2005, p. 184).

Según esta definición, los elementos son sustancias aislables y con propiedades medibles y no se requiere la idea de átomo, concepción que aún hoy sostienen muchos profesionales de la química y de la docencia (Alí *et al.* 2013).

El programa de investigación propuesto por Lavoisier se centró en encontrar cuáles son los elementos y cómo, a partir de ellos, se forman los compuestos. Sin embargo, dos décadas más tarde, John Dalton trató de ampliar los horizontes de esta búsqueda, interesándose no solo en la composición cualitativa de las sustancias sino también en su aspecto cuantitativo. Para ello planteó una hipótesis atómica basada en una característica fundamental que diferencia a los átomos de un elemento de los de otro: su peso atómico. Sus ideas permitieron tender un puente entre las entidades teóricas (átomos) y los datos empíricos (mediciones cuantitativas de pesos de las sustancias) (Brock 1998).

En 1815 el químico inglés William Prout observó que los pesos atómicos de los elementos parecían ser un múltiplo del peso atómico del hidrógeno, proponiendo la hipótesis de que el átomo de hidrógeno era la única entidad fundamental y que todos los demás eran agrupaciones de varios átomos de aquél (Brock 1998).

Por su parte, Dimitri Mendeleev postuló la idea de elemento como sustancia básica, carente de propiedades macroscópicas aunque portadora de ellas. Sostuvo que la única propiedad atribuible a un elemento, que se conserva en cualquier cambio químico, es su peso atómico e insistió reiteradamente en que su clasificación periódica se basaba en este sentido del término elemento y no en las sustancias simples observables (Scerri 2005). Frecuentemente Mendeleev advertirá sobre las posibles confusiones que pueden surgir:

[...] hoy se confunden a menudo las expresiones de “cuerpo simple” y “elemento”. Cada una de ellas tiene sin embargo un significado claramente distinto, que es importante precisar para evitar confusiones en los términos de la filosofía química. Un cuerpo simple es cualquier cosa material, metal o metaloide, dotada de propiedades físicas y químicas. A la expresión “cuerpo simple” le corresponde la idea de molécula. [...] Por el contrario, es necesario reservar el nombre “elementos” para caracterizar las partículas materiales que forman los cuerpos simples y compuestos y que determinan la manera en que éstos se comportan desde el punto de vista de la física y de la química. La palabra “elemento” requiere la idea de átomo (Mendeleev, citado por Bensaude-Vincent & Stengers 1997, p. 118).

Es necesario hacer una clara distinción entre el concepto de elemento como una sustancia homogénea separada y una parte material pero invisible de un compuesto. El óxido de mercurio no contiene dos cuerpos simples, un gas y un metal, sino dos elementos, mercurio y oxígeno, los cuales, cuando libres, son un gas y un metal (Mendeleev, citado por Scerri 2007. p.115. Traducción de los autores).

No importa cómo puedan cambiar las propiedades de un cuerpo simple en su estado libre, *algo* permanece constante, y cuando los elementos forman compuestos, ese *algo* tiene un valor y determina las características de los compuestos que incluyen ese dado elemento. Al respecto sólo conocemos una constante peculiar de un elemento, llamada el peso atómico. [...] El peso atómico pertenece no al carbón o al diamante, sino al carbono (Mendeleev, citado por Hendry 2005, pp. 43-44. Traducción de los autores).

Cuando en 1879 Mendeleev enuncia su Ley periódica deja bien en claro la diferencia entre cuerpos simples y elementos, y habla de propiedades de los primeros, pero no de los últimos: “Las propiedades de los cuerpos simples, la constitución de sus compuestos, así como las propiedades de éstos últimos, son función periódica de los pesos atómicos de los elementos” (Mendeleev, citado por Hendry 2005, p. 44).

En el siglo XX se deja de lado el concepto de átomo indivisible para dar lugar a modelos con partículas subatómicas cuyo comportamiento no se explica con las leyes de la mecánica clásica sino con las de la cuántica. Henry Moseley (1913), a partir del estudio de espectros de emisión de rayos X de varios elementos, encontró que las frecuencias de las radiaciones emitidas son función

de un número entero que llamó “número atómico”, y resultó ser característico de cada elemento. En la misma década, el avance de la radioquímica dio lugar al conocimiento de los isótopos e hizo peligrar la Ley Periódica, ya que el peso atómico no podía seguir siendo el criterio ordenador. En 1919, Rutherford realizó una serie de experimentos bombardeando distintas sustancias con partículas alfa. Al observar la emisión de partículas iguales al núcleo del átomo de hidrógeno, postuló la existencia de los protones en el núcleo de todos los átomos (Wiechowski 1966). Con ello, se resignificaba la hipótesis de Prout. A partir de allí se asoció el número de protones al número atómico, de modo que hoy se acepta que los átomos de un mismo elemento tienen núcleos con igual número de protones, y ésta es la característica que permanece inalterable en un cambio químico. Paneth (1962) propuso entonces utilizar dicho número como criterio ordenador, ya que era preferible desechar el principio de Dalton de que había tantos elementos como especies atómicas antes que abandonar la clasificación química de los elementos en el sistema periódico. Esto fue considerado por los físicos de principios del siglo XX como un triunfo de la mecánica cuántica y llevó a pensar que era posible un reduccionismo de la química a la física, como lo atestigua un fragmento de la carta que Walter Heitler escribe a Fritz London en 1927: “We can, then, eat Chemistry with a spoon” (Gavroglu & Simões 1994, p. 66).

### 3. Consideraciones epistemológicas

Como señala Alzate Cano (2005), en la historia se encuentran dos líneas de pensamiento en relación al concepto de “elemento”. Por un lado, una línea empirista que puede adscribirse a un realismo ingenuo, que se basa en la percepción directa e inmediata de los cuerpos y que asocia elemento con sustancia, asignándole propiedades observables como color, punto de fusión, etc. Por otro lado, una línea racionalista, basada en el conocimiento teórico, y según la cual los cuerpos se componen de combinaciones de pequeñas partículas que interactúan entre sí y donde el cambio obedece a la combinación y disgregación de dichas partículas. En esta concepción, el elemento no posee las propiedades de la sustancia simple o compuesta a la cual constituye.

El hecho de que en ambas definiciones de la IUPAC se utilice el término “átomo” puede hacer presuponer que están refiriendo a la misma ontología. Si contáramos con una manera directa de deducir lo macroscópico (elemento como sustancia, segunda definición de la IUPAC) de lo microscópico (primera definición de la IUPAC) entonces estaríamos hablando de lo mismo dentro de una misma ontología. En cambio, en la medida en que no exista dicho reduccionismo, debemos hablar de dos niveles ontológicos, relacionados pero no reductibles.

Al respecto, cabe mencionar el trabajo de Córdoba *et al.* (2010) quienes proponen un modelo teórico de “planos energéticos” para abordar el problema filosófico de la definición de “sustancia”. En tal sentido, consideran que los criterios que permiten identificar una sustancia química pertenecen a tres niveles diferentes: el macroquímico, el microquímico y el cuántico, y concluyen que no es posible hallar un único criterio de identificación. Esta imposibilidad se debe a que las propiedades esenciales para identificar cada sustancia son diferentes en cada uno de los niveles, es decir, se trata de una cuestión ontológica. En consecuencia, no se puede hablar de una única sustancia química en los tres niveles, sino que en cada plano estaríamos en un mundo particular. En resumen, estos autores sostienen que coexisten mundos diversos, que las entidades de cada uno no son reductibles a las de otros; es decir, que existe un pluralismo ontológico.

### 4. Conclusiones

El concepto de elemento es fundamental para la comprensión de muchos otros conceptos de la Química.

Desde nuestra perspectiva, se evitarían algunas de las confusiones en la comprensión y utilización del concepto, si definiéramos:

- **Elemento:** clase de partículas mononucleares con el mismo número de protones en su núcleo.
- **Sustancia simple:** sustancia formada por un solo elemento.

De esta manera, diferenciaríamos fuertemente “elemento” de “sustancia simple”, evitando caer en contradicciones, pues sustancias con propiedades diferentes (diamante y grafito) corresponden a un mismo elemento (carbono). Si bien los expertos pueden distinguir entre las dos acepciones según el contexto, los principiantes pueden caer en confusiones si no se distingue entre elemento que constituye una sustancia simple, de elemento que forma parte de una sustancia compuesta, situación que se agrava en algunas presentaciones de la tabla periódica, en las cuales se muestran las sustancias simples en el nivel de observación macroscópico y a veces explicitando en qué materiales de la vida cotidiana podemos encontrar al elemento.

Si hacemos una correcta distinción podemos trabajar con planos de análisis ontológicos distintos, pero relacionados. Un pluralismo ontológico en el que un plano no se reduce al otro ni hay jerarquías, pero sí hay puentes que permiten pasar de uno a otro. Este análisis en planos diferentes requiere ser explicitado para su comprensión.

El caso del término “elemento” es un ejemplo de cómo cambia el significado que se le asigna a un vocablo según las épocas o las corrientes filosóficas. Consideramos que es necesaria la reflexión sobre éste y otros conceptos centrales de la Química, ya que, a veces, quienes trabajan cotidianamente en ciencia no tienen en cuenta que sus definiciones dependen del contexto, no solo histórico, sino también filosófico. El análisis filosófico y epistemológico de los modelos, teorías y de las diferentes ontologías permite reflexionar y profundizar sobre el objeto de estudio y sobre la naturaleza del conocimiento científico.

## Bibliografía

---

- Alí, S., Di Giacomo, M.A., Gallardo, S. y M. Montino (2013), “Definición de «elemento químico»: implicancias didácticas”, *Educación en la Química* 19(2): 110-119.
- Alzate Cano, M.V. (2005), “Elemento, sustancia simple, átomo: tres términos problemáticos en la enseñanza y aprendizaje significativo de conceptos químicos”, *Revista Educación y Pedagogía* 17(43): 177-193.
- Bensaude-Vincent, B. e I. Stengers (1997), *Historia de la Química*, Madrid: Addison-Wesley.
- Brock, W. (1998), *Historia de la Química*, Madrid: Alianza.
- Córdoba, M., Labarca, M. y A. Zambón (2010), “Multiplicidad ontológica y la sustancia en química”, en García, P. y A. Massolo (eds.), *Epistemología e Historia de la Ciencia 2010*, Córdoba: Facultad de Filosofía y Humanidades de la Universidad Nacional de Córdoba, pp. 162-169.
- Gavroglu, K. y A. Simões (1994), “The Americans, the Germans, and the Beginnings of Quantum Chemistry: The Confluence of Diverging Traditions”, *Historical Studies in the Physical Sciences* 25(1): 47-110.
- Labarca, M. y A. Zambón (2013), “Una reconceptualización del concepto de elemento como base para una nueva representación del sistema periódico”, *Educación Química* 24 (1): 63-70.
- Hendry, R. (2005), “Lavoisier and Mendeleev on the Elements”, *Foundations of Chemistry* 7: 31-48.
- Moseley, H.G.J. (1913), “The High Frequency Spectra of the Elements”, *Philosophical Magazine* 26: 1024-1034.
- Paneth, F.A. (1962), “The Epistemological Status of the Concept of Element”, *British Journal for the Philosophy of Science*, 13: 1-14, 144-160, trans. H.R. Post [reprinted in *Foundations of Chemistry* 5 (2003): 113-145].
- Partington, M.B.E. (1945), *Historia de la Química*, Buenos Aires: Espasa-Calpe.
- Raviolo, A. (2008), “Definiciones básicas de la química: una discusión didáctica”, *Educación en la Química* 14 (2): 77-89.

Sambursky, S. (1990), *El mundo físico de los griegos*, Madrid: Alianza.

Scerri, E.R. (2005), "Some Aspects of the Metaphysics of Chemistry and the Nature of the Elements", *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry* 11(2): 127-145.

Scerri, E.R. (2007), *The Periodic Table: Its Story and its Significance*, New York: Oxford University Press.

Solís Santos, C. (1985), *Robert Boyle. Física, química y filosofía mecánica*, Madrid: Alianza.

Wiechowski, S. (1966), *Historia del átomo*, Barcelona: Labor.



# Filosofia da Química: uma disciplina nascente no âmbito da Filosofia da Ciência

Nelson Rui Ribas Bejarano<sup>†</sup>

Marcelo Leandro Eichler<sup>‡</sup>

## Resumo

O presente trabalho pretende apresentar a Filosofia da Química a partir de dois de seus periódicos internacionais mais importantes: *Foundations of Chemistry* e *HYLE*. Esperamos que ao falar da história desses dois periódicos, de seus artigos mais importantes e dos temas mais candentes publicados, estejamos em grande parte apontando para o próprio caminho trilhado pela Filosofia da Química, que desde sua curta história traz uma agenda de preocupações do mais alto interesse para a Filosofia da Ciência.

## 1. Foundations of Chemistry

O surgimento de um novo campo de pesquisas vem acompanhado de novas revistas. No primeiro número da revista *Foundations of Chemistry*, seu editor Scerri (1999a) indica algumas importantes decisões que foram tomadas durante o planejamento dessa nova revista. Ele relata que a escolha de excluir o termo ‘filosofia’ do título da revista foi difícil, porém se entendeu que essa era a opção correta uma vez que o campo de pesquisa está em desenvolvimento e ainda seria muito diversificado para ser rotulado como filosofia. Por outro lado, as ideias referidas pelo termo ‘*foundations*’ reportam às bases históricas, institucionais, educacionais e culturais, além é claro do aspecto filosófico da química.

Além disso, nesse primeiro editorial, ele deixa claro e ressalta o importante papel que o ensino de química tem para a filosofia da química. O editor entende que, cotidianamente, os educadores químicos estão refletindo sobre os fundamentos da química na tentativa de melhor comunicar o assunto aos seus alunos. Nesse sentido, ele disse esperar que essa nova revista propiciasse, também, um veículo de discussão sobre questões diversas que os educadores químicos não pudessem encontrar nas revistas de prática de ensino já existentes.

Atualmente, a revista está indexada na base de dados *Scopus*, mas não é indexada no *Web of Science*. A partir dos artigos publicados desde 2005, quando começa a fazer parte da base de dados *Scopus*, é possível verificar que as principais palavras-chaves que são utilizadas para descrever os artigos publicados na revista são: tabela periódica, redução, mecânica quântica, emergência, Mendeleiev, química quântica, ligação química, elemento e explicação. Excluindo o sempre presente editor da revista, Eric Scerri, os autores que mais publicaram no periódico no período são R. Harré, G. Rayner-Canham, O. Lombardi, R.J. Deltete e J.E. Earley. Desde que a revista começou a ser indexada nessa base de dados se pode ver uma contínua ampliação de sua recepção e utilização com referências na área.

---

<sup>†</sup> Universidade Federal da Bahia (UFBA). Para contatar ao autor, por favor, escreva a: bejarano@ufba.br.

<sup>‡</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Para contatar ao autor, por favor, escreva a: exlerbr@gmail.com.

O tema da redução – da química à física – é entendido um assunto fundador do campo da filosofia da química. Conforme Scerri (2001a), quando a filosofia da química começou a experimentar um avivamento, entre o final de 1970 e o começo da década de 1990, muito dos trabalhos publicados estavam preocupados com a interface entre a química e a física. Por exemplo, com a questão da redução da química à mecânica quântica (Scerri 1999a). Esse debate tem ganhado contornos mais amplos que envolvem as diferenças entre as compreensões epistemológicas e ontológicas associadas à química e à física. Tais diferenças auxiliam a subscrever o debate acerca da redução, da emergência ou da superveniência entre as ciências. Nesse sentido, afirma-se a autonomia ontológica da química e, por isso, a impossibilidade da redução da química à física, ou particularmente, à mecânica quântica (Lombardi e Labarca 2005).

Um aspecto do debate envolve a questão do realismo associado à escala quântica, em um debate que é acessório às teses da redução, da emergência e da superveniência. Conforme Scerri (2000), há quem defenda que a química moderna, em todos os níveis, seria subscrita pela mecânica quântica. Entre os químicos esta conexão é mantida pelo apelo das explicações aos orbitais atômicos e moleculares. Se por um lado, os químicos teóricos consideram essas entidades como sendo meras construções matemáticas, destituídas de qualquer significado físico, por outro lado, os profissionais em todas as outras áreas da química, bem como na educação química tendem a adotar uma abordagem que favorece a visualização de orbitais. Como resultado de tal visualização a própria existência física dos orbitais é, por vezes, erroneamente divulgada e difundida. Nesse caso, o modelo é confundido como a realidade.

Porém, segundo Laszlo (2001) todo o esforço realizado nesse tipo de debate sobre a redutibilidade seria dispensável, pois a necessária emancipação da filosofia da física envolve a afirmação da química como ciência autônoma, que possui seus próprios fundamentos. Por isso, periódicos como o *Foundations of Chemistry* e o *HYLE* são indispensáveis e preciosos, por que eles permitem apresentar a ciência química em suas raízes profundas, tanto do ponto de vista cultural quanto epistemológico.

Dessa forma, para além dos assuntos usuais que aparecem nos periódicos de filosofia da química, Laszlo (2001) indica alguns interessantes assuntos que poderiam ser investigados, como a química de produtos naturais e a química combinatória, mostrando o muito trabalho que ainda existe para ser realizado no âmbito dessa área de conhecimento, um campo que ele considera quase completamente virgem. Nesse sentido, ele postula que a filosofia da química deve ser feita com os conceitos e áreas atuais da química – como fazem, por exemplo, Kidwai e Mohan (2005), que analisam o modo de pensar da química verde, e Schummer (2006), ao abordar a estética da nanotecnologia. Mas não se tem notícias de pesquisas que tenham seguido as linhas propostas por Laszlo (2001).

Sem dúvida, entretanto, o assunto mais recorrente no periódico é aquele dedicado à tabela periódica, também por causa da centralidade do tema para o editor da revista. De acordo com Scerri (2001b), a tabela periódica é talvez o ícone mais poderoso da química, pois parece conter todo o assunto dessa ciência dentro de um único gráfico. Ele sugere que o sistema periódico é mais do que a soma de suas partes e não haveria nada mais marcante ou informativo de um ícone, em qualquer lugar na ciência, como a tabela periódica para a química. Ou seja, a tabela periódica seria a metonímia da química.

Scerri (2001b) sugere que não é surpreendente que antes do advento recente da filosofia da química, os filósofos da ciência dedicavam pouca atenção ao sistema periódico, assim como eles negligenciaram toda a química. Talvez por que se reconheça que o sistema periódico não se enquadra nas categorias tradicionais que os filósofos da ciência estão acostumados a discutir. Não é nem uma teoria, nem um modelo, nem talvez mesmo uma lei da natureza. No entanto, o sistema periódico é capaz de racionalizar vastas quantidades de informação, e com ele se é capaz de fazer previsões bem sucedidas.

Além disso, ainda segundo esse autor, o sistema periódico tem servido como a arena para uma das tentativas de reduzir a química à física atômica, ou à mecânica quântica. Nesse caso, parece

estranho algumas maneiras de se pensar a redução do sistema periódico à física, pois ao invés de ser explicado pela mecânica quântica, como se faz de forma implícita em muitos livros de química contemporâneos, é a tabela periódica em si que deu origem à noção de camadas eletrônicas e do princípio de exclusão de Pauli, entre outros desenvolvimentos na física teórica.

Mas é natural que um assunto tão rico permita a apresentação de diversos pontos de vista. Recentemente, Scerri (2010) propõe uma relação entre a tabela periódica, ícone para a química, e a evolução das espécies, ícone para a biologia. Ele começa a sua argumentação indicando que o desenvolvimento da tabela periódica e as descobertas subsequentes que ela gerou representariam uma espécie de revolução científica ou pelo menos o estabelecimento de um novo paradigma para a química. As revoluções na química seriam poucas e distantes entre si. Uma revolução no sentido literal de uma mudança repentina do tipo que Thomas Kuhn propõe pode ser identificada com a química de Lavoisier. Porém, quando se observam os novos paradigmas que podem ter sido desenvolvidos de forma mais gradual e que redefinem os aspectos teóricos e experimentais de uma ciência, e continuam a fazê-lo, então o desenvolvimento da tabela periódica fornece um exemplo perfeito.

O assunto sobre as classificações associadas à tabela periódica sugere a apresentação de outro debate que é muito característico no âmbito da filosofia da química, aquele que põe em discussão a noção de espécies naturais, de elemento e de substância e as classificações que ensejam essas noções (Scerri 2005). De acordo com Harré (2005), a química sempre dependeu de sistemas de classificação de substâncias materiais em tipo e como parte da lógica de tais sistemas classificatórios existe critérios para identificar essas substâncias para seus diversos fins. Assim, filósofos, como John Locke, e químicos, como Robert Boyle, tentaram elaborar um fundamento filosófico para a química com base em uma distinção entre essências nominais e reais. O conceito de uma “essência” foi tomado emprestado da filosofia aristotélica, mas foi dada uma nova visão corpuscular. Porém, perpassando tal distinção se encontra a questão de como classificar os corpúsculos invisíveis em tipos.

Em um número especial da revista *Foundations of Chemistry* são apresentados trabalhos em que os autores abordam algumas das questões fundamentais de taxonomias químicas, à luz do debate tradicional da lógica de tipos. Um exemplo é o artigo de Earley (2005), em que o autor propõe discutir o problema análogo relativo aos elementos, quando se pergunta se os elementos se fazem realmente presentes nos compostos químicos. O título do artigo é provocativo: “porque não há sal no mar?” e Scerri (2005) sugere que tal título mereceria um prêmio por sua criatividade. Nesse artigo, Earley (2005) propõe ainda que a mereologia padrão da filosofia necessita ser ajustada para lidar com os fatos químicos relativos ao que acontece quando os sais estão dissociados ou dissolvidos em água.

Por fim, segundo o que se pode depreender de muitos dos editoriais da revista, existe uma complexa relação entre a filosofia da química e a educação química. Se por um lado, para Scerri (1999b) é inestimável a contribuição dos educadores químicos sobre questões de filosofia da química, pois se pratica filosofia cotidianamente no processo de ensino de química, quando se objetiva entender melhor os conceituais fundamentais da química e os diversos aspectos como tais conceitos são interligados. Por outro lado, alguns anos depois, Scerri (2006) faz uma forte crítica a uma das principais matrizes de compreensão e de ação da educação química, sugerindo que os desafios para a utilização do programa construtivista têm aumentado recentemente.

## 2. HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry

O periódico *Hyle*, lançado em alemão em setembro de 1995, foi planejado com a criação do Grupo de Trabalho em Filosofia da Química - (APC - *Arbeitskreis Philosophie und Chemie*), criado em

1993. Os membros fundadores da HYLE e suas respectivas universidades foram: Martin Eisvogel (Konstanz), Britta Goers (Regensburg), Edzard Han (Berlin), Gerd Hanekamp (Marburg), Christoph Liegener (Erlangen), Nikos Psarros (Marburg), Frank Ruhnau (Braunschweig), Klaus Ruthenberg (Coburg) e Joachim Schummer (Karlsruhe). Como se vê todos os professores e pesquisadores trabalhavam em universidades alemãs, o que explica a revista ter nascido sendo publicada em língua germânica.

O editorial inaugural do periódico (Schummer 1995) lança as ideias principais que norteariam o projeto de uma revista exclusivamente voltada para uma disciplina nascente: a filosofia da química. Nesse editorial se manifesta a perplexidade diante da negligência com que os filósofos da ciência tratam as questões da ciência Química. O editor inclui nessa crítica os próprios químicos, que ao contrário dos profissionais das outras ciências, como os biólogos os físicos e matemáticos, não estariam “filosoficamente comprometidos” com sua própria ciência.

Em 1996 sai o segundo número da *HYLE*, ainda escrito em alemão e com um subtítulo, assim como no primeiro número: *Mitteilungsblatt des "Arbeitskreises Philosophie und Chemie"*. Ou seja, ainda se fazia referência ao APC, a revista assumia que era ainda apenas um boletim da APC. Um fato curioso apresentado no editorial desse segundo número da revista é acerca de seu nome. O editor (Schummer 1996a) explica que *HYLE* era o equivalente para a palavra *matéria* em grego, desde os tempos de Aristóteles, palavra que os gregos criaram para tentarem compreender o que hoje chamamos de Química. Em grego a grafia da palavra é  $\upsilon\lambda\eta$ . A forma de se pronunciar o nome da revista é como se tivéssemos pronunciando duas palavras inglesas ‘who lay’. A revista então propõe uma divisão de suas seções: *contribuições*, o que entendemos ser o equivalente a artigos que poderiam ser escritos em alemão ou inglês; uma seção de *biografias* de químicos que tenham feito alguma reflexão filosófica; e finalmente uma seção de *resenhas* de livros que estivessem conectados com o tema da filosofia da química.

Nesse segundo número do periódico, Schummer (1996b) também apresenta e comenta brevemente o ‘estado da arte’ da filosofia da química na Alemanha Oriental (DDR) e fornece uma bibliografia de 262 títulos de textos, livros, comunicações em congressos, enfim que se enquadram nos temas da filosofia da química e que foram produzidos, naquele momento, na então recém extinta DDR. De fato a nova disciplina já estava nascendo com uma quantidade de material publicado que precisava ser organizado. Apenas nos dois primeiros números da *HYLE* a quantidade de títulos (os produzidos na antiga DDR e aqueles escritos a partir do ano de 1994) já apontava mais de 300 títulos. Ou seja, a disciplina que estava sendo criada já tinha um número razoável de publicações. De fato uma disciplina nasce já com um corpo que se encontrava disperso anteriormente, escrevia-se sobre algo que não cabia inteiramente em nenhuma disciplina pré-existente. A partir de tal produção nota-se uma massa crítica que permitiu sustentar a existência de uma nova disciplina.

Vamos apresentar, brevemente, alguns dos temas tratados pela revista para que se tenha uma ideia de suas preocupações centrais dentro da filosofia da química.

No quinto aniversário da revista, em 1999, há um número especial sobre ‘*modelos na química*’ (Schummer 1999). O mesmo tema é abordado nos dois números seguintes. O espaço que a *HYLE* deu à discussão de modelos na Química mostra a importância que o assunto tem para a Química e para a Filosofia da Química. A discussão sobre modelos envolve vários de seus aspectos, epistemológicos, ontológicos e a relação modelos/realidade. O artigo de Tomasi (1999), por exemplo, busca discutir possíveis discrepâncias entre a abordagem operacional utilizada na prática experimental da química e os modelos utilizados da teoria para explicar essa prática. Esse problema se torna especialmente relevante quando a teoria necessária para explicar dados empíricos é a teoria quântica. O artigo reflete sobre critérios para caminhar para uma harmonização metodológica quando se trata de analisar dados de química experimental com modelos da física quântica (Tomasi 1999).

Continuando a discutir o papel dos modelos na química, Del Re (2000), discute o papel dos modelos, considerando a importância que eles têm para a ciência, especialmente a ciência química.

O artigo aborda principalmente modelos físicos (embora mencione brevemente outro tipo de modelos: os modelos matemáticos). Define modelos como “representações simplificadas ou representações idealizadas de sistemas encontrados no mundo físico”. Neste artigo, o autor foca nos modelos físicos, mostrando sua importância para a química seja para descrever cientificamente o mundo “lá fora”, seja também para ajudar na cognição do homem acerca das coisas do mundo, especialmente quando as coisas não estão diretamente acessíveis aos sentidos. O modelo de *spring-and-ball* (isto é, bolas e molas), muito utilizado na química é um exemplo mais ilustrativo de um modelo do tipo físico. Modelos físicos podem estar conectados com analogias que por sua vez são muito importantes para a produção do conhecimento químico, notadamente quando se trata do chamado mundo submicroscópico (Del Re 2000).

Em 2001 surge outro número temático, dessa vez sobre a ‘Ética na Química’. A perspectiva que a revista assume para o lugar da ética é uma demarcação de campo, de formação de uma subdisciplina. Tal se dá a partir da ideia que: assim como a Química é um ramo da ciência, a ética da Química é um ramo autêntico da filosofia da ciência. Nesse número são produzidos cinco artigos que tratam dos seguintes assuntos: i) os aspectos morais envolvidos na produção do conhecimento químico (por exemplo, o aumento do conhecimento implica em riscos que devem ser assumidos pelos cientistas); ii) a discussão sobre os limites para a síntese química, que não pode ser entendida como um lugar ‘onde vale tudo’ (por exemplo, os químicos sintéticos devem fazer um severo julgamento sobre as moléculas que estão sintetizando); iii) o excesso de manipulação na produção de novas substâncias (por exemplo, a falta de controle dos órgãos responsáveis sobre muitos dos produtos químicos mais usados no mundo atualmente); iv) o aspecto comercial do estabelecimento de patentes na Química (por exemplo, a necessidade de produzir patentes pode ignorar aspectos éticos envolvidos na constituição dessas patentes); e por fim, v) uma síntese dos aspectos comerciais da pesquisa, do ensino e dos serviços na área da química. Nesse sentido, os artigos defendem a ideia de que é preferível que os próprios químicos façam essa crítica ética, do excesso da manipulação e criação de novas substâncias, do que essa crítica vir de fora da comunidade dos químicos, da sociedade, por exemplo.

O número seguinte da revista, em 2002, também é dedicado ao tema, o que demonstra a preocupação dos filósofos da química com os aspectos éticos relacionados à produção dos indivíduos que se relacionam com a química. O foco é a formação do aluno de química na universidade e se acredita, então, na ideia que a formação reflexiva desse aluno pode levá-lo a ter uma atitude profissional reflexiva e assim caminhar guiado por padrões éticos mais rígidos.

### 3. Considerações finais

Através da revisão de editoriais e de alguns artigos publicados nas duas principais revistas da área, buscamos mostrar que a filosofia da química, a despeito da longa negligência filosófica que sofreu por parte da filosofia da ciência e dos próprios químicos, está plenamente estabelecida como uma legítima disciplina dentro da filosofia da ciência, trazendo reflexões importantes para todos aqueles que acreditam no papel crucial que a reflexão filosófica pode trazer para iluminar questões da própria ciência.

Nesse sentido, entendemos oportuno concluir nossa revisão com a sugestão de Laszlo (2001) para a redação de artigos para os periódicos de filosofia da química, como o *Hyle* e o *Foundations of Chemistry*. Em sua opinião os professores de química deveriam ser considerados com uma audiência preferencial desses periódicos. Isso se deve ao fato de que os professores de química necessitam explicar conceitos difíceis e intrincados, então eles necessitam de toda a ajuda que possa ser dada. Porém, segundo esse autor, ao fazê-los parte da audiência da filosofia da química, seria necessário seguir um imperativo: tornar os artigos legíveis, ou seja, evitar neles o uso excessivo de jargão técnico ou filosófico e fazer um balanço cuidadoso entre narrativa e didática.

Pode-se depreender dessa recomendação que o autor faz uma crítica aos textos filosóficos, por julgá-los herméticos ou demasiadamente rebuscados, por exemplo. É claro que a filosofia necessita cuidados e precisão nas suas definições e nos termos que são utilizados para desenvolver as ideias em debate. O que Laszlo (2001) talvez queira dizer é que é preciso ter um outro cuidado, ainda mais atento com a audiência, que produza esclarecimentos semânticos para os debates que serão apresentados filosoficamente.

Assim, como sugestão final, rogamos que filósofos da química ou filósofos da ciência se sintam convidados, então, a escrever para os professores de química!

## Referências bibliográficas

---

- Del Re, G. (2000), "Models and Analogies in Science", *Hyle – International Journal for Philosophy of Chemistry* 6: 5-15.
- Earley, J.E. (2005), "Why There Is No Salt in the Sea?", *Foundations of Chemistry* 7 (2): 85-102.
- Harré, R. (2005), "Chemical Kinds and Essences Revisited", *Foundations of Chemistry* 7 (1): 7-30.
- Laszlo, P. (2001), "A Sketch of a Program", *Foundations of Chemistry* 3: 269-271.
- Kidwai, M. y R. Mohan (2005), "Green Chemistry: An Innovative Technology", *Foundations of Chemistry* 7 (3): 269-287.
- Lombardi, O. y M. Labarca (2005), "The Ontological Autonomy of Chemical World", *Foundations of Chemistry* 7 (2): 125-148.
- Scerri, E.R. (1999a), "Editorial 1", *Foundations of Chemistry* 1: 1-5.
- Scerri, E.R. (1999b), "Editorial 2", *Foundations of Chemistry* 1: 107-109.
- Scerri, E.R. (2000), "Editorial 4", *Foundations of Chemistry* 2: 1-4.
- Scerri, E.R. (2001a), "Editorial 7", *Foundations of Chemistry* 3: 1-5.
- Scerri, E.R. (2001b), "Editorial 8 – Special Issue on the Periodic System of the Elements", *Foundations of Chemistry* 3: 97-104.
- Scerri, E.R. (2005), "Editorial 19 – Special Issue on Philosophical Problems of Chemical Kinds", *Foundations of Chemistry* 7: 1-4.
- Scerri, E.R. (2006), "Editorial 23", *Foundations of Chemistry* 8: 93-95.
- Scerri, E.R. (2010), "Editorial 34", *Foundations of Chemistry* 12: 1-3.
- Schummer, J. (1995), "Editorial 1", *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry* 1: 1.
- Schummer, J. (1996a), "Editorial 2", *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry* 2: 1.
- Schummer, J. (1996b), "Bibliographie chemiephilosophischer Literatur der DDR", *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry* 2: 3-11.
- Schummer, J. (1999), "Special Anniversary Issue. Models in Chemistry (1). Editorial", *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry* 5 (2): 77-78.
- Schummer, J. (2001), "Special Issue. Ethics of Chemistry, Part 1. Editorial", *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry* 7 (2): 83-84.
- Schummer, J. (2006), "Gestalt Switch in Molecular Image Perception: The Aesthetic Origin of Molecular Nanotechnology in Supramolecular Chemistry", *Foundations of Chemistry* 8 (1): 53-72.
- Tomasi, J. (1999), "Towards a Chemical Congruence of the Models in Theoretical Chemistry", *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry* 5 (2): 79-115.

# A fenomenotecnia bachelardiana e a Teoria da Relatividade

*José Ernane Carneiro Carvalho Filho*<sup>†</sup>

## Resumo

A perspectiva desenvolvida por Bachelard levanta importantes leituras sobre o papel dos instrumentos científicos. Primeiro, destaca a ideia de que o real é acessado por teorias materializadas, os instrumentos científicos; segundo, a fenomenotecnia apresentada por Bachelard contribui na construção de fenômenos não existentes ou inacessíveis ao homem. Outro aspecto relevante é a superação da ideia de uma objetividade a ser encontrada por uma experiência a ser construída, isto é, uma objetivação do real. E por fim, a fenomenotecnia revela o caráter social da produção do conhecimento científico.

## 1. Introdução

A problemática da relação entre teoria e o real na Epistemologia Bachelardiana assume uma característica bastante peculiar. Bachelard procura demonstrar que o acesso ao real não acontece de forma direta, e que as formulações científicas não descrevem o real, mas uma realidade construída. Essa realidade é mediada pelos instrumentos científicos que possibilitam a ampliação da capacidade humana de lidar com os fenômenos da natureza. No entanto, a mediação pelos instrumentos científicos não significa o acesso à realidade em si, mas um mecanismo construído pelo homem, isto é, esses instrumentos são, em realidade, teorias científicas materializadas para mediar o acesso entre a teoria e a experiência científica.<sup>1</sup>

A perspectiva desenvolvida por Bachelard levanta importantes leituras sobre o papel dos instrumentos científicos. Primeiro, destaca a ideia de que o real é acessado por teorias materializadas, os instrumentos científicos; segundo, a fenomenotecnia apresentada por Bachelard contribui na construção de fenômenos não existentes ou inacessíveis ao homem. Outro aspecto relevante é a superação da ideia de uma objetividade a ser encontrada por uma experiência a ser construída, isto é, uma objetivação do real. E por fim, a fenomenotecnia revela o caráter social da produção do conhecimento científico.

## 2. A fenomenotecnia bachelardiana

Para Bachelard a ciência atual criou uma verdadeira técnica de construção de fenômenos, tornando-se assim, uma “verdadeira fenomenologia científica, [...] é essencialmente uma fenomenotécnica” (Bachelard 2000, p. 19), isto é, produtora de realidade e não reprodutora. Neste sentido, nas pesquisas atuais “o instrumento é o mediador necessário para estudar um fenômeno verdadeiramente instrumentado, designado como objeto de uma fenomenotécnica” (Bachelard 1977a, p. 9).

---

<sup>†</sup> Universidade do Estado da Bahia (UNEB)–Faculdade Anísio Teixeira (FAT)–Rede Pública do Estado da Bahia. Para contatar ao autor, por favor, escreva a: ernanefilho5@hotmail.com.

<sup>1</sup> “Os instrumentos não são senão teorias materializadas. Deles saem fenômenos que trazem por todos os lados a marca teórica” (Bachelard 2000, p. 19).

Alguns estudiosos da obra de Bachelard, ao tratarem da fenomenotecnia, realçam que os instrumentos científicos são teorias materializadas. Barbosa, por exemplo, afirma que “os instrumentos são teorias materializadas” (Barbosa 1996, p. 143) e Canguilhem que “na ciência moderna os instrumentos não são auxiliares, são os novos órgãos que a inteligência se apropria para excluir do circuito científico os órgãos dos sentidos, como receptores” (Canguilhem 1975, p. 191). Assim, a perspectiva adotada por esses estudiosos da Epistemologia de Bachelard demonstra, claramente, que não se tem acesso ao real como os instrumentos científicos, visto que, em realidade, estamos “vendo” fenômenos através de uma lente.

Outro aspecto importante levantado por Bachelard é o papel criador da técnica, visto que ela cria fenômenos inexistentes para a ciência. Segundo Castelão-Lawless “Bachelard sustenta assim que a atividade científica compreende a fabricação e a invenção, e que os fenômenos são provocados pelas técnicas experimentais” (Castelão-Lawless 2005, p. 114) e Desti, por sua vez, afirma que “para Bachelard a realidade na ciência moderna é uma realização. Com efeito, longe de reencontrar uma ordem nos dados dos fatos, a ciência inventa e fabrica fatos” (Desti 2006, p. 18) o que leva Castelão-Lawless a enfatizar o realismo de segunda posição de Bachelard: “desde o instante que os instrumentos são teorias materializadas, não existe diferença qualitativa entre os produtos da física ou da química matemática e os produtos da tecnociência” (Castelão-Lawless 2005, p. 114).

Segundo essa linha de raciocínio, é possível afirmar que a fenomenotecnia em Bachelard está em consonância com a crítica que desenvolve ao realismo.<sup>2</sup> Segundo Lecourt

A atividade do pensamento científico consiste em vias focadas nos instrumentos teoricamente definidos e por isso, na montagem de aparelhos segundo programas de realização racional em efetuar *acoplamentos* entre o abstrato e o concreto. Ou ainda, para empregar outra expressão de Bachelard, a *concretizar* o abstrato (Lecourt 2002, p. 70).

Almeida, por sua vez, afirma que “a realidade é, portanto, uma consequência provisória da atividade do espírito, do trabalho da razão, jamais um achado” (Almeida, 2005, p. 38). Assim, segundo Lemos, a ciência atual não busca uma teoria do real, “mas de uma ciência que efetivamente torna real a teoria, real este que é discursivo, mas nem por isso menos construído na sua aplicabilidade” (Lemos 2005, p. 280), indo ao encontro da tese de Bachelard sobre a Teoria da Relatividade: “a Relatividade não encontra, de início, uma realidade sobre a qual, posteriormente, se aplicaria em estudar, seguindo assim a orientação de todo realismo, mas ela organiza entidades antes de colocar [...] o problema essencialmente secundário de sua realidade” (Bachelard 1929, p. 213).

Essa maneira de compreender a problemática científica leva a uma revisão da objetividade. Se os instrumentos utilizados pela ciência seriam uma garantia de acesso ao real, de forma independente do sujeito, com a perspectiva adotada por Bachelard chega-se a uma situação em que esse real é uma construção, uma formulação e não reprodução fiel do real.

Essa leitura da objetividade leva a uma reformulação do papel desempenhado pelo método científico. Este era visto como um mecanismo de garantia da validade do saber da ciência. No entanto, com o advento da interpretação bachelardiana, não é mais possível pensar o método com tal característica, visto que Bachelard defende “uma cooperação sempre renovada das teorias e métodos, em suma, assinala a dialética do abstrato e do concreto” (Almeida 2005, p. 42). Essa renovação constante do método científico está relacionada com o próprio fenômeno que se está estudando. Isso ocorre porque, segundo Almeida, “as variáveis mudam após o método escolhido e o melhor método depende sempre do que se pretende alcançar, isto é, de um aspecto bem definido e bem determinado do fenômeno” (Almeida 2005, p. 43). Essa visão da relação entre o teórico e o experimental, mediado pelo método, leva Canguilhem a defender que “uma ligação real entre fenômenos supõe inseparáveis a medida e a detecção, a análise e os aparelhos, a proteção contra

<sup>2</sup> “Com o progresso técnico, ‘a realidade’ estudada pelo cientista muda de aspecto, perdendo assim esse caráter de permanência que fundamenta o realismo filosófico” (Bachelard 1977a, p. 16).

as perturbações, enfim, uma teoria matemática e uma técnica experimental da causalidade” (Canguilhem 1975, p. 193).

Essa visão do método científico implica em perceber que ele não garante uma verdade definitiva como se acreditava. O método se torna, com as novas teorias científicas, extremamente circunstanciado. O método torna-se, então, um fator de “mediação entre o pensamento e a realidade” (Barbosa 2010, p. 93), visto que, o método “é sempre um ponto de vista sobre o real. Ele não pode transformar-se em rotina, sob pena de perder o seu valor de fecundidade. [...] Se os objetos são mutáveis, o método precisa acompanhar o seu movimento, logo, ele não pode ser estabelecido nem antes nem fora do trabalho científico” (Barbosa 1996, pp. 104-105).

Neste contexto, podemos perceber que se o método científico não garante a verdade na ciência, o dado científico é fruto da construção do método utilizado. Canguilhem a esse respeito, afirma que “a prova científica é trabalho porque reorganiza o dado, porque suscita efeitos sem equivalentes naturais, porque constrói seus órgãos” (Canguilhem, 1975, p. 192), visto que a objetividade científica “coloca entre parênteses o que é imediatamente dado e que concerne a um pensamento que não parte do real, mas alcança o real, que o constitui, o organiza, conferindo-lhe um valor de objetividade” (Desti 2006, p. 8). Essa perspectiva leva Brunschvicg a afirmar, segundo Canguilhem, que “a ciência não reflete a verdade, ela a dita” (Canguilhem 1975, p. 191). A objetividade passa a ser desse modo

Fundada sobre a existência de objetos ou de uma realidade objetiva. A objetividade deixa, pois, de ser um dado primitivo. Ela tem que ser conquistada. É através de racionalizações e técnicas que o conhecimento encontra sua coerência. O objeto científico não pode aparecer de imediato como objetivo. A objetividade passa a ser um processo, o que significa dizer que a objetividade, para Bachelard, é uma objetivação e deve, assim, ser constantemente reconquistada (Barbosa; Bulcão 2004, p. 39).

Essa perspectiva de objetividade conduz a outra visão sobre a verdade. Com Bachelard a verdade toma outro caráter, a verdade de uma teoria e não a verdade no sentido universal. Essa restrição ocorre devido à limitação da abrangência das teorias, às restrições impostas pelos métodos e, também, à mediação “conduzida” pelos instrumentos científicos. Barbosa afirma a esse respeito que “a verdade deixa de ser uma correspondência entre o pensamento e a realidade para ser uma construção realizada e regulada pela comunidade científica. A verdade é sempre a verdade de uma teoria; ela não aparece através da relação com a realidade” (Barbosa 1996, p. 114), o que é partilhado também por Cesar ao afirmar que a verdade em Bachelard “não é mera concordância entre pensamento e realidade; mas infinita aproximação entre as teorias construídas pelo sujeito cognoscente, cada vez mais complexo na sua evolução e a realidade, como resistência e mistério não é mera coerência racional, mas coerência medida pela eficácia das teorias” (Cesar 1996, p. 114).

A verdade, como resultado de uma teoria científica, circunstanciada, está em consonância com o pensamento de Bachelard que pensa numa verdade momentânea, visto que o conhecimento científico é histórico. Lecourt afirma que a interpretação desenvolvida por Bachelard rompe com o idealismo de uma verdade absoluta, visto que “uma verdade científica não pode ser concebida como ‘absoluta’ no sentido em que seria o ponto final, o ponto de perfeição do conhecimento, mas que é somente uma etapa de um processo de aproximação crescente” (Lecourt 1974, p. 73).

Esta visão de que a verdade apresenta um caráter histórico é destacada por Cesar quando afirma que

A verdade se apresenta como *lógica e formal*, enquanto visa coerência, coordenação da realidade; mas se apresenta, também, como *assertórica*, ocupada com a redução da indeterminação das descrições finas, com o aprofundamento da compreensão. Este segundo tipo de verdade está ligado à verificação progressiva das teorias, à prova de fecundidade e do progresso a que conduz (Cesar 1996, p. 113).

Ou seja, “as verdades produzidas pelas ciências se estabelecem ao fim de um *processo*” (Lecourt 1974, p. 72). A verdade, na Epistemologia Bachelardiana, estaria subordinada ao processo de

objetivação que não se constitui numa realidade, mas numa conquista. A validação da teoria científica como seu processo de objetivação está ligado, intrinsecamente, à comunidade científica que valida os seus resultados, ou seja, “é a cidade científica que é a criadora de suas próprias *normas*. É portanto ela que é a detentora dos critérios da objetividade ou da veracidade” (Lecourt 2002, p. 76).

A perspectiva destacada por Bachelard, da feição limitada da objetividade, ao defender uma objetivação do real científico e do papel desempenhado pela comunidade científica, demonstra claramente o caráter social deste conhecimento. Castelão-Lawless afirma que “a técnica é a expressão racional da visão de mundo científica, tanto que o conhecimento científico resulta tecnicamente da objetividade no instrumento científico” (Castelão-Lawless 2005, p. 106), visto que a fenomenotecnia “reflete o caráter social, construído, historicamente contingente do conhecimento científico, como entidades científicas” (Castelão-Lawless 2005, p. 106), destruindo, assim, a ideia de uma ciência independente das questões sociais em que é elaborada.

A fenomenotecnia no pensamento de Bachelard se constitui, portanto, num importante conceito, pois permite relacionar a formulação teórica com a experiência. A experiência científica, na atualidade, somente é possível pela mediação dos instrumentos que eram considerados neutros no processo de construção do saber. Com a perspectiva desenvolvida por Bachelard, o instrumento é uma teoria materializada e, portanto, não permite o acesso à realidade como ela é, sendo uma perspectiva de “ver” o fenômeno. Esse conceito também permite uma conciliação entre o aspecto teórico da ciência e a experiência, pois estabelece uma interligação entre as duas faces do processo científico.

### 3. A Teoria da Relatividade e a fenomenotecnia bachelardiana

A partir do exposto é possível compreender a Teoria da Relatividade como uma teoria criada a partir da fenomenotecnia bachelardiana.

A maneira de entender o processo de constituição da Teoria da Relatividade em Bachelard é resultado da leitura que realizara da obra de Émile Meyerson *La deduction relativiste*, em 1925. Nesta obra, Meyerson defende os conceitos relativísticos como reais. A realidade concreta se caracteriza como tendo uma existência independente do sujeito, no sentido em que o senso comum a define, como objetos que existem concretamente, não estando relacionados com os processos psíquicos de interação com a realidade externa.

Esta realidade concreta definida por Meyerson não está relacionada apenas aos objetos que se tem contato, mas também, com aqueles que são apenas entes científicos ou fruto de instrumentos, como os objetos astronômicos, pois estes “não são, portanto, as impressões puras e simples de nossos órgãos dos sentidos, tornados estes órgãos afinados pelo uso de instrumentos” (Meyerson 1925, p. 20). Assim, Meyerson admite a criação de objetos que são meramente dedutivos, mas que poderão ser constatados experimentalmente com o avanço científico e tendo sua realidade no mesmo nível que o atribuído pelo senso comum:

Estes objetos criados pela ciência são verdadeiramente percebidos, mesmo utilizando instrumentos ópticos; sua existência pode ser simplesmente inferida, de tal sorte que um ser inteiramente hipotético pode tornar-se, as inferências se multiplicando, tornar-se, assim, completamente real. As moléculas e os átomos somente eram seres da razão desde Demócrito até a nossa época; então desde Senhor Gouy, Senhor Perrin e Senhora Brag, eles fazem, não há dúvidas, parte do real físico. E nada é mais certo que o fato que nós concluímos sua existência por raciocínios análogos a estes pelos quais o senso comum se persuade da existência de um objeto qualquer<sup>600</sup> (Meyerson 1925, pp. 20-21).

Assim posto, Meyerson defende que os objetos da realidade científica são semelhantes aos do senso comum na aceção de existência: “o real científico, tanto por sua essência quanto por sua gênese, assemelha-se em todos os pontos a este que nos oferece a percepção espontânea do senso comum” (Meyerson 1925, p. 29). Assim, as teorias científicas como a Teoria da Relatividade de Einstein apresentam um caráter realista no sentido que, por exemplo, o espaço de quatro dimensões

existe de fato, não sendo apenas uma criação do espírito humano.

É a partir deste diálogo que Bachelard estabelece com Meyerson que elabora uma concepção indutivista da Teoria da Relatividade.

No contexto teórico do pensamento de Bachelard, é necessário analisar o cálculo tensorial que sustenta a Teoria da Relatividade Geral. Essa ferramenta matemática se constitui num elemento muito importante no pensamento bachelardiano porque ela seria a expressão máxima da construção de uma realidade abstrata a partir da Matemática e que seria capaz de expressar os princípios da Teoria da Relatividade com bastante precisão.

O cálculo tensorial apresenta em sua essência a capacidade de generalização por possibilitar através de seus recursos de variação um duplo papel: ser possível a partir de situações particulares inferir a generalização tendo por base sua estrutura matemática permanente, levando Bachelard a afirmar que “o cálculo tensorial é um método” (Bachelard 1929, p. 65).

Bachelard desenvolve uma argumentação bastante ampla para expressar o caráter metodológico do cálculo tensorial. Para confirmar como é possível a partir de um caso particular alcançar o geral<sup>3</sup>, utilizando a indução matemática, ele menciona a passagem de uma coordenada em transformação galileana para a einsteiniana:

Quando uma lei física é expressa em coordenadas galileanas por uma relação onde figuram expressões que são visivelmente formas degeneradas de tensores e (de) suas derivadas ordinárias, nós podemos, sempre em coordenadas galileanas, recolocar as formas degeneradas pelos próprios tensores e as derivadas ordinárias pelas derivadas covariantes; em coordenadas galileanas, nada é alterado e ao mesmo tempo a lei é colocada sob uma forma tensorial geral. Esta forma é exigida pelo princípio da relatividade, pois ele é independente do sistema de coordenadas: é certamente a expressão geral da lei em coordenadas arbitrárias no universo euclidiano e é quase sempre a expressão da lei em um universo não-euclidiano, no Universo real onde existe um campo de gravitação (Bachelard 1929, p. 66).

Com esse exemplo Bachelard procura demonstrar como é possível passar de uma situação particular, no caso as coordenadas galileanas, para uma lei geral, à forma tensorial geral. Essa passagem de um caso particular para um geral é possível graças às características do cálculo tensorial que “por suas fórmulas condensadas [...] chega a inscrever a generalidade sob o signo persuasivo do particular” (Bachelard 1929, p. 63). Essa generalização é alcançada por meio desse cálculo porque, segundo Bachelard, é a partir da construção matemática que emerge a realidade. E esta, neste caso, são os elementos que permanecem constantes e não sofrem modificações.

Segundo Spaier, esse método descrito por Bachelard não se limita ao particular, mas culmina numa generalização visto que “a operação, longe de tomar seu ponto de partida no ‘particular’, é uma espécie de generalização prévia que acaba por nos conduzir ao encontro dos dados experimentais mais tênues” (Spaier 1931-1932, p. 369). Desta forma, “a generalização nos livrará dos elementos do real que escapariam a um estudo aprofundado do caso particular, sempre tocado de relatividade” (Bachelard 1929, p. 52). A conquista, então, da realidade em Bachelard, se dá pela generalização<sup>4</sup> que é alcançada por “vias indutivas” (Bachelard 1929, p. 52).

Essa maneira de conceber a construção do conhecimento científico significa uma ruptura com a tese realista ao afirmar que não existe uma realidade a ser encontrada, mas a ser construída numa interação entre os pressupostos teóricos e empíricos. Neste sentido Bachelard declara que

A possibilidade ambiente vai em qualquer sorte penetrar na realidade, dar a esta realidade, no sentido mesmo do possível, sua verdadeira figura. E *vice versa*, a realidade vai afirmar os quadros da possibilidade pura. Realidade e possibilidade vão se encontrar separadas sob uma totalidade de ordem algébrica particularmente homogênea (Bachelard 1929, p. 80).

Assim, as projeções teóricas encontraram o real que dará os contornos dessa projeção através da

<sup>3</sup> O geral é alcançado pela generalização dos elementos permanentes. É o permanente que constitui a realidade e permite a sua generalização em lei.

<sup>4</sup> “Prova-se então a realidade pela generalidade” (Bachelard 1929, p. 52).

experiência científica, ou seja, a realidade não será descoberta, mas chamada a participar da construção da realidade como afirma Bachelard:

A Realidade terá epistemologicamente um papel novo porque ela poderá ajudar na incorporação de uma possibilidade vaga e precária, dotada de um sentido inicial simplesmente algébrico, em um corpo geral e coerente de possibilidades. Em outras palavras, se vai de um sentido simplesmente matemático da possibilidade a um sentido realista da possibilidade. Em compensação, o esforço construtivo das matemáticas escapará à objeção de ser inteiramente artificial porque tomará certamente sua impulsão nos caracteres nitidamente experimentais (Bachelard 1929, p. 81).

A feição da Teoria da Relatividade implica, antes de tudo, em um caráter *a priori* dos aspectos teóricos em relação ao real, onde o teórico aparece então como possibilidade que encontra uma realidade apta a receber suas determinações. É nesse contexto que o cálculo estabelece as diretrizes a serem seguidas na elaboração da realidade o que implica num estabelecimento de estruturas que se mantêm constantes e caracterizam a existência de uma realidade a partir do processo de generalização conduzido pelo cálculo tensorial - na situação específica, a realidade científica.

Esse caráter *a priori* dos enunciados relativistas têm, segundo Bachelard, uma coerência interna independente da realidade, porque

O Relativista não se limita a estabelecer a possibilidade *a priori* de uma experiência, ele estuda esta possibilidade nela e por ela mesma. Ele faz do possível um sistema. Se tem mesmo a impressão que o Relativista vai mais longe e que se enamora de um verdadeiro realismo platônico do possível, ele tende à atribuir a substância uma organização rica e coerente do possível (Bachelard 1929, pp. 81-82).

Por conseguinte, a teoria possui uma independência em relação ao real. Em realidade, é o teórico que define o real científico no âmbito da Epistemologia Bachelardiana.

#### 4. Conclusão

Tal forma de compreender a Teoria da Relatividade levaria naturalmente à ideia de que ela seria indutiva e não dedutiva. Bachelard argumenta que a Teoria da Relatividade é uma teoria dedutiva quando afirma que “ela parte do geral, o assegura, o confirma, o multiplica. É no âmbito de uma generalidade assim multiplicada e organizada que a Relatividade encontra a via que conduz às especificações” (Bachelard 1929, p. 207). No entanto, o aspecto indutivo da mencionada teoria aparece quando é possível inferir uma realidade a partir de casos particulares e generalizá-los por meio do cálculo tensorial.

A indução se caracteriza, então, no pensamento bachelardiano como um verdadeiro método de descoberta. É neste sentido que Fruteau de Laclos entende o cálculo tensorial como um “‘método de descoberta progressivo’ que através da indução Bachelard espera opor à dedução explicativa” (Fruteau de Laclos 2005, p. 62) ou Spaier quando afirma que “a Relatividade não é tanto uma dedução explicativa como ‘um método de descoberta progressivo’, em resumo, que o valor essencial da Relatividade é *seu valor indutivo*, daí o título do volume” (Spaier 1931-1932, p. 369). O que Bachelard procura demonstrar é que os fenômenos relativísticos não são explicados pela Teoria da Relatividade. Eles são descobertos no contexto desta teoria, ou seja, eles somente existem a partir da Teoria.

Dessa forma, a Teoria da Relatividade continua apresentando um caráter dedutivo, mas comportaria em seu âmbito um aspecto indutivo, quando a partir de formulações matemáticas, o cálculo tensorial, por exemplo, é possível inferir uma realidade por meio dos objetos matemáticos que se caracterizam por sua permanência. A ideia de Bachelard não era provar que a Teoria da Relatividade era indutiva, mas de mostrar que ela possui um caráter indutivo: a indução matemática. Logo, pode-se afirmar que a Teoria da Relatividade seria dedutivo-indutiva.

## Referências bibliográficas

- Almeida, F.F. (2005), “Gaston Bachelard: réalisme et objectivité en physique”, *Cahiers Gaston Bachelard* 7: 36-50.
- Bachelard, G. (1929), *La valeur inductive de la relativité [1929]*, Paris: J. Vrin.
- Bachelard, G. (1977), *O racionalismo aplicado [1949]*, Rio de Janeiro: Zahar Editores.
- Bachelard, G. (2000), *O novo espírito científico [1934]*, Rio de Janeiro: Tempo Brasileiro.
- Barbosa, E. (1996), *Gaston Bachelard: o arauto da pós-modernidade*, 2. ed. Salvador: Editora da Universidade Federal da Bahia.
- Barbosa, E. (2010), “Gaston Bachelard: precursor de uma nova epistemologia”, in Sant’Anna, C. (org.), *Para ler Gaston Bachelard: ciência e arte*, Salvador: EDUFBA, pp. 89-98.
- Barbosa, E. e M. Bulcão (2004), *Bachelard: pedagogia da razão, pedagogia da imaginação*, Petrópolis: Vozes.
- Canguilhem, G. (1975), “Gaston Bachelard”, in Canguilhem, G., *Études d’histoire et de philosophie des sciences*, Paris: J. Vrin, pp. 173-207.
- Cesar, M.C. (1996), *A hermenêutica francesa: Bachelard*, Campinas, SP: Alinea.
- Castelão-Lawless, T. (2005), “La phénoménotecnie dans sa perspective historique: ses origines et ses influences sur la philosophie des sciences”, *Cahiers Gaston Bachelard* 7: 106-124.
- Desti, B. (2006), “La leçon de la science dans la philosophie de Gaston Bachelard”, *Bulletin de l’Association des amis de Gaston Bachelard* 8: 8-20.
- Fruteau de Laclos, F. (2005), “Bachelard et la valeur réaliste de la relativité”, *Bulletin de l’Association des Amis de Gaston Bachelard* 7: 47-67.
- Lecourt, D. (1974), *Bachelard: ou, Le jour et la nuit: un essai du matérialisme dialectique*, Paris: Bernard Grasset.
- Lecourt, D. (2002), *L’épistémologie historique de Gaston Bachelard*. Paris: Vrin.
- Lemos, G. (2005), “O conceito de metafísica em o novo espírito científico”, in Bulcão, M. (org.), *Bachelard: razão e imaginação*, Feira de Santana: Núcleo Interdisciplinar de Estudos e Pesquisas em Filosofia da Universidade Estadual de Feira de Santana, pp. 279-285.
- Meyerson, É. (1925), *La déduction relativiste [1925]*, Paris: Payot.
- Spaier, A. (1931-1932), “Resumo do livro *La valeur inductive de la Relativité*”, *Recherches philosophiques* I: 368-373.



# A natureza da matéria e a explicação cartesiana dos fenômenos meteorológicos

Paulo Tadeu da Silva<sup>†</sup>

## Resumo

A presente exposição visa analisar alguns dos fenômenos explicados por Descartes em *Os meteoros*, um dos ensaios que acompanham o *Discurso do método*. Mais precisamente, pretende-se discutir em que sentido a exposição sobre a natureza da matéria – desenvolvida no primeiro discurso, intitulado “Da natureza dos corpos terrestres” – fornece elementos fundamentais para a explicação dos fenômenos abordados nos discursos seguintes.

## 1. Introdução

Em 1637 Descartes publica o *Discurso do método para bem conduzir sua razão e procurar as verdades na ciência, mais A dióptrica, Os meteoros e A geometria, que são as provas desse método*. Na introdução ao terceiro volume das obras completas de Descartes, editada por Beyssade e Kambouchner, Frédéric de Buzon afirma que os ensaios não tiveram o mesmo sucesso do *Discurso* e pergunta se podemos considerar a obra de 1637 como um livro (ver Beyssade & Kambouchner 2009, p. 15). De acordo com ele, tal questão pode ser levantada ao considerarmos o título da obra, que nos remete a elementos distintos: a proposição de um novo método e a apresentação de três tratados sobre matemática mista, física e matemática pura. Não pretendo discutir os aspectos ópticos ou matemáticos tratados por Descartes no primeiro e no terceiro ensaios que acompanham o *Discurso*. Minha abordagem estará circunscrita a *Os meteoros*. Nessa perspectiva, pretendo analisar alguns aspectos presentes nos discursos I, II, IV desse tratado.

O principal objetivo de Descartes em *Os Meteoros* consiste em apresentar uma teoria sobre a composição física dos corpos terrestres e, com ela, um conjunto de explicações sobre diferentes fenômenos meteorológicos, isto é, fenômenos que observamos sobre a terra e no céu próximo (ver Beyssade & Kambouchner 2009, p. 17). Mas como isso é feito? Segundo De Buzon, *Os meteoros* “são uma amostra de física não escolástica, explicando os fenômenos terrestres pela figura e o movimento, utilizando modelos mecânicos, e não mais pelas ‘formas’ e ‘qualidades’ da física antiga”(Beyssade & Kambouchner 2009, p. 16).

Há nessa interpretação de De Buzon alguns aspectos fundamentais, que serão os fios condutores de minha exposição, a saber, a utilização de modelos mecânicos e a explicação dos fenômenos terrestres por meio da figura e do movimento. De fato, parece-me que esses são dois pontos centrais, pois caracterizam o modo como Descartes dá conta da natureza dos corpos terrestres, dos vapores, das exalações e dos ventos, fenômenos explicados nos discursos I, II e IV de *Os meteoros*.

Dentre as obras científicas de Descartes é possível notar uma clara relação entre três textos: *O mundo* (1633), *Os meteoros* (1637) e os *Princípios de filosofia* (1644). Ainda que com diferenças significativas quanto a sua estrutura e seus objetos, não há dúvida quanto à relação entre esses

---

<sup>†</sup> Centro de Ciências Naturais e Humanas, Universidade Federal do ABC (UFABC). Para contatar ao autor, por favor, escreva a: paulo.tadeu@ufabc.edu.br.

textos. Uma delas diz respeito à concepção de matéria proposta por Descartes, que fornece os fundamentos para a explicação dos fenômenos terrestres e celestes. Outra característica importante é a forma como Descartes encaminha a explicação desses fenômenos, à qual De Buzon faz referência na passagem transcrita acima. Mas além dessa relação, é preciso notar ainda o lugar ocupado por *Os meteoros*. E aqui, mais uma vez, De Buzon fornece algumas indicações importantes. Com a redação de *O Mundo* e do *Tratado do homem*, Descartes oferecia ao seu leitor um conjunto teórico voltado para uma física geral e uma fisiologia mecanicista. Contudo, esse conjunto parecia deixar em aberto o estudo dos corpos e dos fenômenos terrestres, assuntos investigados em *Os meteoros*. Como sabemos, Descartes abre mão da publicação de *O mundo* e do *Tratado do homem*, em virtude da condenação de Galileu. Com isso, segundo De Buzon, a única solução que então se apresentou a Descartes foi publicar obras relativas à física, mas não uma física, com o objetivo de “suscitar novas experiências e fazer assim progredir o conhecimento dos fenômenos” (Beysade & Kambouchner 2009, p. 22).

## 2. As suposições sobre a matéria e a natureza dos corpos

No terceiro parágrafo do primeiro discurso de *Os meteoros*, Descartes adverte o leitor de que o conhecimento das coisas depende da determinação dos princípios gerais, segundo os quais a natureza opera. Contudo, para ele, tais princípios ainda não foram bem explicados. Ele espera, então, não apenas determiná-los, mas principalmente tornar suas suposições de tal modo simples e fáceis, que não se teria qualquer dificuldade em entendê-las. A primeira dessas suposições assume um papel fundamental, pois estabelece que todos os corpos são compostos de pequenas partes com diferentes figuras e espessuras. Uma vez que essas partes não estão tão perfeitamente ajustadas umas às outras, Descartes afirma que os intervalos entre essas partes são preenchidos por uma matéria muito sutil. Tal concepção, fundamental para explicação dos fenômenos naturais, será igualmente importante para a distinção entre corpos duros e corpos líquidos e, além disso, intimamente relacionada com a recusa cartesiana do vazio.<sup>1</sup>

Esse conjunto de suposições contempla, em linhas gerais, o seguinte: 1) a determinação da natureza da matéria; 2) a distinção entre corpos duros e líquidos, tendo em vista os diferentes estados da matéria e o movimento de suas partes; 3) a suposição de uma matéria sutil, responsável pelo preenchimento dos interstícios entre as pequenas partes que compõem os corpos e o meio no qual eles se encontram.

Suponho, primeiramente, que a água, a terra, o ar e todos os outros corpos que nos circundam são compostos de muitas pequenas partes de figuras e espessuras diversas, as quais nunca estão tão bem arranjadas, nem tão exatamente unidas, que não restem muitos intervalos em torno delas. E que esses intervalos não são vazios, mas preenchidos de uma matéria muito sutil, por intermédio da qual eu disse acima que a ação da luz é comunicada. A seguir, em particular, suponho que as pequenas partes das quais a água é composta são longas, unidas e escorregadias, tais como pequenas enguias, as quais, embora se juntem entrelaçando-se, jamais se impedem nem se agarram, de tal maneira que, por isso, elas não podem ser facilmente separadas, e, ao contrário, suponho que quase todas aquelas partes, tanto da terra como mesmo do ar e da maioria dos outros corpos, têm figuras tão irregulares e desiguais, de modo que elas não podem ser tão pouco entrelaçadas, que não se agarrem e se liguem umas às outras, assim como fazem os diversos ramos dos arbustos que crescem conjuntamente em uma sebe. E quando essas partes são ligadas dessa maneira, elas compõem os corpos duros, tais como a terra, a madeira ou outros semelhantes, ao passo que, se elas são simplesmente postas umas sobre as outras, sem serem senão muito pouco ou nada entrelaçadas, e se, com isso, elas forem tão pequenas que possam ser movidas e separadas pela agitação da matéria sutil que as circunda, elas devem ocupar muito espaço e compor os corpos líquidos muito rarefeitos e bastante leves, tais como os óleos ou o ar. (AT 2000, 6, pp. 233-234)

<sup>1</sup> Tais aspectos serão retomados na segunda parte dos *Princípios de Filosofia*, momento no qual o autor apresenta as razões para rejeitar a existência do vazio.

Encontramos nessa passagem não só as suposições acima mencionadas, como também a articulação entre elas. Em primeiro lugar, todos os corpos terrestres são caracterizados como compostos de pequenas partes ou corpúsculos de tal forma arranjados que há, entre eles, determinados intervalos. Contudo, como Descartes rejeita o vazio, supõe que esses intervalos são preenchidos por uma matéria muito sutil. É por meio do arranjo dessas partes que se constituem os diferentes tipos de corpos e meios nos quais estão dispostos (ar, água etc.). Se as pequenas partes estão arranjadas de tal modo que não possam ser facilmente separáveis, então elas constituem os corpos duros. Caso contrário, formam os líquidos. É interessante notar aqui o uso de uma analogia para explicar o modo como aquelas pequenas partes se organizam, pois Descartes descreve as partes da água como longas, unidas e escorregadias, comparando-as a pequenas enguias. Outro aspecto a ser observado diz respeito ao final da passagem, quando encontramos a articulação de três elementos: as pequenas partes que compõem a matéria, o movimento dessas partes e a ação da matéria sutil. Quando as partes da matéria estão dispostas umas sobre as outras, sem o mesmo entrelaçamento que caracteriza os corpos duros, elas são facilmente movidas pela agitação da matéria sutil, tal como ocorre com o ar e a água. Essa suposição terá um papel importantíssimo nos discursos posteriores, particularmente naqueles nos quais Descartes explica a natureza e a formação dos vapores, das exalações, dos ventos e das nuvens. Como ele dirá um pouco mais adiante, ainda no primeiro discurso, a maioria das pequenas partes que compõem a água é vergada mais ou menos, de acordo com a agitação e a força da matéria sutil que as envolve (ver AT 2000, 6, p. 238). Esse efeito, por sua vez, assume um papel de destaque na explicação dos mesmos fenômenos acima indicados.

Essas suposições fundamentam uma nova concepção sobre natureza da matéria e dos corpos,<sup>2</sup> bem como a explicação de um amplo conjunto de fenômenos terrestres, objetivo central de *Os meteoros*. É importante notar que tais suposições determinam uma concepção mecanicista da natureza, e isso por alguns motivos principais. Em primeiro lugar, Descartes reduz a matéria a propriedades de ordem geométrica e dotada de características que permitem um funcionamento puramente mecânico. No primeiro caso, as partes dos corpos terrestres são concebidas como passíveis de divisão de uma infinidade de maneiras e formadas por única matéria. Como diz o autor, os corpos “não diferem entre si senão como as pedras de várias diferentes figuras, que tivessem sido cortadas de um mesmo rochedo” (AT 2000, 6, p. 239). Em segundo lugar, essa concepção geométrica da matéria está articulada com uma concepção mecânica dos corpos, tal qual uma máquina, cujas partes são movidas pelo choque. A relação com máquinas ou construtos mecânicos não se coloca apenas nesse plano analógico, mas comparece ainda em outro, na medida em que tais mecanismos são utilizados como recursos importantes para a explicação de alguns fenômenos. Como veremos mais adiante, esse será o caso da eolípila, utilizada para a explicação da formação dos ventos gerados pela dilatação dos vapores. Isso posto, consideremos alguns aspectos concernentes às explicações presentes nos discursos II e IV de *Os meteoros*.

### 3. A mecânica dos vapores, das exalações e dos ventos

Os discursos II, IV e V de *Os meteoros* podem ser tomados como um bloco temático, tendo em vista a articulação dos fenômenos neles tratados. A geração de vapores e exalações decorre do processo de evaporação das pequenas partes que compõem a água, alguns tipos de ventos são

---

<sup>2</sup> Não obstante a declaração do autor ao final do primeiro discurso de *Os meteoros*, quando diz que não deseja romper a paz com os filósofos e, por isso, não nega as *formas substanciais* e as *qualidades reais*, é evidente que a proposta cartesiana afasta-se dessas formas de explicação dos corpos. Segundo Hattab (2009), os argumentos de Descartes contra as formas substanciais aparecem na correspondência com Henricus Regius, em janeiro de 1642. Para Descartes as formas substanciais não explicam nem os fenômenos naturais nem tampouco as máquinas (ver Hattab 2009, p. 16).

originados pelo movimento e dilatação dos vapores e, finalmente, as nuvens são formadas pela condensação destes últimos. A concepção sobre a natureza da matéria, tema do primeiro discurso, é amplamente utilizada para a explicação dos fenômenos em questão, contribuindo para a construção de uma mecânica dos fenômenos meteorológicos. De fato, é como se o conjunto dessa matéria, disposta em diferentes estados, funcionasse tal como uma máquina.

Ao abrir o terceiro discurso, dedicado ao exame da geração dos vapores e das exalações, Descartes afirma:

Se considerardes que a matéria sutil que está nos poros dos corpos terrestres, sendo algumas vezes mais fortemente agitada, seja pela presença do Sol, seja por alguma outra causa que possa existir, agita também mais fortemente as pequenas partes desses corpos, então entenderéis facilmente que ela deve fazer que aquelas partes que são bastante pequenas e, por isso, de tais figuras ou em tal situação, que elas são capazes de separar-se facilmente de suas vizinhas, afastam-se aqui e ali umas das outras, elevando-se no ar, e isso não por alguma inclinação particular que elas tenham para subir, ou por que o Sol tenha em si alguma força que as atraia, mas somente porque elas não encontram outro lugar no qual lhes seja tão fácil continuar seu movimento, assim como a poeira de uma estrada é levantada simplesmente por ser compelida e agitada pelos pés de algum transeunte. Pois, embora os grãos dessa poeira sejam muito mais grossos e mais pesados do que as pequenas partes das quais falamos, eles não deixam por isso de tomar seu curso para o céu. (AT 2000, 6, p. 239-240)

Como podemos notar, a abertura do terceiro discurso deixa clara a estratégia explicativa do autor. Utilizando as suposições enunciadas no primeiro discurso, o movimento das pequenas partes da matéria, da qual os corpos são compostos, é resultado da agitação da matéria sutil que preenche os interstícios desses últimos. Nesse contexto, há que se notar qual é o tipo de ação realizada pelo Sol. Lembremos que a luz não é “outra coisa senão um certo movimento” (AT 2000, 6, p. 234) e que o calor é uma sensação resultante da agitação das pequenas partes dos corpos que tocamos (AT 2000, 6, p. 236).<sup>3</sup> Logo, a ação do Sol se manifesta como o movimento que agita a matéria sutil, a qual coloca em movimento os corpúsculos que compõem os corpos terrestres. Ora, tal processo é inteiramente mecânico e semelhante ao movimento que se pode observar quando grãos de poeira são elevados do solo. O uso de analogias é um aspecto marcante de *Os meteoros*. Além daquela presente na passagem acima, há ainda outra bastante significativa, quando Descartes afirma que o mesmo tipo de fenômeno ocorre no processo de destilação, quando a água evaporada em um alambique carrega consigo algumas partes do óleo presente em plantas secas (AT 2000, 6, p. 241).

Mas resta saber como ocorre esse movimento que produz os vapores presentes no ar, a partir da água ou de outros corpos líquidos. É nesse contexto que encontramos a comparação entre o comportamento de uma linha amarrada a uma haste e o movimento dos vapores. Inicialmente, Descartes afirma que os vapores ocupam mais espaço do que a água, ainda que sejam feitos da mesma matéria, uma vez que as partes que compõem os vapores movimentam-se mais rapidamente do que as da água. Feita essa advertência, Descartes afirma:

[...] quando elas<sup>4</sup> têm a forma de um vapor, sua agitação é tão grande que elas giram muito subitamente para todos os lados, estendendo-se, da mesma maneira, em todo seu comprimento, de tal modo que cada uma das partes tem a força de afastar do entorno de si todas as partes que lhe são semelhantes e que tendem a entrar na pequena esfera que ela descreve, tal como vós as vedes representadas ao redor de *B*. E do mesmo modo, se fizerdes girar velozmente o pivô *LM* através do qual passa a corda *NP*, vereis que essa corda se manterá no ar completamente reta e estendida, ocupando desse modo todo o espaço compreendido no círculo *NOPQ*, de tal modo que não se poderá colocar nesse espaço qualquer outro corpo sem que a corda o atinja imediatamente com força para afastá-lo dela, ao passo que, se a fizerdes mover mais lentamente, ela se enrolará em si mesma em torno desse pivô e, assim, não mais ocupará o mesmo espaço. (AT 2000, 6, p. 242-243)

<sup>3</sup> Note-se que Descartes adverte que a matéria sutil é agitada pelo Sol ou qualquer outra causa. Assim, é importante lembrar que tal agitação pode ser ocasionada pelo fogo, que também deve ser concebido como o movimento de pequenas partes dotadas de um movimento violentíssimo e velocíssimo (Descartes, 2009 [1633], pp. 23-25).

<sup>4</sup> Isto é, as partes que compõem a água e os vapores.

A explicação é mecânica e as duas ilustrações presentes no texto ajudam o leitor a perceber o que Descartes tem em mente (ver figuras 1 e 2).



Figura 1 (AT 2000, 6, p. 242).

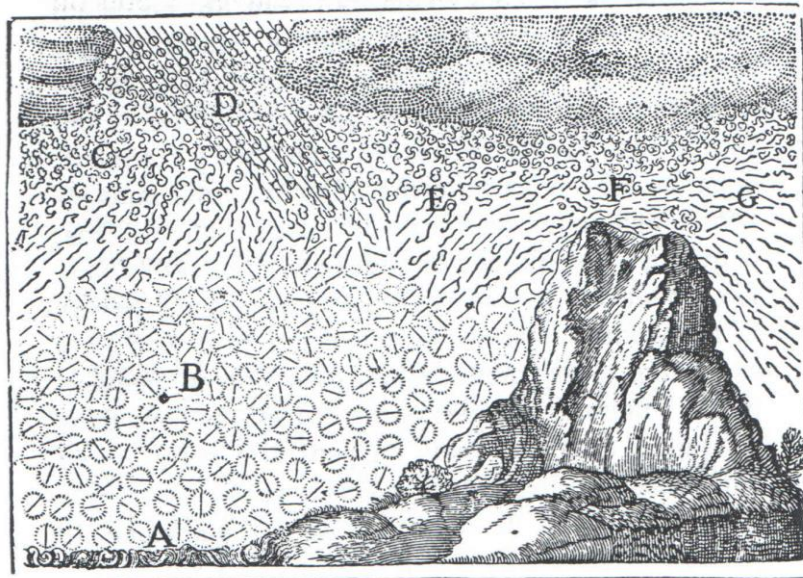


Figura 2 (AT 2000, 6, p. 244).

Os pequenos filetes que compõem a água, ao ganharem um movimento bastante veloz, giram muito rapidamente, tal como a corda NP fixada no pivô LM. A analogia do pivô não serve apenas para indicar como se daria tal movimento, mas também para mostrar o estado de tais filetes, quando o movimento não é tão veloz. Ao supor o movimento mais lento da corda no referido pivô, Descartes tem em vista a configuração daqueles filetes que compõem a água. Lembremos que no primeiro discurso de *Os meteoros*, Descartes descreve as partes da água como longas, unidas e escorregadias, comparando-as a enguias (ver AT 2000, 6, p. 233). Como sabemos, a matéria que compõe os corpos terrestres é a mesma, mas a sua configuração e movimento determina diferentes tipos de corpos. Nesse caso, os filetes de água, por intermédio de um movimento extremamente veloz, dão origem aos vapores. Tais vapores, por seu turno, dão origem aos ventos mais extensos que “imperam sobre a face do mar e da terra” (AT 2000, 6, p. 265). Nesse momento, encontramos novamente o recurso a determinados instrumentos mecânicos e, com eles, uma explicação mecânica dos ventos. Valendo-se de uma eolípila (ver figura 3), Descartes explica a formação dos ventos.

E porque esse vento artificial pode ajudar-nos muito a entender quais são os naturais, será aqui oportuno que eu o explique. *ABCDE* é uma bola de cobre ou de outra tal matéria, totalmente oca e fechada, exceto

por ter uma pequeníssima abertura no lugar marcado *D*, e, estando a parte dessa bola *ABC* cheia de água e a outra *AEC* vazia, isto é, contendo somente ar, se é posta sobre o fogo, então o calor, agitando as pequenas partes da água, faz que muitas delas elevem-se acima da superfície *AC*, onde, rodopiando, estendem-se e empurram-se mutuamente, esforçando-se para afastarem-se umas das outras, do modo acima explicado.<sup>5</sup> E porque as pequenas partes da água não podem assim afastar-se senão enquanto algumas saem pelo orifício *D*, todas as forças com as quais elas empurram-se mutuamente conspiram em conjunto para expulsar pelo orifício todas as partes que dele estão mais próximas e, assim, causam um vento que sopra daí para *F*. E porque há sempre novas partes dessa água, as quais, sendo elevadas pelo calor acima da superfície *AC*, estendem-se e afastam-se entre si enquanto saem pelo orifício *D*, esse vento não cessa até que toda a água da bola seja exalada, ou antes, até que tenha cessado o calor que a faz exalar. Ora, os ventos comuns que imperam no ar fazem-se quase da mesma maneira que este aqui [...]. (AT 2000, 6, p. 265-266)

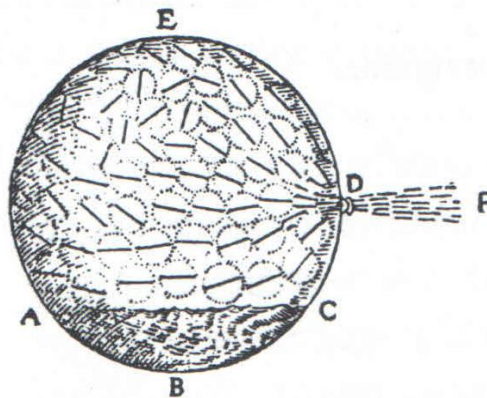


Figura 3 (AT 2000, 6, p. 266).

Descartes utiliza um modelo explicativo para a formação dos ventos. Nele fica evidente a atuação de alguns componentes abordados anteriormente, quando o autor descreve a formação dos vapores, tal como a ação do calor sobre a água e a produção dos vapores resultantes desse processo. Aqui, entretanto, o objetivo consiste na explicação da formação dos ventos, que resultam do movimento dos vapores produzidos pelo aquecimento da água. Mas, de modo diferente daquele presente na utilização do pivô para a explicação do comportamento de cada parte dos vapores, a eolípila reproduz, quase que exatamente, aquilo que ocorre na região terrestre. Nota-se que aquele movimento giratório, próprio dos vapores, tem como um de seus efeitos, a produção dos ventos. Contudo, como adverte o autor, há algumas diferenças entre a situação artificial exposta e as evaporações naturais. Em primeiro lugar, os vapores não são gerados apenas da água, mas também das terras úmidas, neve e nuvens. Em segundo lugar, em condições naturais, os vapores são impedidos de propagarem-se para todos os lados por conta de outros fatores, inexistentes na eolípila, como a resistência de outros vapores, das nuvens, montanhas ou de ventos contrários.

#### 4. Conclusão

Essa breve exposição sobre o primeiro, segundo e quarto discursos de *Os meteoros* coloca em evidência a abordagem mecanicista de Descartes na explicação dos fenômenos naturais. Tal abordagem contém algumas características fundamentais da filosofia natural sustentada pelo autor. Em primeiro lugar, o mundo natural é reduzido a dois componentes básicos, a saber, matéria e movimento. Em segundo lugar, a explicação desse mundo requer tanto o apelo à experiência quanto o uso de analogias que coloquem em evidência o caráter mecanicista da natureza corpórea.

Quanto ao primeiro aspecto, é preciso notar que sua concepção sobre a natureza da matéria, central para a explicação de todos os fenômenos naturais, não se alinha com o atomismo. De fato,

<sup>5</sup> Trata-se da explicação sobre o movimento dos vapores (ver AT 2000, 6, pp. 241-243).

tanto em *Os meteoros* quanto nos *Princípios de filosofia*, Descartes nega a existência do vazio (ver AT 2000, 6, p.233, Descartes 2006, pp. 66-67) e dos átomos (ver AT 2000, 6, pp. 238-239, Descartes 2006, p. 68). Para o autor, as partes da matéria são indefinidamente divisíveis e os interstícios dos corpos são preenchidos pela matéria sutil, que está sempre em movimento e contribui diretamente para o movimento dessas partes. Tal concepção, portanto, afasta-se de outras sustentadas por seus contemporâneos, como Gassendi, que defende uma concepção atomista da matéria inspirada em Epicuro e Lucrecio (ver Gassendi 2009). Assim, se compreendermos o mecanicismo como uma concepção que “oferece uma imagem geral de como o mundo físico deve ser explicado, quais são os seus constituintes últimos, e quais processos nele ocorrem no nível mais fundamental” (Gaukroger 2008, p. 254), é evidente que Descartes e Gassendi defendem concepções distintas, ainda que compreendam o mundo natural em termos de matéria e movimento.

Quanto ao segundo aspecto, cumpre lembrar que o recurso à experiência é, sem qualquer sombra de dúvida, um dos traços característicos das explicações presentes em *Os meteoros*. Além daquilo que encontramos nos discursos aqui abordados, o recurso à experiência é algo notável em todo o restante do texto, cujos exemplos mais flagrantes encontram-se na descrição da neve e do granizo (tema do sexto discurso) e na explicação do arco-íris (apresentada no oitavo discurso). As analogias, por sua vez, estão intimamente relacionadas tanto com a concepção mecanicista cartesiana, quanto com o seu recurso à experiência. Alguns fenômenos, tais como o movimento das partes que compõem os vapores, por exemplo, são comparados com construtos mecânicos: tal é o caso da utilização do pivô para a explicação do movimento dos filetes de água, convertida em vapor. Outros fenômenos são explicados por meio de um modelo que simula sua ocorrência, como no caso do experimento com a eolípila.

## Referências bibliográficas

---

- Adam, C. e P. Tannery (2000), *Oeuvres de Descartes*, Paris: Vrin, 11 vols. (AT).
- Beysade, J.M. e D. Kambouchner (eds.) (2009), *René Descartes. Œuvres complètes*, vol. 3: *Discours de la méthode et essais*, Paris: Gallimard.
- Descartes, R. (2006 [1644]), *Princípios de filosofia* (trad. de J. Gama), Lisboa: Edições 70.
- Descartes, R. (2009 [1633]), *O mundo ou tratado da luz/O homem* (trad. de César Augusto Battisti e Marisa Carneiro de Oliveira Franco Donatelli), Campinas: Editora UNICAMP.
- Gassendi, P. (2009), *Le principe matériel, c'est-à-dire la matière première des choses* (trad., introd. e notas de Sylvie Taussig), Turnhout: Brepols.
- Gaukroger, S. (2002), *Descartes' System of Natural Philosophy*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Gaukroger, S., Schuster, J. e J. Sutton (2000), *Descartes' Natural Philosophy*, London-New York: Routledge.
- Gaukroger, S. (2012), *The Emergence of a Scientific Culture*, Oxford: Clarendon Press.
- Hattab, H (2009), *Descartes on Forms and Mechanisms*, Cambridge: Cambridge University Press.



# Una perspectiva diacrónica en la estructura de la lógica cuántica

*Sebastian Fortin*<sup>†</sup>  
*Leonardo Vanni*<sup>‡</sup>

## Resumen

El llamado límite clásico de la mecánica cuántica es generalmente estudiado en términos de la decoherencia del estado de un sistema. Este no es el único enfoque. En trabajos previos hemos presentado la posibilidad de estudiar dicho límite en términos de la decoherencia de los observables relevantes del sistema. Sobre la base de esta perspectiva, en el presente trabajo introducimos el límite clásico desde un punto de vista lógico estudiando la manera en la cual la estructura lógica de propiedades correspondientes a los observables relevantes adquiere características booleanas.

## 1. Introducción

Existen diferentes perspectivas para abordar el problema del límite clásico de la mecánica cuántica. El tratamiento ortodoxo introduce el fenómeno de decoherencia como la clave para resolver el problema (Bub 1997). Su principal enfoque es llamado decoherencia inducida por el ambiente, desarrollada por Zurek y sus colaboradores (ver Zurek 1981, 2003). El objetivo central se reduce a describir un proceso mediante el cual el estado del sistema puede describirse como un estado mezclado de otros estados, de modo que pueda interpretarse en términos de ignorancia subjetiva.

Otros trabajos desarrollan un marco teórico para la decoherencia basada en los valores de expectación de los observables relevantes del sistema (Castagnino & Lombardi 2004, Kiefer & Polarski 2009). Si bien, estos enfoques y el enfoque ortodoxo son equivalentes desde un punto de vista matemático, hay buenas razones para considerar que el tratamiento de la decoherencia en términos de los observables goza de ventajas conceptuales (Castagnino & Fortin 2013).

El propósito de este trabajo es argüir que la principal ventaja del estudio de la decoherencia en términos de la representación de Heisenberg es que permite analizar los aspectos lógicos del límite clásico.

Los aspectos lógicos de una teoría están contenidos en la estructura lógica de propiedades obtenidas de los posibles valores que los observables pueden adquirir (Cohen 1989, Bub 1997). La principal diferencia entre la estructura de propiedades clásicas y cuánticas, es que la primera es distributiva, o booleana (Birkhoff & von Neumann 1936), mientras que la cuántica no lo es. Esto es consecuencia directa de la existencia de observables incompatibles, es decir, cuyos operadores no conmutan (Cohen 1989).

A pesar de esto, existen ciertos sistemas cuánticos que bajo ciertas condiciones evolucionan de manera tal que conmutadores entre operadores asociados a algunos observables del sistema tiende a cero luego de cierto tiempo (Kiefer & Polarski 2009). En tales sistemas, la estructura inicial de

---

<sup>†</sup> CONICET-FCEN, Universidad de Buenos Aires (UBA). Para contactar al autor, por favor, escribir a: [sfortin@gmx.net](mailto:sfortin@gmx.net).

<sup>‡</sup> Departamento de Física, FCEN, Universidad de Buenos Aires (UBA). Para contactar al autor, por favor, escribir a: [lvanni@df.uba.ar](mailto:lvanni@df.uba.ar).

propiedades no booleanas, termina aproximándose a una que si lo es. Por lo tanto puede ser descriptos en términos de la decoherencia de los valores de expectación de los observables involucrados. En otras palabras, desde esta perspectiva el límite clásico puede ser entendido la evolución dinámica de estructuras no booleanas hacia otras booleanas.

## 2. Estructura lógica de una teoría

La estructura lógica de una teoría puede ser estudiada al establecer un isomorfismo entre el conjunto de propiedades que la teoría describe y las sentencias del lenguaje que las tiene como predicado. Si el isomorfismo es establecido de manera consistente, las sentencias del lenguaje corresponderán a propiedades, y las operaciones lógicas sobre las sentencias se correspondan a ciertas operaciones algebraicas entre las correspondientes propiedades. La estructura matemática de propiedades no es la estructura lógica de la teoría, pero al estudiar la primera es posible determinar aspectos de la segunda. Así, la estructura de las sentencias (proposiciones) en el discurso puede ser leída y analizada desde una estructura matemática de propiedades.

Cuando hablamos de propiedades de una teoría física, nos referimos a las *propiedades de valor* asociadas a magnitudes físicas que la teoría describe. Así si  $A$  es algún observable, de algún sistema físico que puede tener los valores  $a_i$  cuando dicho sistema se encuentra en ciertas condiciones dadas (en algún estado, digamos  $|\varphi\rangle$ ), entonces una propiedad de valor estará representada por el par definido como  $p_2 = (A, a_2)$ ; y una correspondiente sentencia del lenguaje podría expresarse como  $L_2 = \text{'cuando el sistema está en el estado } |\varphi\rangle \text{ la magnitud } A \text{ tiene valor } a_2 \text{'}$ .

La estructura más simple de propiedades queda establecida al definir una *relación de orden parcial* entre ellas. Un orden parcial,  $\leq$ , es una relación de orden que satisface reflexividad, transitividad y antisimetría (Cohen 1989). La relación de orden entre las propiedades está fuertemente emparentada a la implicación lógica en sus correspondientes sentencias del lenguaje. Sin embargo no toda relación de orden al nivel de las propiedades puede ser vinculada a una implicación bien definida del lenguaje. Una implicación encara el problema de una función de verdad que puede dar origen a una estructura lógica en las sentencias del lenguaje, y esto puede resultar nada trivial como es en el caso cuántico (Mittelstaedt 1978). Sin embargo, aún sin una función de verdad bien definida, es posible establecer *funciones de probabilidad* sobre las propiedades. Una función de probabilidad  $\wp$  es una función evaluada sobre un conjunto  $C$  de propiedades que asigna un valor entre cero y uno,  $\wp: C \rightarrow [0,1]$ . En ese caso el vínculo entre las sentencias del lenguaje y las propiedades quedan establecidos en términos probabilísticos. Así una propiedad representada por  $p_2 = (A, a_2)$  podrá corresponder a una sentencia del lenguaje  $L_2 = \text{'cuando el sistema está en el estado } |\varphi\rangle \text{ la magnitud } A \text{ tiene valor } a_2 \text{ con probabilidad } \wp(p_2) = 0.2 \text{'}$ .

Dotados de una relación de orden en el conjunto  $C$  de propiedades, es posible definir las operaciones algebraicas de *supremo*  $\wedge$ , *ínfimo*  $\vee$ , y *complemento*  $\perp$ , las cuales corresponden a los conectivos lógicos usuales entre las sentencias del lenguaje, es decir a la *conjunción*, *disyunción* y *negación* respectivamente (Bub 1997, Hughes 1992, Cohen 1989). Cuando existen supremo e ínfimo para todo par de propiedades en  $C$ , entonces se dice que la relación de orden  $\leq$  define un *retículo de propiedades*  $R = (C, \leq)$  (Hughes 1992).

Por medio de la relación de orden y las operaciones entre las propiedades (representativas de los conectivos lógicos que se aplican entre las sentencias del lenguaje), queda determinada una estructura algebraica de propiedades que caracteriza y permite estudiar los aspectos lógicos de la teoría.

En el caso clásico el conjunto de propiedades sobre las que predicen las sentencias del lenguaje está determinado por todos los posibles subconjuntos del espacio de fases del sistema, y con una relación de orden parcial dada por la inclusión entre conjuntos. Esto induce una representación de las operaciones lógicas de conjunción, disyunción, y negación en el discurso clásico, por medio de las operaciones habituales de intersección, unión y complemento entre conjuntos (Bub 1997, Hughes 1992). La estructura así formada determinan un algebra booleana (Cohen 1989), y por eso se dice que los retículos clásicos son booleanos.

El caso cuántico es muy distinto. El conjunto de propiedades cuánticas quedan determinadas por subespacios del espacio del Hilbert del sistema (Birkhoff & von Neumann 1936). Esto impone diferencias cruciales en la definición de las operaciones representativas de los conectivos lógicos. La relación de orden parcial entre propiedades es dada por la inclusión de subespacios de Hilbert. La operación ínfimo sigue siendo la intersección, aunque ahora entre subespacios. Las diferencias respecto al caso clásico son introducidas por las operaciones de supremo y complementación. El supremo entre dos propiedades de un retículo cuántico es definido con el subespacio generado por las combinaciones lineales de los elementos de cada subespacios que representan dichas propiedades (Bub 1997, Hughes 1992). La complementación de una propiedad es dada por el complemento ortogonal del subespacio que representa dicha propiedad. Resulta que así definido, el retículo de propiedades cuánticas no es booleano, y en esto reside la base de todas las diferencias con la estructura de propiedades clásicas, y gran parte de las llamadas paradojas que parece describir el discurso cuántico.

Una forma sintética de codificar las diferencias entre retículos clásicos y cuánticos reside en la validez de las llamadas *igualdades distributivas* (Cohen 1989). Las igualdades distributivas implican la distributividad del ínfimo respecto al supremo y al revés. Sin embargo, en general valen las llamadas *desigualdades distributivas*. Si se tiene  $a$ ,  $b$  y  $c$ , entonces siempre vale que

$$a \wedge (b \vee c) \geq (a \wedge b) \vee (a \wedge c)$$

$$a \vee (b \wedge c) \geq (a \vee b) \wedge (a \vee c)$$

Sólo en un retículo booleano valen las igualdades.

Otro aspecto importante asociado a las desigualdades distributivas es que estas atrapan la noción de compatibilidad como es entendida en la mecánica cuántica (Cohen 1989). Es posible demostrar que si propiedades  $a$  y  $b$  son tales que

$$a = (a \wedge b) \vee (a \wedge b^\perp)$$

$$b = (b \wedge a) \vee (b \wedge a^\perp)$$

los proyectores asociados a los subespacios que las representan conmutan, y en cualquier otro caso, cuando valen las desigualdades, no conmutan.

Arribamos así a una importante síntesis. Sólo cuando todas las propiedades que se quieren describir son propiedades asociadas a observables compatibles, se tiene una estructura booleana de propiedades acorde a una descripción clásica de propiedades, y es ahí cuando valen las igualdades distributivas. En caso contrario, existirán observables incompatibles y la estructura de retículo no será booleana.

### 3. Incompatibilidad de los observables en el tiempo

La mecánica cuántica admite al menos dos representaciones, la de Schrödinger estudia la evolución del estado  $\hat{\rho}(t)$ , y la representación de Heisenberg estudia la evolución de los observables (Sakurai 1994). El enfoque tradicional para la decoherencia cuántica pone el énfasis en la evolución del estado reducido, es decir, utiliza la representación de Schrödinger. Lo que se estudia es la diagonalización del estado en la base privilegiada (ver Zurek 1982 y Paz & Zurek 2002). Esta diagonalización del estado elimina la interferencia, que es uno de los fenómenos

particulares de la mecánica cuántica. Sin embargo este enfoque no dice nada sobre las otras características peculiares de la mecánica cuántica, la contextualidad. La contextualidad nos enseña que hay observables que no conmutan y ellos no pueden tomar valores actuales simultáneamente. El principio de incertidumbre de Heisenberg refleja lo anterior diciéndonos que no es posible medir simultáneamente el valor de dos magnitudes que no conmutan. Este principio marca una diferencia fundamental con la mecánica clásica, ya que en ésta todos los observables conmutan entre sí. Entonces cualquier intento de construir un límite clásico debería incluir un mecanismo que explique la transición desde la no-conmutatividad a la conmutatividad de los observables.

En el esquema de Schrödinger, si un par de observables no conmuta en el instante inicial

$$[\hat{O}_1, \hat{O}_2] \neq 0$$

entonces no lo harán nunca ya que en este esquema los observables no evolucionan. Por este motivo, el esquema natural para estudiar la transición desde la no-conmutatividad a la conmutatividad de los observables es el esquema de Heisenberg. Algunos autores, como Kiefer y Polarski estudian la decoherencia en la representación de Heisenberg (ver Kiefer & Polarski 2009 y 1998). En este artículo nos proponemos continuar esta línea de trabajo estudiando la evolución temporal de las propiedades lógicas de los sistemas cuánticos. Nuestro objetivo es encontrar un proceso en el que dos observables que no conmutan en el instante inicial, pasen a conmutar luego de algún tiempo.

$$[\hat{O}_1(0), \hat{O}_2(0)] \neq 0 \rightarrow [\hat{O}_1(t), \hat{O}_2(t)] \cong 0$$

Con este propósito en mente utilizaremos el enfoque conocido como Decoherencia Autoinducida (SID por sus siglas en inglés Self-Induced Decoherence) desarrollado recientemente (ver Castagnino 1999, 2004 y 2006, Castagnino & Fortin 2011 y 2013, Castagnino & Lombardi 2003 y 2005, Castagnino & Laura 1997, 2000a y 2000b, Laura & Castagnino 1998a y 1998b, Castagnino & Ordoñez 2004, Castagnino & Gadella 2006, Castagnino, Fortin, Laura & Lombardi 2008, Fortin, Lombardi & Castagnino 2014). Este enfoque nos permitirá mostrar de un modo sencillo el proceso de interés.

### 3.1 La decoherencia autoinducida en el esquema de Heisenberg

En este artículo usaremos la notación, según la cual los observables son entendidos como vectores y se escriben como  $\hat{O} = |O\rangle$ . Esto es necesario por cuestiones técnicas que no discutiremos en este artículo pero se encuentra bien justificada en Antoniou, Laura, Tasaki y Suchaewski (1997).

De acuerdo con el Esquema General para la Decoherencia, los distintos formalismos para describir la decoherencia se pueden describir desde un esquema general que consta de tres pasos (ver Castagnino, Fortin, Laura & Lombardi 2008). En este caso seleccionamos observables especiales que resulten apropiados para el estudio de la compatibilidad entre observables, es decir, los conmutadores. Así, los tres pasos son:

1. *Selección de los observables*: Se considera un sistema cuántico con un hamiltoniano  $\hat{H}$  con espectro continuo:  $\hat{H}|\omega\rangle = \omega|\omega\rangle$ ,  $\omega \in [0, \infty)$ . Entonces, cualquier observable a  $t=0$  se puede escribir como:

$$\hat{O}(0) = \int_0^\infty \int_0^\infty \tilde{O}(\omega, \omega') |\omega, \omega'\rangle d\omega d\omega' \quad (1)$$

donde  $\tilde{O}(\omega, \omega')$  es el núcleo de la distribución. De entre estos observables seleccionaremos los observables de van Hove (1957 y 1959), que tienen un núcleo  $\tilde{O}(\omega, \omega')$  de la forma

$$\tilde{O}_{vH}(\omega, \omega') = O(\omega)\delta(\omega - \omega') + O(\omega, \omega') \quad (2)$$

donde  $O(\omega, \omega')$  es una función regular. Entonces, los observables de van Hove tienen la forma

$$\hat{O}_{vH}(0) = \int_0^\infty O(\omega) | \omega \rangle d\omega + \int_0^\infty \int_0^\infty O(\omega, \omega') | \omega, \omega' \rangle d\omega d\omega' \quad (3)$$

Estos observables pertenecen al espacio de van Hove, cuya base es  $\{ | \omega \rangle, | \omega, \omega' \rangle \}$ . Los estados  $\hat{\rho}$ , que no evolucionan, son representados por funcionales lineales, esto es, pertenecen al espacio dual y se escriben como:

$$\hat{\rho}(0) = \int_0^\infty \rho(\omega) | \omega \rangle d\omega + \int_0^\infty \int_0^\infty \rho(\omega, \omega') | \omega, \omega' \rangle d\omega d\omega' \quad (4)$$

donde  $\{ \langle \omega |, \langle \omega, \omega' | \}$  es la co-base de  $\{ | \omega \rangle, | \omega, \omega' \rangle \}$  y  $\rho(\omega, \omega')$  es una función regular.

En el esquema de Heisenberg los operadores evolucionan con el operador de evolución temporal, entonces de la expresión (3) tenemos que

$$\hat{O}_{vH}(t) = \int_0^\infty O(\omega) | \omega \rangle d\omega + \int_0^\infty \int_0^\infty O(\omega, \omega') e^{-i(\omega - \omega')t} | \omega, \omega' \rangle d\omega d\omega' \quad (5)$$

Dentro de este espacio de observables seleccionamos algunos observables especiales, los conmutadores. El conmutador entre dos observables  $\hat{O}_1(t)$  y  $\hat{O}_2(t)$  de van Hove cualesquiera es

$$\hat{C}(t) = [\hat{O}_1(t), \hat{O}_2(t)] = \int_0^\infty \int_0^\infty C(\omega, \omega') e^{-i(\omega - \omega')t} | \omega, \omega' \rangle d\omega d\omega'$$

donde

$$C(\omega, \omega') = \int_0^\infty (O_1(\omega, \tilde{\omega}') O_2(\tilde{\omega}', \omega') - O_1(\tilde{\omega}', \omega') O_2(\omega, \tilde{\omega}')) d\tilde{\omega}$$

Es importante señalar que  $\hat{C}(t)$  no es un observable porque no es un operador hermítico, sin embargo  $\hat{D}(t) = i\hat{C}(t)$  es un observable legítimo de la mecánica cuántica al que podemos tener acceso empírico.

El observable  $\hat{D}(t)$  nos permite medir el grado de incompatibilidad entre los observables  $\hat{O}_1$  y  $\hat{O}_2$ . Un ejemplo de esto sería el observable que mide el contraste de las franjas de interferencia en el experimento de la doble rendija. El contraste indica que el observable que mide por donde pasó la partícula es incompatible con el observable que mide donde impacta en la pantalla.

Entonces, los observables relevantes seleccionados son los de tipo  $\hat{D}(t)$ .

2. *Cálculo del valor medio:* Consideremos el observable a tiempo  $t = 0$

$$\hat{D}(0) = i^{-1} [\hat{O}_1, \hat{O}_2] = i^{-1} \int_0^\infty \int_0^\infty C(\omega, \omega') | \omega, \omega' \rangle d\omega d\omega'$$

supondremos que  $C(\omega, \omega')$  es una función distinta de cero. Si se calcula el valor medio de  $\hat{D}(t)$  se obtiene

$$\langle \hat{D}(t) \rangle_{\rho} = \langle i^{-1} [\hat{O}_1, \hat{O}_2] \rangle_{\rho} = i^{-1} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \rho(\omega, \omega') C(\omega, \omega') e^{-i(\omega - \omega')t} d\omega d\omega'$$

3. *La evolución del valor medio:* El requerimiento de que la función  $\rho(\omega, \omega')C(\omega, \omega')$  sea regular permite aplicar el teorema de Riemann-Lebesgue. Como consecuencia:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \langle \hat{D}(t) \rangle_{\rho} = 0$$

Esto significa que, para  $t \rightarrow \infty$ , el valor esperado del conmutador entre  $\hat{O}_1$  y  $\hat{O}_2$  tiende a cero. Entonces, la relación de incerteza de Heisenberg se vuelve indetectable desde el punto de vista experimental.

En otras palabras, cuando  $t \rightarrow \infty$  es posible calcular el valor medio del observable  $\hat{D}(t)$  suponiendo que la evolución del observable es tal que alcanzó un valor estable  $\hat{D}(*)$  tal que

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \langle \hat{D}(t) \rangle_{\rho} = \langle \hat{D}(0) \rangle_{\rho}$$

donde  $\hat{D}(*) = 0$ . De este modo capturamos de una forma más fiel la concepción del límite clásico ya que según esta descripción no sólo desaparece la interferencia: desde el punto de vista experimental un par de observables que inicialmente no conmutaban, tienden a conmutar luego de un tiempo lo suficientemente largo.

#### 4. El límite clásico de las estructuras lógicas

El objetivo central de este artículo es iniciar el estudio del límite clásico de la mecánica cuántica desde el punto de vista de la estructura lógica de la teoría. Como ya hemos visto la diferencia fundamental entre el retículo de propiedades clásico y su correspondiente cuántico se resume en la propiedad distributiva. Una estructura Booleana sólo aparece en un retículo distributivo y ortocomplementado.

Los estudios dedicados a la llegada al equilibrio y la decoherencia cuántica revelan que el límite clásico sólo es posible bajo una evolución del tipo no unitaria, un grano grueso, o algún elemento adicional (ver Castagnino & Fortin 2013). De otro modo, un conjunto de propiedades cuyos proyectores no conmutan, y por lo tanto forman un álgebra no clásica nunca perderían esta propiedad. La decoherencia inducida por el ambiente hace uso de la evolución no unitaria propia de los sistemas abiertos y la decoherencia autoinducida apela al grano grueso. En efecto, la evolución descrita en la sección anterior muestra que el conmutador entre dos observables  $\hat{O}_1$  y  $\hat{O}_2$  se hace cero, al menos desde el punto de vista de los valores medios. Según lo expuesto, si medimos el observable  $\hat{D}(t)$  al principio del proceso, su valor medio es distinto de cero; pero si lo medimos al final del proceso, su valor medio es nulo. Esto significa que desde el punto de vista observacional podemos asumir que  $\hat{O}_1$  y  $\hat{O}_2$  son observables compatibles. Pero ¿esto significa que hemos recobrado la distributividad?

La evolución presentada en la sección anterior se puede describir del siguiente modo. Consideremos dos propiedades,  $A$  corresponde con el valor  $\omega_1$  del observable  $\hat{O}_1$ , y  $B$  corresponde con el valor  $\omega_2$  del observable  $\hat{O}_2$ . Si pensamos a estas propiedades como vectores en el espacio de Hilbert, entonces forman un ángulo. La evolución es tal que el ángulo entre los vectores que

representan las propiedades  $A$  y  $B$  disminuye. Mientras el ángulo no sea exactamente cero no recuperamos la distributividad. Pero en el límite de tiempo tendiendo a infinito, el ángulo entre los vectores que representan las propiedades  $A$  y  $B$  se hace cero, por lo tanto los observables correspondientes pasan a conmutar entre sí. Entonces las propiedades se vuelven compatibles y así recuperamos la distributividad. En otras palabras, la decoherencia también puede ser entendida como un proceso que vuelve compatibles observables que inicialmente no lo eran y como consecuencia transforma la lógica cuántica en una lógica booleana.

## 5. Conclusiones

A través de la decoherencia de los valores medios es posible estudiar el límite clásico de un sistema cuántico en términos de la evolución de los observables. Como a partir de los observables relevantes es posible construir la estructura lógica de sus propiedades, el proceso de decoherencia describe a su vez la evolución de dicha estructura lógica.

Este trabajo dota a la decoherencia de un contenido semántico más fuerte del que implica la mera desaparición de la interferencia. La evolución temporal de los conmutadores nos permite entender a la decoherencia como un proceso mediante el cual la estructura lógica que subyace al sistema adquiere características clásicas, es decir booleanas. Estas características tienen consecuencias relevantes en el cálculo de las probabilidades de los valores de los observables que decoheren.

Aplicando el formalismo expuesto podemos establecer la transición entre dos lógicas, la lógica cuántica y la clásica, desde el punto de vista observacional. Este trabajo sienta las bases de su continuación natural, es decir, el estudio de la evolución temporal detallada de las propiedades lógicas de los sistemas cuánticos. Por ejemplo, analizando la evolución de los observables en si en lugar de la de sus valores medios. Por otro lado, aunque el retículo habitual se construye a partir de las propiedades del sistema, se plantea el desafío de construir un retículo a partir de los valores medios. En ambas propuestas sería posible enriquecer tanto el estudio del límite clásico (a partir de la introducción de elementos propios de la lógica) como el enriquecimiento de la lógica misma (a partir de la introducción de una dimensión diacrónica en su estudio).

## Bibliografía

- Antoniou, I., Laura, R., Tasaki, S. y Z. Suchaecki (1997), "Intrinsic Irreversibility of Quantum Systems with Diagonal Singularity", *Physica A* 241: 737-772.
- Birkhoff, G. and J. von Neumann (1936), "On the Logic of Quantum Mechanics", *Annals of Mathematics* 37: 823-843.
- Boole, G. (1854), *An Investigation of the Laws of Thought, on Which are Founded the Mathematical Theories of Logic and Probabilities*, London: Macmillan.
- Bub, J. (1997), *Interpreting the Quantum World*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Castagnino M. y S. Fortin (2011), "Predicting Decoherence in Discrete Models", *International Journal of Theoretical Physics* 50 (7): 2259-2267.
- Castagnino M. y S. Fortin (2013), "Formal Features of a General Theoretical Framework for Decoherence in Open and Closed Systems", *International Journal of Theoretical Physics* 52 (5): 1379-1398.
- Castagnino, M. (1999), "The Classical Regime of a Quantum Universe Obtained Through a Functional Method", *International Journal of Theoretical Physics* 38: 1333-1348.

- Castagnino, M. (2004), "The Classical-statistical Limit of Quantum Mechanics", *Physica A* 335: 511-517.
- Castagnino, M. (2006), "The Equilibrium Limit of the Casati-Prosen Model", *Physics Letters A* 357: 97-100.
- Castagnino, M., Fortin, S., Laura, R. y O. Lombardi (2008), "A General Theoretical Framework for Decoherence in Open and Closed Systems", *Classical and Quantum Gravity* 25: 154002.
- Castagnino, M. y M. Gadella (2006), "The Problem of the Classical Limit and the Role of Self-induced Decoherence", *Foundations of Physics* 36: 920-925.
- Castagnino, M. y R. Laura (1997), "Minimal Irreversible Quantum Mechanics: Pure-state Formalism", *Physical Review A* 56: 108-119.
- Castagnino, M. y R. Laura (2000a), "Functional Approach to Quantum Decoherence and the Classical Limit: The Mott and Cosmological Problems", *International Journal of Theoretical Physics* 39: 1737-1765.
- Castagnino, M. y R. Laura (2000b), "Functional Approach to Quantum Mechanics Decoherence and the Classical Final Limit", *Physical Review A* 62: 022107.
- Castagnino, M. y O. Lombardi (2003), "The Self-induced Approach to Decoherence in Cosmology", *International Journal of Theoretical Physics* 42: 1281-1299.
- Castagnino, M. y O. Lombardi (2004), "Self-induced Decoherence: A New Approach", *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 35: 73-107.
- Castagnino, M. y O. Lombardi (2005), "Self-induced Decoherence and the Classical Limit of Quantum Mechanics", *Philosophy of Science* 72: 764-776.
- Castagnino, M. y A. Ordoñez (2004), "Algebraic Formulation of Quantum Decoherence", *International Journal of Theoretical Physics* 43: 695-719.
- Cohen, D.W. (1989), *An Introduction to Hilbert Space and Quantum Logic*, New York: Springer.
- Fortin S., Lombardi O. y M. Castagnino (2014), "Decoherence: A Closed-system Approach", *Brazilian Journal of Physics* 44: 138-153.
- Gudder, S.P. (1979), *Stochastic Methods in Quantum Mechanics*, New York-Oxford: North Holland.
- Holik, F., Plastino, A. y M. Saenz (2014), "A Discussion On the Origin of Quantum Probabilities", *Annals of Physics* 340: 293-310.
- Hughes, R.I.G. (1992), *The Structure and Interpretation of Quantum Mechanics*, Cambridge: Harvard University Press.
- Kiefer C. y D. Polarski (1998), "Emergence of Classicality for Primordial Fluctuations: Concepts and Analogies", *Annalen der Physik* 7: 137-158.
- Kiefer C. y D. Polarski (2009), "Why Do Cosmological Perturbations Look Classical to Us?", *Advanced Science Letters* 2: 164-173.
- Laura, R. y M. Castagnino (1998a), "Minimal Irreversible Quantum Mechanics: The Mixed States and the Diagonal Singularity", *Physical Review A* 57: 4140-4152.
- Laura, R. y M. Castagnino (1998b), "Functional Approach for Quantum Systems with Continuous Spectrum", *Physical Review E* 57: 3948-3961.
- Mittelstaedt, P. (1978), *Quantum Logic*, Dordrecht: Reidel.
- Omnès, R. (1994), *The Interpretation of Quantum Mechanics*, Princeton: Princeton University Press.
- Paz, J.P. y W.H. Zurek (2002), "Environment-induced Decoherence and the Transition from Quantum to Classical", *Lecture Notes in Physics* 587: 77-148.
- Redei, M. y S. Summers (2007), "Quantum Probability Theory", *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 38: 390-417.
- Sakurai, J.J. (1994), *Modern Quantum Mechanics, Revised Edition*, New York: Addison-Wesley.
- Schlosshauer, M. (2007), *Decoherence and the Quantum-to-Classical Transition*, Berlin: Springer.
- van Hove, L. (1957), "A Perturbation Treatment to General Order", *Physica* 23: 441-480.
- van Hove, L. (1959), "The Ergodic Behaviour of Quantum Many-body Systems", *Physica* 25: 268-276.

- Zurek, W.H. (1981), "Pointer Basis of Quantum Apparatus: Into What Mixture Does the Wave Packet Collapse?", *Physical Review D* 24: 1516-1525.
- Zurek, W.H. (1982), "Environment-induced Superselection Rules", *Physical Review D* 26: 1862.
- Zurek, W.H. (2003), "Decoherence, Einselection, and the Quantum Origins of the Classical", *Reviews of Modern Physics*: 75: 715-76.



# La proliferación teórica de Paul Karl Feyerabend: una respuesta dialéctica al principio de complementariedad de Bohr

María Teresa Gargiulo de Vázquez<sup>†</sup>

## Resumen

Paul Feyerabend revela los supuestos metafísicos implícitos en el principio de complementariedad de Niels Bohr. Advierte la necesidad de examinar racionalmente estos supuestos en orden a evitar que éstos degeneren en dogmas que imposibilitan el progreso de la teoría cuántica. A partir de la crítica a los supuestos ontológicos del principio de complementariedad, nuestro el filósofo comienza a bosquejar su pluralismo teórico y, en última instancia, un modelo de ciencia donde la reflexión metafísica no solo tiene un importante papel pre-científico, sino que es en ella misma donde se resuelve el curso de la actividad científica.

## 1. Introducción

El estudio crítico que hace Feyerabend respecto a la mecánica cuántica, particularmente del principio de complementariedad de Niels Bohr, constituye una de las fuentes más importantes de su ‘pluralismo metodológico’. La atención a las dificultades y obstáculos que aquella presenta, parece haber ido gestando su tesis de la proliferación teórica como un modo que permite remover y superar tales problemas.

Nuestra intención es mostrar cómo a partir de la crítica a los supuestos ontológicos del principio de complementariedad, nuestro el filósofo comienza a bosquejar su pluralismo epistemológico. Para ello estudiaremos, cómo a partir del análisis y la crítica del primer supuesto del principio de complementariedad, Feyerabend entrevé la necesidad de su pluralismo metodológico y, más tarde, teórico donde la metafísica se presenta como fuente y posibilidad de superar las formas perceptivas clásicas.

Aunque inicialmente Feyerabend presenta su pluralismo como un método termina, después del 65, concibiéndolo como un modelo de ciencia donde la reflexión metafísica no solo tiene un importante papel pre-científico, sino que ella es el gozne alrededor del cual gira la entera actividad científica. Nuestro epistemólogo destaca que si la reflexión metafísica determina el método, los instrumentos, la selección de evidencia, el significado de los términos, etc. de una teoría, ella no queda limitada a una instancia previa a la actividad científica, sino que se constituye como una de las actividades medulares del quehacer científico. Contra las creencias de muchos de sus físicos coetáneos Feyerabend prueba que las teorías físicas, en esta caso el principio de complementariedad de Bohr, no está determinado únicamente por los hechos sino que la especulación metafísica juega en él un rol realmente importante.

---

<sup>†</sup> CONICET–Universidad Nacional de Cuyo (UNCUYO). Para contactar al autor, por favor, escribir a: [gargiulomteresa@gmail.com](mailto:gargiulomteresa@gmail.com).

## 2. La proliferación teórica como superadora del conservadurismo conceptual del principio de complementariedad

No es fácil enunciar de un modo claro y sintético el principio de complementariedad. Ni el mismo autor parece haber ofrecido tal definición. Feyerabend advierte que una de las razones de “la persistencia de la fe en la complementariedad, a despecho de todas las objeciones decisivas, es debida a la vaguedad de las afirmaciones fundamentales de este principio” (1962, p. 193).<sup>1</sup>

El principio en cuestión se refiere esencialmente a la descripción de los fenómenos cuánticos. A la hora de explicar el comportamiento del mundo subatómico bajo determinadas circunstancias experimentales parece ser necesario recurrir tanto al modelo corpuscular como al modelo ondulatorio.

Ahora bien, en el ámbito de la física clásica, uno y otro modelo son descripciones que se presentan como mutuamente excluyentes. Se trata de dos imágenes clásicamente incompatibles que no pueden utilizarse simultáneamente; pues mientras un corpúsculo es una partícula pequeña en extensión con una localización exacta en el espacio y una velocidad bien definida, una onda se encuentra extendida en el espacio a una velocidad incierta. La imagen corpuscular y la imagen ondulatoria presentan determinados atributos que aparecen como contrapuestos dentro de un esquema interpretativo clásico.

En orden a superar esta dificultad Bohr sostiene que estas imágenes no son más que “idealizaciones” o “abstracciones” limitadas y parciales del dominio micro-físico. De aquí que para ser aplicadas correctamente en el nuevo dominio experimental sea necesario restringir su campo de aplicación mediante ciertas condiciones suplementarias:

En primer lugar, toda experiencia física, las condiciones experimentales o bien los resultados de las observaciones deben ser descriptos en términos clásicos, puesto que son las únicas nociones que disponemos. Además, los aparatos de medición de los que nos valemos son macroscópicos.

En segundo lugar, las imágenes de onda y corpúsculo solo pueden ser aplicadas a los fenómenos micro-físicos de un modo meramente instrumental. No son más que herramientas cuya función es proporcionar predicciones del comportamiento corpuscular. Ellas no intentan describir la naturaleza de los fenómenos sino explicar y predecir única y exclusivamente el comportamiento de los mismos bajo determinadas circunstancias experimentales (1962/1981, nota nº 61, pp. 321-322, 1958/1981, p. 23, 1958, pp. 90-92 y 96).<sup>2</sup>

Finalmente, los conceptos o imágenes de onda y corpúsculo no se aplican al fenómeno subatómico en sí sino a la entera disposición experimental, la cual incluye el fenómeno, el instrumento de medición y las circunstancias particulares en las que se realiza la experimentación (1968/1981, p. 290). O, siendo aún más exactos, deberíamos decir que por fenómeno Bohr entiende las observaciones obtenidas por el aparato de medición en circunstancias específicas, incluyendo una explicación completa de todo el experimento (1958, pp. 93-94). De aquí, entonces, la necesidad de destacar el carácter relacional de los estados de descripción, es decir, de restringir la aplicación de todo resultado, observación o conjunto de conceptos a un dominio experimental determinado (1962/1981, p. 317). Tal es la unidad de este “bloque indivisible” que un mismo fenómeno, sometido a distintas condiciones experimentales, arrojará resultados distintos.

<sup>1</sup> Intentaremos exponer brevemente el principio de complementariedad, no en la formulación original de Bohr, sino tal como nuestro epistemólogo accedió a la comprensión del mismo, dejando para posteriores estudios la cuestión si su concepción es fiel o no al pensamiento del físico. Incluso las citas explícitas de N. Bohr serán interpretadas a la luz de los artículos de Paul Feyerabend.

<sup>2</sup> Para facilitar la lectura, las citas de las obras de Paul Feyerabend tendrán doble fecha. La primera se refiere al año de la primera publicación y la segunda a la publicación consultada. El objetivo de la doble fecha es dar cuenta de un orden cronológico de las publicaciones y, al mismo tiempo, remitir al lector a los lugares precisos donde pueda cotejar las citas textuales, las paráfrasis y las referencias generales.

Bohr considera que aún cuando los conceptos clásicos de corpúsculo y de onda sean opuestos, corresponden a dos posibles comportamientos del mismo sistema cuántico, dando así origen a su principio de complementariedad. Éste postula el modelo corpuscular y ondulatorio como dos modelos complementarios, necesarios para elaborar un esquema que explique el comportamiento de los fenómenos sub-atómicos. Éstos no sólo nos permiten sintetizar y unificar los fenómenos sub-atómicos de un modo económico sino, y sobre todo, sin ellos muchos de estos fenómenos no podrían ser establecidos experimentalmente (1958, p. 82, 1962/1981, pp. 316 y 323). El modelo corpuscular permite explicar ciertos hechos del fenómeno subatómico, mientras que el ondulatorio explica aquellos que en el primero quedan sin explicar (cf. Bohr 1928). Ambos modelos proporcionan una descripción completa del dominio cuántico. Los datos obtenidos en estas nuevas situaciones experimentales no pueden recogerse en una única imagen o modelo.

El principio de complementariedad de Bohr es un dispositivo que intenta ofrecer una imagen consistente y exhaustiva del comportamiento de los sistemas microfísicos (Feyerabend 1958, p. 75). Sostiene la mutua conciliabilidad de los conceptos clásicos en el universo de los micro-objetos. Describe el modo en el cual los conceptos clásicos aparecen dentro del esquema predictivo de la mecánica cuántica (1958, p. 94). En el ámbito cuántico pasan a ser dos imágenes, complementarias la una con la otra; dos imágenes características de la mecánica cuántica elemental, y de toda teoría futura del nivel microscópico.

Pues bien, el filósofo vienés demuestra que Bohr en orden a dar fuerza y credibilidad a sus ideas físicas las ha incorporado dentro de un sistema filosófico (ontológico). En esta misma tarea se ha encaminado también –según él– lo que conocemos como la “Interpretación de Copenhague” la cual no es más que una gran variedad de interpretaciones, incluso antagónicas, que intentan imponer su credo filosófico a los descubrimientos físicos: Heisenberg y von Weizsaecker, por ejemplo, presentan sus hallazgos dentro de una metafísica kantiana, Rosenfeld en el marco de un materialismo dialéctico y Bohr, por su parte, critica estas perspectivas por no adecuarse a su propio punto de vista (1962/1981, p. 313).<sup>3</sup>

Feyerabend (1958a, p. 75, 1962/1981, pp. 314-315) asegura que el principio de complementariedad de Niels Bohr se basa efectivamente en premisas empíricas, a saber, en las leyes de conservación, en la existencia de la acción de cuanto, en su carácter corpuscular y ondulatorio; pero, principalmente se funda en premisas que no son empíricas ni matemáticas y que propiamente deben ser designadas como metafísicas. Así, por ejemplo, la elección de una metodología inductivista por parte de Bohr, el carácter instrumental que concede a las imágenes de onda y corpúsculo como modelos que nos permiten explicar alternativamente el comportamiento corpuscular, su insistencia en la imposibilidad de acceder a formas perceptivas e instrumentos distintos a los de la física clásica, revelan a nuestro epistemólogo (1958a, p. 81) la presencia de supuestos metafísicos en el interior del quehacer científico del físico. Todo esto lo lleva a afirmar que la validez del principio de complementariedad depende completamente de la validez de dichas premisas filosóficas. Es imposible sostener tal principio –argumenta Feyerabend (1962/1981, pp. 312-313; 1966a, pp. 416-417)– sin un bagaje filosófico específico.<sup>4</sup>

---

<sup>3</sup> Feyerabend (1968, p. 310, 1968/1981, pp. 247-248) advierte que las ideas de Bohr no sólo han sido distorsionadas al sacar de contexto o no comprender la idiosincrasia de sus expresiones, sino que al ser identificadas con la “Interpretación ortodoxa” se ha puesto fin a la posibilidad de que sean objeto de una interpretación más justa. Don Howard (2004, pp. 669-670) acusa, entre otros, a Feyerabend de inventar una supuesta interpretación común entre Bohr y Heisenberg, conocida bajo el nombre de “Interpretación de Copenhague” y hacer uso de ella para promocionar sus propósitos polémicos. Howard no justifica semejante afirmación; aún más, desconoce la insistencia de Feyerabend en distinguir las profundas diferencias que separan a estos dos físicos (cf. Feyerabend 1958a, pp. 97-98, 1958b, pp. 343-346, 1961/1995, p. 382, 1968, p. 310).

<sup>4</sup> Mackay en su artículo *Complementarity II* (1958) sostiene una tesis diametralmente opuesta a esta tesis de Feyerabend. Afirma que la asociación del principio de complementariedad, por ejemplo, a una metafísica positivista, aunque entendible históricamente, es lógicamente accidental y secundaria. Para ello muestra que es lógicamente

Muchos físicos –explica Feyerabend (1957, p. 356)– desde una concepción positivista ignoran, o incluso, rechazan explícitamente el carácter especulativo o metafísico del principio de complementariedad y postulan, consecuentemente, la validez absoluta y definitiva del mismo. Y cita como ejemplo de ello a Rosenfeld quien asegura que apelar a preconcepciones metafísicas para fundar la validez de este principio físico sería un procedimiento a-científico (cf. Feyerabend, 1962/1981, p. 316). Frente a ello, nuestro filósofo devela los supuestos metafísicos implícitos en el principio de complementariedad, mostrando así la incoherencia del positivismo postulado por Rosenfeld:

Las filosofías parasitarias de esta clase no son para nada un fenómeno nuevo. Por lo general éstas son los remanentes de un punto de vista que una vez se mostró eficiente cuya utilidad ha sobrevivido, pero que todavía se adhiere a él dogmáticamente. Los filósofos expertos deberían haber sido capaces de distinguirse entre éstas y las ideas que condujeron a la teoría cuántica en primer lugar. Esto no pasó; confundieron la teoría con sus interpretaciones parásitas y de vez en cuando aquella era aún criticada debido a alguna popularización desinformada de la cual venía a tener noticia el propio autor. Debe darse la bienvenida cuando las ideas son tomadas en serio y cuando sus efectos generales son examinados y criticados con cuidado. Pero es lamentable cuando no permiten a ideas realmente interesantes entrar en discusión y cuando solamente se presta atención a los cambios piadosos (Feyerabend, 1966a, pp. 416-417).

Feyerabend (1958/1981a, p. 21) rechaza con insistencia el modo acrítico e ingenuo de los físicos de aceptar una determinada ontología, con la consideración explícita o implícita de que otras alternativas son simplemente contranaturales. En orden a superar estas filosofías el vienés (1958/1981a, p. 22; 1958a, p. 86) se ocupa de criticar y examinar cuidadosamente los supuestos metafísicos del principio físico y de considerar teorías ontológicas alternativas. Pues tal reflexión –según él– facilitaría una potencial liberación de la actitud dogmática en la que quedan encerradas las discusiones en torno a la interpretación de la mecánica cuántica. El epistemólogo (1968, p. 309) insiste que en estas polémicas no habrá progreso hasta que no exista una verdadera discusión filosófica en torno a sus supuestos metafísicos. No avanzara hasta que sus argumentos dogmáticos sean remplazados por argumentos realmente dialécticos; hasta que la atención en la sofisticada formulación matemática se dirija hacia los problemas filosóficos fundamentales.

---

imposible y contradictorio asignar una frecuencia exacta a una onda. La frecuencia es definida como el número de frecuencias por segundo de una simple función de onda, la cual se extiende uniformemente hacia el infinito. Ahora bien, cuanto más corta es la duración de la interrupción de oscilaciones (más precisamente está localizada en el tiempo), más amplio es el rango de frecuencias. Por el contrario, cuanto más estrecho es el rango de frecuencias de una interrupción de oscilaciones, más larga va a ser su duración. Luego, no puede definirse simultáneamente la duración o la frecuencia exacta de una onda. Se trata de dos imágenes complementarias. Esto es una realidad lógica, no física: un mismo fenómeno, en este caso una frecuencia de onda, puede ser objeto de dos descripciones exhaustivas, que hacen diferentes aserciones, en los términos de conceptos diferentes cuyas precondiciones de uso son mutuamente exclusivas. La complementariedad microfísica –concluye Mackay– constituye sólo un caso particular de complementariedad lógica entre las descripciones de una función, en términos de tiempo y de frecuencia espacial.

A nuestro entender la posición de Mackay no es sino una de las renovadas presentaciones del dogmatismo que pretende combatir Feyerabend. Postular una complementariedad lógica entre dos imágenes opuestas equivale –en orden a superar una contradicción lógica (y ontológica)– a comprometerse con supuestos metafísicos que evidentemente son desconocidos para Mackay. En orden a superar la contradicción lógica de atribuir a un mismo fenómeno una naturaleza corpuscular y ondulatoria se adjudica a éstas un valor meramente instrumental. Mackay adhiere, aunque de un modo implícito, a una filosofía empirista e instrumentalista según las cuales explicar un fenómeno equivale a incorporarlo dentro de un esquema predictivo exitoso. Al desconocer estos supuestos que validan el principio de complementariedad, Mackay incurre en importantes confusiones. Por ejemplo, al ignorar el carácter estrictamente instrumental que Bohr concede a su principio de complementariedad, no puede comprender la necesidad del pluralismo teórico que plantea Feyerabend. Mackay afirma que Feyerabend niega el rostro de la realidad cuando se propone presentar teorías alternativas al principio de complementariedad pues proponer teorías alternativas significaría para él evadir lo que la misma realidad nos muestra<sup>4</sup>. Pero justamente el problema radica en comprender qué es lo que está mostrando la realidad. Mackay es un claro ejemplo del deslumbramiento de los físicos antes las correctas predicciones inferidas del principio de complementariedad, que ciertamente no encontramos en Bohr, ni mucho menos en Feyerabend.

Desde una metafísica neokantiana el vienés rechaza cualquier forma de necesidad trascendental. Su pluralismo excluye toda perspectiva externa privilegiada en la medida que ella supone un conservadurismo conceptual. El conservadurismo conceptual puede entenderse como el intento de conservar en las transiciones teóricas los resultados, la base observacional y la estructura lógica de la teoría anterior.

A lo largo de sus primeros artículos (cf. Feyerabend 1957, 1957/1981, 1958a, 1958b, 1958/1981b, 1959a, 1959b, 1960, 1960/1981b, 1962, 1962/1981, 1964, 1964/1981, 1966a, 1966b, 1967, 1968, 1968/1981, 1969, 1970) Feyerabend analiza el conservadurismo conceptual, implícito en el principio de complementariedad de Niels Bohr.

Uno de los supuestos ontológicos del principio de complementariedad que –según Feyerabend (1958/1981a, pp. 22-23)– manifiesta de modo patente este conservadurismo conceptual dicta que todo resultado experimental o conocimiento no puede ser sino expresado en los términos de la física clásica. Las categorías propias de la física clásica para Bohr influyen de tal modo en los procedimientos experimentales y aún en las formas de percepción que es imposible imaginar una alternativa diferente para explicar los fenómenos físicos. El hombre parecería estar –según él– determinado a aprehender la evidencia tal como lo postula la física clásica.

En *Complementarity* (1958a, pp. 80-87) señala que esta imposibilidad de encontrar un nuevo esquema conceptual no ha sido demostrada por la misma física, sino que se apoya en el sólo hecho de que tal esquema no-clásico estaría en conflicto con la conciencia positivista de Bohr. Los límites de la capacidad humana, no se deben ni a la falta de imaginación, ni a un límite en las habilidades de los físicos que les impida ir más allá de las ideas clásicas, sino a una decisión metafísica, más o menos consciente, de no ir más allá de la experiencia que dispone la física clásica. La exclusividad que Bohr concede a las formas perceptivas clásicas se puede entender para Feyerabend (1958/1981a, p. 24) en virtud de la adopción por parte del físico de una metafísica positivista y de una teoría pragmática de significado.

El positivismo postula que sólo podemos inventar aquellas teorías que son sugeridas por las observaciones. Ahora bien, las formas de percepción, los modos de aprehender la experiencia, según el físico, son clásicos. No disponemos de otro modelo intuitivo, de otro modo de visualizar la experiencia sino es en los términos propios de la física clásica. Luego una imagen no clásica de los fenómenos sub-atómicos sería –desde esta concepción metafísica– psicológicamente imposible (cf. Feyerabend 1962/1981, p. 320).<sup>5</sup>

Según la teoría pragmática la significación de un término o una expresión está determinada por su uso. Ahora, el esquema conceptual empleado habitualmente para la explicación y predicción de los hechos son los propios de la física clásica. La física clásica es un esquema conceptual universal donde ningún hecho puede quedar fuera de su dominio de aplicación por lo cual ésta determina el lenguaje, las experimentaciones e incluso las formas de percepción. Luego la invención de un nuevo aparato conceptual no-clásico, además de psicológicamente imposible, es lógicamente absurda (Cf. Feyerabend, 1958/1981a: 21-23; 1962/1981: 324).

En *Hidden Variables and the Argument of Einstein, Podolsky and Rosen* (1962/1981, p. 322, n. 62) el epistemólogo insiste nuevamente que la imposibilidad que ve Bohr para crear imágenes no clásicas es de carácter lógico y no sociológico; aunque esta vez en oposición a la opinión de Heisenberg y von Weizsäcker, quienes afirman que introducir conceptos no clásicos sería

---

<sup>5</sup> El epistemólogo (1958a, pp. 81-82) ubica la filosofía de Bohr dentro un tipo específico de positivismo. Por un lado, el epistemólogo advierte que el físico se aleja de la concepción positivista habitual según la cual las experiencias sensibles por sí mismas no poseen ninguna propiedad formal; éstas consistirían en simples elementos desorganizados, tales como las sensaciones de color, de tacto, etc. Bohr, en cambio, insiste que las experiencias están organizadas por las categorías o formas de percepción de la física clásica y que no pueden existir sin estas formas. La experiencia no puede ser organizada y explicada por otras formas de percepción o categorías que no sean las propias de la física clásica. Este carácter insustituible que concede a las nociones clásicas hace que, según Feyerabend, Bohr permanezca dentro de un positivismo, aunque de un orden más elevado.

prácticamente imposible debido a la costumbre de la mayoría de los físicos contemporáneos de utilizar el lenguaje de la física clásica como lenguaje observacional.

Bohr niega que alguna vez sea posible inventar una teoría universal que trascienda el ámbito clásico y que es erróneo creer que las dificultades de la teoría atómica podrían ser superadas reemplazando eventualmente los conceptos de la física clásica por nuevas formas conceptuales. Es en estas afirmaciones de Bohr donde Feyerabend (1958a, p. 85, 1960/1981a, p. 222) entrevé el peligro de que las teorías o principios se constituyan en dogmatismos irrefutables. En su artículo *Professor Bohm's Philosophy of Nature* (1960) Feyerabend confiesa que la lectura de *Causality and Chance in Modern Physics* de Bohm (1957), le enseñó que los argumentos y justificaciones que ofrece Bohr son insuficientes para fundamentar la validez de su principio. Bohr formula argumentaciones circulares en cuanto que no considera ningún hecho o evidencia fuera del dominio de la aplicación de su principio. Desde él se moldea y organiza de tal modo la evidencia que no existen hechos que sean capaces de cuestionarlo o de sugerir una nueva teoría. De aquí que ni la experiencia, ni el formalismo matemático serán suficientes –explica Feyerabend (1960/1981a, pp. 221-223)– para elegir entre éste y otra teoría empíricamente exitosa. El principio de complementariedad se le presenta a Feyerabend como una posición metafísica inmune a todo tipo de refutación.

Bohr, en cuanto exige que la conducta de los fenómenos cuánticos sea expresada necesariamente en los términos propios de la física clásica, impide el desarrollo de nuevos términos obstaculizando el progreso científico –explica el vienes (1958a: 81)–. Luego ilustra esta tesis mostrando que en la transición de la concepción física de Aristóteles a la de Galileo surgen términos o nociones que no son meras derivaciones o modificaciones de las nociones anteriores; se trata de categorías completamente nuevas que no guardan relación lógica alguna con las categorías que la anteceden. De modo análogo, Feyerabend sostiene que los conceptos propios de la física clásica también podrían ser reemplazados por un nuevo esquema conceptual siempre que existan imágenes abstractas del mundo o metafísicas que pueden convertirse en auténticas teorías físicas. Después de todo –agrega–, la distancia que existe entre un esquema conceptual clásico y uno no clásico no es mayor que la distancia que existió entre la concepción física de Aristóteles y la de Galileo (cf. Feyerabend, 1958/1981a, p. 24, 1962/1981, pp. 323-325).

Feyerabend (1965/1981, pp. 107-108) advierte que estas nuevas interpretaciones o teorías alternativas no pueden emerger de la cerrada atención a los ‘hechos’, pues en una teoría siempre existe el peligro de que se seleccionen sólo aquellos datos o resultados que la confirman y se rechacen simultáneamente todos aquellos que no puedan acomodarse a ella. Una teoría científica puede disponer la evidencia empírica de tal modo que su punto de vista quede reforzado y constituirse así en una verdad absoluta con un pobre contenido empírico.

Se sigue entonces la necesidad de una fuente no-observacional para tales interpretaciones. Tal fuente es provista para Feyerabend (1958/1981a, p. 31) por la especulación metafísica. Ésta otorga al científico de la libertad necesaria para crear nuevos conceptos los cuales develarían, en este caso, que el carácter absoluto y definitivo concedido al principio de complementariedad no es más que un dogmatismo que entorpece el progreso de las teorías microscópicas. En *Linguistic Arguments and Scientific Method* explica que sólo mediante la invención y consideración de teorías alternativas que contradicen al menos alguno de los principios del punto de vista aceptado será posible obtener nuevos hechos, y así aumentar el contenido empírico de la ciencia. Mientras que la proliferación teórica satisface esta exigencia del empirismo, un conservadurismo conceptual conduce a un estancamiento del progreso de la ciencia y a una consecuente crisis de los ideales del positivismo (1969/1981, p. 157).

Por medio de una reducción al absurdo el epistemólogo ataca el conservadurismo conceptual supuesto en el principio de complementariedad mostrando que éste es incompatible con la doctrina positivista adoptada por el físico. La mecánica cuántica no es una teoría en el sentido clásico. Se trata más bien, tal como reconoce Bohr, de una herramienta que permite predecir el comportamiento de los fenómenos cuánticos pero es incapaz de describir aspectos esenciales de

los mismos y, por ende, de incrementar el contenido de la física, requisito esencial del empirismo (1958, pp. 91-92).

Ronald Laymon (1977, p. 229) acusa paradójicamente a Feyerabend de positivista en cuanto que el único criterio que ofrece para elegir entre teorías alternativas es el aumento de contenido empírico, ideal propio del positivismo. Nélide Gentile (2007, p. 101), por su parte, formula un razonamiento análogo cuando sostiene que los ideales del positivismo parecen animar tanto el realismo conjetural como el pluralismo metodológico de Feyerabend.

Probablemente la confusión de Laymon y Gentile se debe a desconocer uno de los recursos habituales que emplea nuestro autor para mostrar la inconsistencia de la tesis que ataca, es decir, su uso de los razonamientos por reducción al absurdo. Eric Oberheim y Paul Hoyningen (2000, p. 369) subrayan la dificultad que existe para poder determinar en un argumento los elementos con los cuales Feyerabend se compromete justamente por el uso de tal recurso. Nuestro filósofo asume el ideal del positivismo, a saber, el aumento de contenido de la ciencia, pero no porque esté comprometido con él, sino en orden llevar a cabo una crítica inmanente al positivismo de Bohr que podríamos sintetizar del siguiente modo: no se puede sostener un positivismo y, al mismo tiempo, el principio de aumento de contenido. Si queremos que la ciencia progrese, en lugar del positivismo, debemos asumir un pluralismo metodológico. Si queremos alcanzar los objetivos propios del positivismo (aumento de contenido) entonces Bohr debería estar dispuesto a abandonar su conservadurismo conceptual y a revalorizar la metafísica como fuente y posibilidad de concretar un pluralismo teórico.

En su pluralismo metodológico Feyerabend expone la necesidad de examinar racionalmente los supuestos ontológicos que atraviesan las teorías científicas en orden a evitar que éstos degeneren en dogmas que imposibilitan el progreso científico. El progreso científico tal como es definido por el positivismo lógico y el racionalismo crítico es posible en cuanto que la filosofía no se limita a reflejar los desarrollos de la ciencia sino en la medida que juega un rol activo y crítico en la ciencia, construyendo visiones del mundo alternativas a las imperantes, y superando así toda clase de dogmatismos.

Pero más tarde en su pluralismo teórico Feyerabend da un paso más: erige a esta discusión metafísica no como un método sino como un elemento esencial de su misma noción de ciencia. Cabe destacar el giro o el cambio de perspectiva con el que Feyerabend analiza el principio de complementariedad después del 65. Pues recordemos que desde ese año desiste de su intento por elaborar una metodología científica a priori. El filósofo vienés, en sus primeros artículos, presenta su pluralismo como una metodología que debe regir todos los desarrollos científicos. Pero a partir del 65 –tal como el mismo confiesa– descubre la pobreza y la ingenuidad de toda filosofía normativa de la ciencia en cuanto que mutila o diluye en un par de normas o requisitos metodológicos las vastas posibilidades del movimiento científico (1978/1982, pp. 136-137, 1994/1995, p. 135). Aquello que designaba como su pluralismo metodológico es remplazado por un pluralismo teórico entendiendo a éste último como un nuevo modelo de ciencia y racionalidad y no como una mera proposición metodológica. Luego sus críticas posteriores al 65 respecto al principio de complementariedad deben leerse en el marco de su nueva preocupación por definir la ciencia no en virtud de un método sino en virtud de su comunión con la metafísica.

El pluralismo teórico hace de la metafísica un autentico espacio –intrínseco a la misma ciencia– donde se lleva a cabo una reflexión crítica acerca de cada uno de los supuestos y alcances de las teorías científicas, o en este caso, del principio de complementariedad. Feyerabend muestra en definitiva que todo problema científico es en definitiva un problema metafísico.

### 3. Conclusión

A la hora de definir qué es ciencia, Feyerabend muestra histórica y metodológicamente la comunión que la interpretación del principio de complementariedad guarda con la metafísica. De esta manera y con su habitual uso de los razonamientos por reducción al absurdo el vienés demuestra que el saber positivo –tal como lo concibe el positivismo lógico– debe asumir la reflexión filosófica si quiere que la ciencia recupere su auténtico valor descriptivo y no degenera en dogmas que entorpecen el progreso científico. Señala la paradójica situación en la cual el ideal de aumento de contenido propio del positivismo lógico es asequible únicamente a través de la metafísica que pretenden expulsar.

#### Bibliografía

---

- Bohr, N. (1928), “The Quantum Postulate and the Recent Developments of Atomic Theory”, *Nature* 121: 580-590.
- Feyerabend, P. (1957), “Review of Foundations of Quantum-Mechanics: A Study in Continuity and Symmetry, By A. Landé”, *British Journal for the Philosophy of Science* 7: 354-357.
- Feyerabend, P. (1957/1981), “On the Quantum Theory of Measurement”, en Feyerabend (1981), pp. 207-218.
- Feyerabend, P. (1958a), “Complementarity”, *Proceedings of Aristotelian Society* (Supplement) 32: 75-104.
- Feyerabend, P. (1958c), “Review of Mathematical Foundations of Quantum- Mechanics, By John von Neumann”, *British Journal for the Philosophy of Science* 8: 343-347.
- Feyerabend, P. (1958/1981a), “An Attempt at a Realistic Interpretation of Experience”, en Feyerabend (1981), pp. 17-36.
- Feyerabend, P. (1958/1981b), “Reichenbach’s Interpretation of Quantum Mechanics”, en Feyerabend (1981), pp. 236-246.
- Feyerabend, P. (1959a), “Review of The Direction of Time. By Hans Reichenbach”, *British Journal for the Philosophy of Science* 9: 336-337.
- Feyerabend, P. (1959b), “Comments on Hill’s ‘Quantum Physics and Relativity Theory’”, en Feigl, H. y G. Maxwell (eds.), *Current Issues in the Philosophy of Science. Symposia of Scientists and Philosophers*, Proceedings of Section L of the American Association for the Advancement of Science, New York: Holt, Rinehart & Winston, 1960, pp. 441-443.
- Feyerabend, P. (1960), “Professor Bohm’s Philosophy of Nature. Review of Causality and Chance in Modern Physics. By David Bohm”, *British Journal for the Philosophy of Science* 10: 321- 338.
- Feyerabend, P. (1960/1981a), “On the Interpretation of Scientific Theories”, en Feyerabend (1981), pp. 37-43.
- Feyerabend, P. (1960/1981b), “Professor Bohm’s Philosophy of Nature”, en Feyerabend (1981), pp. 219-235.
- Feyerabend, P. (1961/1995), “Two Letters of Paul Feyerabend to Thomas S. Kuhn on a Draft of The Structure of Scientific Revolutions”, en Hoyningen-Huene, P. (ed.), *Studies in History and Philosophy of Science* 26: 353-387.
- Feyerabend, P. (1962), “Problems of Microphysics”, en Colodny R. (ed.), *Frontiers of Science and Philosophy: University of Pittsburgh Series in the Philosophy of Science Volume 1*, Pittsburgh: University of Pittsburgh Press: 189-283.
- Feyerabend, P. (1962/1981a), “Hidden Variables and the Argument of Einstein, Podolsky and Rosen”, en Feyerabend (1981), pp. 298-342.
- Feyerabend, P. (1964), “Review of The Concept of the Positron. A Philosophical Analysis, By N. R. Hanson”, *The Philosophical Review* 73: 64-266.
- Feyerabend, P. (1964/1981), “Realism and Instrumentalism: Comments on the Logic of Factual Support”, en Feyerabend (1981), pp. 176-202.
- Feyerabend, P. (1965/1981), “Reply to Criticism. Comments on Smart, Sellars and Putnam”, en Feyerabend (1981), pp. 104-131.

- Feyerabend, P. (1966a), "Dialectical Materialism and the Quantum Theory", *Slavic Review* 25: 414-417.
- Feyerabend, P. (1966b), "On the Possibility of a Perpetuum Mobile of the Second Kind", en Feyerabend P. y G. Maxwell (eds.), *Mind, Matter and Method: Essays in Philosophy and Science in Honor of Herbert Feigl*, Minneapolis: University of Minnesota Press, pp. 409-412.
- Feyerabend, P. (1967), "Review of Philosophic Foundation of Quantum Mechanics. By Hans Reichenbach", *British Journal for the Philosophy of Science* 17: 326-328.
- Feyerabend, P. (1968), "On a Recent Critique of Complementarity: Part I", *Philosophy of Science* 35: 309-331.
- Feyerabend, P. (1968/1981), "Niels Bohr's World View", en Feyerabend (1981), pp. 247-297.
- Feyerabend, P. (1969), "On a Recent Critique of Complementarity: Part II", *Philosophy of Science* 36: 82-105.
- Feyerabend, P. (1970), "In Defense of Classical Physics", *Studies in History and Philosophy of Science* 1: 59-86.
- Feyerabend, P. (1981), *Realism, Rationalism and Scientific Method, Philosophical Papers Volume 1*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Feyerabend, P. (1989/2000), *Diálogos sobre el Método*, 2ª ed., Madrid: Cátedra.
- Gentile, N. (2007), "El camino de Feyerabend: crítica, proliferación y realismo", *Filosofía Unisinos* 2: 109-127.
- Howard, D. (2004), "Who Invented the 'Copenhagen Interpretation'? A Study in Mythology", *Philosophy of Science* 71: 669-682.
- Laymon, R. (1977), "Brownian Motion, and the Hiddenness of Refuting Facts", *Philosophy of Science* 44 (2): 225-247.
- Mackay, D. (1958), "Complementarity II", *Proceedings of the Aristotelian Society, Supplementary Volumes* 32: 75-122.
- Oberheim, E. (2005), "On the Historical Origins of the Contemporary Notion of Incommensurability: Paul Feyerabend's Assault on Conceptual Conservatism", *Studies in the History and Philosophy of Science* 36: 363-390.



# La biología funcional del darwinismo y de la teología natural\*

Santiago Ginnobili†

## Resumen

Suele sostenerse que la teología natural y la teoría de la selección natural son teorías incompatibles y competidoras por dar cuenta de una misma base empírica (y en este sentido commensurables empíricamente), pues ambas darían cuenta del fenómeno de la adaptación. Recientemente, Caponi ha señalado la inadecuación de dicha perspectiva. Según sostiene, la forma darwiniana de conceptualizar la adaptación de los organismos al ambiente es novedosa y diferente a la de la tradición, en particular, diferente a la de la teología natural. El objetivo de este trabajo consiste en, mediante las herramientas del estructuralismo metateórico, participar de esta discusión, no para defender una de las dos posiciones, sino para mostrar en qué sentido ambos puntos de vista son conciliables.

## 1. Introducción

En este trabajo se intentará mediar entre una discusión de sí puede considerarse o no que la teoría de la selección natural de Darwin (TSN) y la teoría del diseño inteligente de la teología natural decimonónica (DI) tienen o no el mismo *explanandum*. Se suele llamar al fenómeno del cual ambas teorías quieren dar cuenta “adaptación”. En la parte 2 del trabajo se expondrá la polémica. En la parte 3, luego de señalar que la elucidación de “adaptación” debe realizarse en el marco de la biología funcional presupuesta, se presentará la biología funcional Darwiniana, estructurada a partir de lo que llamaré “teoría funcional biológica” (TFB<sup>D</sup>). En la parte 4 se presentará la teoría funcional biológica de la teología natural (TFB<sup>TN</sup>). En la parte 5 se mostrarán las modificaciones que Darwin debió hacer a TFB<sup>TN</sup> para que fuese compatible con su enfoque. Finalmente, en la parte 6, se discutirá si TFB<sup>TN</sup> y TFB<sup>D</sup> pueden considerarse momentos diferentes de una misma teoría (y en consecuencia puede sostenerse que TSN y DI tienen el mismo *explanandum*) o no.

## 2. Contrapunto

Blanco (2008) ha defendido, en consonancia con otros autores, que el *explanandum* de TSN no varió sustancialmente de aquél del cual los teólogos naturales pretendían dar cuenta apelando a DI. Blanco defiende su posición enfrentándola con la de Ospovat (1980) quien considera que las adaptaciones en la teología natural eran consideradas perfectas. Según señala convincentemente, los teólogos naturales de ningún modo consideraban que las adaptaciones de los organismos vivos fuesen perfectas. Los teólogos naturales del siglo XIX, en todo caso, hablaban de la perfección de

---

\* Este trabajo ha sido realizado con la ayuda de los proyectos de investigación PICT-2012-2662 de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (Argentina) y PIP N° 112-201101-01135 del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (Argentina).

† CONICET–Universidad de Buenos Aires (UBA)–Universidad Nacional de Quilmes (UNQ). Para contactar al autor, por favor, escribir a: santi75@gmail.com.

la obra en general, pero esto no era incompatible con imperfecciones locales. Eran conscientes de éstas e intentaban dar respuestas desde sus sistemas teológicos.

Para marcar el contrapunto con esta posición, apelaré a Caponi (2011). En el primer capítulo de su sugestivo libro Caponi intenta derribar lo que caracteriza como “el mito del adaptacionismo predarwiniano”. Según Caponi, la forma en que Darwin concibió a la adaptación no se encontraba presente ni en teólogos naturales ni en ningún otro naturalista anterior (Caponi 2011, pp. 14-15). Pues la adaptación, en los marcos predarwinianos, cobraría sentido en lo que Caponi llama “economía natural”. Según esta idea de economía natural, la razón de un ser vivo y de sus rasgos reside en la manutención del orden natural general de la naturaleza, que en el caso de los teólogos naturales, dependía del plan de la creación. Darwin, además de revolucionar la biología, con su teoría evolutiva, habría inaugurado una nueva forma de ver el mundo, distinta de la de sus antecesores, en la cual los organismos vivos hacen lo que hacen en búsqueda de su propio beneficio (entendiendo beneficio darwinianamente, por supuesto, en relación con mejoras en su éxito reproductivo diferencial).

### 3. La biología funcional darwiniana

Lo que Darwin pretende explicar con TSN son las adaptaciones de los organismos al ambiente. La caracterización general y abstracta que Darwin hace de las adaptaciones no difiere de la caracterización que los defensores del argumento del diseño –y alguno de sus críticos– hacen de los objetos diseñados: complejos, con partes coadaptadas y con propósitos. Sin embargo, para entender con claridad el modo en que el concepto de adaptación es utilizado por Darwin, es necesario apelar a los casos particulares en los que lo aplica (una estrategia útil en la reconstrucción de cualquier teoría científica).

Si se revisan los diferentes fenómenos a los que Darwin quiere aplicar TSN puede notarse que apelan siempre a especificaciones de los mismos conceptos: cómo un tipo de organismos ha adquirido un rasgo que cumple una función de manera altamente efectiva. La determinación de los fenómenos de los cuales Darwin quiere dar cuenta con TSN presupone, en consecuencia, tareas previas realizadas desde la biología funcional (Ginnobili 2009, 2011a).

Por supuesto, la discusión acerca de la explicación funcional y los conceptos funcionales es extensa y compleja. En otra oportunidad defendí cómo el estudio de la biología funcional darwiniana permite pensar nuevos modos de afrontar la polémica acerca de la explicación funcional (Ginnobili 2009, 2011a). Aquí no tomaré en cuenta toda esta discusión. Simplemente presentaré la cuestión –siguiendo el trabajo realizado en los trabajos anteriormente mencionados– del modo más natural para el que trabaja en el marco del estructuralismo metateórico: si un científico explica ciertos fenómenos apelando a ciertos conceptos, entonces, debe haber teorías – en el sentido del estructuralismo metateórico– en los que tales conceptos adquieran semántica empírica y que permitan reglamentar su aplicación. Olvidemos la biología evolutiva, por un momento, y veamos entonces, aunque sea informalmente, la estructura de la teoría subyacente a TSN con la que se categoriza el fenómeno de la adaptación. En otra oportunidad traté ésta cuestión en base a los textos sobre la fecundación cruzada de Darwin (Darwin 1861, 1876, 1877a, 1877b). Entonces (Ginnobili 2011a), defendí que la ley fundamental de TFB<sup>D</sup> diría algo como lo que sigue:

Para todo organismo, si el organismo tiene cierto objetivo, ciertos efectos de alguno de sus rasgos en ciertas condiciones ambientales satisfacen tal objetivo.

Habitualmente cuando en la práctica científica se habla de teorías, se refiere a lo que dentro del estructuralismo se nombra como “redes teóricas” (Balzer, Moulines & Sneed 1987, pp. 167-204). Una red teórica es un conjunto de elementos teóricos, en el cual se distingue uno, así llamado “básico”, del cual surgen todos los otros por una operación denominada “especialización”. Las especializaciones del elemento teórico básico son el equivalente modelo-teórico a las leyes

especiales. Éstas surgen, no por deducción, sino por especificación de conceptos que en el elemento teórico básico se encuentran inespecificados.

Considero que las leyes especiales de TFB<sup>D</sup> surgen principalmente de la especificación del concepto de *objetivo*, es decir, las diferentes leyes especiales surgen de los diferentes tipos de objetivos que pueden satisfacer los rasgos de los organismos. Las diferentes especificaciones de la ley fundamental pueden ser agrupadas en diferentes clases de acuerdo al tipo de función de que se trate. Así, muchas funciones tienen que ver con la reproducción, otras con la defensa de predadores, otras con la alimentación, etc. Podríamos pensar que estos diferentes tipos de explicaciones representan justamente, aplicaciones de diferentes leyes especiales que sirven de guía a Darwin a la hora de aplicar TFB<sup>D</sup>.

#### 4. La biología funcional de la teología natural

Para discutir con sentido si DI acude o no a la misma teoría subyacente que TSN hay que tener en claro que la teoría del diseño inteligente en general tiene un alcance más amplio que TSN. El diseño inteligente es una teoría que se aplica de un modo general a artefactos explicando los rasgos funcionales de una entidad en base a los objetivos conscientes del sujeto particular inteligente que los creó. Así, los objetivos perseguidos por diversos rasgos de ciertos objetos –entre los cuales para los teólogos naturales se encontrarían los rasgos funcionales de los organismos– son subsumidos o reinterpretados como objetivos conscientes del diseñador. Este es el modo en que lo plantea el mismo Paley en su presentación del argumento del diseño (Paley 1809, pp. 1-3). La fuerza del argumento consiste justamente en señalar que si uno acepta la explicación de los rasgos de un reloj a través de la postulación de un diseñador inteligente, lo mismo debería hacer con los rasgos de los organismos vivos.

Podemos pensar que la ley fundamental de la teoría del diseño generalizada afirma algo como lo que sigue:

Si un sujeto con ciertos objetivos conscientes diseña un artefacto para satisfacer dichos objetivos, entonces, ese artefacto tendrá rasgos que cumplen con esos objetivos.

La dirección del condicional refleja el salto abductivo necesario para postular diseñadores y postular los objetivos que persiguen. El argumento del diseño, justamente, sigue esa dirección. Esta teoría es utilizada todo el tiempo, por ejemplo, al inferir que las melladuras de ciertas piedras no son aleatorias, sino que fueron realizadas, por ejemplo, por *Homo erectus* con el objetivo de producir una herramienta para cortar. También permite explicar, por ejemplo, la posesión de ciertas características de la soja que hoy se comercializa obtenidas por el diseño genético (no por selección artificial). Por ese motivo desde el comienzo de este trabajo tomé como objeto de la discusión la teoría del diseño de la teología natural, que podría considerarse una especialización (que hoy se ha abandonado por buenas razones) de esta teoría general.

Tal como afirma Caponi (2011, p. 12), en los teólogos naturales existe una tendencia a focalizarse en las adaptaciones fisiológicas. Aquellas que tienen que ver con la economía animal o vegetal propia. Considerando sólo estas adaptaciones fisiológicas, la teoría aplicada por los teólogos naturales –en tanto biólogos funcionales– en lo que respecta a funciones fisiológicas no difiere de la aplicada por Darwin –en tanto biólogo funcional–.

También coinciden en lo que respecta a ciertas aplicaciones que tienen que ver con relaciones con otros organismos que podríamos llamar “ecológicas”. Por ejemplo, Paley considera que ciertas partes de semillas que les permiten planear en el aire se relacionan con el objetivo que tienen las plantas de esparcir sus semillas (Paley 1809, p. 355), la luz de la luciérnaga tiene la función de atraer a la pareja reproductiva (Paley 1809, p. 336) e incluso también la cantidad de hijos es vista

como una adaptación (Paley 1809, p. 481). Tres fenómenos que Darwin explícitamente discute como adaptaciones (Darwin 1844, p. 92, 1859, p. 66, 1871, p. 345).

Las diferencias importantes aparecen en otras ramas de la teoría. Aquellas que tienen que ver con el mantenimiento de la economía natural –tal como vimos que señala Caponi–, aquellas que involucran el antropocentrismo de la creación y aquellas que involucran objetivos estéticos como un fin en sí mismo.

Por ejemplo, con respecto a funciones cuyo objetivo es el mantenimiento de la economía natural, puede mostrarse la opinión de Paley respecto de los frutos (Paley 1809, p. 351). La utilidad de los frutos tiene que ver justamente con la alimentación de los animales –y no sólo de la semilla–, es decir, se comprende un fruto a partir del rol que este cumple en la economía natural. Otro ejemplo podría constituirlo el rol de las plantas como purificadoras del ambiente (Paley 1809, p. 372). Algo semejante ocurre con la belleza, que a veces es planteada como un fin de la creación en sí mismo y otras parece funcionar al servicio de lo humanos (Paley 1809, p. 202) o de otros congéneres (Paley 1809, p. 197). Ejemplos, entre otros, de la función estética lo constituyen el plumaje adornado de las aves o el color del iris (Paley 1809, pp. 198-199). También es posible encontrar adaptaciones cuya función se relaciona con la visión antropocéntrica de la creación (Kirby 1836, pp. 34-35).

## 5. Diferencias entre la biología funcional darwiniana y de la teología natural

Creo que es claro en qué sentido un mundo moldeado por la selección natural no sería compatible con la biología funcional de la teología natural. TSN es utilizada por Darwin para explicar el origen de las adaptaciones. Las adaptaciones son rasgos que cumplen una función de manera efectiva. Pero TSN sólo puede explicar el origen de funciones relacionándolas con beneficios reproductivos del propio organismo –o, eventualmente, con beneficios reproductivos del grupo al que el organismo pertenece, puesto que Darwin acepta la selección de grupo–. Nunca podría explicar el origen de rasgos altruistas en beneficio de otra especie ni en beneficio de un sistema general de economía natural (Darwin 1859, p. 201). Por este motivo, Darwin debe cambiar drásticamente la biología funcional previa. En particular, debe eliminar las especializaciones que apelan a roles en la economía natural, las que apelan al antropocentrismo de la creación y las que apelan a valores como la belleza o bondad de la creación. Como veíamos, las afirmaciones de Darwin acerca de cómo la constatación de que un rasgo sirva a otra especie sin beneficio a cambio refutaría su teoría, van justamente en ese sentido (Darwin 1859, p. 201). Darwin veía con claridad que era necesario cambiar la biología funcional presupuesta por la teología natural para que TSN cumpliera el rol requerido.

La eliminación de estas ramas de la red teórica de TFB<sup>TN</sup> no podía llevarse adelante sin más. En algunos casos podría eliminarse el fenómeno en cuestión del campo de aplicaciones pretendidas de la teoría sosteniendo que en realidad el rasgo en cuestión no es funcional. El comportamiento o el rasgo citado sería un mero efecto de otra actividad funcional o no funcional. Por ejemplo, la purificación del aire provocada por las hojas de las plantas podría ser un efecto colateral de una actividad relacionada en realidad con una actividad fisiológica como la respiración de la propia planta. Pero tomar esta decisión con todos los fenómenos que bajo TFB<sup>TN</sup> eran explicados exitosamente, habría implicado una pérdida costosa para la capacidad explicativa de la teoría. Los fenómenos que bajo TFB<sup>TN</sup> eran explicados a través de las leyes que debían rechazarse, debían ser acomodados, entonces, bajo otras leyes especiales. Muchas de las discusiones de Darwin en biología funcional deben entenderse en este sentido.

Una estrategia de Darwin consiste en subsumir los fenómenos que ahora quedan sin explicar bajo ramas ya existentes en TFB<sup>TN</sup>. Por ejemplo, algunos de los rasgos explicados bajo TFB<sup>TN</sup> apelando al embellecimiento del mundo, serán subsumidos ahora bajo la rama ya existente que toma en cuenta el objetivo de atraer parejas reproductivas. Así, el plumaje de los machos de los pájaros (Darwin 1859, p. 88), o los colores del iris (Darwin 1871, v. II, p. 72), se subsumirán bajo

el objetivo ecológico ya existente en TFB<sup>TN</sup> de atracción de parejas reproductivas. Tales objetivos serán subsumidos subsiguientemente en el enfoque evolutivo darwiniano apelando a la selección sexual, que puede pensarse como un caso de TSN<sup>D</sup> (Ginnobili 2011b).

Lo mismo ocurre con casos que caen bajo la rama de especializaciones que toma en cuenta el rol de los organismos en la economía natural. Por ejemplo, el caso citado de los frutos, que Paley explica a partir del rol en el sistema de la economía natural de alimentar a los animales, será subsumido por Darwin bajo la rama preexistente que tiene como objetivo el esparcimiento de las semillas (Darwin 1844, p. 92).

Un caso más interesante lo constituye el de las flores, que también era explicado apelando a la belleza, para el cual Darwin debió crear una nueva ley especial en TFB<sup>D</sup> a partir del nuevo objetivo que tiene que ver con los beneficios de la fecundación cruzada.

## 6. ¿Son la teoría funcional de Darwin y de la teología natural etapas de una y la misma teoría?

El trabajo realizado hasta el momento permite precisar y elucidar el sentido, señalado por Caponi, en que las adaptaciones tal como eran concebidas por los teólogos naturales (aclarando que Caponi no sostiene esto únicamente de la teología natural, sino de todos los historiadores naturales predarwinianos) no son las mismas que las adaptaciones tal como eran concebidas por Darwin. TFB<sup>D</sup> es diferente en muchos aspectos de TFB<sup>TN</sup>. Pero este señalamiento no es suficiente para resolver la disputa, la cuestión es si hay un sentido interesante en el que el fenómeno de la adaptación sea el mismo, aunque haya sufrido los cambios que sufrió. En el marco planteado, la cuestión podría plantearse del siguiente modo. ¿Puede considerarse que TFB<sup>D</sup> y TFB<sup>TN</sup>, aunque no sean idénticas, son diferentes momentos de la misma teoría –en el sentido diacrónico de teoría–? Si sí, entonces, hay un sentido relevante en que TSN<sup>D</sup> y DI<sup>TN</sup> dan cuenta del mismo fenómeno o del mismo tipo de fenómenos.

En el estructuralismo metateórico se citan los siguientes criterios para distinguir el cambio revolucionario del normal (Lorenzano 2012). Dos teorías serían casos de una misma teoría si:

1. Tienen el mismo marco conceptual. Utilizan los conceptos presentes en la ley fundamental sin agregar ningún concepto nuevo.
2. Tener las mismas leyes fundamentales –aunque las leyes especiales pueden no ser las mismas–.
3. Conceptualizar los fenómenos mediante los mismos conceptos.
4. Mantener las mismas relaciones esenciales con otras teorías.
5. Tener la intención de dar cuenta de al menos alguno de los mismos fenómenos.

Según lo que hemos venido viendo, y considerando los elementos que hemos señalado de ambas teorías –reconstrucciones más completas podrían llevarnos tal vez a considerar cuestiones que no hemos considerado, como relaciones esenciales con otras teorías–, parece que las cinco condiciones se cumplen. Considerando estos criterios, podríamos considerar que TFB<sup>TN</sup> y TFB<sup>D</sup> son distintos momentos de la misma teoría.

La clave de la cuestión se encuentra, sin embargo, en la afirmación que aparece en el requisito 2 de que las leyes especiales pueden no ser las mismas. Puesto que un caso exagerado en que en momentos subsiguientes una teoría cambia todas sus leyes especiales, aunque inverosímil, difícilmente pueda considerarse como un cambio normal. Sería extraño considerar que esta nueva teoría sigue siendo *la misma* teoría, y que los conceptos propios y propuestos por la teoría siguen siendo los mismos. Por otra parte, el abandono de alguna ley especial de bajo nivel o el descubrimiento de una nueva ley especial de bajo nivel, no pueden ser considerados como cambios revolucionarios y no parecen afectar el significado de los conceptos fundamentales de la teoría.

De hecho, una de las formas en que se aplica una ley fundamental a nuevos casos es justamente ésta, proponiendo nuevas leyes especiales. El caso de Darwin no se encuentra en ninguno de estos extremos. El cambio que realiza en la biología funcional parece más drástico que lo que habitualmente es considerado ciencia normal, pero mantiene ramas enteras de especializaciones.

La respuesta en consecuencia, no es unívoca. Si focalizamos en la continuidad, como lo hace Blanco en el trabajo antes mencionado, existen un sentido relevante en el que TSN y DI<sup>TN</sup> dan cuenta, en un sentido relevante e importante, de los mismos fenómenos. Pues ambas teorías apelan a teorías subyacentes que comparten, en un sentido relevante, un mismo marco conceptual, una misma ley fundamental, un conjunto importante de leyes especiales y un conjunto importante de aplicaciones pretendidas y exitosas. Esto podría haber servido de base a la comparación que los contemporáneos a Darwin realizaron, y al triunfo del darwinismo sobre la teología natural. Si nos focalizamos en la ruptura, como lo hace Caponi, los cambios establecidos por Darwin en la biología funcional son más fundamentales que los cambios que habitualmente los científicos hacen en sus teorías en períodos de ciencia normal. Darwin elimina ramas principales completas de TFB<sup>TN</sup>, abandona algunas de sus aplicaciones pretendidas, da cuenta de algunas otras a través de especializaciones disponibles, y propone nuevas especializaciones para dar cuenta de otras aplicaciones pretendidas. La tarea de Darwin en este sentido resulta más colosal y heroica, y la revolución darwiniana resulta más radical. Pues Darwin no sólo revolucionó la biología filogenética, sino que, además –y esto habitualmente no es reconocido– revolucionó la biología funcional. La biología funcional, y no sólo la biología evolutiva, puede describirse adecuadamente como “darwiniana”.

## Bibliografía

- Balzer, W., C.U. Moulines y J.D. Sneed (1987), *An Architectonic for Science: The Structuralist Program*, Dordrecht: Reidel.
- Blanco, D. (2008), “La naturaleza de las adaptaciones en la teología natural británica: análisis historiográfico y consecuencias metateóricas”, *Ludus Vitalis* XVI (30): 3-26.
- Caponi, G. (2011), *La segunda agenda darwiniana. Contribución preliminar a una historia del programa adaptacionista*, México: Centro de estudios filosóficos, políticos y sociales Vicente Lombardo Toledano.
- Darwin, C. (1844), “Essay of 1844”, en Darwin, F. (ed.), *The Foundations of The Origin of Species. Two Essays Written in 1842 and 1844*, Cambridge: University Press.
- Darwin, C. (1859), *On the Origin of Species by Means of Natural Selection*, London: John Murray.
- Darwin, C. (1861), “On the Two Forms, or Dimorphic Condition, in the Species of *Primula*, and on their Remarkable Sexual Relations”, *Journal of the Proceedings of the Linnean Society of London (Botany)* VI:77-96.
- Darwin, C. (1871), *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex*, London: John Murray.
- Darwin, C. (1876), *The Effects of Cross and Self-fertilisation in the Vegetable Kingdom*, London: John Murray.
- Darwin, C. (1877a), *The Different Forms of Flowers on Plants of the Same Species*, London: John Murray.
- Darwin, C. (1877b), *The Various Contrivances by which Orchids are Fertilised by Insects*, 2nd ed., London: John Murray.
- Ginnobili, S. (2009), “Adaptación y función”, *Ludus Vitalis* XVII (31): 3-24.
- Ginnobili, S. (2010), “La teoría de la selección natural darwiniana”, *Theoria* 25 (1): 37-58.
- Ginnobili, S. (2011a). “Función como concepto teórico”, *Scientiae Studia* 9 (4): 847-880.
- Ginnobili, S. (2011b). “Selección Artificial, Selección Sexual, Selección Natural”, *Metatheoria* 2 (1): 61-78.
- Kirby, W. (1836), *On the Power, Wisdom and Goodness of God, as Manifested in the Creation of Animals, and in their History, Habits and Instincts*, Philadelphia: Carey, Lea & Blanchard.

Lorenzano, P. (2012), “Estructuras y aplicaciones intencionales: Inconmensurabilidad teórica y comparabilidad empírica en la historia de la genética clásica”, en Lorenzano, P. (ed.), *El camino desde Kuhn. La inconmensurabilidad hoy*, Madrid: Biblioteca Nueva-Siglo XXI, pp. 289-350.

Ospovat, D. (1980), “God and Natural Selection: The Darwinian Idea of Design”, *Journal of the History of Biology* 13: 169-194.

Paley, W. (1809), *Natural Theology*, 12<sup>th</sup> ed., London: J. Faulder.



# La observabilidad: empirismo constructivo y ciencia

Germán Guerrero Pino<sup>†</sup>

## Resumen

El artículo tiene como objetivo clarificar los elementos centrales del empirismo constructivo de van Fraassen, para luego mostrar la importancia que tiene el concepto de observación en este y la forma como este concepto se vincula con cuestiones de existencia y con los desarrollos científicos.

## 1. Introducción

El propósito principal del artículo es clarificar los elementos centrales del empirismo constructivo de van Fraassen. Para ello, se comienza presentando y analizando la caracterización que hace Ladyman (2002) del realismo científico y, por contraste, del empirismo constructivo. Después se exponen las características del empirismo constructivo, enfatizando especialmente en su concepción de observación; la forma como vincula la observación con las cuestiones ontológicas de existencia de entidades observables y entidades inobservables; y la forma como pretende ser consistente con lo que dice la ciencia sobre la observación y la existencia de entidades.

## 2. Realismo científico y empirismo constructivo

Considero que la mejor forma de proceder, con miras al objetivo propuesto, es contraponer el empirismo constructivo con las principales características o compromisos del realismo científico. Pero la cuestión es que hay distintas formulaciones del realismo científico, que si bien pueden ser semejantes en su parte sustantiva (esto es, poseen un parecido de familia), difieren en detalles que resultan siendo de gran interés filosófico. La salida está en considerar aquella formulación que esté más próxima al realismo científico tal y como lo entiende van Fraassen y que le sirve como punto de referencia para delinear su propuesta alternativa, el empirismo constructivo. Por tanto, seguiré, en líneas generales, la caracterización que hace Ladyman (2002, pp. 158, 159 y 185) del realismo científico y el empirismo constructivo.

De acuerdo con esta caracterización, el realismo científico asume cinco compromisos, dos metafísicos, dos semánticos y uno epistemológico.

### *Realismo metafísico*

- (1) Existe un mundo compuesto por objetos (con sus propiedades) observables e inobservables. De modo que, por ejemplo, las mesas (observables) y los electrones (inobservables) existen en ese mundo exterior.
- (2) Este mundo de objetos es un mundo extramental y extralingüístico, que es independiente del sujeto cognoscente, de nuestras mentes y del conocimiento que tengamos de él. De modo que,

---

<sup>†</sup> Universidad del Valle. Para contactar al autor, por favor, escribir a: [germangpino@gmail.com](mailto:germangpino@gmail.com).

por ejemplo, las mesas y los electrones existen independientemente de nuestras mentes y de nuestro conocimiento acerca de ellos.

#### *Realismo semántico*

- (3) Hay que interpretar literalmente a las teorías científicas. Esto es, por ejemplo, los enunciados sobre electrones son realmente sobre partículas subatómicas con carga negativa, spin  $\frac{1}{2}$ , con cierta masa, etc. Lo mismo para las mesas, lo cual ofrece menos dificultades de comprensión que el caso de los electrones.
- (4) La verdad o falsedad de una teoría científica depende de cómo es ese mundo de objetos o cosas (teoría de la verdad por correspondencia). Así, por ejemplo, la verdad sobre las mesas y los electrones depende únicamente de ese mundo y nada más.

#### *Realismo epistemológico*

- (5) Es posible conocer ese mundo de objetos o cosas a través de las teorías científicas. Nuestras mejores teorías vigentes, en cuanto a predicción y explicación, son aproximadamente verdaderas. En otras palabras, las teorías vigentes exitosas refieren correctamente a los objetos de los que tratan; en particular, refieren correctamente a los objetos inobservables que postulan, pues no ofrece mayores complicaciones admitir que tenemos cierto conocimiento de objetos observables como las mesas. De manera más clara, podemos afirmar que existen los objetos inobservables postulados por las teorías vigentes exitosas. El tipo de realismo epistemológico que está aquí en juego es el que tiene que ver, en particular, con las entidades inobservables. A manera de ejemplo, debido al éxito predictivo y explicativo que ha tenido la teoría sobre los electrones durante casi ya cien años, debemos creer en esa teoría y, en particular, en la existencia de los electrones y sus propiedades.

Es importante insistir en que no todas las propuestas realistas sobre la ciencia se acogen a estos cinco puntos y en los mismos términos. Así, el realismo constructivo de Giere (1988), tal y como él lo entiende, no es semántico, pues no interpreta en forma literal algunos enunciados de las teorías científicas y tampoco se acoge a la teoría de la verdad por correspondencia. También se encuentran realismos más restrictivos como el de Bunge (2006), con por lo menos siete compromisos. Por tanto, parece que la parte medular del realismo científico es la componente metafísica; de ahí la insistencia de Devitt en que “ninguna doctrina de la verdad es constitutiva de la doctrina metafísica del realismo científico” (Devitt 2008, p. 226). Pero también hay que decir que el realismo se vuelve más interesante cuando se acompaña de la componente epistemológica. Ahora bien, como decíamos más arriba, la ventaja de enunciar estos cinco compromisos es que nos permiten una primera y buena aproximación al empirismo constructivo de van Fraassen.

Pasemos ahora a mencionar las formas de antirrealismo que surgen a partir de la negación de uno o más de los cinco compromisos mencionados del realismo científico. Así, al negar (1) se obtiene un escepticismo radical para el cual no existe un mundo de objetos o cosas, no hay mesas ni electrones en sí mismos. Una ilustración de la negación de (2) es el constructivismo social, según el cual hay un mundo de objetos, pero éstos y sus propiedades son construidos por nosotros: los electrones son entidades socialmente construidas por las comunidades científicas. Respecto al rechazo de (3), encontramos dos posiciones bastante familiares: una es el empirismo reductivo promovido por los primeros empiristas lógicos con su criterio verificacionista del significado, de acuerdo con el cual no hay que tomar literalmente a los términos teóricos de una teoría, refiriendo a objetos inobservables, pues en realidad éstos pueden definirse en función de términos observacionales; y la otra es el instrumentalismo, en donde las entidades teóricas, a las cuales supuestamente refieren los términos teóricos, son meras ficciones convenientes que son sólo útiles para predecir observaciones, y nada más.

Pues bien, el empirismo constructivo de van Fraassen tiene que ver con la negación de (5), lo cual tiene consecuencias respecto a (1), como a continuación veremos. En primer lugar, una

enmienda respecto a 5). Para el empirismo constructivo nuestras mejores teorías son valoradas como tales sólo por su poder predictivo y en esto no cuenta para nada su capacidad explicativa, pues esta no ofrece ninguna ganancia adicional respecto a lo primero: en tanto que la predicción es una relación binaria entre teoría y mundo, la explicación es una relación pragmática ternaria entre teoría, mundo y usuarios.

En segundo lugar, y en coherencia con lo anterior, el carácter predictivo de las teorías está restringido al nivel observacional, al de los objetos observables: las teorías se contrastan contra fenómenos, cuya peculiaridad es la de ser observables. En otros términos, nuestras mejores teorías vigentes son aproximadamente verdaderas en el dominio de lo observable, pero no más. Esto equivale a decir que el éxito de una teoría radica en ser empíricamente adecuada, en salvar los fenómenos, que son de por sí observables. En síntesis, no es posible juzgar a una teoría por lo que dice acerca de lo transfenoménico, lo que está más allá de los fenómenos; y, a la inversa, del hecho que una teoría sea exitosa no podemos inferir nada de lo transfenoménico.

Así, y en tercer lugar, se llega a la negación parcial de (1): tenemos muy buenas razones para admitir que existen objetos observables como las mesas, pero no las tenemos para aceptar o rechazar la existencia de los objetos inobservables (aquellos objetos que no podemos observar al menos directamente con los sentidos desnudos, sin ayudas) postulados por las teorías, objetos tales como genes, virus, átomos, agujeros negros, las radiaciones electromagnéticas, la gravedad, etc. Debemos ser agnósticos respecto a la existencia de las entidades inobservables; incluso podríamos aceptar que existen, pero esto no añade nada para una mejor comprensión de la ciencia y su relación con el mundo, así que es mejor no dar ese paso metafísico. En síntesis, el empirismo constructivo niega parcialmente tanto 1) como 2); admite 3) y 4); y niega parcialmente 5).

Para fijar las ideas anteriores es necesario hacer algunas observaciones, aclaraciones y precisiones sobre los cinco compromisos anteriores recurriendo directamente a los planteamientos de van Fraassen. La definición de van Fraassen del realismo científico es la siguiente: “la ciencia se propone darnos, en sus teorías, un relato literalmente verdadero de cómo es el mundo; y la aceptación de una teoría científica conlleva la creencia de que ella es verdadera” (van Fraassen 1980, p. 8). En este caso, la verdad debe darse en los dos ámbitos, en el de lo observable y en el de lo inobservable. En tanto que la tesis principal del empirismo constructivo es que el objetivo de la ciencia es proporcionar teorías que *salven los fenómenos*, los cuales tienen la peculiaridad de ser observables en un sentido bien particular. Con las palabras de van Fraassen: “la ciencia se propone ofrecernos teorías que son empíricamente adecuadas; y la aceptación de una teoría involucra como creencia solamente que ella es empíricamente adecuada” (van Fraassen 1980, p. 12). Esta definición se ajusta a la exigencia semántica del realista de tomar los términos que refieren a inobservables literalmente, como refiriendo a entidades reales, y no sólo los que refieren a observables; y, además, en ella se sustituye la verdad por la adecuación empírica, la cual equivale a la verdad solo en el nivel de lo observable, ya que “una teoría es empíricamente adecuada precisamente si lo que dice acerca de las cosas y sucesos observables en este mundo es verdadero; si ella *salva los fenómenos*” (van Fraassen 1980, p. 12).

Sobre la tesis del realismo metafísico es importante subrayar que no simplemente dice que existe un mundo de objetos independiente del sujeto cognoscente, sino que adicionalmente clasifica los objetos de ese mundo en observables e inobservables. Ladyman enuncia esta tesis realista así: “la existencia de un mundo de objetos observables e inobservables independientes de nuestras mentes” (Ladyman 2002, p. 159). Como se dijo, van Fraassen suscribe parcialmente esta tesis, pues es agnóstico respecto a la existencia o no de entidades inobservables, pues nunca sabremos si aquellas entidades realmente existen. De manera más precisa, van Fraassen coincide con el realismo metafísico en mantener la distinción entre objetos observables e inobservables; con sus propias palabras: “en la imagen científica del mundo, incluso el realista científico debe

observar la distinción entre los fenómenos y el mundo más allá de los fenómenos” (van Fraassen 1980, p. 59). Rosenberg (2005, p. 97) también apoya esta idea.

El que realistas y empiristas compartan estas dos tesis es una herencia de los principales planteamientos de los positivistas o empiristas lógicos (véase Kukla 2008, p. 400). La división tiene que ver con la etapa de liberalización del empirismo al interior del grupo, al flexibilizar el criterio verificacionista del significado respecto a los enunciados teóricos, pues en realidad no es posible traducirlos por completo a enunciados puramente observacionales, de modo que no pueden ser verificados (lo cual no admite grados). Además, de ser posible traducir los términos teóricos en términos observacionales, se caería en un empirismo reductivo, pero con la grave consecuencia de que los términos teóricos se vuelven innecesarios y se viola el punto de partida (tesis central de los empiristas lógicos) de que el lenguaje científico se divide en una parte teórica y otra observacional. Por tanto, se concluyó que los enunciados teóricos sólo pueden ser más o menos *confirmados* o no por la evidencia observacional disponible, por sus consecuencias observacionales (véase Carnap 1963, pp. 57 y 59). En otras palabras, la evidencia empírica a favor de un enunciado teórico depende de la evidencia disponible a favor de los enunciados observacionales con los que está vinculado en la teoría. Pero, ¿qué implicaciones tiene esto sobre la interpretación de los enunciados teóricos y los respectivos términos teóricos? Aquí es donde surge la división: para los realistas, la confirmación de las consecuencias observacionales de la teoría proporciona evidencia suficiente para afirmar la existencia de las entidades a las cuales los términos teóricos refieren; entre tanto, los antirrealistas niegan que tal implicación sea legítima.

### 3. La observación en van Fraassen

Como puede observarse, la distinción observable/inobservable es clave para el empirismo de van Fraassen y esta tiene que ver con su manera particular de entender la observación:

se supone que hay una clasificación correlativa [a la de observable/inobservable] de los actos humanos: un acto espontáneo de percepción, por ejemplo, es una observación. Un cálculo de la masa de una partícula a partir de la desviación de su trayectoria en un campo de fuerza conocido, no es una observación de esa masa (van Fraassen 1980, p. 15).

Ahora bien, dos son las peculiaridades a destacar en la concepción que tiene van Fraassen de observación: una, que ésta tiene que ver con nuestras capacidades perceptivas; y, dos, que los desarrollos científicos pueden ayudar a una mejor comprensión de estas capacidades, sus limitaciones y, con ello, a delimitar cada vez mejor las entidades observables de las que no lo son. En cuanto a lo primero, en su bien conocido ejemplo del hombre de la Edad de Piedra, al que se le muestra una pelota de tenis, van Fraassen concluye que él ve las mismas cosas y acontecimientos que nosotros, precisamente porque, en principio, tiene las mismas capacidades perceptivas nuestras; aunque, desde luego, él describirá la pelota de tenis de manera distinta a como lo hacemos nosotros porque cuenta con recursos conceptuales y lingüísticos diferentes. Aún más, esta es su idea *guía aproximada* (palabras del mismo van Fraassen) de lo que es observable: “X es observable si hay circunstancias tales que, si X se nos presenta bajo esas circunstancias, entonces lo observamos” (van Fraassen 1980, p. 16), la cual efectivamente está en términos de nuestras capacidades perceptivas. En términos más gráficos, van Fraassen dice:

Ver con el ojo desnudo es un caso claro de observación [...]. Un vistazo a las lunas de Júpiter a través de un telescopio me parece un claro caso de observación, ya que los astronautas serán sin duda capaces de verlas también desde cerca. Pero la supuesta observación de macropartículas en una cámara de vapor me parece un caso claramente diferente –si es que nuestra teoría acerca de lo que allí sucede es correcta (van Fraassen 1980, p. 16).

Esta última puntualización de van Fraassen nos lleva al segundo elemento de su concepción de observación: hemos de recurrir a las ciencias empíricas, más que a la filosofía, para clarificar las características y límites de nuestras capacidades perceptivas, y con ello la distinción

observable/inobservable (véase van Fraassen 1980, p. 57). Esto tiene que ser así porque si la noción de observación se circunscribiese a lo que es observable en el presente, entonces la observación sería contextual, relativa, de modo que podría darse el caso indeseado de que una teoría empíricamente adecuada hoy, lo sería por siempre; lo mismo para el caso inverso, que no sería tan problemático. Lo que es observable o inobservable debe mantenerse “a lo largo de la historia del universo”, dice van Fraassen (1980, p. 45); y es claro que estos límites no se pueden trazar de una vez y para siempre, los desarrollos científicos permiten actualizar dichos límites. Esta puntualización de su parte la podemos entender como el requisito de objetividad de la observabilidad. Pero hay una segunda razón más por la cual van Fraassen hace uso de los avances científicos, y esta es que la ciencia cada día más explora territorios nuevos a los cuales no accedemos directamente a través de nuestros sentidos desnudos. Es el caso, por ejemplo, de las micropartículas postuladas por la ciencia, las cuales no las podemos declarar inobservables simplemente porque no las vemos o las percibimos con nuestros sentidos desnudos, sino que la ciencia viene a nuestro auxilio para validar que efectivamente nunca podremos percibir tales entidades postuladas. Podríamos decir que, en términos generales, el argumento busca establecer que la noción de observabilidad fundamental para la epistemología empirista de van Fraassen es por completo compatible con lo que diga la ciencia (presente y futura) al respecto. Lo cual desde luego es muy importante. Pero, como veremos más adelante, no hay tal armonía entre el empirismo constructivo y la ciencia.

Ahora bien, los dos elementos destacados de la concepción de van Fraassen de la observación llevan a lo que él llama *Círculo hermenéutico*, que no es un círculo vicioso. Efectivamente, nos encontramos ante una circularidad porque, por una parte, la valoración de una teoría T particular se hace mediante sus contrastaciones observacionales y, por la otra, la ciencia misma interviene en lo que ha de considerarse observable, incluso podría intervenir la misma teoría T. Pero tal circularidad no es viciosa porque, de acuerdo con van Fraassen, lo que en un momento dado se considere observable, a la luz de los desarrollos de la ciencia, no es relativo a las teorías dominantes sino que es un *hecho* descubierto por la ciencia, aunque dicho hecho no refiere al mundo externo como tal sino al mundo externo tal como nosotros lo percibimos. En otras palabras, no es un hecho independiente del sujeto cognoscente sino un hecho que depende de nuestras mentes, de cómo nosotros percibimos el mundo. Así lo dice van Fraassen: “lo que es observable es una cuestión independiente de la teoría. Está en función de los hechos acerca de nosotros *qua* organismos en el mundo, y estos hechos pueden incluir hechos acerca de los estados psicológicos que están presentes en la contemplación de la teoría” (van Fraassen 1980, p. 57). En síntesis, no hay un círculo vicioso, lo que es observable es independiente de las teorías que permiten hacer tal delimitación. Pero, por otra parte, aquí cabe subrayar también que lo que es observable depende de nosotros *qua* organismos, de tal manera que no hay tal independencia absoluta exigida por el criterio 2) del realismo científico. Podríamos restablecer una independencia relativa mediante el requisito de objetividad de la observabilidad, mencionado arriba: observamos lo mismo porque nuestros organismos son muy semejantes. Por tanto, el empirismo constructivo niega parcialmente 2), como ya habíamos advertido.

Por último, nos falta presentar la forma como van Fraassen relaciona *lo observable* y *lo no-observable* (que clasifica entes supuestos) con cuestiones ontológicas, con la existencia o no de las entidades correspondientes. Para él es claro que aquí no hay una relación lógica: de que observemos algo no podemos concluir de inmediato su existencia, los sentidos muchas veces nos engañan. Un ejemplo de van Fraassen: a lo lejos vemos jinetes sin cabeza, y sabemos que éstos no existen. En el otro sentido, de que no veamos algo no quiere decir que no existe: la Luna siempre nos muestra la misma cara, pero los astronautas pisaron el suelo de su cara oculta. Ahora bien, aunque para van Fraassen no existe tal relación lógica, él considera que hay modos en que ambas cuestiones se relacionan, las cuales son de gran importancia epistemológica, en especial para el

debate del realismo científico: “aun si observabilidad no tiene nada que ver con existencia (por ser, de hecho, una idea muy antropocéntrica), puede aún tener mucho que ver con la actitud epistemológica correcta hacia la ciencia” (van Fraassen 1980, p. 19). Tal relación la interpreto en los siguientes términos: de observaciones bien establecidas podemos extraer conclusiones existenciales relativamente firmes. Sabemos que no hay jinetes sin cabeza, aunque los veamos de lejos, porque otras observaciones más firmes nos llevan a ello, como por ejemplo que en el pasado al ver de cerca un jinete lo vemos como una persona normal con cabeza, pero sobretodo porque una persona, como un jinete cabalgando erguido sobre su caballo, no podría estar viva sin cabeza. Por otra parte, de las consideraciones firmes de la ciencia hemos de aceptar que los electrones son inobservables, pero no tenemos ningún fundamento observacional adicional (incluso dado por la misma ciencia) que nos lleve a aceptar su existencia, ya que bajo cualquier circunstancia seguirán siendo inobservables.

Para terminar, van Fraassen sintetiza de manera ejemplar la fuerza de su empirismo constructivo sobre el realismo científico del siguiente modo: “la afirmación de adecuación empírica es bastante más débil que la afirmación de verdad, y la resistencia a aceptar nos libra de la metafísica” (van Fraassen 1980, p. 69).

En síntesis, el empirismo constructivo de van Fraassen es un antirrealismo epistemológico que parte de la distinción entre objetos y propiedades observables e inobservables, que está emparentada con nuestras capacidades perceptivas y con los desarrollos científicos a este respecto. En concordancia con esto, el éxito de una teoría radica en ser empíricamente adecuada, en salvar los fenómenos, y éste no tiene nada que ver con lo que dice la teoría acerca de lo transfenoménico. Por tanto, tenemos muy buenas razones para admitir que existen objetos observables, pero no las tenemos para aceptar o rechazar la existencia de los objetos inobservables con los que se compromete una teoría.

## Bibliografía

---

- Bunge, M. (2006), *Chasing Reality: Strife over Realism*, Toronto: University of Toronto Press.
- Carnap, R. (1963), “Intellectual Autobiography”, en Schilpp, P.A. (ed.), *The Philosophy of Rudolf Carnap*, La Salle: Open Court, pp. 3-84.
- Devitt, M. (2008), “Realism/Anti-Realism”, en Psillos, S. y M. Curd (eds.), *The Routledge Companion to Philosophy of Science*, Abingdon: Routledge, pp. 224-235.
- Giere, R. (1988), *Explaining Science. The Cognitive Approach*, Chicago: The University of Chicago Press.
- Kukla, A. (2008), “Observation”, en Psillos, S. y M. Curd (eds.), *The Routledge Companion to Philosophy of Science*, Abingdon: Routledge, pp. 396-404.
- Ladyman, J. (2002), *Understanding Philosophy of Science*, London: Routledge.
- Rosenberg, A. (2005), *Philosophy of Science*, New York: Routledge.
- Van Fraassen, B. (1980), *The Scientific Image*, Oxford: Clarendon Press.

# ¿Materia oscura o gravedad modificada? Un análisis del estatuto hipotético de las entidades teóricas de la Física

Alan Heiblum<sup>†</sup>

Alejandra María Jimenez<sup>‡</sup>

Claudia E. Vanney<sup>§</sup>

## Resumen

La materia oscura, principal constituyente del escenario cosmológico favorito de la actualidad, parecería ser un ejemplo más del usual e inocuo recurso científico consistente en postular una nueva entidad para salvar un desacuerdo entre datos y teoría. En este trabajo revisaremos brevemente si éste es el caso. En especial nos enfocaremos en atender si la hipótesis de la materia oscura es de corte realista como *prima facie* lo aparenta.

## 1. ¿Materia oscura?

Se acerca ya el centenario del término ‘materia oscura’ que nombra a la presunta materia cósmica imperceptible, responsable de la discrepancia entre la materia observada y la materia esperada dado el movimiento de cúmulos y galaxias. A cambio de mantener la teoría de relatividad general y su límite clásico (la gravitación de Newton) sin alteraciones, la mayoría de la comunidad científica acepta la existencia de materia oscura sin hacer mayores reparos en el hecho de que casi a un siglo de su introducción aún no ha sido detectada.

Esta fantasmal entidad estaría conformada por partículas no estándar aún no detectadas, cuya interacción con el resto de la materia ordinaria sería únicamente gravitacional. La lista de posibles candidatos a conformar la materia oscura es larga y ha cambiado mucho a lo largo del tiempo. Dentro de aquellas que no han sido descartadas, luce como favorito el hipotético *neutralino*, un extraño caso de fermión que debiera ser su propia antipartícula. Estas facetas estrafalarias no son las únicas, en orden de dar cuenta de los diversos fenómenos observados, la materia oscura debería ser un constituyente prioritario del universo. En la imagen del escenario favorito de la comunidad científica, la materia ordinaria (el universo como antes lo entendíamos), queda relegado a ocupar apenas unas cuantas centésimas del universo “real” (Sanders 2010).

Antes de adoptar su forma actual, la materia oscura, en tanto hipótesis científica, ha atravesado tres etapas de desarrollo. En la primera lució como una hipótesis arriesgada y tuvo poca atención por parte de la comunidad científica. Al respecto se destaca el artículo de 1933 del astrónomo de origen helvético Fritz Zwicky quien reparó en que la materia luminosa observada en el cúmulo Coma no sería capaz de contrapesar la velocidad de dispersión de las galaxias que lo conforman.

---

<sup>†</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero (UNTREF)–Instituto de Filosofía, Universidad Austral–Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT). Para contactar al autor, por favor, escribir a: mulbieh@gmail.com.

<sup>‡</sup> Instituto de Astronomía, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Para contactar al autor, por favor, escribir a: mjimenez@astro.unam.mx.

<sup>§</sup> Instituto de Filosofía, Universidad Austral. Para contactar al autor, por favor escribir a: cvanney@austral.edu.ar.

Zwicky postuló entonces cierta “*dunkle Materie*” cuya abundancia explicaría la estabilidad del cúmulo (Zwicky 1933).

En la segunda etapa la hipótesis de la materia oscura deja de ser arriesgada y se vuelve una hipótesis adecuada y ampliamente reconocida. En esta etapa se destaca el trabajo de medición de las curvas de rotación galácticas realizado por Rubin y colegas a inicios de la década de los ochenta. En estos trabajos el análisis individual de las galaxias mostró un superávit gravitacional (o déficit de materia) sistemático en todas ellas. Según la gravitación de Newton las curvas de rotación deberían caer para objetos lejos del centro galáctico. Contrariamente a ello, las curvas de rotación observacionales se mostraban planas. La conclusión de estos investigadores fue que era muy probable que las galaxias contuvieran mucha más materia que la que de hecho los telescopios registran (Rubin *et al.* 1980).

En la tercera etapa distintos resultados teóricos y observacionales llevaron a los investigadores a descartar la idea de que la materia oscura pudiera estar conformada por materia ordinaria (que interactúa con la luz). Diferentes problemas y éxitos predictivos acerca de la formación y movimiento de los objetos cósmicos terminaron por descartar numerosos modelos de materia oscura caliente (relativista) y llevaron a promover modelos de materia oscura fría (no relativista) a ser los favoritos para encabezar los programas de investigación astrofísica. Como resultado de esta tercer etapa, en donde se destaca el trabajo con simulaciones de  $N$ -objetos, la existencia de materia oscura se perfiló como un hecho científico (Sanders 2010).

## 2. ¿Gravedad modificada?

El escenario cosmológico estándar –compuesto por la constante cosmológica y materia oscura fría–, cuenta con importantes triunfos científicos y permite un entendimiento de la génesis y la formación de estructuras. No obstante, está lejos de dar un panorama satisfactorio y completo de la actual imagen astronómica del universo. Existen, por ejemplo, serias inconsistencias en el grupo local de galaxias del que forma parte la Vía Láctea (Kroupa *et al.* 2010). Y esto, al precio de mantener una imagen del cosmos en la que sus componentes dominantes son hipotéticas y totalmente indetectables de otra manera que no sea con interacciones gravitacionales.

Por otra parte un programa distinto estuvo desde siempre disponible. El desacuerdo entre datos y teoría también se puede leer sencillamente como que la teoría es incorrecta y debe ser modificada. Propuestas alternativas a la hipótesis de la materia oscura existen en forma concreta, aunque menos alentadas por la comunidad científica. Una de ellas consiste en agregar un factor a la dinámica o la ley de gravitación Newtoniana que modifica las predicciones únicamente en un régimen de bajas aceleraciones, en lugar de poblar el universo con oscura materia oscura (Milgrom 1983). El desarrollo de esta propuesta exigiría también una modificación de la relatividad general de manera tal que fuera adecuada a los fenómenos que da cuenta y que su nuevo límite clásico diera la gravedad modificada. Más allá de sus dificultades intrínsecas, es difícil llevar a cabo este desarrollo si la propuesta no recibe los recursos y la atención que merece. Nosotros esperaríamos de una ciencia sana que ante un enclave rico y problemático, como el que proporciona la cosmología actual, distintas teorías pudieran desarrollarse, competir y complementarse; no que una única hipótesis, en este caso la hipótesis de la materia oscura, monopolizara el ambiente. Por ello esperamos que este breve documento sirva como un llamado a una visión más plural.

Como toda propuesta científica, los escenarios de gravedad modificada y materia oscura tienen diferentes ventajas y desventajas. Aunque se presume que el escenario con materia oscura da cuenta de la mayoría de los resultados observacionales, en el artículo de Kroupa *et al.* (2010) se afirma que hay serios problemas del escenario con materia oscura que simplemente desaparecen adoptando la hipótesis de la gravedad modificada.<sup>1</sup> La gravedad modificada presenta la ventaja de

<sup>1</sup> “It would thus appear that within the non-Newtonian weak-field framework a much more complete, self-consistent, and indeed simpler understanding of the Galaxy’s satellites as well as of major galaxies may be attained, than within

que el límite introducido agrupa distintos aspectos de la fenomenología celeste de una manera orgánica.

Es difícil encontrar un test decisivo entre el escenario de materia oscura y la gravedad modificada porque sus predicciones son muy similares. Como vimos, en gran parte ambas teorías nacieron para dar cuenta de los mismos problemas de la dinámica galáctica. Sin embargo, hay regiones como aquellas alejadas de los centros galácticos donde las predicciones difieren y la sutileza de la gravedad modificada puede ser puesta a prueba. Esto ha ocurrido y la gravedad modificada ha obtenido diferentes resultados favorables, entre ellos una predicción adecuada para el caso de estrellas binarias de gran separación (Hernandez *et al.* 2012).<sup>2</sup> La clave de usar estrellas binarias radica en que se trata de un sistema donde en principio no se espera la presencia de materia oscura. Además las predicciones así elaboradas constituyen un test decisivo en tanto que su fracaso implicaría, fuertemente y a diferencia de la hipótesis de la materia oscura, la renuncia a dicha modificación de la gravedad.

### 3. ¿Realismo?

La astronomía ha sido desde siempre la arena favorita para el debate acerca de la realidad de los productos de la ciencia y la pregunta por la existencia de la materia oscura no es la excepción. Por realismo científico se puede entender una actitud positiva hacia la ciencia y sus productos. Esta actitud suele ser de confianza hacia las mejores teorías y métodos. Para un realista el mundo es, en algún sentido, aproximadamente como la ciencia dice que es: “A scientific realist takes theories seriously as attempted descriptions and explanations of reality. A theory may go beyond the edge of direct observability by postulating theoretical entities, if it yields predictions testable by public observation” (Niiniluoto 2002, p. 113).

En oposición a la actitud realista, podemos situar una actitud (que aquí pondremos bajo la etiqueta) instrumentalista como aquella que toma las entidades no observables propuestas por las teorías científicas como ficciones útiles para realizar cálculos exitosos sin guardar ningún compromiso con su existencia o inexistencia.

Con lo hasta ahora mencionado podría parecer que la postulación de la materia oscura cae en un esquema típico del científico realista y del realista científico. Como datos y teoría están en desacuerdo, entonces, en lugar de despachar la teoría, se afirma que el universo no es como aparenta y se introduce una entidad, inicialmente imperceptible, que de hecho existiría y daría cuenta de los efectos que se notan, en este caso el movimiento y la formación de objetos astronómicos.

Este proceder ha sido común en la Física. Considérese el célebre y famoso ejemplo de la postulación de Neptuno y también el menos conocido y fallido de Vulcano. El descubrimiento de Neptuno es un tema ampliamente conocido y, para efectos de este trabajo, no es necesario entrar en mayores detalles. Basta con decir que en la primera mitad del siglo XIX, frente a las irregularidades observadas en el planeta Urano, en lugar de abandonar la ley de gravitación de

---

*the CCM.* [...] Thus, many observational problems may be solved uncontrived by adopting non-Newtonian weak-field dynamics, and perhaps this was, in the end, the most self evident explanation to the discovery of non-Keplerian rotation curves” (Kroupa 2010, p. 22).

<sup>2</sup> “We have identified a critical test in the classical gravity/ modified gravity debate, using the relative velocities of wide binaries with separations in excess of 7000 AU, as these occupy the  $a < a_0$  regime characteristic of modified gravity models. [...] Results show constant relative RMS velocities for the binary stars in question, irrespective of their separation, in the  $a < a_0$  regime sampled. This is quantitatively inconsistent with detailed predictions of Newtonian dynamical models for large populations of binaries evolving in the local galactic environment. Our results are qualitatively in accordance with generic modified gravity models constructed to explain galactic dynamics in the absence of dark matter, where one expects constant relative velocities for binary stars, irrespective of their separation, in the  $a < a_0$  regime sampled” (Hernandez *et al.* 2012, p. 6).

Newton se postuló la existencia de un nuevo planeta que daba cuenta de las mismas. El planeta fue exitosamente avistado y la mecánica clásica gozó uno de sus mayores triunfos. Esta victoria llevó a intentar resolver las irregularidades observadas en Mercurio con un tratamiento semejante. Se postuló entonces la existencia de Vulcano, un planeta o un cinturón de asteroides, cuya presencia en la cercanía del sol daría cuenta de las anomalías observada en Mercurio. Aunque no faltó quien anunciara un presunto avistamiento, con la entrada de la fotografía científica a finales del siglo XIX la hipótesis de Vulcano fue perdiendo el apremio con que fue inicialmente impulsada. Posteriormente la relatividad general mostró que las anomalías observadas en Mercurio no serían salvadas con la introducción de una nueva entidad celeste sino con un cambio en la descripción teórica de la gravitación. Mientras el éxito de la hipótesis de Neptuno mostró la ventaja de mantener sin cambios la descripción teórica alterando el catálogo de objetos existentes, el fracaso de la hipótesis Vulcano enseñó que, a veces, es la descripción teórica la que debe ser modificada. Entonces, como no ha existido ni jamás existirá método alguno que determine cuándo la postulación de una entidad se trata del tipo Neptuno o del tipo Vulcano, la lección filosófica que conviene implementar es la de evitar a toda costa la *hybris* de cantar victoria antes de tiempo.

La materia oscura contrae diferencias sensibles con estos ejemplos. Tanto en el caso de Neptuno como en el de Vulcano lo que se postuló fue un conjunto de cuerpos ordinarios, similares a sus compañeros en el sistema solar, que simplemente no habrían sido previamente observados. En el caso de la materia oscura, la hipótesis ha ido sofisticándose al grado de que lo que se postula es una entidad que debe ser necesariamente diferente de cualquier otra entidad existente. En otras palabras, en el caso de Neptuno y Vulcano se preserva el catálogo de los objetos existentes, en el caso de la materia oscura no.

Otra diferencia es igualmente clara. La comunidad científica no celebró la existencia de Neptuno sino hasta su detección. En cambio, la materia oscura, que aún no ha sido detectada, aparece ya confiadamente en la literatura, como si su estatus no fuese el de una mera hipótesis a la espera de una confirmación experimental. En este sentido, si lo que se busca es una analogía histórica para la materia oscura, Vulcano pareciera ser un mejor candidato.

La postulación de Neptuno y Vulcano es realista en cuanto hay un compromiso con la existencia de un cuerpo celeste con ciertas características. Si tras una búsqueda férrea y extenuante Neptuno no hubiera sido observado, en tanto hipótesis práctica y concreta tendría que haber sido descartada y dado pie a otra distinta. Tal fue el caso Vulcano, pues cuando la fotografía sistemática del sol mostró la inviabilidad de un cuerpo con las características buscadas, aparecieron en la literatura expresiones de que lo que faltaba era una hipótesis de naturaleza distinta (e.g. Perrin 1902). Dicho compromiso con la existencia particular de la entidad en juego no se observa en el caso de la abstracta hipótesis de la materia oscura, ya que ante cualquier fracaso en el intento de su detección, siempre es posible su reformulación en términos cada vez más oscuros.

Si colocamos el *quid* del realista científico en su compromiso con la existencia o inexistencia de las entidades que circulan en los discursos científicos. El punto clave es, entonces, que los adherentes a la hipótesis de la materia oscura no guardan compromiso alguno con la existencia de una particular entidad del universo sino que, más bien, su compromiso, uno que además es innegociable, es con la descripción teórica de la gravitación.

Si todo lo anterior es correcto, la hipótesis de la materia oscura, que juzgada a la ligera parece realista, arrastra una sazón instrumentalista, ya que funciona meramente como un artilugio para salvar las apariencias. En cambio, la gravedad modificada, hipótesis instrumentalista a *prima facie*, tiene mucho de realista pues exige un contrato serio con aquello que de hecho constituye o no nuestro universo.

#### 4. Conclusiones

El debate *gravedad modificada vs. materia oscura* hace honor a la astronomía como el escenario favorito de los desafíos entre el programa instrumentalista y el programa realista. Sin embargo,

nosotros quisiéramos ver una ciencia sana donde distintas teorías disputan hasta la extenuación. No encontramos argumentos científicos ni meta-científicos de por qué una hipótesis tan problemática como la de la materia oscura tuviera que gozar de mejor prestigio y recursos que sus adversarios. Conviene pues tener una mirada atenta, inclusiva y abierta. En particular, la hipótesis de la gravedad modificada es una propuesta excitante que nos habla de una nueva discrepancia con la mirada clásica. Esta vez no en lo minúsculo ni a altas energías, esta vez en el régimen de las aceleraciones casi nulas.

La investigación aquí realizada nos permite concluir que aún cuando la hipótesis de la materia oscura parece *prima facie* realista, operativamente, funciona como una hipótesis instrumentalista. El punto a destacar es que no hay un compromiso con la existencia de un determinado tipo de entidad sino únicamente con la idea de que las leyes teóricas que la engloban son correctas. Es decir, se trata un realismo teórico más no de entidades. De la misma manera, no obstante que la hipótesis de la gravedad modificada reluce *prima facie* como una hipótesis instrumentalista resulta falseable y de corte realista.

## Bibliografía

---

- Hernandez X., Jiménez M.A. y C. Allen (2012), “Wide Binaries as a Critical Test of Classical Gravity”. *The European Physical Journal C* 72 (2): 1-8.
- Kroupa, P. *et al.* (2010), “Local-Group Tests of Dark-matter Concordance Cosmology. Towards a New Paradigm for Structure Formation?”, *Astronomy & Astrophysics* 523, A32, [arXiv:1006.1647 [astro-ph.CO]].
- Niiniluoto, I. (2002), *Critical Scientific Realism*, Oxford: Oxford University Press.
- Milgrom, M. (1983), “A Modification of the Newtonian Dynamics as a Possible Alternative to the Hidden Mass Hypothesis”, *Astrophysical Journal* 270: 365-370.
- Perrin, C.D. (1902), “Results of the Search for an Intra-mercurial Planet at the Total Solar Eclipse of 1901, May 18; Discovery of Two Variable Stars in the Nebula N.G.C. 7023”, *Lick Observatory Bulletin*, no. 24, Berkeley: The University Press, pp. 183-187.
- Rubin, V., Ford, K. y N. Thonnard (1980), “Rotational Properties of 21 Sc Galaxies with a Large Range of Luminosities and RADII, from NGC 4605 ( $r=4\text{kpc}$ ) to UGC 2885 ( $r=122\text{ kpc}$ )”, *The Astronomical Journal* 238 (June 1): 471-487.
- Sanders, R.H. (2010), *The Dark Matter Problem. A Historical Perspective*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Zwicky, F. (1933), “Die Rotverschiebung von extragalaktischen Nebeln”, *Helvetica Physica Acta* 6: 110-127.



# Historias cuánticas y procesos de decaimiento

*Marcelo Losada<sup>†</sup>*

*Roberto Laura<sup>‡</sup>*

## Resumen

El proceso de decaimiento cuántico es analizado con el formalismo de contextos generalizados para historias cuánticas. El proceso se analiza con y sin la presencia de aparatos de medición. Los resultados obtenidos se comparan con los que resultan de aplicar las interpretaciones modales y el colapso de la función de onda.

## 1. Introducción

En este trabajo se analiza la probabilidad de supervivencia en procesos de decaimiento, utilizando un formalismo de historias cuánticas denominado Contextos Generalizados. Lo que se desea estudiar es si la probabilidad de supervivencia puede identificarse con la probabilidad de no decaimiento a un cierto tiempo condicional a la propiedad de no decaimiento a un tiempo anterior.

El formalismo estándar de la mecánica cuántica permite definir la conjunción, la disyunción y la negación de propiedades a un mismo tiempo (véase Birkhoff & von Neumann 1936, Cohen 1989), y a través de la regla de Born se obtienen sus probabilidades (véase Ballentine 1998, von Neumann 1932). No obstante, como todas las propiedades están referidas a un mismo tiempo, no es posible formar conjunciones o disyunciones de propiedades a distintos tiempos. Sin embargo, en muchos procesos físicos es necesario considerar expresiones que involucran propiedades a diferentes tiempos (véase Lombardi y Castagnino 2008).

En vistas de superar esta dificultad se desarrollaron formalismos de historias cuánticas. Entre ellos se cuentan los formalismos de Historias Consistentes (véase Gell-Mann & Hartle 1990, Griffiths 1984, 2002 y 2013, Omnès 1988 y 1994) y de Contextos Generalizados (véase Laura & Vanni 2008, 2009 y 2013, Losada, Vanni & Laura 2013). Las teorías de historias cuánticas asignan probabilidades a la actualización de secuencias de propiedades a distintos tiempos. Un rasgo distintivo de este tipo de interpretaciones es que no postulan el colapso del vector de estado. La medición no tiene un estatus privilegiado, sino que es descripta como un proceso de interacción entre sistemas cuánticos.

Para aplicar el formalismo de Contextos Generalizados, es necesario seleccionar un conjunto de historias con probabilidades bien definidas, que constituya un universo del discurso válido para el sistema que se quiere describir. Para obtener un conjunto de este tipo, las historias que lo integran deben satisfacer una condición de compatibilidad, que consiste en que los proyectores involucrados en cada historia, trasladados a un tiempo común, conmuten entre sí (véase Laura & Vanni 2009, Losada, Vanni & Laura 2013).

Con cada vector de estado, es posible construir un proyector, que representa la propiedad cuántica de no decaimiento. Para un sistema aislado (sin aparatos de medición) se demuestra que

---

<sup>†</sup> Instituto de Física Rosario (CONICET-UNR). Para contactar al autor, por favor, escribir a: marcelolosada@yahoo.com.

<sup>‡</sup> Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario (UNR). Para contactar al autor, por favor, escribir a: rlaura@fceia.unr.edu.ar.

no es posible seleccionar un buen conjunto de historias que permita considerar la propiedad de no decaimiento en dos tiempos consecutivos. En consecuencia, la probabilidad de supervivencia no puede considerarse una propiedad intrínseca del sistema.

Luego, se considera al sistema en interacción sucesiva con otros dos sistemas cuánticos, capaces de registrar las propiedades de decaimiento o no decaimiento. En este caso se mostrará que es posible construir un contexto de historias que incluya a los posibles registros a dos tiempos. De esta forma, resulta que tiene sentido hablar de la probabilidad de supervivencia, pero asociada a los registros de los aparatos.

## 2. Decaimiento de un sistema cuántico

Sea un sistema cuántico  $S$ , cuya dinámica está gobernada por un Hamiltoniano  $\hat{H}_S: \mathcal{H}_S \rightarrow \mathcal{H}_S$ , donde  $\mathcal{H}_S$  es el espacio de Hilbert asociado al sistema. Además, se considera que su estado al tiempo  $t_1$  está representado por el vector  $|\chi\rangle \in \mathcal{H}_S$ , no estacionario, es decir, que no es un autoestado del hamiltoniano. La probabilidad de supervivencia de ese estado al tiempo  $t_2$  está dada por  $W(t_2 - t_1) \equiv |\langle \chi | \hat{U}(t_2, t_1) | \chi \rangle|^2$ , donde  $\hat{U}(t_2, t_1) = e^{-i\hat{H}_S(t_2 - t_1)/\hbar}$  es el operador de evolución temporal del tiempo  $t_1$  al tiempo  $t_2$ .

En este trabajo se analizará la probabilidad de supervivencia desde el punto de vista de las interpretaciones ortodoxas, modales y de historias de la mecánica cuántica. Para las historias cuánticas se aplicará nuestro formalismo de Contextos Generalizados.

## 3. Interpretación ortodoxa

La interpretación ortodoxa de la mecánica cuántica postula dos tipos de evoluciones temporales para los estados cuánticos. Por un lado, cuando no hay medición, el vector de estado evoluciona de acuerdo a la ecuación de Schrödinger. Por otro lado, cuando se lleva a cabo una medición, el estado colapsa instantáneamente en alguno de los autovectores del observable medido. Este proceso no está gobernado por la ecuación de Schrödinger. Si el sistema antes de la medición se encuentra en el estado  $|\chi\rangle$ , la probabilidad de que colapse en el autovector  $|a_i\rangle$  del observable medido viene dada por  $|\langle a_i | \chi \rangle|^2$  (véase von Neumann 1932).

Si un sistema se encuentra preparado en un estado  $|\chi\rangle$  en el tiempo  $t_1$ , la interpretación ortodoxa considera al valor  $W(t_2 - t_1) \equiv |\langle \chi | \hat{U}(t_2, t_1) | \chi \rangle|^2$  como la probabilidad de que el sistema colapse al estado  $|\chi\rangle$  cuando es medido en el tiempo  $t_2$ .

El postulado de colapso es objeto de discusión debido a que considera a los aparatos de medición como objetos especiales de la teoría, que no admiten una descripción como sistemas cuánticos ordinarios. Esto no es satisfactorio si tiene en cuenta que los aparatos de medición están formados por un gran número de átomos, cuya dinámica debería estar gobernada por la ecuación de Schrödinger.

En las siguientes secciones se discuten interpretaciones de la mecánica cuántica que abandonan el postulado del colapso.

## 4. Interpretaciones modales

Las interpretaciones modales se caracterizan por abandonar el postulado del colapso y considerar que el vector de estado no describe las propiedades actuales del sistema, sino que provee las probabilidades de que se actualicen sus posibles propiedades. El sistema puede tener un valor definido de un observable a pesar de que el vector de estado no se encuentre en un autoestado de

dicho observable. En estas interpretaciones los sistemas físicos poseen propiedades bien definidas en todo instante (véase Lombardi & Castagnino 2008).

Sin embargo, el conjunto de propiedades actualizables no puede ser el conjunto de todas las propiedades posibles, sino que existen ciertas limitaciones (véase Birkhoff & von Neumann 1936, Cohen 1989, Mittelstaedt 1998). En particular, propiedades representadas por observables que no conmutan, como el momento y la posición, no pueden actualizarse simultáneamente.

Si la probabilidad se computa sobre la totalidad de las propiedades del sistema, la función resultante no puede ser interpretada como una probabilidad en su sentido usual, ya que dicho conjunto no posee una estructura booleana (véase Birkhoff & von Neumann 1936, Mittelstaedt 1998). Para preservar la booleanidad las interpretaciones modales definen funciones de probabilidad distintas para cada conjunto completo de propiedades representadas por proyectores ortogonales. A estos conjuntos de propiedades se los denomina contextos, y puesto que poseen una estructura booleana, las funciones de probabilidad están bien definidas.

La selección del contexto se realiza mediante una regla de actualización, que determina cuáles son las propiedades del sistema que se actualizan. Las distintas interpretaciones modales se diferencian por sus reglas de actualización (véase Lombardi & Castagnino 2008).

Cada propiedad  $P$  de un sistema se representa con un proyector  $\hat{\Pi}_P$ . La probabilidad de que al tiempo  $t$  se actualice la propiedad  $P$  está dada por la regla de Born  $\text{Pr}_t(P) = \text{Tr}(\hat{\rho}(t)\hat{\Pi}_P)$ , donde  $\hat{\rho}(t)$  es el operador de estado del sistema (véase von Neumann 1932).

Si el sistema  $S$  al tiempo  $t_1$  se encuentra en el estado  $|\varphi(t_1)\rangle = |\chi\rangle$ , al tiempo  $t_2$  se encontrará en el estado  $|\varphi(t_2)\rangle = \hat{U}(t_2, t_1)|\chi\rangle$ , donde  $\hat{U}(t_2, t_1) = e^{-i\hat{H}_S(t_2-t_1)/\hbar}$ . La propiedad de no decaimiento  $P_\chi$  está representada por el proyector  $\hat{\Pi}_{|\chi\rangle} = |\chi\rangle\langle\chi|$  y la propiedad de decaimiento  $P_{\bar{\chi}}$  está representada por  $\hat{I}_S - \hat{\Pi}_{|\chi\rangle}$ . La propiedad de no decaimiento y la propiedad de decaimiento son exhaustivas ( $P_\chi \vee P_{\bar{\chi}} = \Omega$ ) y mutuamente excluyentes ( $P_\chi \wedge P_{\bar{\chi}} = \emptyset$ ). Las propiedades  $\emptyset$ ,  $P_\chi$ ,  $P_{\bar{\chi}}$  y  $\Omega$  forman un reticulado distributivo.

La probabilidad de supervivencia al tiempo  $t_2$  está dada por

$$\begin{aligned} W(t_2 - t_1) &= \text{Pr}_{t_2}(P_\chi) = \text{Tr}(\hat{\rho}(t_2)\hat{\Pi}_{|\chi\rangle}) = \\ &= \text{Tr}(|\varphi(t_2)\rangle\langle\varphi(t_2)|\chi\rangle\langle\chi|) = \langle\chi|\varphi(t_2)\rangle\langle\varphi(t_2)|\chi\rangle = \\ &= |\langle\chi|\hat{U}(t_2, t_1)|\chi\rangle|^2. \end{aligned}$$

Para las interpretaciones modales la probabilidad de supervivencia  $W(t_2 - t_1)$  se interpreta como la probabilidad de que al tiempo  $t_2$  se actualice la propiedad de no decaimiento del estado  $|\chi\rangle$  preparado al tiempo  $t_1$ .

## 5. Interpretación de historias cuánticas

En el formalismo estándar de la mecánica cuántica no es posible formar conjunciones o disyunciones de propiedades en distintos tiempos. Sin embargo, en muchos procesos físicos es necesario considerar expresiones que involucran propiedades en diferentes tiempos. Para superar esta dificultad, se desarrollaron formalismos de historias cuánticas. La idea central de estos formalismos es describir secuencias de propiedades a distintos tiempos. En este trabajo se estudiará un formalismo de historias denominado Contextos Generalizados (véase Laura & Vanni, 2009, Losada, Vanni & Laura 2013). Este formalismo define qué conjunto de historias cuánticas es legítimo predicar acerca de un sistema y permite asignarles probabilidades bien definidas.

Una *historia cuántica* se define como una secuencia de propiedades  $(p_{j_1}^{(1)}, \dots, p_{j_n}^{(n)})$  para los tiempos  $(t_1, \dots, t_n)$ . Cada propiedad  $p_{j_i}^{(i)}$  se representa con un proyector  $\hat{\Pi}_{j_i}^{(i)}$ . Su traslación temporal desde  $t_i$  hasta  $t_0$ , se representa con el proyector trasladado temporalmente  $\hat{\Pi}_{j_i}^{(i,0)} \equiv \hat{U}(t_0, t_i) \hat{\Pi}_{j_i}^{(i)} \hat{U}^{-1}(t_0, t_i)$ .

Para obtener un conjunto adecuado de historias cuánticas, éstas deben satisfacer una condición denominada condición de compatibilidad, que consiste en que los proyectores involucrados en cada historia conmuten al ser trasladados a un tiempo común. Un conjunto de historias que satisfacen dicha condición se denomina *contexto generalizado*. Dado que los contextos generalizados tienen una estructura booleana, es posible definir una buena probabilidad para las historias, dada por

$$\Pr [(p_{j_1}^{(1)}, t_1) \wedge \dots \wedge (p_{j_n}^{(n)}, t_n)] \equiv \text{Tr}[\hat{\rho}(t_0) \hat{\Pi}_{j_1}^{(1,0)} \dots \hat{\Pi}_{j_n}^{(n,0)}]$$

En las siguientes secciones se analizará la posibilidad de interpretar la cantidad  $W(t_2 - t_1)$  como una probabilidad condicional. Se consideraran dos casos: con aparatos de medición y sin aparatos de medición. En este último caso, los aparatos de medición estarán descritos como sistemas cuánticos.

## 6. Decaimiento con historias y sin aparatos

Sería deseable poder identificar  $W(t_2 - t_1)$  con la probabilidad de que el sistema tenga la propiedad de no decaimiento  $p_x$  al tiempo  $t_2$ , condicional a haber tenido dicha propiedad al tiempo anterior  $t_1$ , es decir

$$W(t_2 - t_1) \stackrel{?}{\rightarrow} \Pr(p_x, t_2 | p_x, t_1) \equiv \frac{\Pr((p_x, t_2) \wedge (p_x, t_1))}{\Pr(p_x, t_1)}$$

Para que sea posible realizar dicha identificación,  $(p_x, t_1)$  y  $(p_x, t_2)$  deben ser propiedades compatibles, es decir que al trasladarlas a un tiempo común sus proyectores debieran conmutar. De esta forma sería posible incluirlas en un mismo contexto generalizado y así definir una buena probabilidad sobre dicho conjunto.

Sin embargo,  $(p_x, t_1)$  y  $(p_x, t_2)$  no son propiedades compatibles. Para verificarlo basta ver que sus respectivos proyectores no conmutan al ser trasladadas a un tiempo común. Si elegimos el tiempo  $t_2$ , los respectivos proyectores trasladados a dicho tiempo tienen la forma  $\hat{U}(t_2, t_1) \hat{\Pi}_x \hat{U}^{-1}(t_2, t_1)$  y  $\hat{\Pi}_x$ .

Si  $(p_x, t_1)$  y  $(p_x, t_2)$  fueran propiedades compatibles, entonces tendríamos

$$[\hat{U}(t_2, t_1) \hat{\Pi}_x \hat{U}^{-1}(t_2, t_1); \hat{\Pi}_x] = 0 \quad (1)$$

Si además consideramos que  $\Delta t = t_2 - t_1$  es muy pequeño, obtenemos  $\hat{U}(t_2, t_1) \cong \hat{I} - \frac{i}{\hbar} \hat{H}_S \Delta t$ . A partir de (1) se obtiene

$$\hat{H}_S |\chi\rangle \langle \chi| - 2|\chi\rangle \langle \chi| \hat{H}_S |\chi\rangle \langle \chi| + |\chi\rangle \langle \chi| \hat{H}_S = 0 \quad (2)$$

Sin embargo, como  $|\chi\rangle$  no es autoestado del hamiltoniano, no es posible satisfacer la ecuación (2). Luego,  $(p_x, t_1)$  y  $(p_x, t_2)$  no son propiedades compatibles.

Esto indica que no es posible interpretar a  $W(t_2 - t_1)$  como la probabilidad de que el sistema tenga la propiedad de no decaimiento en  $t_2$ , condicional a haber tenido la propiedad de no

decaimiento en  $t_1$ , pues las propiedades  $(p_x, t_1)$  y  $(p_x, t_2)$  no pueden formar parte de un mismo contexto generalizado.

En la siguiente sección se analizará el mismo problema, pero incluyendo aparatos de medición.

## 7. Decaimiento con historias y con aparatos

En esta sección se consideran dos mediciones ideales consecutivas de las propiedades  $p_x$  y  $p_{\bar{x}}$  del sistema  $S$ , realizadas por dos instrumentos de medición idénticos  $A$  y  $B$ . La interacción entre el sistema  $S$  y el aparato  $A$  ocurre en un intervalo de tiempo  $[t_1, t_1 + \Delta t]$  y la interacción entre el sistema y el aparato  $B$  ocurre en  $[t_2, t_2 + \Delta t]$  (asumimos que  $\Delta t$  es un intervalo corto de tiempo y  $t_1 + \Delta t < t_2$ ).

Sean  $p_{A_0}, p_{B_0}$  las propiedades correspondientes a la posición inicial del puntero de los aparatos  $A$  y  $B$ , respectivamente; y sean  $p_{A_x}, p_{A_{\bar{x}}}, p_{B_x}$  y  $p_{B_{\bar{x}}}$  las propiedades de los punteros de los aparatos  $A$  y  $B$  asociadas a las propiedades  $p_x$  y  $p_{\bar{x}}$  del sistema, respectivamente.

Al tiempo  $t_1$ , el sistema  $S$  se encuentra en el estado  $|\varphi(t_1)\rangle$  y los instrumentos  $A$  y  $B$  se encuentran en sus respectivos estados iniciales  $|A_0\rangle$  y  $|B_0\rangle$ . El sistema completo, al tiempo  $t_1$ , se encuentra en el estado

$$|\Psi(t_1)\rangle = |\varphi(t_1)\rangle|A_0\rangle|B_0\rangle.$$

El aparato  $A$  mide durante el intervalo  $[t_1, t_1 + \Delta t]$  la propiedad de no decaimiento  $p_x$  o de decaimiento  $p_{\bar{x}}$  del sistema  $S$ , indicando en su puntero los valores  $A_x$  ó  $A_{\bar{x}}$ :

$$|\varphi(t_1)\rangle|A_0\rangle|B_0\rangle \rightarrow (\tilde{\Pi}_x|\varphi(t_1 + \Delta t)\rangle)|A_x\rangle|B_0\rangle + (\tilde{\Pi}_{\bar{x}}|\varphi(t_1 + \Delta t)\rangle)|A_{\bar{x}}\rangle|B_0\rangle.$$

Luego, el aparato  $B$  mide lo mismo durante el intervalo  $[t_2, t_2 + \Delta t]$ :

$$|\varphi(t_2)\rangle|A_0\rangle|B_0\rangle \rightarrow (\tilde{\Pi}_x|\varphi(t_2 + \Delta t)\rangle)|A_0\rangle|B_x\rangle + (\tilde{\Pi}_{\bar{x}}|\varphi(t_2 + \Delta t)\rangle)|A_0\rangle|B_{\bar{x}}\rangle.$$

Para poder formar un contexto generalizado que incluya las propiedades del aparato  $A$  al tiempo  $t_1 + \Delta t$  y las propiedades del aparato  $B$  al tiempo  $t_2 + \Delta t$ , los proyectores correspondientes a dichas propiedades, trasladadas a un tiempo común, deben conmutar. Dichos proyectores tienen la forma

$$\begin{aligned}\tilde{\Pi}_A &= \hat{I}_S \otimes \hat{\pi}_A \otimes \hat{I}_B, \\ \tilde{\Pi}_B &= \hat{I}_S \otimes \hat{I}_A \otimes \hat{\pi}_B.\end{aligned}$$

Si elegimos el tiempo  $t_2 + \Delta t$  como tiempo común, entonces debe verificarse la siguiente condición

$$[\tilde{U}(t_2 + \Delta t, t_1 + \Delta t)\tilde{\Pi}_A\tilde{U}^{-1}(t_2 + \Delta t, t_1 + \Delta t); \tilde{\Pi}_B] = 0,$$

donde  $\tilde{U}(t_2 + \Delta t, t_1 + \Delta t)$  es el operador de evolución temporal del sistema completo del tiempo  $t_1 + \Delta t$  al tiempo  $t_2 + \Delta t$ .

Teniendo en cuenta las contribuciones dominantes de la evolución temporal en cada intervalo de tiempo, se obtiene

$$\begin{aligned}\tilde{U}(t_1 + \Delta t, t_1) &= \tilde{U}_{SA} \otimes \hat{I}_B, \\ \tilde{U}(t_2, t_1 + \Delta t) &= \tilde{U}_S \otimes \tilde{U}_A \otimes \tilde{U}_B, \\ \tilde{U}(t_2 + \Delta t, t_2) &= \tilde{U}_{SB} \otimes \hat{I}_A,\end{aligned}$$

donde  $\hat{U}_S$ ,  $\hat{U}_A$  y  $\hat{U}_B$  son las evoluciones libres del sistema  $S$  y de los aparatos de medición  $A$  y  $B$ , respectivamente; y  $\hat{U}_{SA}$  y  $\hat{U}_{SB}$  son las evoluciones dadas por la interacción entre el sistema  $S$  y los aparatos  $A$  y  $B$ , respectivamente.

Es fácil ver que

$$\begin{aligned} \hat{\Pi}_B \hat{U}(t_2 + \Delta t, t_1 + \Delta t) \hat{\Pi}_A \hat{U}^{-1}(t_2 + \Delta t, t_1 + \Delta t) = \\ (\hat{I}_S \otimes \hat{I}_A \otimes \hat{\Pi}_B) (\hat{U}_{SB} \otimes \hat{I}_A) (\hat{U}_S \otimes \hat{U}_A \otimes \hat{U}_B) (\hat{I}_S \otimes \hat{\Pi}_A \otimes \hat{I}_B) (\hat{U}_S \otimes \hat{U}_A \otimes \hat{U}_B)^{-1} (\hat{U}_{SB} \otimes \hat{I}_A)^{-1} \\ = \hat{\Pi}_B \hat{U}(t_2 + \Delta t, t_1 + \Delta t) \hat{\Pi}_A \hat{U}^{-1}(t_2 + \Delta t, t_1 + \Delta t). \end{aligned}$$

Luego,

$$\left[ \hat{U}(t_2 + \Delta t, t_1 + \Delta t) \hat{\Pi}_A \hat{U}^{-1}(t_2 + \Delta t, t_1 + \Delta t); \hat{\Pi}_B \right] = 0.$$

Por lo tanto, las propiedades del aparato  $A$  al tiempo  $t_1 + \Delta t$  y las propiedades del aparato  $B$  al tiempo  $t_2 + \Delta t$  son compatibles y pueden formar parte de un mismo contexto generalizado. En dicho contexto es legítimo calcular

$$\Pr(p_{B_X}, t_2 | p_{A_X}, t_1) = \frac{\Pr((p_{B_X}, t_2) \wedge (p_{A_X}, t_1))}{\Pr(p_{A_X}, t_1)},$$

y es posible demostrar que

$$\Pr(p_{B_X}, t_2 | p_{A_X}, t_1) = \left| \langle \chi | e^{-i\hat{H}_S(t_2-t_1)/\hbar} | \chi \rangle \right|^2 = W(t_2 - t_1). \quad (3)$$

La expresión de la última ecuación para la probabilidad condicional es formalmente idéntica a la probabilidad de supervivencia. Sin embargo, la interpretación física de la ecuación (3) es bien diferente. La cantidad  $W(t_2 - t_1)$  se interpreta como la probabilidad de que un aparato  $B$  mida el no decaimiento al tiempo  $t_2 + \Delta t$ , condicional a que otro aparato  $A$  haya medido el no decaimiento al tiempo anterior  $t_1$ .

## 8. Conclusiones

En este trabajo se presentaron distintas interpretaciones de la mecánica cuántica y su manera de interpretar a la cantidad  $W(t_2 - t_1)$ . Según la interpretación ortodoxa, si un sistema se encuentra preparado en un estado  $|\chi\rangle$  en el tiempo  $t_1$ , la cantidad  $W(t_2 - t_1)$  se interpreta como la probabilidad de que el sistema colapse al mismo estado  $|\chi\rangle$  cuando es medido en el tiempo  $t_2$ .

Por otro lado, las interpretaciones modales consideran que la mecánica cuántica asigna probabilidades a la actualización de las posibles propiedades del sistema. No postulan el colapso del vector de estado y tampoco atribuyen un rol privilegiado a los aparatos de medición. Para estas interpretaciones,  $W(t_2 - t_1)$  se interpreta como la probabilidad de que al tiempo  $t_2$  se actualice la propiedad de no decaimiento del estado  $|\chi\rangle$  preparado al tiempo  $t_1$ .

Por último, se aplicó el formalismo de Contextos Generalizados para interpretar a la cantidad  $W(t_2 - t_1)$ . Primero se mostró que no era posible interpretar dicha cantidad como la probabilidad de que el sistema preparado en un estado arbitrario actualice la propiedad  $P_X$  a un tiempo  $t_2$  condicional a que en un tiempo  $t_1$  hubiera actualizado la misma propiedad. Se obtuvo que no es posible incorporar ambas propiedades en los tiempos  $t_1$  y  $t_2$ , respectivamente, en un mismo contexto generalizado.

Finalmente, se consideró al sistema interactuando con dos sistemas de medición, capaces de registrar las propiedades de decaimiento o no decaimiento. En este caso se demostró que es posible construir un contexto generalizado de historias que incluya a los posibles registros a dos tiempos. Por lo tanto, resulta posible interpretar la probabilidad de supervivencia como la probabilidad de

que un aparato mida la propiedad de no decaimiento en un dado tiempo condicional a que otro aparato haya medido la misma propiedad de no decaimiento un tiempo anterior.

En consecuencia, siguiendo la interpretación de Contextos Generalizados, la probabilidad de supervivencia no puede identificarse con una propiedad intrínseca del sistema. Sin embargo, si en lugar de considerar al sistema aislado, se lo considera en interacción sucesiva con otros dos sistemas cuánticos, capaces de registrar las propiedades de decaimiento o no decaimiento, entonces sí resulta posible interpretar la probabilidad de supervivencia como una probabilidad condicional asociada a los registros de los aparatos.

## Bibliografía

---

- Ballentine, L. (1998), *Quantum Mechanics. A Modern Development*, Singapur: World Scientific.
- Birkhoff, G. y J. von Neumann (1936), "The Logic of Quantum Mechanics", *Annals of Mathematics* 37: 823-843.
- Cohen, D. (1989), *An Introduction to Hilbert Space and Quantum Logic*, Nueva York: Springer.
- Gell-Mann, M. y J.B. Hartle (1990), "Quantum Mechanics in the Light of Quantum Cosmology", en Zurek, W. (ed.), *Complexity, Entropy and the Physics of Information*, Reading: Addison-Wesley, vol. VIII, pp. 425-458.
- Griffiths, R. (1984), "Consistent Histories and the Interpretation of Quantum Mechanics", *Journal of Statistical Physics*, 36: 219-272.
- Griffiths, R. (2002), *Consistent Quantum Theory*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Griffiths, R. (2013), "A Consistent Quantum Ontology", *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 44: 93-114.
- Laura, R. y L. Vanni (2008), "Conditional Probabilities and Collapse in Quantum Measurements", *International Journal of Theoretical Physics* 47: 2382-2392.
- Laura, R. y L. Vanni (2008), "Contexto de historias en la teoría de cuántica", *Epistemología e Historia de la Ciencia* 14: 519-528.
- Laura, R. y L. Vanni (2009), "Time Translation of Quantum Properties", *Foundations of Physics* 39: 160-173.
- Lombardi, O. y M. Castagnino (2008), "A Modal-Hamiltonian Interpretation of Quantum Mechanics", *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 39: 380-443.
- Losada, M., Vanni, L. y R. Laura (2013), "Probabilities for Time Dependent Properties in Classical and Quantum Mechanics", *Physical Review A* 87: # 052128.
- Mittelstaedt, P. (1998), *The Interpretation of Quantum Mechanics and the Measurement Process*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Omnès, R. (1988), "Logical Reformulation of Quantum Mechanics. I. Foundations", *Journal of Statistical Physics* 53: 893-932.
- Omnès, R. (1994), *The Interpretation of Quantum Mechanics*, Princeton: Princeton University Press.
- Omnès, R. (1999), *Understanding Quantum Mechanics*, Princeton: Princeton University Press.
- Vanni, L. y R. Laura (2013), "The Logic of Quantum Measurements", *International Journal of Theoretical Physics* 52: 2386-2394.
- von Neumann, J. (1932), *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*, Berlin: Springer.



# Los supuestos teológicos del orden natural en Francis Bacon

Silvia Manzo<sup>†</sup>

## Resumen

Siguiendo la iniciativa del reciente debate sobre la incidencia del voluntarismo y los orígenes de la ciencia moderna temprana (Harrison 2002, 2009, Henry 2009) esta ponencia explorará los supuestos teológicos fundamentales de la filosofía natural de Bacon en lo tocante a su descripción del orden natural (creación, milagros, leyes de la naturaleza y hechos preternaturales), a fin de determinar si es posible o no atribuirle una postura voluntarista o intelectualista. Para ello, tomaremos en cuenta particularmente su pensamiento sobre los atributos de Dios (en particular, voluntad e intelecto) y sobre la existencia de la contingencia y la necesidad en la naturaleza.

## 1. Introducción

Numerosos historiadores de la ciencia y de la filosofía moderna han coincidido en señalar que las corrientes teológicas conocidas como voluntarismo e intelectualismo, surgidas en la Edad Media, tuvieron notables consecuencias en las concepciones modernas de la naturaleza y de la ciencia. Pierre Gassendi, Robert Boyle e Isaac Newton han sido considerados como exponentes del voluntarismo, mientras que entre los intelectualistas se ha incluido a Henry More, Gottfried W. Leibniz y René Descartes, aunque, debemos señalar que este último caso es objeto de controversias. Peter Harrison (2002) ha reconstruido en los siguientes términos lo que ha denominado “tesis del voluntarismo y la ciencia experimental”: para preservar la libertad de Dios es necesario que ninguno de sus actos creativos sea obligatorio, de ahí se sigue que el mundo natural es contingente, de lo cual se concluye que la naturaleza debe ser investigada empíricamente. A partir de los estudios pioneros de Michael Foster (1934) y Francis Oakley (1961), esta tesis fue ganando adherentes y terminó siendo muy aceptada por la historiografía de la ciencia. Sin embargo, recientemente ha sido objeto de críticas y de debate.<sup>1</sup> En este marco, nos proponemos analizar brevemente el caso específico de Francis Bacon para someter a prueba la validez de la tesis. Siendo Bacon tal vez el principal ideólogo de la ciencia experimental moderna, según esta tesis sería esperable que en su filosofía natural se encontrarán elementos de una teología voluntarista. El siguiente análisis pondrá en evidencia que esa relación no se cumple tal como sería esperable que ocurriera.

## 2. Los atributos y el poder de Dios

Una diferencia central entre el voluntarismo y el intelectualismo reside en cómo estas corrientes conciben la relación de los atributos divinos entre sí. En términos generales, según los voluntaristas medievales y tardo-escolásticos, la voluntad prima sobre el intelecto divino. Para los

---

<sup>†</sup> Instituto de Investigaciones en Humanidades y Ciencias Sociales (UNLP-CONICET), Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación, Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Para contactar al autor, por favor, escribir a: manzosa@yahoo.com.ar.

<sup>1</sup> Por razones de extensión, para conocer los autores que adhirieron a esta tesis y los términos del reciente debate remitimos a Harrison (2002, 2009), Henry (2009).

intelectualitas, en cambio, la relación se da a la inversa (Osler 1994, pp. 17-19). Un texto significativo para indagar esta cuestión en la obra baconiana es *Meditationes sacrae* (1597). Allí, el autor hace una apología de la verdadera religión en contra de dos clases de herejías: la superstición y el ateísmo. Toma para ello como punto de partida un pasaje del Evangelio de Mateo (XXII, 29) que dice: “yerran, desconociendo tanto las Escrituras como el poder de Dios”.<sup>2</sup> La glosa de Bacon de este pasaje se inspira en la teología calvinista (que la tradición historiográfica vincula con el voluntarismo).<sup>3</sup> Su lectura se centra en cómo se debe comprender correctamente la relación entre la voluntad y el poder de Dios. Para Bacon las herejías surgen de dos tipos de errores: o bien de ignorar la voluntad de Dios, que se revela especialmente en las Escrituras; o bien de contemplar superficialmente su poder, que se revela especialmente en la creación. La religión verdadera se encuentra en un punto medio que, por un lado, afirma la omnipotencia divina, sin mancillar la voluntad de Dios, y por otro, afirma la bondad de la voluntad divina, sin disminuir su poder. En esta lectura la voluntad está asociada con la bondad, mientras que el poder está asociado con la libertad. El hecho de que Dios sea completamente poderoso como para hacer lo que quiera no debe confundirse con la posibilidad de que su voluntad sea mala. La voluntad buena no debe limitar la libertad de la omnipotencia, al tiempo que la absoluta libertad de la omnipotencia no debe implicar una voluntad mala. Bacon propone que existe un equilibrio entre ambos.

Según Bacon, el ateísmo y las distintas clases de supersticiones se equivocan en lo que dicen tanto sobre la voluntad como sobre el poder de Dios. El ateísmo se revela contra el poder de Dios y surge de no creer en su palabra revelada en la Biblia, lo cual es a su vez consecuencia de no creer en la omnipotencia divina. Con respecto a la superstición, Bacon distingue tres grados. Todos ellos tienen en común la característica de que si bien liberan a Dios de toda malicia, a la vez reducen su poder. El grado más bajo de superstición lo constituye una herejía que reconoce dos principios igualmente poderosos y opuestos: el bien y el mal. El grado siguiente es el que constituye a Dios como un principio positivo y activo, al que se contraponen un principio negativo y privativo, propio de la naturaleza y de la materia, que tiende a la confusión y a la aniquilación. Quienes sostienen esta herejía desconocen que sólo a Dios le pertenece la omnipotencia tanto de hacer que algo se convierta en nada, como de producir algo de la nada.

El tercer grado de superstición está representado por quienes limitan ese principio negativo a las acciones pecadoras de los hombres, a las que consideran como completamente dependientes de la voluntad y la libertad humanas, sin tener ninguna conexión causal con Dios. Estos sostienen que el saber de Dios es más amplio que su poder, aunque –para ser más estrictos– dado que el poder y el saber en Dios son idénticos, sostienen que la parte de su poder que sabe es más extensa que la parte de su poder que actúa (Matthews 2008, p. 34). A partir de ello, esta herejía concluye que hay cosas que Dios sabe por anticipado pero “ociosamente”, ya que “no las predestina ni las ordena por anticipado”. Para Bacon esto es un error, ya que todo lo que no depende de Dios como su autor y principio, a través de distintos grados subordinados, ocupará el lugar de Dios y será un nuevo principio. En verdad, Dios no es el autor del mal, no porque no sea autor, sino porque aquello de lo que es autor no es el mal. Por otro lado, Bacon cree que esta herejía implica limitar la necesidad que se sigue de Dios e introducir el azar en el mundo. Por ello, la encuentra comparable con el atomismo de Epicuro. Según Bacon, al postular la existencia del errático movimiento de declinación atómica, Epicuro introdujo el azar (o la fortuna) y eliminó la fatalidad del atomismo democritano (Bacon MS VII, p. 241). Si el saber y el poder en Dios son coincidentes, necesariamente Dios hace lo que sabe. En este texto, Bacon coincide con Calvino, para quien nada

<sup>2</sup> Todas las referencias a la obra de Bacon remiten a Bacon (1858-1874). Se utilizarán las siguientes abreviaturas para hacer referencia a las obras particulares (seguidas de número de volumen y páginas): ADV (*Advancement of Learning*), CF (*A confession of faith*), DAU (*De agumentis scientiarum*); DGI (*Descriptio globi intellectualis*), DSV (*De sapientia veterum*), MS (*Meditationes sacrae*), NO (*Novum organum*), PO (*De principiis atque originibus*). Las traducciones al español son mías. Bacon, MS VI, pp. 241-242.

<sup>3</sup> Matthews (2008), pp. 32-33, se opone en este punto a la lectura de Milner (1997), pp. 247-248. Sobre Calvino y el voluntarismo véase Harrison (2002).

hay en la creación que no esté previsto de antemano y con necesidad por Dios. No hay lugar alguno para el azar, todo está gobernado por Dios.<sup>4</sup>

En *The Advancement of Learning* (1605) Bacon retoma el mismo pasaje del Evangelio de Mateo aparecido en *Meditationes sacrae*. En consonancia con lo que había hecho en ese texto, sostiene que Dios se revela al hombre por dos vías distintas que constituyen diferentes libros: el libro de la naturaleza –en el cual Dios manifiesta su poder y gloria– y el libro de las escrituras sagradas –en el cual revela su voluntad–.<sup>5</sup> El libro de la naturaleza es una clave para entender las Escrituras, no sólo porque abre el entendimiento humano para comprenderlas a través de nociones generales de la razón y reglas del discurso, sino principalmente porque lo abre a la creencia, por llevar al hombre a meditar sobre la omnipotencia de Dios expresada en sus obras (Bacon ADV III, p. 30). Por otro lado, Bacon nos dice que en la obra de la creación del mundo se advierte una “doble emanación” de la virtud de Dios: una se refiere más a su poder y la otra más a su sabiduría. Como primera tarea creadora, Dios manifestó su poder al crear de la nada en un instante la materia confusa o Caos. Luego, reveló su sabiduría al transformar el Caos en orden, imponiendo las formas a la materia confusa. Esta creación no fue instantánea y actual –como la creación de la materia– sino sucesiva, a lo largo de los seis días que relata el *Génesis* (Bacon ADV III, pp. 295-6; cf. PO III, p. 111).

### 3. Necesidad y contingencia del orden natural

La historiografía tradicional ha subrayado que una diferencia fundamental entre el voluntarismo y el intelectualismo reside en sus diversas concepciones de los poderes de Dios: poder absoluto y poder ordenado (*potentia dei absoluta et potentia dei ordinata*).<sup>6</sup> Las consecuencias de esta diferencia conceptual llevarían a sostener distintas caracterizaciones del orden natural: para los voluntaristas sería un orden contingente (es decir, el curso ordinario de la naturaleza podría modificarse totalmente, si Dios lo quisiera), mientras que para los intelectualistas el orden del mundo no puede cambiar porque tiene un carácter necesario. A este respecto la perspectiva de Bacon es más bien compleja y no parece encuadrarse en ninguna de estas posiciones antagónicas.

En *A Confession of Faith* (1602), basándose en las Sagradas Escrituras, Bacon señala que sólo en el momento de la creación y en los milagros Dios ejerce su poder de manera inmediata. Impone leyes a la naturaleza de modo directo en la creación y las quiebra ocasionalmente en los milagros, que no son parte de las leyes de la primera creación hexameral, sino “creaciones” ulteriores (Bacon CF VII, p. 221; cf. MS VII, p. 233). A diferencia de las leyes creadas en el comienzo del mundo que constituyen la regularidad del curso ordinario de la naturaleza, los milagros constituyen hechos únicos, individuales e irrepetibles (Bacon CF VII, p. 221; cf. ADV III, p. 12). Las leyes naturales comenzaron a entrar en vigencia cuando Dios terminó la creación hexameral. Sin embargo, fueron modificadas como consecuencia del pecado adánico. Después de esa “revocación” permanecen y gobiernan la naturaleza “inviolablemente hasta el fin del mundo”. De tal manera, a través de su providencia, Dios sigue realizando su voluntad en la naturaleza, pero no de manera directa, sino a través de las causas segundas (Bacon CF VII, p. 221; cf. MS VII, pp. 233-234).

Como hemos visto, Bacon rechaza el azar o la fortuna en la naturaleza. Nos dice que todas las cosas individuales están dominadas por la fatalidad y que tienen un destino necesario. Desde esta perspectiva, en el orden de la naturaleza no existe nada tan exiguo que no tenga una causa, ni nada tan grande que no dependa de otro ser de acuerdo con una ley fija (*certa lege*). Bacon extrema la

<sup>4</sup> Sin embargo, según Matthews (2008) pp. 36 ss., Bacon no coincide plenamente con Calvino a este respecto.

<sup>5</sup> Cf. Bacon DAU I 830: “Está escrito *Los cielos expresan la gloria de Dios*, pero nunca se encuentra escrito *Los cielos expresan la voluntad de Dios*.”

<sup>6</sup> Harrison (2002) hace una revisión de los términos en que la historiografía tradicionalmente ha interpretado los tipos de potencia divinas en el voluntarismo y el intelectualismo.

aplicación de la fatalidad de los individuos regidos por una cadena causal, al punto de identificarla con la naturaleza misma: “es la naturaleza de las cosas la que reduce estos individuos a tales condiciones, en la medida en que la cadena de la naturaleza y el hilo de las Parcas (en lo que concierne a los individuos) son la misma cosa.” (Bacon DAU I, p. 524; cf. DSV VI, p. 637). Justamente en el contexto de esta interpretación alegórica de las Parcas, entendidas como los destinos de las cosas, Bacon vuelve a criticar la filosofía de Epicuro. En definitiva, lo que Bacon rechaza del epicureísmo es la ausencia de una rigurosa cadena causal en la naturaleza, que sea reflejo de la presciencia divina (Bacon CF VII, p. 220-221; cf. DAU I, p. 524).

En sus exégesis alegóricas del mito de Cupido, que representa la fuerza de la materia atómica, Bacon articula la providencia divina con la necesidad ciega de la materia prima atómica. A diferencia de Venus, madre de Cupido, que simboliza la disposición general y fatal hacia la procreación y la unión, Cupido representa una antojadiza simpatía dirigida hacia un individuo en particular. Se dice que el apetito de Cupido es ciego porque tiene “un mínimo de providencia, dirige su movimiento y sus pasos según aquello que siente afín, tanteando como los ciegos”. Pero precisamente esta ceguera y falta de providencia atómica hace más admirable la providencia divina. En efecto, dice Bacon, es maravilloso que Dios se valga de una entidad ciega para llevar el orden y la belleza al cosmos de acuerdo con “una ley determinada y fatal” (Bacon DSV VI, p. 656). La investigación científica, dice Bacon, sirve como antídoto para el ateísmo, precisamente porque pone de manifiesto la dependencia causal de la naturaleza con respecto a Dios (Bacon ADV III, pp. 267-268).

Sin embargo, Bacon también admite que la materia, después de la caída adánica, mantiene se apetito tendiente a retornar al estado de Caos, que existía antes del orden natural establecido por las leyes de la naturaleza. Por eso se produce una tensión entre el predominio de la concordia y orden (impuesto por las formas o leyes de la materia) y la tendencia a la disolución del orden que está presente en la materia. La existencia de tensiones entre fuerzas opuestas en la naturaleza se refleja en la mitológica lucha de Pan con Cupido. La dinámica de esta lucha simboliza los ambages de la materia degradada. En ese episodio Cupido vence y representa el principio de concordia entre las cosas, mientras que Pan es derrotado y denota el apetito de la materia por disolver el mundo y retornar al Caos (Bacon DSV VI, pp. 639-640). De ahí que Bacon distingue claramente dos grandes momentos en la historia de la naturaleza –el prelapsario y el postlapsario– cuyo límite temporal es determinado por aquél suceso central en la historia del hombre, el pecado de Adán. De acuerdo a Bacon, la teológica nueva naturaleza caída o la mitológica hija de Hibris y de Zeus, actúa mediante ambages (véase Bacon DSV VI, pp. 649-650).

Es por ello, que la naturaleza por sí misma se desvía a veces de su curso ordinario y produce hechos “preternaturales”, que son “errores” de la naturaleza. Estas excepciones, que deben ser recogidas en una rama especial de la historia natural, denominada “historia preternatural”, se producen por azar (Bacon NO I, pp. 282-283). Su carácter distintivo es que en ellos la naturaleza “es forzada y apartada totalmente de su estado por las anomalías y arrogancias de una materia contumaz y rebelde y por la violencia de los impedimentos” (Bacon DGI III, p. 729). Este lugar que tiene el azar en la filosofía de Bacon genera una tensión con su postulación de la inviolabilidad de las leyes de la naturaleza y con la necesidad o fatalidad –de corte estoico– que se impone a todos los individuos expresada a través de la imagen mitológica de las Parcas. De tal manera, el poder de Dios se ve limitado por obra de la propia creación de Dios (en particular por la materia) que tiene una especie de autonomía que se revela en contra del orden divino. La manera en que Bacon se refiere a este desorden temporario parecería implicar que lo preternatural escapa a los designios divinos, dado que no dependería de la providencia de Dios. Todo ello manifiesta una tensión dentro de su teoría de la naturaleza y de su concepción sobre los alcances del poder de Dios.

#### 4. Conclusión

Sabido es que en la historia intelectual la coincidencia terminológica tiene sólo un peso relativo para determinar si existen coincidencias conceptuales. En el caso que nos ocupa, la terminología de Bacon coincide sólo parcialmente con la terminología del voluntarismo. El marco referencial de las reflexiones teológicas de Bacon es la teología calvinista, aun cuando, según Matthews (2008), en muchos puntos discrepa con ella. Si, como sostiene Harrison (2002), en Calvino no se encuentran ni el voluntarismo ni la distinción de potencias divinas en el sentido operacional tal como fueron interpretados tradicionalmente por la historiografía, acaso sea esa una de las razones por las que tampoco los encontramos en Bacon.

Ciertamente, Bacon habla del poder, del saber, de la bondad y de la voluntad de Dios. Sostiene que el poder divino vincula la voluntad con la providencia y subraya la necesidad inexorable de los hechos naturales, al parecer incluyendo también a los milagros. La ocurrencia tanto de las leyes como de los milagros serían ya parte del plan previsto por la presciencia divina. Por otro lado, también conserva la agencia causal de las causas segundas en el curso ordinario de la naturaleza, mediante la cual Dios da cumplimiento a su voluntad providente. Queda claro que Dios actúa de forma distinta en cada caso: inmediatamente en los milagros y en la creación; mediatamente en el curso ordinario de la naturaleza. Aquí quizá se podría señalar que Bacon estaría distinguiendo la *potentia absoluta* y la *potentia ordinata* en un sentido característico del voluntarismo tal como se lo entendió tradicionalmente: el poder de Dios es absoluto cuando crea y ordenado cuando mantiene el orden natural a través de las causas segundas. El orden no se le impone como necesario a Dios cuando crea con su poder absoluto. Dios decide mantenerlo, conservando, a través de su potencia ordenada, las leyes que eligió con total libertad. En este punto podría existir su mayor acercamiento conceptual al voluntarismo.

Sin embargo, las posibles coincidencias con el voluntarismo terminan allí. Dado que, además, Bacon admite una capacidad disruptiva ejecutada por una materia rebelde. En este caso, el azar por el que se mueve la naturaleza preternatural, parecería no ser controlado por la voluntad divina, de manera que limitaría la potencia ordenada de Dios. Una idea tal no forma parte de la batería conceptual de la teología voluntarista tal como fue recuperada en la Modernidad.

Con respecto a la relación de los atributos divinos entre sí, Bacon se esfuerza por mostrar una suerte de paridad entre poder y voluntad en Dios. Por otro lado, saber y poder en Dios son la misma cosa: no hay un posible conflicto entre ellos. De manera que Bacon no plantea una contraposición de la voluntad con el intelecto divino tal que alegue la supremacía de alguno de ellos. Bacon simplemente nos dice que todo depende de la voluntad de Dios. Algunos piensan que en ese tipo de afirmaciones hay un compromiso con el voluntarismo. Pero creo que Harrison (2002) está en lo cierto cuando sostiene que la tesis según la cual todo lo que existe depende, en última instancia, de la voluntad de Dios es una posición teológica compartida que no es exclusiva del voluntarismo.

En suma, parece evidente que la posición de Bacon no se puede encasillar en el voluntarismo, ni tampoco en el intelectualismo de su tiempo. De esta constatación se pueden sacar distintas conclusiones historiográficas más generales. Por un lado, puede interpretarse simplemente que al no encuadrarse en ninguna de las dos tradiciones Bacon fue un autor excepcional en su época. Por otro lado, se puede concluir que, por situarse en el primer tramo del siglo XVII y encontrarse aun conectado con el pensamiento renacentista, su posición representa una etapa de transición hacia posiciones que sólo más tarde se cristalizaron en otros filósofos naturales. Finalmente, habida cuenta de la revisión crítica que propone Harrison, también podemos concluir que el caso de Bacon es un indicio más de que la distinción entre voluntarismo e intelectualismo se aplica a sólo algunos autores del siglo XVII y que, por más importantes que estos autores hayan sido, no fue tan dominante ni decisiva como la historiografía ha sostenido. En tal sentido, Bacon no sería una excepción sino parte de la regla. Por el momento, me inclino más bien por esta última lectura.

---

## Bibliografía

---

- Bacon, F. (1858-1874), *The Works of Francis Bacon*, reproducción facsimilar de la edición Longman & Co. [et al.], en 14 vols., Stuttgart-Bad Cannstatt: F. Frommann (Günther Holzboog), 1962-1963.
- Foster, M. B. (1934), "The Christian Doctrine of Creation and the Rise of Modern Natural Science", *Mind* 43: 446-468.
- Harrison, P. (2002), "Voluntarism and Early Modern Science", *History of Science* 40: 63-89.
- Henry, J. (2009), "Voluntarist Theology at the Origins of Modern Science: A Response to Peter Harrison", *History of Science* 47: 79-113.
- Harrison, P. (2009), "Voluntarism and the Origins of Modern Science: A Reply to John Henry", *History of Science* 47: 223-231.
- Matthews, S. (2008), *Theology and Science in the Thought of Francis Bacon*, Aldershot: Ashgate.
- Milner, B. (1997), "Francis Bacon: The Theological Foundations of Valerius Terminus", *Journal of the History of Ideas* 58: 245-264.
- Oakley, F. (1961), "Christian Theology and Newtonian Science: The Rise of the Concept of the Laws of Nature", *Church History* 30: 433-457.
- Osler, M. (1994), *Divine Will and the Mechanical Philosophy. Gassendi and Descartes on Contingency and Necessity in the created World*, Nueva York: Cambridge University Press.

# La naturaleza de las emociones, entre la cognición y la percepción

*Andrea Florencia Melamed<sup>†</sup>*

## Resumen

Desde que las emociones han recuperado la atención de científicos y filósofos, mucho se ha escrito en torno a cuál es su naturaleza, su función, su historia filogenética, entre otras cosas. Sin embargo, los numerosos aportes que en el marco de la ciencia cognitiva se han hecho a la investigación de las emociones, han caído bajo alguna de las dos grandes corrientes de pensamiento denominadas “enfoque cognitivo” y “enfoque perceptivo”. Así se han configurado dos modos muy diversos de abordaje de las preguntas acerca de las emociones que, a su vez, se han presentado como dos enfoques incompatibles que buscan dar cuenta del mismo fenómeno. El objetivo principal de este trabajo es contribuir con la comprensión del fenómeno emocional, más específicamente, revisando el desacuerdo entre las teorías o enfoques cognitivo y perceptivo.

## 1. Introducción

En los últimos treinta años, las emociones han despertado el interés de diversas disciplinas, recuperando la atención de científicos y filósofos. De manera que en las últimas décadas mucho se ha dicho en torno a cuál es su naturaleza, su función, su historia filogenética, entre otras cosas. Los numerosos aportes que en el marco de la ciencia cognitiva se han hecho a la investigación de las emociones, han sido agrupados bajo dos grandes corrientes de pensamiento o enfoques tradicionalmente denominados “cognitivo” y “perceptivo”. Así se han configurado dos modos muy diversos de abordaje de las preguntas acerca de las emociones que, a su vez, se han presentado como dos enfoques incompatibles que buscan dar cuenta del mismo fenómeno.

En líneas generales, y a modo preliminar, podemos decir que se entiende por “enfoque cognitivo de las emociones” aquel que le otorga a la cognición un lugar preponderante en el proceso emocional. El enfoque perceptivo, por su parte, niega que las emociones dependan de la mediación de un componente de índole cognitivo tal como exige el enfoque cognitivo.

El objetivo principal de este trabajo es contribuir con la comprensión del fenómeno emocional, más específicamente, revisando el status del desacuerdo entre las teorías o enfoques cognitivo y perceptivo. La hipótesis que guía este trabajo es que la discrepancia entre las corrientes cognitiva y perceptiva no es tan profunda como se ha creído. A tal efecto, el trabajo se divide en dos partes, una primera parte, expositiva, de los puntos clave de cada una de las corrientes, y una segunda parte, de análisis y evaluación del desacuerdo.

---

<sup>†</sup> Universidad de Buenos Aires (UBA)–CONICET. Para contactar al autor, por favor, escribir a: [afmelamed@gmail.com](mailto:afmelamed@gmail.com).

## 2. Presentación de los enfoques

### 2.1. Enfoque perceptivo

La denominada “teoría de la *sensación*” fue propuesta independientemente por William James (1884) y Carl G. Lange (1885). Ésta atrajo especial atención en el ámbito científico y académico, puesto que sugería que era erróneo el modo habitual en que las emociones eran concebidas. Este modo tradicional o estándar concebía a la emoción como el resultado de una percepción, y la causa de la expresión física. Es decir, de acuerdo a ésta, la percepción de un objeto o evento despertaba un estado emocional, que a su vez, generaba una manifestación a través de cambios corporales. James, contra este modo de concebir a las emociones, afirma:

Mi tesis es que los cambios corporales siguen directamente la percepción del hecho y que nuestra *sensación* de esos mismos cambios mientras ocurren ES la emoción (James 1884, pp. 189-190; énfasis del autor).

Es decir, el sentido común dicta que, si enfrentamos un peligro, entonces tenemos miedo y (luego o por ello) huimos. La indicación de James apunta a invertir la secuencia anterior, sin dejar fuera a ninguna de las variables que intervienen. Según ésta: “un estado mental no es inducido inmediatamente por el otro, las manifestaciones corporales deben interponerse” (James 1884, p. 190). De modo que lo correcto sería decir que, ante la amenaza de peligro, los cambios corporales surgen de modo inmediato, y es la percepción de tales cambios fisiológicos y conductuales la razón por la que sentimos miedo: “[...] nos sentimos tristes porque lloramos, furiosos porque golpeamos, o asustados porque temblamos; no es que lloremos, golpeemos o temblamos porque estemos tristes, furiosos o asustados, como cabría esperar” (James 1884, p. 190).

Un siglo más tarde, Zajonc (1980) cuestiona la idea de que todas las reacciones afectivas son consecuencia de un proceso cognitivo previo. Concluye “que es enteramente posible que el primer estadio de la reacción de un sujeto ante un estímulo sea afectiva” (Zajonc 1980, p. 154). Su defensa se articula a partir de la presentación de un conjunto de experimentos destinados a mostrar que las preferencias no se producen como consecuencia de la categorización de los objetos (el fenómeno denominado “efecto de mera exposición”). Por el contrario, “es posible que algo nos pueda agradar, o que le podamos temer a algo, antes de que conozcamos con precisión qué es y quizás incluso sin conocer qué es” (1980, p. 154). La caracterización de las reacciones afectivas (en oposición a las cogniciones frías) se completa con los siguientes rasgos: son ineludibles (no pueden ser controladas voluntariamente por procesos atencionales), irrevocables (una vez formadas, no cesan), inmediatas, imprecisas, difíciles de verbalizar, no obstante fáciles de comunicar y comprender.

En síntesis, podemos decir que, al menos respecto a este conjunto de emociones, las reacciones afectivas (específicamente las implicadas en las preferencias) tienen primacía y son independientes de la cognición, es decir, pueden existir antes e inclusive sin cognición mediante. Este punto es fundamental y merece ser destacado: Zajonc no pretende con esto dar por demostrado que *todos* los tipos de emociones sean de esta clase. Por el contrario, procura que las emociones (en particular las reacciones afectivas) se vean salvadas del error análogo que cometen los teóricos cognitivos, que del hecho de que la cognición pueda dar lugar por sí misma a estados emocionales, pretenden concluir que el componente cognitivo es un componente necesario para toda clase de emoción.

El balance de la propuesta de Zajonc es haber encontrado un resquicio donde situar a las emociones que carecen de elementos cognitivos que funcionen como mediadores o les den forma. Al tiempo que reconoce que lo anterior es absolutamente compatible con la tesis de que existen otros tipos de emociones que son alcanzadas sólo a través de juicios evaluativos.

## 2.2. Enfoque cognitivo

La concepción de Lazarus puede sintetizarse en la idea de que cierto tipo de pensamiento o cognición es una precondition necesaria para toda emoción. En particular, Lazarus (1982) postula que son las valoraciones cognitivas las que vinculan y median las relaciones entre los sujetos y el ambiente, provocando emociones particulares como resultado de las evaluaciones específicas, que realiza el sujeto de su relación con ambiente en virtud de su bienestar.

En su argumentación, se vale del punto de vista de Zajonc para discutir contra la posibilidad de que existan episodios emocionales propiamente dichos que prescindan de todo elemento cognitivo entre sus disparadores. El ataque puntual a la perspectiva afectiva de Zajonc le servirá como dispositivo para argumentar a favor de su propia concepción cognitiva, esto es, la que sostiene que cierta actividad cognitiva es condición necesaria y suficiente para toda emoción (Lazarus 1982, p. 1019). Desde su punto de vista, el responsable del desacuerdo entre los autores es el modo inadecuado en que Zajonc concibe a la cognición, según el cual:

Si uno acepta el principio de que el significado se encuentra al final de un proceso cognitivo seriado, entonces, acomodar el hecho de que podemos reaccionar emotivamente de modo instantáneo, nos fuerza a abandonar la idea de que la emoción y la cognición están necesariamente conectadas causalmente (Lazarus 1982, p. 1021).

No obstante, arguye Lazarus, la cognición debe separarse conceptualmente de la racionalidad y la deliberación: como resultado de la herencia neural y su experiencia, un sujeto tiene esquemas cognitivos que ante un sonido brusco significan peligro instantáneamente. A pesar de que los esquemas requeridos en asuntos humanos pueden ser más complejos, la valoración del miedo no debe ser necesariamente deliberada (Lazarus 1982, p. 1022). Asimismo, las evaluaciones cognitivas no deben implicar necesariamente conciencia de los factores sobre los que descansa. Afirma:

Estaría de acuerdo con que una persona no necesita ser consciente de sus evaluaciones cognitivas y puede utilizar una lógica primitiva, pero argumentaría en contra de la idea de que algunas evaluaciones (Zajonc se refiere a las preferencias) no son cognitivas (Lazarus 1982, p. 1022).

La cuestión clave, entonces descansa en cómo caracterizar ese prerequisite cognitivo, que como anteriormente fue señalado, no implica percatación ni deliberación. Lazarus se pregunta más puntualmente ¿qué podría transformar estados sensoriales en emociones? (1984, p. 126). Lazarus distingue dos modos de valorar: uno automático, no-reflexivo e inconsciente o preconsciente; el otro, consciente y deliberado. Y destaca que “no es posible decir con seguridad qué proporción de valoraciones y emociones están basadas en cada modo de actividad cognitiva, y quizás la mayoría de las valoraciones de los adultos involucra una mezcla de ambas” (Lazarus 1991, p. 155). Su respuesta será que aquella transformación necesaria para producir una emoción a partir de estados sensoriales “es una valoración de aquellos estados como favorables o dañinos para nuestro bienestar” (Lazarus 1984, p. 126). La verdadera incógnita para él es cómo la cognición moldea a las emociones, es decir, qué tipo/s de cognición es/son capaces de despertar emociones de diferentes intensidades y clases, tal como el miedo, la cólera, la culpa, la felicidad, etc.

## 3. Análisis de la disputa entre las corrientes

De acuerdo a la revisión de la sección anterior, podríamos decir, *grosso modo*, que la discrepancia entre el enfoque perceptivo y el cognitivo se asienta sobre la oposición entre sensación o percepción y cognición (valoración en forma de juicio, creencia, etc.), esto es, entre diferentes clases de procesos psicológicos. Mientras el enfoque perceptivo defiende que

las emociones deben ser caracterizadas como sensaciones (de cambios corporales, o estados internos en general), el enfoque cognitivo hace hincapié en el componente valorativo (y activo) de las emociones.

De manera que, conforme a los propósitos de este trabajo, examinaremos cuál es el verdadero alcance de cada uno de esos conceptos y qué tipo de operaciones mentales describen. Desde mi punto de vista, existen dos alternativas en principio plausibles: la dicotomía percepción/cognición podría apoyarse en la distinción entre procesos activos (los cognitivos) versus los pasivos (la percepción de inputs sensoriales); o bien en el carácter complejo del procesamiento implicado en la cognición versus la simplicidad de la percepción. A continuación examinaré cada una de esas posibilidades.

### 3.1. Activo versus Pasivo

Tradicionalmente la percepción y los sistemas sensoriales que la componen han sido concebidos como sistemas de entrada que procesan inputs. Como tales, son concebidos como procesos en los que el sujeto es pasivo; es decir, recibe pasivamente información del entorno. Si esa información ha de ser transformada, será eventualmente por la intervención de otros procesos, en los que el sujeto se encuentra activo (como ser, distintos procesos de índole cognitivos). En tal sentido y por mucho tiempo, la percepción, como estado bruto que representa en la mente lo que hay en el mundo de modo transparente, fue canónicamente opuesta a la interpretación, valoración, etc. (actividades paradigmáticamente cognitivas). Esta distinción, a su vez, encontró eco en la filosofía de la ciencia de comienzos del siglo XX, que se apropió de ella (no sin polemizar) y la utilizó como criterio de demarcación del ámbito científico: la ciencia debe versar sobre hechos observables.

Sin embargo, entre otras cuestiones que se le han objetado a los filósofos de la ciencia clásicos, encontramos el cuestionamiento de la neutralidad de la observación. Hanson (1971) planteó el asunto a partir del caso específico de la visión. Si bien hay un sentido en el que puede decirse que dos personas que miran una misma cosa “ven lo mismo”, puesto que puede describirse el mismo proceso fisiológico por el cual se forma la misma imagen en sus retinas; también hay un sentido en el que puede afirmarse que esas mismas dos personas “no ven lo mismo”, puesto que ven escorzos diferentes del mismo objeto. Pero existe un tercer sentido, distinto a los dos últimos y por demás interesante, en que dos personas pueden no ver lo mismo frente al mismo objeto, a pesar de que la recepción del input en los globos oculares sea idéntica. “¿Qué puede cambiar? Nada óptico o sensorial se ha modificado, y, sin embargo, uno ve cosas diferentes. Cambia la organización de lo que uno ve” (Hanson 1971, p. 89).

La relevancia de lo antedicho para los propósitos de este trabajo radica en que puesto que lo mismo podría decirse de todos los sentidos, la percepción en su totalidad deberá ser redefinida, perdiendo la transparencia y objetividad antes características. Se sigue de esto que concebir a las emociones como sensaciones o percepciones de cambios corporales, no implica de ninguna manera la pasividad del sujeto. La crítica de la carga teórica de la observación hace colapsar la distinción entre lo perceptivo y lo cognitivo: la percepción es un fenómeno intrínsecamente cognitivo. Por supuesto, la filosofía crítica kantiana ya había señalado cómo factores cognitivos y perceptuales estaban amalgamados en la percepción.

En resumen, la distinción entre la percepción y la cognición no se explica a partir de la distinción entre el carácter pasivo y el activo de los procesos, respectivamente.

### 3.2. Complejidad versus Simplicidad

Los autores se limitan a referirse a la cognición de modo figurado o alegórico. Por ejemplo, para Zajonc implica determinada “transformación de un input sensorial” en una forma que podría estar subjetivamente disponible. Esta operación que aunque se define por no ser

necesariamente intencionada, racional o consciente, sí debe implicar un “mínimo de trabajo mental”:

La cuestión no es cuánta información del entorno requiere el organismo sino cuán poco trabajo debe hacer sobre esta información para producir una reacción emocional (Zajonc 1984, p. 122).

Más allá del aparente carácter nimio del procesamiento cognitivo involucrado, Zajonc también resulta poco exigente con respecto al contenido de ese procesamiento. Me refiero a que, dado el carácter patentemente fragmentario de ese procesamiento, éste da lugar a representaciones incompletas y muchas veces erróneas (Zajonc 1980, p. 156). Sin embargo Lazarus acuerda en que no sólo no es necesario poseer la información completa del objeto para reaccionar emotivamente, sino que de hecho reaccionamos ante la información incompleta en la mayoría de las transacciones ordinarias (Lazarus 1982, p. 1021).

Lazarus se refiere a la cognición –en su relación con las emociones–, o más precisamente, a la valoración cognitiva, formulando que la manera bajo la cual un sujeto interpreta una situación particular es crucial para la respuesta emocional (Lazarus 1982, p. 1019). Pero ¿cuál sería la complejidad cognitiva mínima implicada en una evaluación tal? ¿O la complejidad es tal que algunos animales no humanos quedarían excluidos? Al respecto, nos dice:

Probablemente todos los mamíferos cumplen los requisitos cognitivos mínimos, si uno permite que el concepto de valoración incluya el tipo de procesos descritos por los etólogos, en los que una respuesta incorporada y rígida a estímulos diferencia peligro de no-peligro. Una percepción evaluativa, y por consiguiente una valoración, puede operar en todos los niveles de complejidad, desde el más primitivo e innato al más simbólico y adquirido. Si esto es razonable, entonces es también posible decir que una valoración cognitiva está siempre implicada en una emoción, incluso en criaturas filogenéticamente más primitivas que los humanos (Lazarus 1982, p. 1023).

En suma, pretendo haber mostrado que hay una connotación de “cognitivo”, en el sentido de trabajo mental mínimo, en que los autores acordarán que *las emociones son cognitivas*. Por supuesto que una respuesta de esta índole, convierte a la cuestión en terminológica y carece totalmente de relevancia filosófica.

Sin embargo, difícilmente los autores subsumidos bajo el enfoque cognitivo se vean complacidos con la inclusión o el reconocimiento de un procesamiento incompleto o primitivo. Al punto de que muchos de ellos, con la intención de proveer una caracterización única de “el” fenómeno emocional, se han visto tentados a expulsar a las afecciones del ámbito emocional, reservando el título de “emoción” para las emociones “acabadas”.

Retomemos, entonces, la caracterización que hace Lazarus de las valoraciones implicadas en los procesos emocionales. Tal como vimos, Lazarus distingue *dos modos de valorar*: uno, automático y no-consciente, aunque no por ello rudimentario, puesto que puede incluir significados complejos, sintetizados por la experiencia; el otro, consciente y deliberado. Remarcando además, que no está claro el grado de participación de cada una de ellas en cada actividad cognitiva y que “quizás la mayoría de las valoraciones de los adultos involucra una mezcla de ambas” (Lazarus 1991, p. 155). Pero desafortunadamente, de esta caracterización se siguen los mismos inconvenientes que surgieron en las secciones anteriores. La admisión de procesos valorativos automáticos (como especie del género cognitivo) tomada conjuntamente con la inclusión de procesos “interpretativos” (por llamarlos de algún modo) en la percepción, conlleva indefectiblemente a la desaparición de la distinción entre, por una parte una valoración cognitiva y, por otra parte la percepción desprejuiciada, de un hecho.

Es en esa misma dirección que Prinz, manifiesto defensor de la corriente perceptiva, parece concederle un punto a las teorías valorativas, cuando afirma que “las emociones son estados que *valoran* registrando cambios corporales” (Prinz 2004b, p. 78, énfasis mío). Un examen más profundo de su iniciativa muestra que su teoría valorativa encarnada, tal como él la ha denominado, aun concediendo el punto anterior, resigna poco terreno frente al teórico

cognitivo. Su perspectiva concibe a las valoraciones como “cualquier representación de la relación organismo-ambiente relevante para su bienestar” (Prinz 2004a, p. 57), retomando directamente la noción de tema relacional central de Lazarus, pero imprimiéndole algunas modificaciones. Su perspectiva tolera que los juicios evaluativos sirvan como valoraciones, pero añade que también pueden hacerlo otros estados no judicativos, como ser por ejemplo, ciertas percepciones corporales. Así, afirma que “en términos generales, las palpitaciones [del corazón] sirven como evaluaciones” (Prinz 2004b, p. 78) simbolizando el núcleo de su tesis: los cambios en nuestro cuerpo expresan cómo nos va en el mundo, de modo tal que nuestras percepciones del cuerpo al tiempo que nos describen el estado de nuestros órganos, portan información acerca de nuestra situación en el mundo. En síntesis, de acuerdo a Lazarus tanto como a Prinz (valiéndose de nociones del primero) aunque por diferentes razones, el concepto más específico de “valoración” tampoco suministra un punto de apoyo para trazar firmemente la distinción entre las posturas perceptiva y cognitiva.

#### 4. Conclusiones

Con el objetivo principal de contribuir a la comprensión del fenómeno emocional, mi análisis en este trabajo se centró en una de las dicotomías que ha signado la investigación sobre las emociones, me refiero a la distinción entre teorías cognitivas y perceptivas. Para ello, sugerí que la discrepancia entre las dos perspectivas se erigía sobre falsas dicotomías, tratándose como mucho de un desacuerdo de corte terminológico, puesto que: la percepción es un proceso en el que el sujeto se encuentra indudablemente activo; la cognición incluye tipos de procesamiento de información automáticos e inaccesibles al control voluntario; entre las valoraciones que caracterizan a las emociones podemos encontrar tanto modos automáticos y corporeizados, como modos conscientes, deliberado y fríos.

#### Bibliografía

- Hacker, P.M.S. (2009), “The Conceptual Framework for the Investigation of Emotions”, en Gustafsson, Y., Kronqvist, C. y M. McEachrane (eds.), *Emotions and Understanding: Wittgensteinian Perspectives*, Houndmills, Basingstoke: Palgrave Macmillan, pp. 43-59.
- Hanson, N.R. (1971), *Observation and Explanation: A Guide to Philosophy of Science*, New York: Harper & Row.
- James, W. (1884), “What Is an Emotion?”, *Mind* 9: 188-205.
- Kandel, E.R., Schwartz, J.H. y T.M. Jessell (1997), *Neurociencia y conducta*, Madrid: Prentice-Hall.
- Lange, C.G. (1885), *Om sindsbevaegelser: Et psyko-fysiologisk studie*, Copenhagen: Jacob Lunds.
- Lazarus, R.S. (1982), “Thoughts on the Relations between Emotion and Cognition”, *American Psychologist* 37: 1019-1024.
- Lazarus, R.S. (1984), “On the Primacy of Cognition”, *American Psychologist* 39: 124-129.
- Lazarus, R.S., Averill, J.R. y E.M.J. Opton, (1970), “Towards a Cognitive Theory of Emotion”, en Arnold, M. (ed.), *Feelings and Emotions: The Loyola Symposium*, New York: Academic Press, pp. 207-232.
- Lyons, W. (1999), “The Philosophy of Cognition and Emotion”, en Dalglish, T. y M.J. Power (eds.), *Handbook of Cognition and Emotion*, Chichester, UK: Wiley, pp. 21-44.
- Prinz, J. (2004a), “Embodied Emotions”, en Solomon, R.C. y L.C. Harlan (eds.), *Thinking about Feeling: Contemporary Philosophers on Emotion*, Oxford: Oxford University Press.
- Prinz, J. (2004b), *Gut Reactions: A Perceptual Theory of Emotion*, New York: Oxford University Press.
- Zajonc, R.B. (1980), “Feeling and Thinking: Preferences Need No Inferences”, *American Psychologist* 35: 151-175.

Zajonc, R.B. (1984), "On the Primacy of Affect", *American Psychologist* 39: 117-123.



# Causalidad y explicación homológica\*

Julio Torres Meléndez†

## Resumen

En el contexto de la discusión acerca de la lógica de la explicación darwiniana, me propongo mostrar que hay una relación conceptual entre la tesis que sostiene que la selección natural no puede explicar los rasgos de un organismo individual (la llamada ‘tesis negativa’ acerca de la selección natural) y la tesis de la atribución de valor causal a la explicación homológica. Mostraré también que esta relación conceptual nos da razones para sostener que Darwin asumió de manera explícita que la tesis negativa es correcta.

## 1. Introducción

Darwin afirmó que es “generalmente reconocido que todos los seres orgánicos han sido formados según dos grandes leyes –Unidad de tipo, y las Condiciones de Existencia” (Darwin 1859, p. 206; la traducción me pertenece). Aunque hay una discusión acerca de cómo entender el concepto de Condiciones de Existencia, es claro que para Darwin la teoría evolucionista está constituida, básicamente, por un componente histórico y por un componente adaptacionista (Brooks 2011). La Unidad de Tipo o la semejanza homológica se explica por la unidad de origen y constituye entonces ese componente histórico. El componente adaptacionista se explica por el mecanismo de la selección natural (de aquí en adelante, SN) y también por el remanente explicativo del principio del uso y desuso.<sup>1</sup> De acuerdo con mi punto de vista no deberían existir dudas razonables acerca de que Darwin entendió que ambas explicaciones eran de naturaleza causal y que en conjunto constituyen lo que podemos llamar la ‘explicación darwiniana’. Su manera de expresar la forma en que se relacionan el componente adaptacionista y el componente histórico no fue siempre, sin embargo, del todo clara y ha generado interpretaciones diversas que han tenido consecuencias no solo relevantes para la historia y la filosofía de la ciencia, sino que también ha influenciado la dirección que ha tomado el pensamiento evolucionista hasta nuestros días. Las recientes

---

\* Mis agradecimientos a las observaciones de los evaluadores anónimos. La investigación en la que se enmarca este artículo es apoyada por el proyecto VRID-Enlace 215.063.011-1.0: Un estudio filosófico acerca de la naturaleza de la explicación evolucionista (Universidad de Concepción).

† Departamento de Filosofía, Universidad de Concepción. Para contactar al autor, por favor, escribir a: jutorres@udec.cl.

<sup>1</sup> Un evaluador anónimo ha sostenido que esta distinción entre los componentes histórico y adaptacionista es inadecuada, dado que la explicación adaptacionista también es una explicación histórica. Creo que hay aquí una confusión. Una adaptación es un proceso de aumento de eficiencia ecológica o sexual causada por selección natural o sexual, respectivamente (Pincheira-Donoso 2012). Hay una historia de las adaptaciones que se han fijado en una población (un patrón de rasgos), pero esa historia no es el proceso de adaptación, como la historia de los cambios sociales de una civilización no es un cambio social. En la terminología usual en filogenética y biogeografía las relaciones de ancestro-descendiente son también patrones [*patterns*] y la selección natural es un proceso [*process*] que contribuye a explicar esos patrones (Mayr 1982, p. 439, Ridley 1986, p. 12). De acuerdo con Sober, se trata aquí de dos tipos distintos de relaciones causales. En la primera, un objeto causa a otro porque produce su existencia; en la segunda, porque le hace tener determinada propiedad (Sober 1988, p. 6). En lo que sigue, uso en este sentido la distinción entre componentes histórico y adaptacionista.

discusiones muestran que hay partidarios de la tesis según la cual la explicación homológica no constituye, para la actual teoría evolutiva, una explicación causal (entre ellos Reeve & Sherman 2001, Okasha 2002 y Shanahan 2011), en oposición a los que sí admiten explícitamente el carácter causal de la explicación homológica (entre ellos Brooks & McLennan 1991, Sterelny & Griffiths 1999, Gould 2002 y Ereshefsky 2012). Esta discusión se remonta justamente a las diversas interpretaciones del pasaje en donde Darwin, en el *Origen*, distingue entre la ley de Unidad de Tipo y la ley de las Condiciones de Existencia. En el contexto de esta discusión, me propongo examinar la relación conceptual que habría entre la tesis que sostiene que la SN no puede explicar los rasgos de un organismo individual (la llamada ‘tesis negativa’ acerca de la SN) y la tesis de la atribución de valor causal a la explicación homológica. Abordaré también una cuestión histórica: mostraré que hay razones para sostener que Darwin asumió de manera explícita que la tesis negativa es correcta.

## 2. La tesis negativa de la SN y la explicación homológica

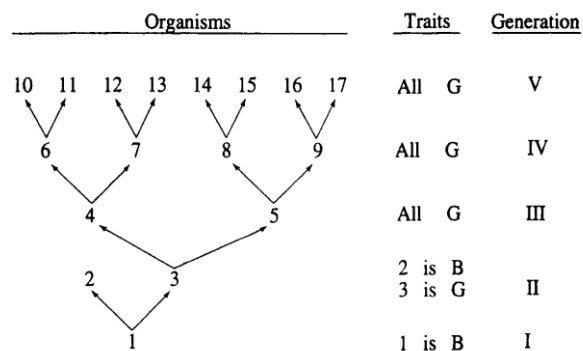
Recientemente se ha sostenido que es posible identificar al menos cinco objetos de explicación o *explananda* posibles para la SN: la conservación de los rasgos, la propagación de los rasgos, el origen de los rasgos, la existencia individual y el hecho de que un determinado individuo tenga un determinado rasgo (Razeto-Barry & Frick 2011, p. 344, Stegmann 2010, p. 61). Algunos de ellos han sido fuente de controversia y han dividido las opiniones en posiciones antagónicas respecto de su naturaleza y de sus relaciones mutuas. Por mi parte, me propongo examinar el quinto de estos *explananda*. Este puede, inicialmente, presentarse a través de la siguiente pregunta: ¿la SN explica, por ejemplo, por qué tengo cinco dedos en cada mano? Esta pregunta orienta acerca de la naturaleza del problema, aunque es también ambigua y, por esto, su significado debe ser aclarado en el contexto de la lógica de la explicación por selección, específicamente, en relación a lo que Elliott Sober identificó como el nuevo contexto contrastivo que introduce la revolución darwiniana (Sober 1984, p. 150, Razeto-Barry & Frick 2011, p. 351, Helgeson 2013, p. 156).<sup>2</sup> Hay, preliminarmente, dos respuestas a la anterior interrogante, las que han sido descritas por Joel Pust (2001) como el punto de vista positivo y el punto de vista negativo acerca de la SN. De acuerdo con el punto de vista positivo (o tesis positiva), el objeto de explicación de la SN es tanto las propiedades de una población (la frecuencia de un rasgo en una población) como los rasgos de los organismos individuales (tesis defendida, entre otros, bajo diversos argumentos, por Neander 1988, Forber 2005, Martínez & Moya 2011). De acuerdo al punto de vista negativo (o tesis negativa), la SN explica solo la frecuencia de los rasgos de una población y no los rasgos de los organismos individuales (tesis defendida, entre otros, bajo diversos argumentos y en algunos casos con restricciones, por Sober 1984, 1995, Razeto-Barry & Frick 2011, Helgeson 2013). Para la tesis negativa, la naturaleza de los rasgos que explica la SN, su ontología, es poblacional y no individual (Sober 1995), de ahí el carácter no-distributivo de la explicación por selección.

Sober distingue, apoyándose en los conceptos de evolución variacional y evolución transformacional de Richard Lewontin (1983), entre explicación por selección y explicación por desarrollo para dar cuenta de la naturaleza de la explicación biológica en el marco de la teoría de la evolución. Sober introduce un caso de selección intencional como una analogía de la SN: el conocido caso de selección de niños en una escuela en base a su rendimiento escolar previo, que muestra que la selección solo explica la frecuencia del alto rendimiento, pero no explica por qué

<sup>2</sup> Todas las preguntas causales de este tipo son en sí mismas ambiguas si no disponemos de un contexto contrastivo: queremos saber por qué esto y no otra cosa distinta. Pablo Razeto-Barry y Ramiro Frick aclaran este punto con el siguiente ejemplo: “¿Por qué Roberto robó el banco?” puede ser entendido de varias formas diferentes: (i) ‘¿Por qué Roberto, más bien que otra persona distinta, robó el banco?’; (ii) ‘¿Por qué Roberto robó el banco, y no hizo más bien otra cosa?’; o (iii) ‘¿Por qué Roberto robó este banco y no más bien una tienda, una casa, etc.?’” (Razeto-Barry & Frick 2011, p. 351; la traducción me pertenece).

un niño en particular tiene un alto rendimiento (Sober 1984, p. 149, Walsh 2006, p. 252, Okasha 2009, p. 714, Martínez & Moya 2011, p. 2; para una analogía renovada, véase Helgeson 2013, p. 155). Lo que muestra el argumento, siguiendo la aclaración de Helgeson, es que la explicación por selección puede explicar contrastivamente por qué determinada población está constituida por individuos con determinados rasgos más bien que la población consista de individuos diferentes con diferentes rasgos. Pero la selección no puede explicar por qué un mismo individuo tiene determinadas adaptaciones y no otras diferentes (véase Helgeson 2013, p. 155).

Sober desarrolla posteriormente este argumento utilizando el siguiente esquema que representa cómo se ha producido una generación de organismos en donde todos los individuos tienen el rasgo G, se trata de un organismo monoparental:



¿Cómo explica la SN que todos los organismos de la generación V tengan el rasgo G? Hay, inicialmente, dos respuestas posibles aquí (según Sober 1995, p. 386):

- (1) Los organismos 10-17 son todos G porque son descendientes de la generación III y la SN explica por qué la generación III es 100% G (G es el producto de una mutación y ha dado a 3 una ventaja para la sobrevivencia y la reproducción que no posee 2, como consecuencia el rasgo B desaparece debido a que 2 no posee descendencia).
- (2) Los organismos 10-17 son todos G porque son descendientes de los organismos 4 y 5 y la SN explica por qué los organismos 4 y 5 son G.

Ahora bien, Sober acepta la respuesta (1) pero rechaza (2), dado que los individuos 4 y 5 podrían tener los rasgos que tienen incluso si el organismo 2 no fracasara en reproducirse, es decir, podrían tener estos rasgos aun si la selección no actuara sobre la generación II. De la misma manera, los individuos 4 y 5 podrían haber tenido los rasgos que tienen aun si el organismo 3 produjera más de dos descendientes. Los rasgos de los individuos 4 y 5 no dependen causalmente de los logros reproductivos en los individuos de la generación previa. Aunque ciertamente, dice Sober, si los individuos 4 y 5 existen esto depende de lo que le haya ocurrido también a su progenitor. Pero dado que 4 y 5 existen, si estos individuos son B o G no depende de quién se reproduzca y cuánto lo haga. De ahí que la selección no sea una causa de los rasgos de 4 y 5.

Con estas últimas observaciones Sober responde a Karen Neander, quien argumenta en defensa de la tesis positiva sobre la base de distinguir entre un sentido estrecho y un sentido amplio del concepto de selección. El sentido estrecho corresponde justamente al sentido que Sober da a la selección en su argumentación, es la selección entendida como la sobrevivencia diferencial de los individuos y su reproducción al interior de una población natural. En su sentido amplio el concepto de selección incluye además los mecanismos de herencia y los mecanismos de creación de la

variación heredable, tales como la mutación y la recombinación genética (Neander 1988, p. 424).<sup>3</sup> La SN entendida en este último sentido supone que la explicación de una propiedad genotípica o fenotípica de un individuo involucra también la explicación de la frecuencia de ese genotipo o fenotipo en una población ancestral. Proporcionar esa explicación es dar una explicación de la alta frecuencia en esa población de ese fenotipo o genotipo, de ahí que una explicación completa de los rasgos de un individuo deba considerar tanto los mecanismos de herencia como los mecanismos de SN y es por ello que es una arbitrariedad, para Neander, que la explicación por desarrollo se detenga en los progenitores, puesto que debería alcanzar a la población ancestral en donde se originan los rasgos que deben ser explicados y esta explicación la proporcionan los mecanismos de SN. Por eso cree Neander que la SN afecta a los rasgos de los individuos, específicamente, a los individuos de esa población ancestral.

Por mi parte, en contra de Neander, sostendré que el punto de vista negativo acerca de la SN no requiere del sentido amplio de SN. Esto se muestra si se advierte la relación conceptual que hay entre asumir la tesis negativa y el carácter causal de la explicación homológica. Se trata aquí de la relación entre el componente adaptacionista y el componente histórico en la argumentación darwiniana. Estos componentes han sido expresados también en términos de una oposición entre explicación homológica y explicación analógica por Mark Ereshefsky (2012). De acuerdo con Ereshefsky, una explicación homológica es una explicación histórica, pues da cuenta de los rasgos de una entidad colocando la entidad en una secuencia espacio-temporal que explica causalmente esos rasgos. Una explicación analógica, en cambio, da cuenta causalmente de los rasgos de una entidad usando ingeniería inversa, es decir, estableciendo a qué problemas del medio constituyen soluciones los rasgos supuestamente adaptativos que se requieren explicar (Ereshefsky 2012). Ahora bien, Ereshefsky distingue respecto de la explicación homológica entre explicación distal y proximal. Ambas son explicaciones históricas para Ereshefsky: la primera es la explicación en términos de unidad de origen, es el concepto darwiniano de la homología de la Unidad de Tipo como “la forma retenida de un ancestro común en la base de una ramificación genealógica” (Gould 2002, p. 254; la traducción me pertenece). La segunda, la explicación proximal, “hace referencia a los factores de desarrollo que causan la ontogenia de una homología” (Ereshefsky 2012, p. 20; la traducción me pertenece). Una homología, de acuerdo a Ereshefsky, es el resultado de un módulo de desarrollo y ese módulo, a su vez, es el resultado de una historia filogenética.

La tesis de Ereshefsky supone, ciertamente, que estos procesos de desarrollo compartidos, que constituyen constricciones para el fenotipo, no se derivan independientemente en los distintos linajes involucrados. La homología proximal, como la homología distal y la convergencia adaptativa, puede ser refutada por la investigación empírica (Sober 2008, p. 243, Losos 2011, p. 1829). Y, efectivamente, hay evidencia que muestra que la semejanza de módulos de desarrollo no asegura la existencia de homología a este nivel, es decir, también puede haber homoplasia de módulos de desarrollo (véase Hall 2007, p. 477, Sommer 1999). Ralf Sommer, en una investigación con nematodos, ha mostrado la posibilidad de que dos caracteres convergentes presenten los mismos mecanismos moleculares involucrados en la base de los procesos de desarrollo: “Lo que puede indicar que la arquitectura molecular y genética de un determinado carácter de desarrollo está compuesto de una manera tal que solo ciertas alteraciones resultarán en variantes fenotípicas no-letales” (Sommer 1999, p. 8; la traducción me pertenece).<sup>4</sup> Con todo, esta

<sup>3</sup> Debe considerarse que, por este tipo de argumentación, Neander ha sido acusada de confundir la cuestión acerca del origen de los rasgos con el problema de si la selección puede explicar los rasgos del organismo individual (véase Razeto-Barry & Frick 2011, p. 351; véase asimismo Forber 2005, p. 335, para quien solo en determinadas condiciones (las condiciones que hacen posible la acumulación de mutaciones), la selección puede explicar el origen de un rasgo).

<sup>4</sup> Una dificultad adicional es la función causal que pudieran tener los procesos de desarrollo definidos no históricamente. Es la posibilidad defendida por los “estructuralistas procesuales” (como los llama Paul Griffiths 1999, p. 213), la que encontramos en Goodwin (1994) y Wester y Goodwin (1996). Esta es una propuesta esencialista que afirma que el rasgo subyacente que define los taxa, en tanto géneros naturales, radica en un *campo morfogenético*: una estructura dinámica modelable matemáticamente en las dimensiones espacial y temporal

complejidad es algo que debe demostrarse y no invalida que hay casos legítimos de homología proximal (el mismo Sommer advierte que su descubrimiento no es una regla general). De ahí que pueda sostenerse que si la SN no explica los rasgos de los organismos individuales, su explicación debe hacerse por una explicación por desarrollo (Patrick Forber hace una afirmación coincidente en Forber 2005, p. 330). Como se ha visto, los módulos de desarrollo no solo constituyen por sí mismos una explicación histórico-ontogénica (la explicación homológica proximal que permite integrar los procesos de desarrollo a la definición de homología (véase Ereshefsky 2009 y Hall 2003)), sino que su existencia depende de la historia genealógica (la explicación homológica distal). Por ello la tesis negativa, al requerir una explicación causal de los rasgos de los organismos individuales, supone el carácter causal de la explicación homológica. Es decir, sostengo que la tesis negativa de la selección está argumentativamente vinculada con la atribución de valor causal a la ley de Unidad de Tipo y que por eso no es posible pretender asumir la tesis negativa y negar valor causal a la explicación homológica como hace, por ejemplo, Samir Okasha (2002, 2009).

### 3. Darwin y la tesis negativa de la SN

¿Cómo se relaciona, de acuerdo a Darwin, la explicación de un rasgo por unidad de origen con la explicación por SN? Darwin responde a esta pregunta cuando se refiere a lo que llama la “aparente paradoja” de que un mismo rasgo puede ser explicado tanto por unidad de origen como por SN. Dice: “También podemos comprender así la *aparente paradoja* de que exactamente los mismos caracteres sean analógicos cuando se compara un grupo con otro, pero que den verdaderas afinidades cuando se comparan entre sí los miembros de los mismos grupos” (Darwin 2010, p. 577, véase Darwin 1859, p. 427; énfasis añadido). Esto muestra que la condición de adaptativo o analógico es una condición relativa para Darwin, dado que es dependiente del contexto: la forma tubular de la ballena y la forma de aleta de sus miembros, dice, es una semejanza analógica respecto de la forma tubular y las aletas de un pez, pero es una semejanza homológica cuando se compara con los diversos miembros del género o la familia al que pertenecen las ballenas: “entre los diferentes miembros de la familia de las ballenas, la forma del cuerpo y los miembros en forma de aleta presentan caracteres que ponen de manifiesto afinidades en toda la familia, no podemos dudar de que han sido heredadas de un antepasado común” (Darwin 2010, p. 577, véase Darwin 1859, pp. 427-428). Lo que muestra el ejemplo de Darwin es que, en los contextos en donde surge la *aparente paradoja*, la presencia causal del ancestro común puede excluir la hipótesis del efecto causal de la selección y, a su vez, que la exclusión de la hipótesis del ancestro común puede mostrar la acción causal de la SN. Recientemente he argumentado que esta distinción contextual entre caracteres analógicos y homológicos se aplica también a los rasgos del organismo individual (Torres 2014). Si nos preguntamos qué explica que un organismo individual de *Eubalaena australis* tenga los rasgos aludidos, nuestra respuesta no puede ser que ese individuo se habría adaptado al medio por un proceso de SN, pues sus rasgos son evidentemente heredados de sus ancestros. Esto muestra el carácter no-distributivo que Darwin le atribuye a la explicación por selección (en contra de lo afirmado por Martínez & Moya 2009, p. 72). La *aparente paradoja* de Darwin es una expresión o una formulación de lo que actualmente se conoce como la tesis no-distributiva de la SN o el punto de vista negativo acerca de la explicación por selección. La *aparente paradoja* del *Origen* no ha sido suficientemente valorada por los comentaristas y esta falta de valoración motiva algunos errores interpretativos respecto de la función que Darwin dio a las homologías de la Unidad de Tipo en la clasificación y también en la explicación evolucionista.

---

(Wester & Goodwin 1996, p. 82; considérese asimismo el concepto *organizacional* de homología en Müller 2003). El esencialismo del campo morfogénico ha sido criticado, sin embargo, por ser inconsistente con la teoría biológica al pretender que pueden haber definiciones no-históricas de los caracteres homológicos (Griffiths 1999, Gould 2002, p. 1213).

En otro lugar he mostrado que Sober ha cometido este error, respecto de la *aparente paradoja*, en su defensa de la tesis de la prioridad evidencial del ancestro común y de la prioridad causal de la selección natural en la explicación darwiniana (Sober 2011). Sober no advierte que la aparente paradoja refuta el principio, que atribuye Darwin, según el cual hay una relación evidencial, casi exclusiva, entre la identificación de caracteres vestigiales y la clasificación genealógica<sup>5</sup>. Pero no se trata aquí de una cuestión exclusivamente histórica. La falta de atención a la *aparente paradoja* también está conectada con una incompreensión de la naturaleza pluralista de la explicación evolucionista que ha derivado en lo que se ha denunciado como el *endurecimiento* del enfoque adaptacionista en la Síntesis Moderna (Gould & Lewontin 1979, Gould 2002) y que en nuestros días se refleja aún en la falta de comprensión de la función causal de los fenómenos que describen conceptos tales como el de inercia filogenética. Esta ley, en la teoría de Darwin, tal como se muestra en la *aparente paradoja*, constituye el principio de explicación homológica que cumple una función no solo semántica como pretende Samir Okasha (2002), en el sentido de determinar exclusivamente la extensión de los conceptos de los distintos taxa a través del principio según el cual aquellos caracteres que se presentan como analógicos cuando se comparan con grupos externos, deben ser entendidos como homológicos cuando se estrecha el grupo de comparación; cumple también una función causal, pues el principio de explicación homológica hace lo que la tesis no distributiva de la selección natural no puede hacer: explica causalmente los rasgos de los organismos individuales. Por ello, he tratado de mostrar que hay una conexión argumentativa entre el principio de explicación homológica y la tesis negativa de la selección natural.

## Bibliografía

- Brooks, D.R. (2011), "The Mastodon in the Room: How Darwinian is Neo-Darwinism?", *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 42 (1): 82-88.
- Brooks, D.R. y D.A. McLennan (1991), *Phylogeny, Ecology, and Behavior: a Research Program in Comparative Biology*, Chicago: University of Chicago Press.
- Darwin, C. (1859), *On the Origin of Species*, Londres: John Murray.
- Darwin, C. (2010), *El origen de las especies* (trad. de Aníbal Froufe de la sexta edición), Madrid: Edaf.
- Ereshefsky, M. (2009), "Homology: Integrating Phylogeny and Development", *Biological Theory* 4 (3): 225-229.
- Ereshefsky, M. (2012), "Homology Thinking", *Biology and Philosophy* 27: 381-400.
- Forber, P. (2005), "On the Explanatory Roles of Natural Selection", *Biology and Philosophy* 20: 329-342.
- Goodwin, B. (1994), *How the Leopard Changed Its Spots. The Evolution of Complexity*, Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Gould, S.J. (2002), *The Structure of Evolutionary Theory*, Cambridge, MA: The Belknap Press of Harvard University Press.
- Gould, S.J. y R. Lewontin (1979), "The Spandrels of San Marco and the Panglossian Paradigm: A Critique of the Adaptationist Programme", *Proceedings of the Royal Society of London* B205 (1161): 581-598.
- Griffiths, P. (1999), "Squaring the Circle: Natural Kinds with Historical Essences", en Wilson, R. (ed.), *Species. New Interdisciplinary Essays*. Cambridge, MA: The MIT Press, pp. 209-228.
- Hall, B. (2003), "Descent with Modification: the Unity Underlying Homology and Homoplasy as Seen Through an Analysis of Development and Evolution", *Biological Review* 78: 409-433.
- Hall, B. (2007), "Homoplasy and Homology: Dichotomy or Continuum?", *Journal of Human Evolution* 52: 473-479.
- Helgeson, C. (2013), "What Selection Can and Cannot Explain: A Reply to Nanay's Critique of Sober", *Philosophy of Science* 80 (1): 155-159.

<sup>5</sup> Para el desarrollo de ese argumento véase Torres (2014).

- Lewontin, R. (1983), "Darwin's Revolution", *The New York Review of Books* 30: 21-27.
- Losos, J.B. (2011), "Convergence, Adaptation, and Constraint", *Evolution* 65-7: 1827-1840.
- Martínez, M. y A. Moya (2011), "Natural Selection and Multi-Level Causation", *Philosophy and Theory in Biology* 3: 1-14.
- Martínez, M. y A. Moya (2009), "Selección natural, creatividad y causalidad", *Teorema. Revista internacional de filosofía* 28 (2): 71-94.
- Mayr, E. (1982), *The Growth of Biological Thought. Diversity, Evolution, and Inheritance*, Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Müller, G. y S.A. Newman (eds.) (2003), *Origination of Organismal Form. Beyond the Gene in Developmental and Evolutionary Biology*, Cambridge, MA: The MIT Press.
- Neander, K. (1988), "Discussion: What Does Natural Selection Explain? Correction to Sober", *Philosophy of Science* 55: 422-426.
- Okasha, S. (2002), "Darwinian Metaphysics: Species and The Question of Essentialism", *Synthese* 131: 191-213.
- Okasha, S. (2009), "Causation in Biology", en Beebe, H., Hitchcock, Ch. y P. Menzies (eds.), *The Oxford Handbook of Causation*, Oxford: Oxford University Press, pp. 707-725.
- Pincheira-Donoso, D. (2012), *Selección y evolución adaptativa. Fundamentos teóricos y empíricos desde la perspectiva de los lagartos*, Santiago: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Pust, J. (2001), "Natural Selection Explanation and Origin Essentialism", *Canadian Journal of Philosophy* 31(2): 201-220.
- Razeto-Barry, P. y R. Frick (2011), "Probabilistic Causation and The Explanatory Role of Natural Selection", *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, 42(3): 344-55.
- Reeve, H.K. y P.W. Sherman (2001). "Optimality and Phylogeny: A Critique of Current Thought", en Orzack, S.H. y E. Sober (eds.), *Adaptationism and Optimality*, New York: Cambridge University Press, pp. 64-113.
- Ridley, M. (1986), *Evolution and Classification. The Reformation of Cladism*, London and New York: Longman.
- Shanahan, T. (2011), "Phylogenetic Inertia and Darwin's Higher Law", *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 42: 60-68.
- Sober, E. (1984), *The Nature of Selection. Evolutionary Theory in Philosophical Focus*, Chicago: The University of Chicago Press.
- Sober, E. (1988), *Reconstructing the Past. Parsimony, Evolution, and Inference*, Cambridge, MA: The MIT Press.
- Sober, E. (1995), "Natural Selection and Distributive Explanation: A Reply to Neander", *British Journal for the Philosophy of Science* 46: 384-397.
- Sober, E. (2008), *Evidence and Evolution. The Logic Behind the Science*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Sober, E. (2011), *Did Darwin Write the Origin Backwards? Philosophical Essays on Darwin's Theory*, Nueva York: Prometheus Books.
- Sommer, R. (1999), "Convergence and The Interplay of Evolution and Development", *Evolution & Development* 1 (1): 8-10.
- Stegmann, U. (2010), "What Can Natural Selection Explain?", *Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 41: 61-66.
- Sterelny, K. y P. Griffiths (1999), *Sex and Death. An Introduction to Philosophy of Biology*, Chicago: The University of Chicago Press.
- Torres, J. (2014), "Causalidad y evidencia en la argumentación darwiniana", *Teorema. Revista internacional de filosofía* 33 (1): 57-66.
- Walsh, D.M. (2006), "The Scope of Selection: Sober and Neander on What Natural Selection Explains", *Australasian Journal of Philosophy* 76 (2): 250-264.
- Webster, G. y B. Goodwin (1996), *Form and Transformation. Generative and Relational Principles in Biology*, Cambridge: Cambridge University Press.



# Causalidade na física: repensando a controvérsia entre Schrödinger, Born e Bohm\*

Caroline Elisa Murr†

## Resumo

Em se tratando de causalidade na física, a versão mais conhecida do panorama geral da discussão entre Born, Bohm e Schrödinger é aquela em que Born a rejeita, Bohm a defende e Schrödinger não concorda com nenhum deles, embora não se consiga estabelecer claramente a sua posição. Neste trabalho, temos como objetivo compreender melhor essa controvérsia, tentando dissipar, embora acreditemos ser impossível de se eliminar, a nuvem que encobre esse debate. Para isso, faz-se necessário ir além das visões preestabelecidas e traçar um esboço mais fiel das ideias desses três físicos e filósofos. Teremos por base, além de alguns de seus próprios escritos, a análise de Ben-Menahem, filósofa que vem procurando esclarecer pontos mais obscuros na obra de Schrödinger. Ben-Menahem ressalta especialmente o fato de que a causalidade tinha papel secundário para a discordância entre Schrödinger e Born, ao contrário do que é comumente aceito. Além disso, veremos que cada um dos três físicos que aqui citamos tinha uma abordagem diferente da questão, convergindo, porém, em um aspecto importante: havia algum sentido em que se podia dizer que a causalidade fora mantida, mesmo depois do advento da física quântica. Bohm e Born elaboram para isso um esquema explicativo em que revelam, cada qual à sua maneira, as várias nuances em que a causalidade pode ser entendida. Esse processo incorpora inúmeras outras discussões, que podem enriquecer a maneira como se vê a história e o funcionamento da ciência, mais especificamente a física. Esperamos, a partir dessas reflexões, contribuir para um melhor entendimento das mudanças que ocorriam na prática científica e na maneira de pensar dos cientistas no início do século XX. O próprio questionamento de uma espécie de dogma filosófico como a causalidade pode ser visto como um impacto, na filosofia, de resultados que abalavam alicerces até então tidos como seguros na física. Mais do que isso, a maneira com que os cientistas passaram a encarar e refletir sobre esses resultados foi particularmente impactante, deixando clara a necessidade de revisão de certos conceitos na filosofia, em especial da ciência.

## 1. Introdução

No início do século XX, a física tomava um rumo que fatalmente abalaria alguns de seus alicerces considerados até então como seguros. Ao aventurar-se pelo mundo subatômico, a ciência se deparava com resultados que pareciam estranhos ao raciocínio científico vigente. A presença crescente das probabilidades, a quantização, a superposição e a não-localidade são alguns dos aspectos diferenciados que representam mudanças trazidas por esse período revolucionário. O questionamento da causalidade, de maneira tão contundente por alguns físicos, fez parte de uma onda maior de reflexões sobre a matéria, a realidade, o objetivo da ciência, a relação epistemológica entre sujeito e objeto etc. Mas por que a causalidade, especificamente, foi questionada?

No início do desenvolvimento da física quântica,<sup>1</sup> alguns experimentos apresentavam resultados um tanto surpreendentes, os quais levavam a adaptações das teorias em vigor. O inverso

---

\* Este trabalho foi desenvolvido durante o doutorado em Filosofia na UFSC, com o apoio da FAPESC.

† Universidade Federal do Paraná (UFPR). Para contatar ao autor, por favor, escreva a: caromurr@gmail.com.

<sup>1</sup> Neste texto, mencionaremos a expressão *física quântica*, dando a ela um caráter mais geral, envolvendo formalismos, interpretações, experimentos, etc., tencionando aludir à parte da Física Atômica desenvolvida a partir

também ocorria: por força de adequações teóricas, certos resultados desconcertantes eram esperados, a fim de manter a harmonia da teoria. O esforço era grande em ambos os sentidos, tanto para se adequar teoria a experimentos quanto vice-versa. Nesses esforços estavam envolvidos, entre outros, os cientistas dos quais iremos falar neste texto.

Tanto Schrödinger quanto Born e Bohm já mesclavam, desde os seus primeiros artigos, o desenvolvimento dos aspectos técnicos da física teórica e experimental com reflexões filosóficas. Nos três casos, essas reflexões foram, com o passar dos anos, tornando-se gradativamente mais profundas e mais elaboradas, passando a constituir parte fundamental da obra desses três cientistas. Especialmente no caso de Erwin Schrödinger, este dedicou boa parte de seus escritos a esboçar um projeto epistemológico, segundo Bitbol, filósofo francês estudioso do pensamento schrödingeriano. Além da presença da epistemologia, pode-se afirmar que a obra de Schrödinger revela também aspectos ontológicos, metafísicos e até mesmo místicos, sendo importante enxergá-los em um todo coeso, pois tais perspectivas se complementam em sua obra filosófica.

Focando especialmente a obra de Schrödinger, iniciaremos expondo algumas de suas ideias sobre a causalidade. Ao apresentarmos as visões de Born e Bohm, estas virão pinceladas de comentários que levam em conta a sua relação com a abordagem schrödingeriana, uma vez que o objetivo principal dessa análise é compreender melhor não só o debate em que Erwin estava inserido, mas a sua participação em tal discussão. Além disso, traremos os comentários de Bitbol e Ben-Menahem, com respeito à controvérsia entre Schrödinger e Born, a fim de enriquecer essa análise.

## 2. Schrödinger: separando ciência e cotidiano

Dentre os muitos temas tratados por Schrödinger, em seus escritos de cunho filosófico, está a causalidade. Ele trata esse conceito como uma *expectativa*: a de que, se certas inferências foram úteis no passado, continuarão a ter a mesma utilidade no futuro. Ele usa a palavra *comportamento* referindo-se ao ato de esperar a repetição de um acontecimento inferido, afirmando que esse modo de agir foi favorável evolutivamente à humanidade (Schrödinger 1935, p. 34). Para responder à questão tão em voga na época – devemos rejeitar a causalidade? – ele somente insinua: “o mero fato de que nós, seres humanos, sobrevivemos para levantar a questão, em certo sentido indica a resposta requerida!” (Schrödinger 1935, p. 34).<sup>2</sup>

Para Schrödinger, a causalidade não deveria ser rejeitada, pois esta ajudara o ser humano a chegar até o ponto em que se podia questionar a sua utilidade. No entanto, ele considerava o uso do princípio da causalidade como fundamental na vida cotidiana, tal como o princípio da objetivação (Schrödinger [1956] 1992, p. 131), não havendo obrigatoriedade em se manter esse o princípio na física. Tampouco havia razão para surpresa diante dos novos resultados, que para ele não eram tão novos assim, conforme veremos mais adiante.

Para Schrödinger, a expectativa humana quanto à causalidade em nível macroscópico seria a explicação para a admiração diante dos resultados dos experimentos quânticos (Schrödinger [1951] 1992, p. 48). Com isso, ele dá a entender que a atitude requerida pela ciência nem sempre é a mesma requerida na vida prática. Enquanto no cotidiano é fundamental confiar na expectativa da causalidade, na prática científica não precisa ser assim. Ao que parece, Erwin considerava que até então as atitudes da vida cotidiana e da ciência eram confundidas. A discussão sobre essa questão indicava, segundo ele “uma fase em nossa mudança de atitude intelectual” (Schrödinger 1935, p. 42).

---

do estabelecimento do *quantum*. Quando mencionarmos *mecânica quântica*, estaremos nos referindo somente à mecânica quântica não-relativística, enquanto teoria, envolvendo ou não uma interpretação.

<sup>2</sup> A tradução para o português de todos os trechos citados é de nossa autoria, exceto para as passagens citadas de Schrödinger [1956], em que foi utilizada a tradução referenciada.

O problema seria, então, ter a mesma atitude na vida cotidiana e na prática científica, empregando nesta os princípios confiáveis naquela. Isso nem sempre funciona, como ele tentou mostrar com o famoso experimento de pensamento do *Gato de Schrödinger*. Por essa razão, ele clama também a separação da discussão da causalidade e do determinismo. A questão da causalidade estaria sempre envolvida com a vida cotidiana, enquanto que o determinismo seria um princípio específico da física, aplicável, portanto, aos seus objetos unicamente.

Pode-se submeter um sistema físico à questão acerca de seu determinismo, perguntando-se: “dado qualquer sistema físico, é possível, pelo menos em teoria, fazer uma predição exata do seu comportamento futuro, desde que sua natureza e condição em dado ponto do tempo sejam exatamente conhecidos?” (Schrödinger 1932, p. 43). Se a resposta for *sim*, o sistema será considerado determinista, ou seja, permite a predição exata, pelo menos teoricamente, de uma condição futura, dada uma condição inicial bem definida.

Deve-se atentar para duas expressões na frase de Schrödinger: *exata e bem definida*. De acordo com essa maneira de entender o determinismo, tanto no caso em que a condição inicial não for bem definida, quanto naquele em que a predição não for exata, não se pode classificar um sistema físico como *determinista*. Ele será, então, classificado como *indeterminista*.

No caso da física quântica, não havia sombra de dúvida: nem a condição inicial podia ser estabelecida de modo preciso, nem as predições eram exatas; portanto, todo sistema sujeito às suas leis seria *indeterminista*. Não se tratava mais dos mesmos objetos: “o objeto a que a mecânica quântica se refere [...] não é um ponto material no sentido antigo da palavra” (Schrödinger 1932, p. 58). Segundo Schrödinger, na mecânica quântica, mesmo que uma operação seja repetida, de maneira exatamente igual, muitas vezes, o resultado pode ainda assim variar. Porém, pode-se acompanhar a frequência com que os diferentes resultados possíveis ocorrem, repetindo-se a operação um milhão de vezes, por exemplo. A mesma frequência se repetirá no segundo milhão de repetições (Schrödinger 1932, pp. 47-48).

Schrödinger não dedica nenhuma obra específica ao tema da causalidade, como fizeram Born e Bohm. Ben-Menahem caracteriza a relação dele com o problema: uma “luta com a causalidade” (Ben-Menahem 1992, título), parecendo que ele sempre se deparava com essa discussão, sem no entanto ter conseguido enfrentá-la face a face.

### 3. Born: coexistência de causa e acaso

Se Schrödinger não dedicou muitas páginas ao tema da causalidade, Max Born o fez em *Natural Philosophy of Cause and Chance* (1949). A exposição de Born nesse texto revela um ponto de vista diferente do de Schrödinger, com resultado também um pouco diverso, mas que guarda algumas semelhanças, as quais pretendemos apontar.

Assim como Schrödinger, Born faz uma distinção entre as atitudes da vida prática e da ciência. Ele concebe a causalidade como uma *dependência* de coisas reais da natureza umas nas outras (Born 1949, p. 7), sendo, ainda, um tipo específico de dependência, proveniente das inferências por indução. A estas ele atribui o *status* de intuições, aplicadas à vida cotidiana, sendo, portanto, de caráter mais geral que a causalidade. Diferentemente de Schrödinger, ele admite o papel da causalidade na ciência, dizendo que, para o estabelecimento de suas leis causais, é impossível não se recorrer à metafísica (Born 1949, p. 17). Para Born, toda dependência causal encontrada pelo ser humano resulta da nossa capacidade, ou intuição, de fazer inferências por indução. Estas, por sua vez, teriam caráter metafísico, no sentido de que pertencem a um domínio que está além da física, ou seja, o da vida cotidiana.

Assim como Schrödinger, Born também diferencia causalidade e determinismo (Born 1949, p. 8). No determinismo, do conhecimento de um certo evento A, se prediz um certo evento B, supondo-se, apenas, dependência temporal e espacial. Já na causalidade, para ele, há dependência

atemporal e não-espacial. Isso ficará mais claro adiante, quando ele explica em que sentido pode-se considerar que a causalidade fora introduzida, e em que sentido ela fora rejeitada, com o desenvolvimento da física quântica.

Segundo Born, dois princípios são fundamentais para se identificar a causalidade: o da *antecedência*, segundo o qual a causa deve vir antes do efeito, e o da *contiguidade*, segundo o qual causa e efeito devem manter uma ligação espacial, ainda que indireta (Born 1949, p. 9). A causalidade, assim entendida, seria plena justamente com a consolidação da mecânica quântica, pois Born afirma que:

a introdução de acaso e probabilidades nas leis do movimento remove a reversibilidade inerente a elas; ou, em outras palavras, leva a uma concepção de tempo que tem uma direção definida e que satisfaz o princípio da antecedência e a relação causa-efeito (Born 1949, p. 71, tradução nossa).

Ele também afirma que, com a igualdade entre matéria e energia estabelecida por Einstein, consolidou-se a vitória da contiguidade, pois a partir daí tudo podia ser considerado como ligado através de forças (Born 1949, p. 74).

É importante lembrar que tanto Born quanto Schrödinger rejeitavam a ideia de que era a física quântica que estava trazendo as novidades nesse sentido, sendo que este afirmava que a estatística já fora introduzida 50 anos antes das inovações quânticas (Schrödinger 1932, pp. 51-52). Born reforça essa ideia recontando com detalhes a história da introdução das probabilidades inicialmente na termodinâmica, passando pelo estudo dos gases, até o movimento browniano (Born 1949, pp. 44-62).

Se desse ponto de vista a causalidade era mantida, por outro lado uma interpretação dela fora, sim, abandonada: o determinismo (Born 1949, p. 102). Ou seja, a pesquisa científica como busca da descoberta de dependência causal continuava em vigor, mas os objetos de observação já não eram os mesmos, já não se comportavam da mesma forma e era preciso ter para com eles uma abordagem diferente.

Lembramos que Schrödinger defendia ideia semelhante, segundo a qual o determinismo era insustentável na física quântica, já que nem a posição inicial nem as previsões sobre uma partícula podiam ser bem definidas no contexto quântico. Segundo Born: “Nós desistimos da pretensão de saber o paradeiro de uma partícula, e declaramos, francamente, a nossa ignorância” (Born 1949, p. 67). Essa parte da física tem como único objeto de observação viável, na interpretação de Born, as probabilidades de eventos ocorrerem.

Apesar dessa semelhança, há um ponto de discordância, indicado por Ben-Menahem, quanto à maneira de ver o indeterminismo no mundo subatômico por parte de Schrödinger e Born. Segundo a autora, a interpretação de Born para a função de onda de Schrödinger fez perder-se novamente a continuidade que este procurara resgatar (Ben-Menahem 1992, p. 325). Ela está se referindo ao colapso implícito nessa interpretação, com o qual Schrödinger não concordava. Ou seja, o problema de Schrödinger com a interpretação de Born não era exatamente o uso das probabilidades, mas a perda da continuidade.

Apesar dos comentários de Schrödinger dizerem o contrário,<sup>3</sup> Born faz conviverem bem acaso e causa na ciência. A confirmação disso vem em sua declaração de que a causalidade é uma das crenças fundamentais da física (Born 1949, p. 124). A crença em se encontrar dependência física a cada situação observável com que o cientista se depara seria tão importante quanto o que ele chama de princípio da probabilidade. Aplicar probabilidades envolve a crença de que as previsões de cálculos estatísticos são confiáveis, no sentido de que funcionam quando se trata das coisas reais. Esse princípio, segundo ele, é metafísico, assim como o da indução (Born 1949, p. 124). Mas ele parece não se importar em admitir que uma ciência exata como a física seja baseada em crenças (Born 1949, p. 123). Ele termina o livro com uma frase que justifica essa afirmação:

<sup>3</sup> Segundo Bitbol, Schrödinger não concordaria com a interpretação estatística de Born, pois esta rejeitaria a causalidade, ignorando sua utilidade em nível macroscópico e não tendo para ela um bom substituto nesse caso (Bitbol 1996, p. 17).

Há dois tipos questionáveis de crenças; aqueles que acreditam no inacreditável e aqueles que acreditam que ‘acreditar’ deve ser descartado e substituído pelo método científico. Entre esses dois extremos à direita e à esquerda, há escopo suficiente para acreditar no razoável e raciocinar por crenças sensatas. (Born 1949, p. 209, tradução nossa)

#### 4. Bohm: infinitismo da natureza

“Tudo vem de algum lugar e dá origem a outras coisas” (Bohm 1957, p. 1). Essa é uma das primeiras frases do livro *Causality and Chance in Modern Physics* (1957), do célebre defensor de uma interpretação causal da mecânica quântica, David Bohm. Assim como Schrödinger e Born, Bohm adotou um domínio mais geral para a causalidade, dizendo que: “As relações necessárias entre os objetos, eventos, condições e outras coisas a um tempo dado e aquelas em tempos posteriores são então denominadas ‘leis causais’” (Bohm 1957, p. 2). Mais do que um princípio a ser aplicado na vida cotidiana ou na ciência, a causalidade fazia, para ele, parte das relações entre as coisas na própria natureza.

Mais uma peculiaridade da abordagem de Bohm é que ele separa simples associações regulares de associações causais, pois considera que mudanças nas causas resultam em mudanças nos efeitos (Bohm 1957, p. 6). Por exemplo, dizer que as folhas caírem das árvores é a causa do inverno é uma simples associação pois, se em um determinado outono as folhas não caírem, por algum motivo, o inverno se seguirá mesmo assim, já que trata-se de uma estação do ano estabelecida convencionalmente. Já a afirmação de que a queda das folhas é efeito da queda de temperatura é uma associação causal, nesse sentido, pois se a temperatura não cair as folhas também não cairão.

Assemelhando-se um pouco a Born, no sentido de admitir a importância tanto da causalidade quanto do acaso para a ciência, Bohm elabora um esquema explicativo um pouco mais detalhado para justificar a presença de cada um, especialmente do acaso, no que ele chama de *entendimento racional da natureza*. Ele afirma: “O modo de ser da matéria no domínio macroscópico depende do cancelamento das flutuações do acaso ocorridas no domínio microscópico” (Bohm 1957, p. 24). Para Bohm, tendo-se um período relativamente grande de tempo ou um agregado suficientemente grande de matéria, o acaso dará lugar ao certo e previsível. No entanto, isso só ocorrerá se entrar em curso um processo irreversível, o qual retira o sistema da influência do acaso (Bohm 1957, p. 25). Pode-se dizer que o acaso seria, então, importante por misturar as coisas, permitindo que novos caminhos sejam tomados pela natureza.

É interessante notar que essa ideia de Bohm permite que ele mantenha um realismo científico puro, ao contrário de Schrödinger, que adota um realismo científico característico. Schrödinger parece não aceitar que os objetos do cotidiano sejam de fato constituídos pelas partículas, átomos e moléculas descritos pela ciência. Da mesma forma que era problemático, para ele, pensar que indivíduos podiam ser constituídos de partes sem individualidade (Schrödinger [1949] 1995, p. 98), era questionável que coisas submetidas a leis causais pudessem ser formadas de partes que são, por sua vez, regidas por leis indeterministas. Para Bohm, esse problema não existia, pois o número de partículas, quando tratadas em aglomerado, era suficientemente grande para induzir a mudança para a situação causal.

Como defensor da causalidade, Bohm dizia que os físicos envolveram-se em uma confusão, no decorrer da história, que os levou a negá-la em nível atômico. Segundo ele, a causalidade vinha sendo identificada com o *mecanicismo determinista* (Bohm 1957, p. 34), mas teria havido uma tentativa de adaptação dessa atitude, de determinista para indeterminista, mantendo, no entanto, o mecanicismo, para o qual tudo seria redutível a resultados da aplicação de leis quantitativas (Bohm 1957, p. 37). O mecanicismo indeterminista, por sua vez, considerava que as leis indeterministas eram mais fundamentais que as deterministas, sendo que estas podiam ser derivadas daquelas (Bohm 1957, p. 64). Em outras palavras, não era de fato preciso pensar em termos de leis deterministas, já que elas eram descartáveis, para essa corrente.

Bohm discordava desse ponto de vista e não aceitava o mecanicismo. Segundo a sua posição, que ele denominou de *infinitismo da natureza*, era necessário que a ciência buscasse conhecer sempre níveis mais e mais profundos da matéria (Bohm 1957, p. 144). Para ele, sua posição é coerente com as mudanças qualitativas que ocorrem no modo de ser das coisas, enquanto que o mecanicismo, que só aceita descrições quantitativas, seria incapaz de explicar essas alterações. Além disso, ao longo dessa investigação, a causalidade poderia ser encontrada atuando em algum nível, ainda longínquo para o conhecimento até então alcançado pela ciência, o que constituía motivo suficiente para não abandoná-la.

## 5. Considerações finais

Schrödinger, Born e Bohm eram físicos, mas nem por isso as suas reflexões sobre a causalidade eram restritas aos detalhes técnicos de seus trabalhos ou deixavam de lado aspectos filosóficos e históricos do tema. Após as análises de seus textos, pode-se perceber que a questão levantada pela controvérsia da causalidade ia muito além de simplesmente aceitá-la ou rejeitá-la. Os três autores aqui tratados procuraram expandir esse debate, explorando a relação desse princípio com a vida cotidiana, seu papel na ciência e certas possibilidades ainda não exploradas. Eles revelaram, principalmente, que era preciso qualificar o discurso; mais que isso, era preciso repensar aquilo que alguns tão prontamente pretendiam rejeitar.

Quando vemos que nenhum deles negava, de fato, a causalidade, mas todos a consideravam útil em algum sentido, fica nítida a planificação que comumente é feita de suas ideias, fazendo com que se encaixem em estereótipos e ignorando pontos sutis, mas fundamentais, em suas obras. Um desses pontos é uma possível aproximação entre as ideias de Schrödinger e Born, ambos considerando que atitudes distintas eram necessárias na vida cotidiana e na prática científica. A diferenciação para com o determinismo é outro ponto comum, compartilhado também por Bohm. Ele, porém, não procurava manter distantes os objetos da vida cotidiana e da prática científica, identificando-os e englobando-os em um só domínio: o da natureza.

As divergências também aparecem, podendo ser vistas como resultado da complexidade do pensamento de cada um deles. Por exemplo, Born, ao contrário de Schrödinger, sustenta que a causalidade surge na física com a introdução das probabilidades. O objetivo da atividade científica passa a ser, para ele, apresentar probabilidades de eventos, do que Schrödinger discordaria. Por sua vez, a divergência entre Schrödinger e Bohm quanto a admitir a causalidade no nível subatômico remontava também às suas crenças mais fundamentais; no caso de Bohm, o seu infinitismo da natureza. Cada qual estava comprometido com um núcleo de ideias que não gostaria de abandonar e, por isso, precisava adaptar alguns detalhes no restante do seu pensamento.

Mais importante do que estabelecer as posições desses três físicos, no entanto, é perceber o quanto essa discussão abalou crenças até então seguras. Não pretendemos aqui examinar quais são os melhores argumentos ou quem teria vencido esse debate. Nosso intuito, de um ponto de vista filosófico, é enfatizar a mobilidade dos conceitos, como no caso da causalidade, que precisou ser revista no contexto da física quântica. Além disso, é importante salientar a riqueza das posições filosóficas desses físicos, que refletiam sobre o seu trabalho para além dos laboratórios. Schrödinger, Born e Bohm são exemplos de cientistas que não deixaram nenhuma barreira deter a sua criatividade, não se deixaram intimidar por tradições e não hesitaram em transgredir regras a fim de contribuir para um quadro que estará sempre inacabado, mas nos será sempre valioso: o do conhecimento humano.

---

## Referências bibliográficas

Ben-Menahem, Y. (1992), "Struggling with Causality: Schrödinger's Case", in Bitbol, M. e O. Darrigol (eds.), *Erwin*

- Schrödinger: Philosophy and the Birth of Quantum Mechanics*, Paris: Editions Frontières, pp. 25-40.
- Bitbol, M. (1996), *Schrödinger's Philosophy of Quantum Mechanics*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Bohm, D. (1957), *Causality and Chance in Modern Physics*, London: Routledge & K. Paul.
- Born, M. (1949), *Natural Philosophy of Cause and Chance*, London: Oxford University Press.
- Schrödinger, E. ([1932] 1935), "Indeterminism in Physics", in *Science and the Human Temperament* (trad. do alemão por W.H. Johnston), London: George Allen & Unwin Ltd., pp. 43-65.
- Schrödinger, E. (1935), "The Law of Chance", in *Science and the Human Temperament* (trad. do alemão por J. Murphy), London: George Allen & Unwin Ltd., pp. 33-42.
- Schrödinger, E. ([1949] 1995), "Notes for 1949 Seminar", in Bitbol, M. (org.), *The Interpretation of Quantum Mechanics: Dublin Seminars (1949-1955) and Other Unpublished Essays*, Woodbridge: Ox Bow Press, pp. 97-107.
- Schrödinger, E. ([1951] 1992), "Science et Humanisme: la Physique de Notre Temps", in Bitbol, M. (org.), *Physique Quantique et Representation du Monde* (trad. do inglês por J. Ladrière), La Flèche: Éditions du Seuil, pp. 21-87.
- Schrödinger, E. ([1956] 1992), "Mente e Matéria", in *O que é Vida? O Aspecto Físico da Célula Viva seguido de Mente e Matéria e Fragmentos Autobiográficos* (trad. do inglês por J.P. Assis e V.Y.K.P. Assis), Cambridge e São Paulo: Cambridge University Press e Editora Unesp, pp. 107-174.



# Experimentación en economía sobre racionalidad humana: el contexto del dilema del viajero

Rodrigo Moro<sup>†</sup>  
Esteban Freidin<sup>†</sup>

## Resumen

En el área de Economía Conductual, se realizan estudios experimentales donde a los participantes se les presenta cierta situación y se les pide que tomen una decisión. En estos contextos se suelen utilizar los datos para sacar conclusiones acerca de la racionalidad de los participantes. Sin embargo, dichas conclusiones asumen un supuesto importante, a saber, que los participantes interpretan de manera adecuada la situación en cuestión. El problema es que se han postulado ciertas objeciones contra dicho supuesto. En este artículo nos enfocaremos en un contexto en particular, a saber, el juego denominado “dilema del viajero”. Reportaremos los resultados de un estudio experimental donde mostramos que el supuesto de interpretación adecuada por parte de los participantes no se cumple en el contexto objeto de estudio. Finalmente, analizaremos las consecuencias de nuestros resultados para el tópico de la racionalidad humana.

## 1. Introducción

Una de las herramientas más usadas para analizar decisiones sociales es la Teoría de Juegos. La Teoría de Juegos es una teoría matemática surgida primariamente con la mira en aplicaciones en Economía pero que hoy en día se la usa en casi todas las ciencias sociales y también en biología. Sirve para modelar situaciones interactivas, es decir, situaciones donde hay dos o más agentes tomando decisiones y el resultado final depende de la combinación de decisiones individuales.

Usualmente, cuando los economistas conductuales ponen a prueba el modelado de cierta situación, se suele asumir que los agentes interpretan de manera adecuada la situación en cuestión. Así, los participantes de estos experimentos reciben descripciones de situaciones interactivas y se registran cuáles son sus decisiones. Dado que la Teoría de Juegos asume la racionalidad de los agentes, la interpretación de los datos suele involucrar una evaluación de la racionalidad de los participantes (Colman 2003).

Sin embargo, la literatura ha ofrecido algunos indicios de que el supuesto de interpretación adecuada de la situación por parte de los participantes podría ser incorrecto. Zhong y colaboradores (2008), por ejemplo, en el contexto del dilema del prisionero, mostraron que colocarle títulos al juego o a las opciones influye substancialmente en las decisiones de los participantes, cuando se suponía que sólo los pagos tenían influencia. En teoría, la interpretación del juego debería ser la misma con o sin etiquetas, pero eso no parece estar respaldado empíricamente.

Devetag y Warglien (2008), por su parte, mostraron evidencia más concreta de que los participantes en verdad tienen dificultades para comprender la estructura del juego que se les presenta. Un punto interesante de ese artículo es que los autores muestran que las personas no tienen mayores problemas para entender situaciones de coordinación o rivalidad total, pero sí juegos mixtos, donde hay rivalidad dentro de un ámbito cooperativo. Pero el método que usaron

---

<sup>†</sup> Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales del Sur (UNS-CONICET). Para contactar a los autores, por favor, escribir a: [rmoro@uns.edu.ar](mailto:rmoro@uns.edu.ar) y [efredin@criba.edu.ar](mailto:efredin@criba.edu.ar).

no resulta del todo convincente. Para simplificar, se usaron juegos de dos personas, lo cual es completamente razonable. Devetag y Warglien se basaron en el postulado que en un juego determinado cada jugador siempre tiene un orden de preferencias sobre los resultados. Así, habría dos órdenes de preferencias (uno por jugador) que podrían ser completamente coincidentes, completamente opuestos o ni lo uno ni lo otro. El planteo parece adecuado pero la manera en que testearon el entendimiento de este punto no es demasiado transparente: se les daba a los participantes un conjunto de cuadrados que debían ordenar según dos dimensiones diferentes, color (o más bien, tonalidad) y tamaño. Los investigadores reportaron que especialmente en juegos mixtos los participantes tendían a fallar en dichos ordenamientos. Pero nótese que los participantes nunca eran informados sobre la situación de juego en su conjunto. Por lo tanto, este estudio no parece decir mucho acerca del entendimiento global de la situación de juego por parte de los participantes.

Así, ambos artículos son muy sugestivos pero no presentan una prueba directa de error en interpretación. Nuestro artículo se enfoca en este problema pero en un contexto en particular: el juego conocido como “dilema del viajero” (daremos una descripción detallada de dicho juego en la sección 2). Ariel Rubinstein (2006, 2007) realizó el único estudio inter-cultural sobre dicho juego, abarcando más de 1000 participantes de varias universidades en distintos países del mundo. Sin embargo, el juego es de tipo mixto y la versión utilizada por Rubinstein no parece del todo clara. Adicionalmente, Rubinstein no chequeó cómo de hecho los participantes interpretaban la situación en cuestión.

El objetivo de este trabajo consiste en reportar un estudio experimental donde mostramos que el supuesto de interpretación adecuada por parte de los participantes no se cumple en este contexto (sección 3). Concluimos analizando las consecuencias de nuestros resultados para el tópico de la racionalidad humana (sección 4).

## 2. El dilema del viajero

En su artículo de 1994, Kaushik Basu presenta el dilema del viajero (DV) como un desafío para la Teoría de Juegos. La versión utilizada por Rubinstein (2007) es como sigue:

- Imaginá que sos uno de los jugadores en el siguiente juego de dos personas:
- Cada jugador debe seleccionar una cantidad entre \$180 y \$300.
- A ambos jugadores se les paga la menor cantidad de las dos elegidas.
- Se transfieren \$5 del jugador que eligió la cantidad más alta al jugador que seleccionó la cantidad más baja.
- En el caso de que ambos jugadores hubiesen seleccionado la misma cantidad, entonces reciben esa cantidad y no se realizan transferencias.
- ¿Cuál es tu elección? \_\_\_\_\_

Aquí el único Equilibrio de Nash y único equilibrio racionalizable (conceptos solución de la Teoría de Juegos)<sup>1</sup> consiste en la elección conjunta del número más bajo del rango (i.e., 180-180 con los valores del ejemplo). Para verlo, nótese que la estrategia 299 domina débilmente a la estrategia 300, lo cual quiere decir que con 299 siempre se gana más o igual que con la estrategia 300, para cualquier opción que el otro elija. Si 300 es eliminada (parece sensato descartar estrategias dominadas), entonces 299 queda débilmente dominada por 298, y así siguiendo hasta 180 (la única estrategia que no es dominada). Así, la solución racional de acuerdo a Teoría de Juegos es que ambos jugadores jueguen el menor número posible.

---

<sup>1</sup> Un concepto solución es una regla formal que predice qué decisiones van a tomar en el juego los agentes racionales que estén participando. El ejemplo más famoso es el concepto de equilibrio de Nash, que predice que los jugadores van a arribar a resultados donde a ninguno de ellos le convenga desviarse unilateralmente.

Por otra parte, alega Basu (2007), aún para dos agentes completamente enfocados en su propia ganancia personal, parece sensato olvidarse de Teoría de Juegos, y jugar un número alto, esperando que el otro haga lo mismo. Para apoyar esta idea Basu ilustra el juego con la historia de dos viajeros que compran dos reliquias idénticas en una isla lejana y se rompen en el avión, camino de regreso. Así, un representante de la aerolínea, quien desconoce el valor de las reliquias, diseña el juego en cuestión para decidir cómo compensar a los viajeros. En el juego original planteado por Basu el rango de valores era de \$2 a \$100, con un premio-castigo de \$2. En este contexto parecería absurdo que ambos agentes, intentando maximizar su propia compensación, opten por elegir el valor 2, llevándose entonces \$2 cada uno, siendo que podrían llevarse algún valor cercano a \$100, es decir, unas 50 veces mayor. Así, argumenta Basu, la Teoría de Juegos no logra captar adecuadamente nuestras intuiciones sobre racionalidad en la toma de decisiones interactivas.

Ante este desafío, se pueden explorar diferentes aspectos: 1) ¿es posible modificar la Teoría de Juegos Standard de manera tal de captar esta idea intuitiva de racionalidad? (Brandenburger 2007, Gintis 2009, Halpern & Pass 2012); y 2) ¿cómo juega de hecho la gente este juego y por qué elige lo que elige? (Capra *et al.* 1999, Cabrera *et al.* 2007, Rubinstein 2006, 2007, Basu *et al.*, 2011, Brañas-Garza *et al.* 2011). Este último punto es el que estamos investigando. Nuevamente, dentro de este punto, nos enfocamos en las representaciones del juego por parte de los participantes.

### 3. Experimento: investigando interpretaciones alternativas del dilema del viajero

La pregunta fundamental que investigamos es, entonces, la siguiente: ¿cómo interpretan los participantes el dilema del viajero? Claramente, la parte más difícil de entender es la que trata de situaciones donde los números elegidos son diferentes. Además de la versión del problema de Rubinstein citada anteriormente, nosotros usamos una versión que, postulamos, mejoraría el entendimiento de dicha parte. Esta segunda versión es presentada a continuación:

- Imaginá que vos y otro participante van a jugar a un juego con las siguientes reglas:
- Vos tenés que elegir un solo valor que se puede encontrar entre \$180 y \$300 (los extremos pueden elegirse también).
- El otro participante hace lo mismo, pero no se permite ningún tipo de comunicación entre vos y la otra persona, es decir, que vos no sabés que valor eligió el otro participante.
- En el caso de que el otro participante y vos elijan cantidades distintas, se paga considerando sólo la MENOR de las dos cantidades elegidas: Al jugador que eligió la cantidad menor se le paga en total esa cantidad MENOR MÁS \$5. Al jugador que eligió la cantidad mayor se le paga en total la cantidad MENOR MENOS \$5.
- En el caso de que el otro participante y vos elijan la misma cantidad, se les paga exactamente esa cantidad a ambos.
- Si jugases este juego por dinero real ¿Qué valor elegirías? \_\_\_\_\_

La clave del experimento, sin embargo, yacía en descubrir la manera en que los participantes interpretaban la parte problemática. Para ello, después que tomaran la decisión de juego, se les presentó la siguiente pregunta:

- Juan y Pedro participaron de este juego. ¿Qué cantidad de dinero recibió cada participante dadas las reglas de juego antes descriptas, si...
- Juan eligió \$230 y Pedro eligió \$250?  
Juan recibió: \$\_\_\_\_\_ y Pedro recibió: \$\_\_\_\_\_
- Juan eligió \$220 y Pedro eligió \$180?  
Juan recibió: \$\_\_\_\_\_ y Pedro recibió: \$\_\_\_\_\_

- Juan eligió \$300 y Pedro eligió \$250?  
Juan recibió: \$\_\_\_\_\_ y Pedro recibió: \$\_\_\_\_\_

Estas preguntas nos permitieron ver si los participantes entendían el DV de manera estándar. Y si no era así, podíamos ver si el participante usaba sistemáticamente una regla alternativa de pago. En el mismo experimento, les pedimos a los participantes hacer otras tareas, por ejemplo, que listaran todos los pensamientos que pasaron por su mente mientras tomaban la decisión.

El experimento fue realizado en el segundo semestre de 2008 como requerimiento de cursada con 222 participantes, siendo estos estudiantes de grado de Administración de Empresas y de Economía de la Universidad Nacional del Sur, de Psicología del Instituto Juan XXIII y alumnos del último año del Colegio Normal y de la Escuela de Comercio, todas instituciones de Bahía Blanca, Argentina. Cada participante fue asignado al azar a una condición donde o bien recibió nuestra versión o bien la versión de Rubinstein del dilema.

Para evaluar las respuestas a las preguntas de interpretación usamos el siguiente criterio. Se clasificó un participante como entendiendo el problema de manera estándar si respondía correctamente las 3 preguntas. Usando este criterio, sólo el 34% en la condición de la versión Rubinstein y 44% en la condición con nuestra versión entendieron correctamente el juego (siendo esta diferencia estadísticamente significativa, Chi-square test,  $\chi_1 = 4.61$ ,  $P < 0.05$ ). Así, aunque nuestra versión mejoró significativamente el entendimiento del juego, los porcentajes de ambas condiciones parecen aún muy bajos.

Adicionalmente las respuestas a las preguntas de interpretación nos permitieron averiguar cómo los participantes entendían de hecho el problema (véase figura 1). Encontramos una gran variedad de respuestas. Sin embargo, muchos de los participantes que fallaron al responder las preguntas de interpretación no parecían tener una interpretación alternativa per se del juego. Miembros de este grupo (55 participantes, 25%) respondieron a las preguntas inconsistentemente, es decir, o bien parecían aplicar distintas reglas para los distintos ítems o bien no parecían estar aplicando ninguna regla en particular.

Pero otros participantes parecían haber jugado el juego usando sistemáticamente una regla alternativa de pagos. Consideramos una función de pago como una regla alternativa de pagos si al menos un participante la había usado consistentemente en las tres preguntas de interpretación.

En total, encontramos 16 reglas alternativas de pagos. Parece razonable pensar que una persona que contesta sistemáticamente usando una regla alternativa de pagos simplemente parece estar jugando a otro juego distinto del DV. Como Devetag y Warglien (2008), encontramos que muchas interpretaciones alternativas eran simplificaciones del juego original (por ejemplo, pagarle a cada jugador el número elegido sin ningún ajuste). Otras interpretaciones alternativas eran distorsiones serias del juego original (por ejemplo, que castigaban al jugador con el número más bajo y premiaban al que tenía el número más alto).

Como resultado, la mayoría de las interpretaciones alternativas eliminaban el carácter paradójico del dilema del viajero: en 14 de las 16 interpretaciones alternativas era conveniente jugar alto, incluso el máximo, 300. Esto puede ilustrarse claramente con un caso particular. En efecto, hallamos que había una tendencia muy fuerte hacia una interpretación alternativa en particular, la cual deriva en el juego que llamamos el “dilema del viajero alternativo” (DVA). Esta interpretación alternativa del juego fue sostenida por 48 participantes y da cuenta del 60% de los participantes que dieron respuestas alternativas pero consistentes (21% del total, véase figura 1). La diferencia clave con el juego original es que los pagos son sobre el valor que cada uno elige, no sobre el valor menor. Este detalle lo cambia todo, ya que ahora uno puede jugar a lo seguro eligiendo la estrategia 300, ganando 300 si el otro hace lo mismo o 295 si no lo hace. Este juego no tiene ningún equilibrio de Nash, pero se puede establecer que no es racional, en el sentido de maximizar ganancias, jugar menos de 290. Cualquier otra estrategia (de 289 para abajo) es estrictamente dominada por al menos una del rango 290-300.

Más allá de los detalles de las distintas interpretaciones, hay un resultado contundente: asumir, como lo hace Rubinstein (2007), que los participantes interpretan de manera adecuada el dilema del viajero no parece estar empíricamente respaldado.

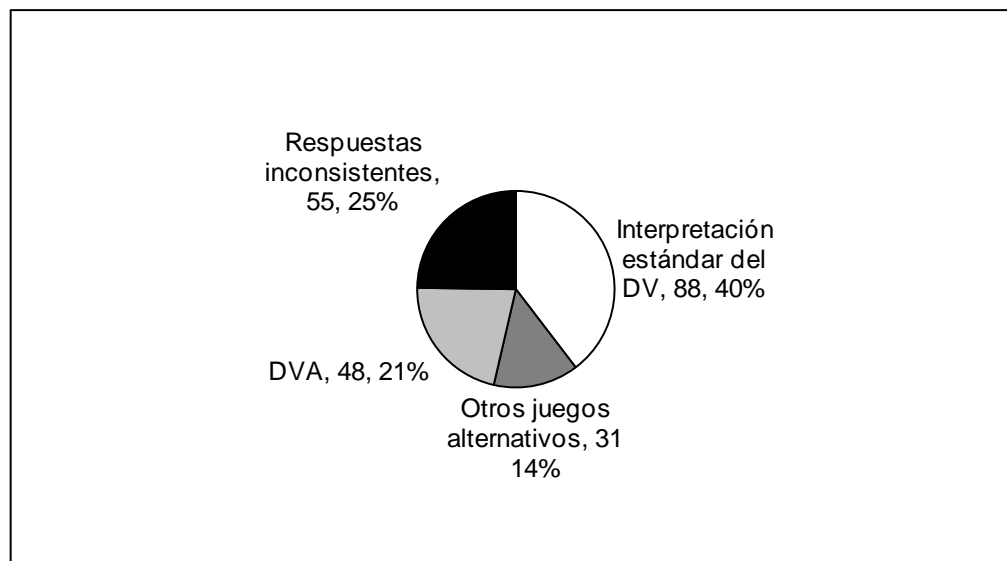


Figura 1: Frecuencia y porcentaje de participantes por tipo de interpretación del DV.

#### 4. Conclusión

El dilema del viajero creado por Kaushik Basu ha originado una serie de investigaciones en varios ámbitos. Desde un punto de vista teórico, ofrece un desafío a la Teoría de Juegos estándar en cuanto a que el resultado postulado por la teoría no parece acorde a algunas de nuestras intuiciones acerca de la racionalidad. Desde un punto de vista práctico, ofrece las incógnitas de cómo juega de hecho la gente el DV, por qué eligen lo que eligen y si lo juegan o no racionalmente. Con respecto a este último punto, un aspecto crucial es averiguar cómo interpretan los participantes el juego en cuestión. En general, este es un punto generalmente descuidado en la literatura. O bien simplemente se asume que los participantes interpretan de manera estándar el problema, o bien se los entrena pero sin chequear posteriormente al juego si el entrenamiento fue efectivo. Una de las pocas excepciones es el artículo de Devetag y Warglien (2008). Ellos muestran que la gente tiene problemas a la hora de interpretar adecuadamente las distintas situaciones de juego. Sin embargo, el método usado es poco transparente. Nosotros mostramos de manera mucho más directa el error de interpretación en el contexto del dilema del viajero. La consecuencia metodológica más inmediata es que los investigadores del área deberían tener este aspecto crucial en cuenta cuando realizan y analizan resultados experimentales. En cuanto al tema de la racionalidad humana, las conclusiones parecen también contundentes. Básicamente, no tiene sentido utilizar una prescripción de teoría de juegos sobre cierta situación para evaluar la racionalidad humana si los participantes no interpretan dicha situación como asume la teoría. En otras palabras, para evaluar la racionalidad de los participantes en cierta situación, ha de tomarse en cuenta la interpretación particular de la situación que cada participante tiene en mente.

#### Bibliografía

Basu, K. (1994), "The Traveler's Dilemma: Paradoxes of Rationality in Game Theory", *American Economic Review*

- 84 (2): 391-395.
- Basu, K. (2007), "The Traveler's Dilemma", *Scientific American* 296 (6): 90-95.
- Basu, K., Becchetti, L. y L. Stanca (2011), "Experiments with the Traveler's Dilemma: Welfare, Strategic Choice and Implicit Collusion", *Social Choice and Welfare* 37 (4): 575-595.
- Branderburger, A. (2007), "The Games We Assay", *Scientific American* 297 (4): 14.
- Brañas-Garza, P., Espinosa, M. y P. Rey-Biel (2011), "Traveler's Types", *Journal of Economic Behavior and Organization* 78: 25-36, 2011.
- Cabrera, S., Capra, C. y R. Gomez (2007), "Behavior in One-shot Traveler's Dilemma Games: Model and Experiments with Advice", *Spanish Economic Review* 9: 129-152.
- Capra, C., Goeree, J., Gomez, R y C. Holt (1999), "Anomalous Behavior in a Traveler's Dilemma?", *American Economic Review* 89 (3): 678-690.
- Colman, A. (2003), "Cooperation, Psychological Game Theory, and Limitations of Rationality in Social Interaction", *Behavioral and Brain Sciences* 26: 139-198.
- Devetag, G. y M. Warglien, (2008), "Playing the Wrong Game: An Experimental Analysis of Relational Complexity and Strategic Misrepresentation", *Games and Economic Behavior* 62: 364-382.
- Gintis, H. (2009), "Rationality and Common Knowledge", *Rationality and Society* 22 (3): 259-282.
- Halpern J. y R. Pass (2012), "Iterated Regret Minimization: A New Solution Concept", *Games and Economic Behavior* 74 (1): 184-207.
- Rubinstein, A. (2006), "Dilemmas of an Economic Theorist", *Econometrica* 74 (4): 865-883.
- Rubinstein, A. (2007), "Instinctive and Cognitive Reasoning: A Study of Response Times" *The Economic Journal* 117: 1243-1259.
- Zhong, C., Loewenstein, J. y J.K. Murnighan (2008), "Speaking the Same Language: The Cooperative Effects of Labeling in the Prisoner's Dilemma", *Journal of Conflict Resolution* 51 (3): 431-456.

# Um estudo sobre a visão de ciências e educação em Marie Curie

Ingrid Derossi<sup>†</sup>  
Ivoni Freitas-Reis<sup>‡</sup>

## Resumo

O presente trabalho buscou abordar, em sua primeira parte, a biografia de Marie Curie, tendo por base as biografias publicadas por Susan Quinn, e por sua filha Eve Curie. Focaremos, no entanto, no seu perfil como educadora através de depoimentos de suas alunas da Escola Normal de Sèvres e, principalmente, analisando as anotações de Isabelle Chavannes, ex-aluna de Madame Curie em um projeto educacional criado pela pesquisadora e alguns colegas da Sorbonne no início do século XX, chamado Cooperativa. O seu objetivo era fornecer à seus próprios filhos uma educação científica de qualidade, esse durou aproximadamente 2 anos. As suas aulas na Cooperativa eram experimentais, duravam o dia inteiro, no caso das aulas de Física elementar, que eram de responsabilidade de Madame Curie, aconteciam na *École Municipale de Physique et de Chimie de Paris* (EPCI) situada na Rua Lhomond. Na segunda parte, abordaremos a metodologia de ensino utilizada pela educadora, através de uma análise das aulas por ela ministrada, na tentativa de apresentar como a experimentação no ensino de ciências - física, especialmente - era trabalhada de maneira contextualizada e interdisciplinar e a influência da sua atividade científica na sua metodologia de ensino.

## 1. Biografia

O objetivo principal deste trabalho é fazer uma análise da primeira aula da cientista Marie Curie na “Cooperativa de Ensino”, criada por ela com a colaboração de outros cientistas, descrita pela sua aluna Isabelle Chavannes. Sendo assim, a primeira parte do artigo consiste em uma contextualização sobre a vida da personagem em destaque, afim de trilhar um percurso que demonstre o quanto a ciência e a educação eram importantes para ela. Na segunda parte, tem-se a análise da primeira aula, baseada na natureza do ensinamento e nas características da estratégia de ensino que ressaltam em cada trecho.

Marya Sklodowska-Curie (1867-1934) sempre conviveu em um ambiente voltado para a educação. Ela e seus três irmãos foram educados por seu pai Wladyslaw Sklodowski que era professor de física, e sua mãe que foi diretora de uma das melhores escolas particulares para moças em Varsóvia, e já nesta época, a futura cientista, possuía uma aguda curiosidade acerca dos equipamentos de física que seu pai mantinha em seu escritório (Reid 1974).

Aos dezesseis anos Marya teve que trabalhar para auxiliar a família e ajudar a sua irmã Bronia a manter-se na universidade em Paris. Durante esse período atuou como governanta no interior da Polônia e, além de ensinar os filhos da família que a contratou, pôs em prática o que gostaria de fazer em Varsóvia, “ensinar o povo”. O trabalho era proibido e, portanto, perigoso com risco de deportação ou de prisão, pois as escolas só tinham permissão para ensinar a língua e a cultura russa. Entusiasmada, Manya - como era carinhosamente chamada pela família - se alegra por poder lhes mostrar a beleza da língua polaca e a história do teu tão amado país. Entretanto, sua preparação

---

<sup>†</sup> Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Para contatar ao autor, por favor, escreva a: [ingriderossi@gmail.com](mailto:ingriderossi@gmail.com).

<sup>‡</sup> Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Para contatar ao autor, por favor, escreva a: [ivonireis@gmail.com](mailto:ivonireis@gmail.com).

pessoal para a Universidade Sorbonne estava um pouco prejudicada. Estudando sozinha, nas noites de Szczuki, ela escreveu ao seu irmão Joseph: Estou aprendendo química em um livro. Você pode imaginar quão pouco tiro disso, mas que posso fazer se não tenho lugar para fazer experiências nem trabalho prático? (Marie Curie *apud* Quinn 1997, p. 78)

Em 1891 Marie finalmente chega a Paris e em 1894, é requisitada para realizar uma pesquisa para a Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale - Society for the Encouragement of National Industry (Zantinga-Coppes & Coppes 1998) sobre as propriedades magnéticas de diversos metais e em um chá com um casal de amigos, realizado para conversarem sobre um laboratório maior para realizar tal pesquisa, Marie encontra pela primeira vez com Pierre Curie, um professor da *École Municipale de Physique et de Chimie de Paris*. Em 26 de julho de 1895, os dois estudiosos se casam (Curie 1957).

Em 1896, Marie adquiriu o certificado para ministrar aulas para o ensino secundário de meninas (Zantinga-Coppes & Coppes 1998), a formação na área pedagógica fora instituída com a criação das escolas normais de ensino secundário (1795), aquele destinado às elites, e ensino primário, que era oferecido a toda a população.

No último quartel do século XIX, o sistema de ensino francês havia passado por algumas mudanças, a criação das escolas públicas secundárias para meninas, como a escola de Sèvres fundada em 1881, apesar de limitar os saberes que deveriam ser transmitidos, era uma grande novidade na educação de mulheres. Os professores vinham da Universidade Sorbonne e do Collège de France. Em 1900 Madame Curie ingressa como a primeira mulher a participar deste corpo docente (Curie 1957).

A pequena experiência que adquiriu durante o seu período como preceptora, não impediu que tivesse dificuldades no primeiro ano de ensino em Sèvres, em 1900, talvez porque suas alunas não estivessem acostumadas a disciplinas que possuíam fórmulas e equações de grande complexidade (Saviani 2009). Isso era novidade para elas, pois, anteriormente às mudanças educacionais impostas por Napoleão, quando o ensino secundário feminino ainda estava sob a tutela da igreja católica, mulheres só poderiam estudar literatura francesa e linguagem, sendo a maior parte do dia dedicado ao desenvolvimento de habilidades domésticas, arte, música, dança e história e alguns conceitos de ciências biológicas.

Isto porque, na visão religiosa, a mulher instruída seria um perigo para a sociedade, um possível motivo para esta concepção, seria o receio de que elas poderiam querer ocupar um cargo público e deixasse o que era tido como seu papel, que era ser esposa, mãe e dona de casa. O domínio do grego e do latim, por exemplo, era visto como “fonte da masculinidade” e, obviamente, não lhes era permitido (Margadant 1990).

Conforme mencionamos, desde quando a pequena Manya estudava com o seu pai, lamentava a falta de um laboratório para os ensinamentos de química. Durante a sua formação universitária na Sorbonne, a jovem Sklodowska considerava de extrema importância as atividades experimentais. Essa preocupação a acompanha na Escola de Sèvres e, essa postura de Marie acerca da experimentação fez toda a diferença para as suas alunas, como pode ser visto no seguinte relato: Até chegarmos a Sèvres pensávamos que a física fosse inteiramente aprendida nos livros, onde encontrávamos fotos dos aparelhos usados para estabelecer as leis que estudávamos (Eugénie Feytis *apud* Quinn 1997, p. 234).

As alunas não possuíam um contato regular com equipamentos nem experimentos, os professores algumas vezes lhes mostravam aparelhos similares àqueles que eram utilizados nas grandes universidades, mas não permitiam que os tocassem. Marie, entretanto, aumentou o tempo de suas aulas, e produzia o próprio material prático chegando a levar suas aprendizes para conhecer o laboratório de pesquisa onde ela e Pierre trabalhavam, deixando-as encantadas com os equipamentos e a serenidade e acessibilidade do cientista.

A 19 de abril de 1906 morre tragicamente Pierre Curie. Em novembro do mesmo ano Marie assume a cadeira de Pierre, na Sorbonne. As tarefas e responsabilidades se multiplicam e, preocupada com a educação de suas filhas, em 1907, um grupo de estudiosos de ciências de Paris,

mobilizados por Madame Curie, decide criar uma “cooperativa de ensino” na qual, cada um deles ficaria responsável por uma disciplina e os alunos iriam assistir a uma aula por dia. Como sempre teve uma visão de ciências diferenciada, pois esse saber sempre pautou a sua vida e suas ações, a percepção de como ensinar e aprender as ciências naturais amalgamava a cientista e a educadora, levando-a a ver no contato com o laboratório o mais saudável e estimulante caminho para o verdadeiro aprendizado e para a compreensão dos fenômenos (Quinn 1997).

Uma de suas alunas, Isabelle Chavannes, anotou cuidadosamente todos os diálogos das aulas de Madame Curie. Segundo as preciosas anotações de Isabelle, pode-se perceber a maneira dialógica de conduzir os experimentos utilizados por Marie, estimulando o raciocínio dos seus alunos, evitando antecipar os resultados, levando-os a raciocinar e tomarem decisões sobre os conceitos tratados, instigando-os, encorajando-os e mesmo divertindo-se com eles. Vale mencionar um trecho do livro de Isabelle onde Marie questiona a seus alunos sobre como fariam para manter quente um líquido em um recipiente, esses imediatamente propõem ideias como isolamento, envolver o material com lã e a brilhante professora, em tom jocoso, responde que começaria por tampar o recipiente (Chavannes 2007).

Na verdade, ao escrever o prefácio do livro “Aulas de Marie Curie: anotadas por Isabelle Chavannes em 1907”, o membro da academia de ciência e professor emérito da *École Polytechnique de Paris* Yves Quéré,<sup>1</sup> não se furta a comparações dos métodos utilizados por esta dedicada educadora àqueles propostos pela Academia de Ciências de Paris pelo Projeto *La main à la pâte*, ou “Programa Mão na Massa” do qual o professor Quéré tem sido um dos maiores divulgadores em todo o mundo. Logo no título do prefácio, “Uma pedagogia moderna”, o estudioso não deixa dúvidas quanto a sua visão sobre o método de ensino da cientista. Em suas palavras:

Marie Curie [...] suscita perguntas [...] que são as de cada um, principalmente aquelas com que nos bombardeiam as crianças todos os dias. Ela as faz suas, trazendo as crianças à resposta, em uma maiêutica que se desenvolve na observação, na experimentação e na reflexão. (Yves Quère *apud* Chavannes 2007, p. 14)

Por todo o encantamento despertado em um historiador da ciência e estudioso de ensino de química é absolutamente impossível nos furtarmos a uma análise, ainda que ligeira, dos argumentos e estratégias utilizadas por Madame Curie. Em cada experimento realizado com esta seleta plateia que, até mesmo pela faixa etária – entre sete e treze anos – interroga, busca raízes, dialoga, reflete e se diverte, nos até então intocáveis para aquelas crianças, laboratórios da imponente Universidade Sorbonne, ou na *École Municipale de Physique et de Chimie de Paris* (EPCI) situada na Rua Lhomond. Através de uma análise de conteúdo de alguns episódios da primeira aula de física, ministrada por Madame Curie, nos foi possível desvendar como a experimentação era trabalhada de maneira contextualizada e interdisciplinar, a influência da sua atividade científica na metodologia de ensino, a conscientização dessa estudiosa do papel da ciência e do cientista na sociedade.

## 2. Análise de trechos da aula “Em que se distingue o vácuo do ar”

A primeira aula registrada pela sua aluna Isabelle, data de vinte e sete de janeiro de 1907 e aconteceu no “santuário” da Rua Lhomond e recebeu o título: “Em que se distingue o vácuo do ar”, nesta aula a cientista visa desenvolver com os seus alunos o conceito de vácuo.

Buscaremos, agrupar as características da aula a partir da natureza ou relevância dada a determinada estratégia de ensino que nos orientem no sentido de compreender a sua metodologia.

---

<sup>1</sup> Desde 1996, o co-presidente de mais de cem academias de ciências disseminadas por todo o mundo tem investido na renovação do ensino de ciências nos primeiros anos da educação escolar.

Essas classificações ou agrupamentos emergiram durante a leitura das anotações de sua aluna e serão debatidas de acordo com estudos relacionados com cada tópico e são: *Interação com os Alunos (I)*, *Adaptação da Linguagem (II)*, *Estimular a Construção do Conhecimento (III)*, *Uso de Analogias (IV)* e *Aproximação com o Cotidiano (V)*.

Pode-se notar claramente nas falas da educadora evidências de que a sua intenção não era de fazer o experimento sozinha e deixar seus alunos passivos, nem de deixá-los fazer os experimentos sem a sua colaboração. A todo o momento em seu discurso encontramos os verbos conjugados na primeira pessoa do plural como: “temos”, “fechemos”, “vamos”, “tentemos”, o que nos remete a uma inclusão do narrador na prática, para esse padrão, chamou-nos a atenção o esforço da cientista na *interação com os alunos e em estimular a construção do conhecimento*, que é uma característica que nos remete a Dialética, que de acordo com Konder, “aos poucos, [a dialética] passou a ser a arte de, no diálogo, demonstrar uma tese por meio de uma argumentação capaz de definir e distinguir claramente os conceitos envolvidos na discussão” (Konder, s.d. p. 3) como podemos observar nos trechos de Chavannes (2007) selecionados por nós: - *Aqui temos uma garrafa... Ela parece vazia. O que há lá dentro?... (p. 27) (I)*.

Após a resposta dos alunos de que há ar, Marie continua: - *Como vocês podem saber que há alguma coisa dentro? Para ver se a garrafa contém realmente ar, vamos tentar fazer entrar alguma coisa dentro, água, por exemplo. (p. 27) (I, III)*.

E propõe que eles mergulhem garrafas “vazias” dentro de um reservatório de água e Isabelle descreve que primeiro, ao abrir a tampa da garrafa dentro do reservatório, mantendo o gargalo para cima a água entra, mas nós “vemos sair bolhas[...] Havia ar na garrafa e é este ar que sai. Como ele é mais leve que a água, ele sobe à superfície”. Diante dessa reflexão de Chavannes, e através do trecho anterior no qual a educadora indaga aos seus alunos como eles podem ter certeza de que há ar na garrafa, nota-se o afã de *Estimular a Construção do Conhecimento*, já que é possível perceber que ela faz com que os seus alunos investiguem sobre o fenômeno, através de uma hipótese que estão trabalhando e construam suas próprias conclusões. Ou seja, se baseiam na prática da lógica indutiva, na qual se desenvolve princípios gerais a partir de observações empíricas específicas (Deboer *apud* Rodrigues; Borges 2008). E madame Curie recomenda: - *Fechemos novamente a garrafa depois de tê-la esvaziado, e vamos abri-la no interior da água mantendo o gargalo para baixo. O que acontece? (p. 27) (I, III)*.

“A água sobe um pouco na garrafa comprimindo o ar que ela contém”, descreve Isabelle [...] “ele fica preso no fundo da garrafa e a água não pode enchê-la”.

Destacaremos outro trecho da mesma aula, no qual o esforço de Marie para levar seus alunos a compreenderem primeiro o fenômeno e só depois incorporarem a linguagem científica, chamou-nos a atenção, para essa característica, denominamos de *Adaptação da Linguagem*. Quando o professor observar que o seu aluno não está tendo um “vocabulário científico” adequado para dialogar sobre determinado assunto, cabe a ele fazer o ajustamento deste, apresentando primeiro uma forma de expressão popular e então fazer a transição para a linguagem científica.

A preocupação com a linguagem já era uma questão posta há séculos antes, como por exemplo, por Joseph Priestley (1733-1804), que em sua obra *A Familiar Introduction to the Study of Electricity* (1786), que dizia:

Eu sei por experiência que, quando estamos ensinando jovens, ou aqueles que são iniciantes no conhecimento de alguma coisa, não podemos utilizar muitas palavras, ou variar muito a forma de expressão; muitas palavras são inconvenientes comparando com o uso de poucas. (Priestley *apud* Oliosi; Ferraz 2009)

Muitos estudos da área de ensino de ciências estão focando nesse tema (Flôr e Cassiani 2011), visto que, a partir do momento que o aluno compreende o fenômeno e incorpora a linguagem, lhe é possibilitado uma participação ativa na sociedade, como é denominado por Prewitt (1983) como *savvy citizen* (“cidadão prático”) como “aquele que, apesar de não ser cientista ou tecnólogo, é capaz de atuar na sociedade em nível pessoal e social, compreendendo com perspicácia a

profundidade, os princípios e as estruturas que governam situações complexas, compreendendo como a ciência e a tecnologia influenciam a sua vida” (Santos 2007, p. 480).

Marie propõe que os alunos fizessem um experimento com o mercúrio, emergindo a garrafa contendo o metal de cabeça para baixo, no recipiente cheio água, mas, antes de retirarem a tampa, Marie pergunta o que irá acontecer sem antecipar qualquer resultado, essa é uma característica marcante em Madame Curie, que já mencionamos anteriormente, sua habilidade em *estimular a construção do conhecimento*, porém, neste fragmento observa-se uma tentativa de fazer com que seus alunos apliquem o conhecimento anteriormente adquirido em uma nova situação e o expliquem com base no que compreenderam.

Esta característica das aulas de Marie Curie, nos mostra o quanto da cientista está presente na professora, visto que, na perspectiva de Thomas Kuhn, os cientistas, com frequência, elaboram a solução de um problema baseando-se em outro, sendo considerada, aparentemente, uma particularidade dos cientistas, a capacidade que têm de encontrar semelhanças em problemas aparentemente distintos, já que requer, em termos cognitivos, a dominar os conceitos (Santos 2004). E então, seus alunos rapidamente respondem: - *O mercúrio irá para o fundo do recipiente (...)* (p. 28).

Irène tira a tampa do frasco e de fato o mercúrio desce rapidamente, descreve Isabelle.

- *É que ele é mais pesado do que a água – dizem as crianças.*

- *É quase isso – diz Madame Curie – mas não é bem isso. Será que uma pequena gota de mercúrio é mais pesada que a água de uma grande garrafa?*

- *Ah, não!*

- *Porém se se enche uma garrafa com água e uma garrafa igual com mercúrio, qual será a mais pesada?*

- *Aquela em que se pôs mercúrio.*

- *Então vejam vocês, é preciso dizer que ‘para um mesmo volume o mercúrio pesa mais do que a água’. Em lugar de dizer esta longa frase, diz-se: ‘o mercúrio é mais denso do que a água’. (...) O ar é menos denso que a água como nós já observamos há pouco. (p. 28) (I, II)*

Sendo extremamente cuidadosa para que seus alunos não desenvolvam uma concepção equivocada acerca do assunto, Madame Curie destaca que utilizaram para o experimento dois líquidos, mas que “ser líquido” não era uma condição única para comparar a densidade entre os corpos, e conduz o seletivo grupo a uma comparação entre a madeira e o chumbo e ensina-os a determinar a densidade de corpos sólidos por deslocamento do volume de líquidos.

Outro experimento é feito com uma pera de borracha, os alunos observam e sentem o ar que a pera libera e se enche novamente, ela faz uma comparação com o ar nos pulmões e diz: - *Quando se respira, as costelas se erguem, os pulmões se abrem e o ar entra como na pera de borracha. (p. 30) (IV, V).*

Considerando que o processo de mudança conceitual se desenvolve no cenário dos conceitos já existentes para o indivíduo, influencia a seleção de novos conceitos ou teorias, condiciona a aprendizagem e envolve analogias e metáforas significativas para o sujeito, nesta passagem é um exemplo do que pode ser observado em vários outros momentos das suas aulas, em que a educadora faz comparações para facilitar a compreensão do que os alunos estão observando, o que nos remete a estratégia de ensino, *uso de analogias* (Villani 2001).

Além de trazer para a realidade dos seus alunos os experimentos que estavam fazendo, onde aquele fenômeno com a pera acontece na vida deles? A este padrão, chamamos de *aproximação com o cotidiano*, que “como estratégia didática possibilita a construção de pontes, que, Segundo Brown (1992), diminuem a resistência dos alunos à aceitação das novas ideias e podem atingir

certo sucesso ao auxiliar o aluno na compreensão qualitativa dos fenômenos” (Villani 2001, p. 174).

Quando trata da construção do conceito aspiração, trabalhando com uma pera que libera o ar e enche-se de água, ela explica como funciona a sucção através de um canudo: - *Aspirando-se, abrem-se os pulmões; faz-se um vácuo e a água sobe.* (p. 32)

Posteriormente: - *Porém, nem sempre se pode aspirar o necessário com a boca. Não se pode retirar com a boca todo o ar de um recipiente, longe disso. Aqui temos um aparelho que se chama trompa de água, que serve para aspirar ar e por consequência produzir vácuo.* (p. 32)

Durante a aula, Marie faz atividades que retomam o que já foi feito, demonstrando para seus alunos que há uma relação entre os experimentos, que não são isolados, isso fica evidente no momento em que ela utiliza a trompa de vácuo para retirar o ar de dentro da campânula (vaso de vidro em forma de sino ou de pequena redoma), para mostrar o que aconteceria se em um sistema onde há uma campânula tampada por uma bexiga de porco, fosse retirado todo o ar. E ela conclui: - *Ela vai estourar se continuarmos, se tirarmos quase todo o ar da campânula, isto é, como se costuma dizer, produzindo vácuo.* (p. 34) (II).

Pode-se perceber no trecho acima, que mais uma vez, ela apresenta aos seus alunos a linguagem científica, ao concluir que se fica completamente sem ar, isso é chamado de vácuo.

Depois, faz-se um novo experimento, onde a campânula fica em cima de uma bexiga e retira-se o ar da mesma, demonstrando que a pressão do ar na bexiga torna-se mais forte do que a pressão do ar que está na campânula, sendo assim a bexiga dilata. Chamou-nos a atenção, o fato de que ao término desses dois experimentos com a bexiga e com a campânula, Madame Curie faz com que as crianças expliquem o que aconteceu em cada um, para ver se eles realmente estavam compreendendo os conceitos que ela apresentava o destacando o seu cuidado em *Estimular a Construção do Conhecimento*.

Em seu último experimento com uma lâmpada incandescente, objeto presente na vida das famílias de seus estudantes, a educadora inicia: - *Temos aqui uma lâmpada elétrica. Existe ar dentro dela? Não, porque o filamento de carbono que deve ficar incandescente nesta lâmpada queimaria no ar. Porém, pode haver aí um outro gás, gás de iluminação, por exemplo. Vejamos.* (p. 38) (I, V).

E Isabelle narra e conclui: - *Nós mergulhamos a lâmpada na água com a ponta para baixo. Nós quebramos esta ponta dentro da água, e a água enche imediatamente toda a lâmpada. Se não houvesse vácuo na lâmpada, a água não poderia enche-la assim de uma vez.* (p. 38) (I,III)

Neste experimento, ela retoma os assuntos que foram trabalhados durante toda a sua aula, o vácuo, a presença de ar em recipientes teoricamente vazios, demonstrando que Marie não deixava um experimento sem conexão com os outros e, a todo o momento, utilizava-se de algum conceito, um equipamento, já utilizado para que seus alunos vissem outra forma de aplicar o mesmo processo, o mesmo raciocínio para resolver outro problema, como no trecho exemplificado acima, onde foi utilizado o mesmo procedimento do início da aula quando foi feita a verificação do que havia dentro da garrafa, para se concluir o que havia dentro da lâmpada.

### 3. Considerações finais

A cooperativa durou apenas dois anos. O fichário de Isabelle Chavannes é composto por nove aulas experimentais.

Durante toda a sua vida, Marie Curie, conforme cremos ter abordado neste estudo, demonstrou a vocação para o ensino e o respeito ao conhecimento científico. Em cada uma das aulas, em cada estímulo, em cada experimento, é perfeitamente possível perceber sua preocupação com a assimilação do conhecimento e que este se desse de maneira sólida, duradoura e contextualizada.

Importante também ressaltar que esta cientista que de repente ensina, ou esta educadora que jamais se aparta da ciência, traz, na sua maneira de trabalhar o ensino de ciências algo que ainda hoje se espera de um bom educador; o dialogismo, a linguagem, a semiose, a busca pela evolução

dos saberes e a contextualização, apenas para citar algumas das qualidades que nos saltam aos olhos. Acreditamos ter conseguido com o presente trabalho destacar na personalidade de Marie Curie a consciência do seu papel como cientista perante a sociedade, bem como a importância do desenvolvimento científico e, acima de tudo seu esforço e sua dedicação para mostrar esses valores aos seus alunos durante as suas aulas.

### Referências bibliográficas

---

- Chavannes, I. (2007), *Aulas de Marie Curie*, São Paulo, SP: Edusp.
- Curie, È.D. (1957), *Madame Curie*, São Paulo, SP: Companhia Editora Nacional.
- Konder, L. (sem data), *O que é dialética?* São Paulo, SP: Editora Brasiliense. (Versão digital. Acessado pela última vez em maio de 2013).
- Margadant, J.B. (1990), *Madame le professeur – Women Educators in the Third Republic*, Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Quinn, S. (1997), *Marie Curie uma vida*, São Paulo, SP: Scipione.
- Reid, R. (1974), *Marie Curie*, New York, NY: The New American Library.
- Flôr, C.C. e S. Cassiani (2011), “O que dizem os estudos da linguagem na educação científica?”, *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências* 2: 67-86.
- Rodrigues, B.A. e A.T. Borges (2008), “O ensino de ciências por investigação: reconstrução histórica”, *Encontro de Pesquisa em Ensino de Física* 11: 1-12.
- Santos, N.B. (2004), “A aprendizagem segundo Karl Popper e Thomas Kuhn”, *Revista Psilogos* 1: 62-74.
- Santos, W.L.P. (2007), “Educação científica na perspectiva de letramento como prática social: funções, princípios e desafios”, *Revista Brasileira de Educação* 36: 474-550.
- Saviani, D. (2009), “Formação de professores: aspectos históricos e teóricos do problema no contexto brasileiro”, *Revista Brasileira de Educação* 40: 143-155.
- Savoie, P. (2007), “Criação e reinvenção dos liceus: 1802 – 1902”, *Revista Brasileira de História da Educação* 22: 9-30.
- Villani, A. (2001), “Filosofia da ciência e ensino de ciência: uma analogia”, *Ciência & Educação* 2: pp.169-181
- Zantinga-Coppes, A.R. e M.J. Coppes, (1998), “Madame Marie Curie (1867-1934): A Giant Connecting Two Centuries”, *American Journal of Roentgenology* 6: 1453-1457.
- Oliosi, E.C. e H.M. Ferraz, (2009), “O papel de Joseph Priestley (1733-1804) na educação: o experimento”, in Beltran, M.H.R., Saito, F., Santos, R.N. e W. Wuo (eds.), *História da ciência e ensino: propostas, tendências e construção de interfaces*, vol. 1, São Paulo: Ed. Livraria da Física, pp. 145-148.



# La controversia Harman-Gerschman y la invisibilidad de las revoluciones científicas\*

María de las Mercedes O'Lery†

## Resumen

En este trabajo se abordará una polémica generada entre Denham Harman (1916-...) –principal proponente de una de las teorías más importantes acerca del envejecimiento celular– y un número de autores que atribuyeron a Rebeca Gerschman (1903-1986) –destacada investigadora argentina reconocida por sus investigaciones acerca de la toxicidad del oxígeno– el haber formulado las ideas centrales de la teoría del envejecimiento con anterioridad a Harman. Aquí, partiendo de la caracterización kuhniana de los descubrimientos científicos y los cambios paradigmáticos, se intentará ofrecer un análisis de esta controversia.

## 1. Introducción

Promediando la década de 1950, Denham Harman (1916-...) postuló una hipótesis acerca de cuál es la causa del envejecimiento. Harman admitió que “I thought, I thought for four months in vain and suddenly the idea came” (Kitani & Ivy 2003):

After 4 months of considering the “aging problem” I was very frustrated, out of ideas, and ready to stop. Fortunately, one morning in the first part of November, 1954, while reading at my desk in Donner Laboratory, the phrase “free radicals” crossed my mind. (Harman 2009, p. 774)

Es en este contexto de mediados de la década de 1950 en que Harman defiende que cierto tipo de sustancias reactivas intervienen en el desarrollo de ciertas enfermedades y en el proceso de envejecimiento celular. Dicha hipótesis es la que se conoció primeramente como “teoría del envejecimiento” (Harman 1955, 1956a), y más tarde como “teoría del envejecimiento por radicales libres” (Harman 1960, p. 38). Su artículo “Aging: A Theory Based on Free Radical and Radiation Chemistry” fue publicado por el Laboratorio de Radiación de la Universidad de California en julio de 1955 (Harman 1955) y, al año siguiente, apareció nuevamente publicado en el volumen 11 de *The Journal of Gerontology* (Harman 1956). Esta última es la publicación que habitualmente se cita como aquella en la que aparece por primera vez formulada la teoría del envejecimiento por radicales libres.<sup>1</sup>

En 1961 y 1962, Harman publicó dos artículos que recopilaban los avances en las investigaciones desde la formulación de la teoría (Harman 1961, 1962). Si bien estos dos artículos lograron incrementar la aceptación de la teoría, no fue hasta algunos años después –con el

---

\* Este trabajo ha sido realizado con la ayuda de los proyectos de investigación PICT-2012-2662 de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (Argentina) y PIP N° 112-201101-01135 del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (Argentina).

† Universidad Nacional de Quilmes–CONICET. Para contactar al autor, por favor, escribir a: mercedesolery@yahoo.com.ar.

<sup>1</sup> Si bien la teoría aparece publicada primeramente en sus artículos de 1955 y 1956, Harman ha afirmado que la primera parte de la teoría, en realidad, ya la tenía formulada para los primeros días de noviembre de 1954 “after four frustrating months in the library” (Harman 1984, p. 2). Puede verse también Kitani e Ivy (2003).

descubrimiento de la enzima superóxidodismutasa (McCord & Fridovich 1969)– que la teoría encontró el argumento más fuerte a su favor. A criterio del propio Harman, sin embargo, el nivel de aceptación de la teoría se mantuvo bajo inclusive durante algunos años más (Harman 2009, pp. 776-777). Para Harman, la baja aceptación inicial de la teoría por parte de la comunidad científica, su crecimiento lento, manifestado en ocasionales encuentros y publicaciones basadas sobre la teoría, promovió una imagen de evolución “intermitente” de la teoría en el período que va desde 1954 a 2009. Al punto de llegar a afirmar que “durante los últimos 54 años, [la teoría] se ha desarrollado a ‘trancas y barrancas’ [*fits-and-starts*]” (Harman 2009, p. 773).

Promediando 1980, la hipótesis central de la teoría de Harman se vió envuelta en una controversia no del todo difundida acerca de la supuesta originalidad de la misma. La polémica se dio entre el propio Harman y un número de autores que atribuyeron a Rebeca Gerschman (1903-1986) –reconocida por sus investigaciones acerca de la toxicidad del oxígeno– el haber formulado las ideas centrales de la teoría del envejecimiento con anterioridad a Harman (Sohal 1984, Sohal & Allen 1990, Hayflick 1994).

Gerschman fue una destacada investigadora argentina quien, finalizando la Segunda Guerra Mundial, se radicó en Nueva York y desempeño sus tareas de investigación en la Universidad de Rochester, específicamente, en el Departamento de Fisiología y Economía vital, área que albergaba a prominentes fisiólogos que cursaban estudios postdoctorales. A partir de 1946, en dicho departamento se introdujeron nuevos temas, ligados a la investigación de los años de la guerra, los cuales eran propuestos a los estudiantes para que desarrollen sus trabajos de investigación a partir de ellos (Adolph 1988, p. 108).

Es en este ámbito en que, en mayo de 1954, aparece publicado en *Science* uno de las más importantes trabajos de Gerschman. Escrito en colaboración con Daniel L. Gilbert, Sylvanus N. Nye, Peter Dwyer y Wallace Fenn, el artículo “Oxygen Poisoning and X-irradiation: A Mechanism in Common” se volvería, algunos años más tarde, una referencia obligada en las publicaciones sobre radicales libres y toxicidad del oxígeno. En dicha publicación, Gerschman defendía la posibilidad de que el envenenamiento por oxígeno, similarmente al daño causado por radiación, tenga como base de acción la formación de radicales libres oxidantes (Gerschman *et al.* 1954, p. 623).

Este trabajo se propone considerar la polémica generada en torno a la teoría de Harman y su relación con la hipótesis de Gerschman, a la que nos referiremos como “controversia Harman-Gerschman”. El objetivo del análisis propuesto, sin embargo, no buscará dirimir si Harman debe, o no, reconocerle a Gerschman la primera formulación de sus ideas. Abordar este caso desde la pregunta de si tal anticipación ocurrió o no, obligaría a enfrentar problemas propios de la historiografía de la anticipación que exceden los límites de este trabajo. El interés estará puesto en analizar esta controversia atendiendo a uno de sus aspectos, a saber, a las interpretaciones que sus protagonistas hicieron de dicha disputa y su supuesta implicancia en la demorada aceptación y reconocimiento de sus hipótesis. Para dicho análisis, se asumirá el análisis kuhniano acerca de los descubrimientos científicos y su relación con los cambios paradigmáticos.

## 2. La controversia Harman-Gerschman

De acuerdo con Harman, fue en el año 1976, en ocasión del primer encuentro anual de la *American Aging Association*, que un hombre se acercó a él presentándose como Daniel L. Gilbert y le preguntó si reconocía que Rebeca Gerschman jugó un importante rol en el desarrollo del campo del envejecimiento; a lo que él respondió: “No. *Who is she?*” (Harman 2009, p. 777).<sup>2</sup> Harman

<sup>2</sup> Dos décadas más tarde, sin embargo, Daniel Gilbert afirmaba lo siguiente: “[...] Rebeca mentioned that free radicals could be involved in the aging process in 1959; however, she never did experiments in this field. Harman in 1956, independently, proposed and provided experimental evidence that free radicals could be involved in this process” (Gilbert 1996, p. 3).

relata haber conocido recién allí la existencia del artículo de Gerschman de 1954, en el cual postulaba su tesis sobre la toxicidad del oxígeno; y de otro de 1959 en el que, en orden a sugerir posibles implicancias de su teoría, parece por primera vez una mención de Gerschman sobre el envejecimiento:

It is plausible that a continuous small “slipping” in the defense could be a factor contributing to aging and death and in this sense one might consider that there is no threshold tension necessary for the appearance of the toxic effects of oxygen. (Gerschman 1959, p. 223)

La segunda y última mención de Gerschman sobre el envejecimiento la haría en 1981:

Uncontrolled oxidation deriving from a slight insufficiency in the anti-oxidant defence system may represent a crucial factor in ageing processes and life span. (Gerschman 1981, p. 45)

Dos décadas después de aquel encuentro con Gilbert, en circunstancias del *5to. Simposio sobre Medicina Ortomolecular*, Harman escuchó los comentarios finales que Alberto Boveris hizo a una conferencia dictada por Lars Ernster sobre estrés oxidativo y antioxidantes en enfermedades asociadas al envejecimiento. En sus comentarios, Boveris habría afirmado que “hemos empleado mucho tiempo de este encuentro hablando acerca de la toxicidad del oxígeno. Es importante recordar que este trabajo fue primeramente realizado por Rebeca Gerschman” (Harman 2009, p.780). La apreciación de Harman acerca de este comentario fue que el Dr. Boveris, al igual que Gilbert y Gerschman, no se resignaban al hecho de que, desde el punto de vista clínico, el fenómeno de la toxicidad del oxígeno había merecido poca atención comparado con el del envejecimiento.

Poco tiempo después, revisando el libro de Leonard Hayflick, *How and Why We Age*, Harman leyó:

Denham Harman of the University of Nebraska is the chief proponent of the free radical theory of aging, although the germ of the idea was first introduced by R. Gerschman in 1954 (Hayflick 1994, p. 244).

Hayflick le admitió a Harman que dicha afirmación posiblemente pertenecía a Rajindar Sohal o Bernie Strehler, quienes, él creía, habían sido los dos revisores de su libro. Pero Strehler negó haber sido revisor del libro de Hayflick y desconocía quién era Gerschman. En cuanto a Sohal, una década antes, había afirmado:

The hypothesis that free radicals may be the cause of molecular damage underlying the aging process was originally proposed by Harman, but the view that oxygen is potentially toxic at all concentrations and that its deleterious effects are due to the production of free radicals was first enunciated clearly by Gerschman (Sohal 1984, p. 124).

Y también:

It is appropriate to also recognize Gerschman’s contribution to the idea of free radical involvement in aging. She was the first to clearly indicate that small ‘slipping’ in antioxidant defenses could be an important factor in aging (Sohal 1987).<sup>3</sup>

Y en 1990:

Although the free radical hypothesis of aging is often ascribed to articles published by Gerschman *et al.* (1954) and by Harman in the 1950s, the idea, as currently perceived, has a long developmental history, during which repeated refinements and embellishments were added. [...] Gerschman *et al.* (1954) were apparently the first to advance the view that oxygen exerts toxic effects through the generation of free radicals. Gerschman’s previous work on the synergism between oxygen and radiation toxicity seemingly led her to propose a relationship between oxygen toxicity, free radicals, and aging. Harman (1956), on

<sup>3</sup> La cita aparece en Harman (2009), p. 780.

the other hand, seems to have been more strongly influenced by studies of radiation effects on biological systems (Sohal & Allen 1990, p. 499).

Sin embargo, Sohal admitió no haber sido revisor del libro de Hayflick y, tampoco recordaba de dónde provenía la cita de su propio artículo de 1987.

A esta confusión se suma el hecho de que Harman no parece haber sido del todo sincero o memorioso en cuanto al momento en que conoció el trabajo de Gerschman, según él 1976 (Harman 2009, p. 777). Pues, en 1962, aparece una mención suya acerca de que los estudios sobre la toxicidad del oxígeno parecían mostrarse consistentes con la hipótesis de que las reacciones que presuponen radicales libres se dan en las células, y para ello remitía al trabajo de Gerschman de 1954 (Harman 1962, p. 754). Aun así, ese dato no invalida la posibilidad de que Harman efectivamente no conociera el trabajo de Gerschman en 1955, cuando formuló su teoría por primera vez. Igualmente, podría preguntarse si Gerschman, al momento de sugerir la implicancia que su teoría podía tener sobre el fenómeno del envejecimiento, en 1959, no conocía ya el trabajo de Harman de 1956. Y si para aquel entonces no lo conocía, es de suponer que cuando vuelve a hacer mención de la misma posibilidad en 1981 –años después de que Gilbert tuviera oportunidad de hablar con Harman– ya conocía el trabajo de Harman. Sin embargo, Gerschman nunca lo citó en ninguna de sus publicaciones.

Desde el lugar de Harman, esta confusión instalada –para él originada a partir de identificar equivocadamente el fenómeno de la toxicidad del oxígeno con el del envejecimiento– pudo haber generado preconceptos que finalmente llevaron a demorar más allá de lo razonable la aceptación de su teoría. Curiosamente, desde la otra orilla, los autores que destacan la importancia de las investigaciones de Gerschman, suelen hacer mención y lamentar el hecho de que Gerschman no recibiera, en su tiempo, el merecido reconocimiento de la comunidad científica por sus hallazgos (Gilbert 1996, p. 3), incluso llegando a atribuirlo a, entre otras posibles, cuestiones de género que subestimaban el papel de la mujer en ciencia (Cornejo 2008, p. 142).

Lo cierto es que, al parecer, ni Gerschman ni Harman tuvieron conocimiento mutuo de sus investigaciones hasta entrada la década de 1960.<sup>4</sup> Sumado a ello, la consideración de una serie de aspectos entre los que se encuentran los antecedentes históricos de la investigación que realizaba Gerschman –en la cual se enmarca su trabajo de 1954 tanto como sus publicaciones posteriores, incluidas la de 1959 y 1981– permiten defender que pertenecía a una tradición de investigación distinta de la de Harman. Su hipótesis no proponía la acción tóxica del oxígeno, lo cual ya era aceptado y venía siendo estudiado desde los tiempos de Paul Bert, sino que respondía a la pregunta sobre cuál era el mecanismo de acción para dicha toxicidad. Sus investigaciones pertenecían al ámbito de estudio de la toxicidad del oxígeno y no al de la fisiología del envejecimiento.

Entonces, ¿en qué se asemejaban estas investigaciones para que se llegara a plantear cierta identificación entre estas hipótesis?

Si bien puede ser discutible el que ambos se refieran a las mismas especies radicales libres, lo que en concreto ambos defienden como hipótesis es que sustancias radicales libres presentes en condiciones metabólicas normales se comportan como agentes oxidantes. Muy probablemente, este nivel de semejanza entre las hipótesis haya sido una de las razones por las cuales, primeramente, se las asoció como afirmando lo mismo y, seguidamente, como consecuencia de ello, se las enfrentó en una polémica acerca de su originalidad.

Aunque la semejanza entre estas dos investigaciones va más allá. En cuanto a los presupuestos teóricos de los que se sirvieron tanto Harman como Gerschman, cabe mencionar que el hallazgo de Moses Gomberg en 1900 del radical libre orgánico trifenilmetilo había impulsado la investigación de este tipo de sustancias durante toda la primera mitad del siglo. Décadas después, la defensa de Leonor Michaelis de que, entre el estado de oxidación y de reducción existía un estado intermedio de óxido-reducción parcial, promovió las investigaciones acerca la posibilidad de ocurrencia de estas sustancias radicales en sistemas biológicos. Las hipótesis de Harman y

---

<sup>4</sup> Al menos en lo que respecta a Harman, como lo constata su referencia a Gerschman en Harman (1962), p. 754.

Gerschman daban por supuesta esta posibilidad sólo esperable supuesta la teoría de Michaelis. Esta dependencia de Michaelis permite intuir por qué ambas hipótesis alcanzaron mayor fuerza recién en 1969 al descubrirse la enzima superóxidodismutasa, descubrimiento que, principalmente, venía a confirmar la teoría de Michaelis sobre reacciones orgánicas univalentes.

## 2.1. Una propuesta de análisis: la invisibilidad de los cambios paradigmáticos

Thomas Kuhn advirtió que, aunque en apariencia contradictorio, es la misma investigación que sigue a un paradigma la que curiosamente permite inducir los cambios paradigmáticos (Kuhn [1962] 2010, p. 129). A partir del análisis de los descubrimientos (novedades de hecho o empíricas) y las invenciones (novedades teóricas), Kuhn intentó dar cuenta de la naturaleza de estos cambios paradigmáticos. A la luz del análisis de Kuhn sobre la génesis de los descubrimientos científicos puede verse que un tratamiento completo de la controversia Harman-Gerschman obligaría a remontarse, por lo menos, a comienzos del siglo XX. El descubrimiento del primer radical orgánico por parte de Gomberg en 1900 devino de la toma de conciencia de una anomalía. Ciertamente, el éxito de Gomberg con los trabajos de preparación del *tetrafenilmetano* lo había animado a buscar la síntesis del *hexafeniletano* mediante una reacción química de reducción. Sin embargo, una vez lograda tal reacción, obtuvo una sustancia cuyas propiedades no coincidían con las esperadas para el *hexafeniletano*. Tras nuevos e infructuosos intentos, Gomberg sugirió la presencia de una sustancia radical *trifenilmetilo* en equilibrio con el *hexafeniletano*.

Siguiendo a Kuhn, este hallazgo debería ser considerado una novedad de hecho y, a su vez, encontrándose íntimamente relacionada con una novedad teórica (Kuhn 1959, [1962] 2010). Dado que, para Kuhn, la asimilación de un nuevo tipo de hecho usualmente exige ajustes de las teorías involucradas que no siempre se limitan a ser meros añadidos, y hasta que tales ajustes no finalizan el nuevo fenómeno no suele ser visto en absoluto como un hecho plenamente científico (Kuhn [1962] 2010, p. 130). Es, precisamente, la novedad teórica la que proporcionaría este ajuste de la teoría paradigmática. Así, la exploración que inmediatamente prosiguió al hallazgo del *trifenilmetilo* también formó parte del descubrimiento de los radicales libres, éste se completó sólo cuando finalmente la teoría paradigmática se halló ajustada lo suficiente como para que lo anómalo resultara esperable. Y, en este caso, parece posible afirmar que la novedad teórica la constituyeron los desarrollos teóricos de Michaelis sobre las reacciones de óxido-reducción en la medida en que, efectuando un ajuste de la teoría de reacciones químicas de óxido-reducción orgánicas, permitieron dar cuenta de *qué* era un radical libre orgánico. Ese ajuste de la teoría paradigmática implicó, entre otras cosas, la aceptación de un principio de univalencia obligatoria (*single-electron transfer*) y la esperable formación de sustancias radicales libres. La resistencia a tal posibilidad, sin embargo, estaba dada por la supuesta incompatibilidad del principio de univalencia obligatoria, y sus consecuencias, con la defendida tetravalencia del carbono, los postulados fundamentales de Irving Langmuir y Gilbert N. Lewis acerca de los enlaces químicos y la existencia del fermento respiratorio de Warburg. La teoría de óxido-reducción michaeliana, en efecto, representó más que sólo una adición al conocimiento respecto de la teoría de reacciones químicas vigente. El principio de univalencia de Michaelis defendía el que los electrones fueran transferidos uno a uno, en lugar de a pares, permitiendo la caracterización de la oxidación a partir de considerar exclusivamente la transferencia de electrones.

De este modo, en primer lugar, se asocia el descubrimiento de los radicales libres orgánicos sólo a lo que Kuhn llamaría la “novedad empírica” sin tener en cuenta que dicho descubrimiento implicó un proceso de asimilación conceptual que, además, exigió un cambio de la teoría paradigmática. Este cambio paradigmático resultó invisibilizado en la medida en que, en el relato histórico sobre los radicales libres, sólo se rescataron aquellas partes del trabajo de Michaelis que más fácilmente pudieron asociarse al problema de los radicales libres provenientes del oxígeno molecular, a saber, su hipótesis acerca de la reducción parcial del oxígeno molecular. Sin embargo,

esta “hipótesis” representaba el intento por mostrar una aplicación paradigmática de su principio de univalencia, un principio que se presentaba como teniendo validez sobre toda reacción química independientemente de cuál fuera la sustancia interviniente en la misma.

En segundo lugar, y como consecuencia de la invisibilidad del cambio paradigmático que representó el principio de univalencia de Michaelis, se pierde de vista que la resistencia o demorada aceptación de las hipótesis de Gerschman y Harman tienen su raíz en el hecho de que ambos trabajaban en la consolidación de un paradigma novedoso, es decir, sus hipótesis formaban parte del proceso de asimilación y ampliación de un desarrollo teórico nuevo.

### 3. Conclusión

Puede afirmarse que la controversia generada en torno a Gerschman y Harman en lo que respecta a la prioridad de la hipótesis de los radicales libres en sistemas vivos no hubiera alcanzado mayor notoriedad si el descubrimiento de radicales libres orgánicos no hubiera sido una parte consustancial del surgimiento de un nuevo paradigma para las reacciones químicas. A diferencia de casos como el del descubrimiento del oxígeno –donde la disputa acerca de la prioridad de su descubrimiento enfrentó principalmente a Priestley y Lavoisier–, en el caso del descubrimiento de los radicales libres orgánicos se dan al menos dos situaciones diferenciadoras: a) en la literatura científica e historiográfica, el hallazgo de Gomberg en 1900 es reconocido como el descubrimiento del primer radical libre orgánico mientras que los desarrollos teóricos de L. Michaelis para dar cuenta de la existencia de tales sustancias no suelen ser considerados en el relato acerca de la historia de los radicales libres, excepto su hipótesis sobre la reducción parcial del oxígeno molecular; y b) la controversia entre Gerschman y Harman no es una disputa entre pretendidos originarios descubridores de los radicales libres, sino más bien entre quienes intentaron aplicar un descubrimiento reciente para su época, el de los radicales libres orgánicos, en los campos en los que trabajaban.

### Bibliografía

- Adolph, E.F. (1988), “History of Department of Physiology at Rochester, 1924-1969”, *The Physiologist* 31(4): 107-112.
- Cornejo, J.N. (2008), “Una mujer en la ciencia argentina: Rebeca Gerschman”, *Mora* 14: 136-143.
- Gerschman, R., Gilbert, D.L., Nye, S.W., Dwyer, P. y W. Fenn (1954), “Oxygen Poisoning and x-irradiation: A Mechanism in Common”, *Science* 119: 623-626.
- Gerschman, R. (1959), “Oxygen Effects in Biological Systems”, *Symposia and Special Lectures of XXI International Congress of Physiological Science* 21: 222-226.
- Gerschman, R. (1981), “Historical Introduction to the ‘Free Radical Theory of Oxygen Toxicity’”, en Gilbert, D. (ed.), *Oxygen and Living Processes: An Interdisciplinary Approach*, New York: Springer, pp. 44-46.
- Gilbert, D. (1996), “Rebeca Gerschman: A Personal Remembrance”, *Free Radical Biology & Medicine* 21(1): 1-4.
- Harman, D. (1955), “Aging: A Theory Based on Free Radical and Radiation Chemistry”, Berkeley, CA: Radiation Laboratory, Universidad de California, 5 ps.
- Harman, D. (1956), “Aging: A Theory Based on Free Radical and Radiation Chemistry”, *The Journal of Gerontology* 11: 298-300.
- Harman, D. (1960), “The Free Radical Theory of Aging: The Effect of Age on Serum Mercaptan Levels”. *Journal Gerontology* 15: 38-40.
- Harman, D. (1961), “Mutation, Cancer and Aging”, *The Lancet* I: 200-201.
- Harman, D. (1962), “Role of Free Radicals in Mutation, Cancer, Aging and the Maintenance of Life”, *Radiation Research* 16: 753-763.

- Harman, D. (1984), "Free Radicals and the Origination, Evolution, and Present Status of the Free Radical Theory of Aging", en Armstrong, D., Sohal, R., Cutler, R. y T. Slater (eds.), *Free Radicals in Molecular Biology, Aging, and Disease*, Vol. 27, New York: Raven Press, pp. 1-12.
- Harman, D. (2009), "Origin and Evolution of the Free Radicals Theory of Aging: A Brief Personal History, 1954-2009", *Biogerontology* 10: 773-781.
- Hayflick, L. (1994), *How and Why We Age*, New York: Ballantine Books.
- Kitani, K. y G.O. Ivy (2003). "‘I Thought, Thought, Thought for Four Months in Vain and Suddenly the Idea Came’. An Interview with Denham and Helen Harman", *Biogerontology* 4 (6): 401-412.
- Kuhn, T.S. ([1962] 2010), *La estructura de las revoluciones científicas* (trad. Carlos Solís Santos), México: Fondo de Cultura Económica.
- Kuhn, T.S. (1959), "Energy Conservation as An Example of Simultaneous Discovery", en Clagett, M. (ed.), *Critical Problems in the History of Science Critical Problems in the History of Science: Proceedings of the Institute for the History of Science 1957*, Madison: University of Wisconsin Press, 1959, pp. 321-356.
- McCord, J.M. e I. Fridovich (1969), "Superoxide Dismutase: An Enzymatic Function for Erythrocyte (Hemocuprein)", *Journal of Biological Chemistry* 244: 6049-6055.
- Michaelis, L. (1946), "Fundamentals of Oxidation and Respiration", *American Scientist* 34: 573-596.
- Michaelis, L. (1951), "Theory of Oxidation-Reduction", en Sumner, J. y K. Myrbäck (eds.), *The Enzymes*, New York: Academic Press Publishers, pp. 1-54.
- Sohal, R.S. (1984), "Metabolicrate, Free Radicals, and Aging", en Armstrong, D., Sohal, R., Cutler, R. y T. Slater (eds.), *Free Radicals in Molecular Biology, Aging, and Disease*, Vol. 27, New York: Raven Press, pp. 119-127.
- Sohal, R.S. (1987), "The Free Radical Theory of Aging: A Critique", en Rothstein, M. (ed.), *Review of Biological Research in Aging*, Vol. 3, New York: Alan R. Liss, pp. 431-449.
- Sohal, R. y R. Allen (1990), "Oxidative Stress as a Causal Factor in Differentiation and Aging: A Unifying Hypothesis", *Experimental Gerontology* 25: 499-522.



# Ciência social e senso comum: O fracasso do naturalismo e a improficuidade do compreensivismo

Alberto Oliva<sup>†</sup>

## Resumo

Nosso intento é problematizar as relações que as ciências sociais têm predominantemente mantido com o senso comum. Destacaremos que os tipos de estudo que desconsideram o conteúdo ideacional presente em algumas modalidades de fato social não se limitam a marcar uma posição de ruptura explicativa com o senso comum. Na realidade, são abordagens que deixam de lado propriedades constitutivas das modalidades de fato social: que se oferecem pré-interpretadas à observação do cientista. As tentativas de explicação que negligenciam, a pretexto de imitarem as ciências naturais, traços distintivos dos fatos sociais, pré-interpretados, serão criticamente avaliadas. E serão consideradas pouco profícuas as maneiras que vêm sendo propostas de lidar com a compreensão espontânea que acompanha a ocorrência de importantes tipos de fato social. Contra o naturalismo objetivista, o compreensivismo não tem se mostrado eficiente na elaboração de teorias que se revelem aptas a reconstruir as ‘teorias’ dos agentes com o propósito de prover *metateorias* capazes de aspirar à condição de científicas.

## 1. Introdução

As tantas teorias formuladas até hoje pelas ciências sociais suscitam dúvidas a respeito de seu real poder explicativo. À luz das concepções tradicionais de explicação chega-se ao veredicto de que essas ciências não logram forjar genuínas explicações dos fenômenos que investigam. Não é necessário perfilhar a tese da simetria entre explicar e predizer – segundo a qual se não há predição, não há explicação e vice-versa – para se desconfiar da capacidade cognitiva das ciências sociais. Visto ser patente que essas ciências jamais se mostraram aptas a fazer predições confiáveis, remanesce a questão de se, ainda assim, logram elaborar fundamentadas explicações. Para dotar as ciências sociais do poder de se afirmarem como projeto explicativo-preditivo muitas vezes se propôs que imitassem o método das ciências naturais. O naturalismo seria a única maneira de “cientificizar” os estudos sociais. Entre os textos catalogados como pertencentes ao domínio das ciências sociais é hoje expressivo o número daqueles que renunciam, aberta ou tacitamente, a qualquer pretensão de *explicar* o que é investigado. De certa maneira, essas ciências estão mais perto – considerando-se os procedimentos utilizados – da filosofia que das ciências naturais. É crescente a impressão de que as ciências sociais desistiram de buscar explicações depois de terem se mostrado inaptas para predizer.

Pode-se facilmente constatar que os *founding fathers* das ciências sociais acalentavam – independentemente de suas preferências filosóficas e epistemológicas – a ambição de elaborar explicações. Para tanto, procuravam formular metodologias que ensejassem a melhor maneira de lidar com a mutabilidade, variabilidade e complexidade dos fatos sociais. Contemporaneamente, há Escolas que se distanciam de objetivos explicativos a ponto de recorrerem, em muitos casos, a argumentos de natureza filosófica para justificar a criação de construções interpretativas que se defendem de controles metodológicos eficazes. Substituem a explicação hipotético-dedutiva ou a

---

<sup>†</sup> Departamento de Filosofia, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Para contatar ao autor, por favor, escreva a: aloliva@uol.com.br.

indutivo-probabilística pela “reconstrução hermenêutica” parcamente elucidativa. É cada vez maior o número de pesquisadores sociais que assume posicionamento até contra procedimentos metodológicos basilares tradicionalmente vistos como imprescindíveis para se distinguir a pesquisa como científica. Em muitos casos, o descaso pelos requisitos capazes de conferir cientificidade a um estudo beira o irracionalismo. O que se pode constatar é que da manifesta impotência de predizer fatos ou eventos sociais se chegou à renúncia – ou ao reconhecimento da impotência – de explicar. Hipótese a ser aventada é a de que talvez isso seja atribuível à dificuldade de explicar fatos, caso dos psicossociais, que se apresentam pré-interpretados. O problema é que a incapacidade de construir efetivas explicações de muitas teorias sociais contemporâneas impede classificá-las de científicas. Colocam-se inclusive à margem dos crivos lógico-empíricos que conferem credibilidade epistêmica à pesquisa. Abdicar de explicar torna inevitável discutir se ainda cabe falar de ciências do social. Defenderemos a tese de que as dificuldades de justificação epistêmica enfrentadas pelas ciências sociais derivam principalmente de investigarem fatos que se mostram eles mesmos pré-interpretados. Isso torna complexas e de difícil encaminhamento as relações entre as ciências sociais e o senso comum no interior do qual se criam compreensões que se apresentam como partes integrantes dos fatos sociais.

## 2. Insuficiências do naturalismo

O projeto moderno de se construir uma ciência da vida associativa foi frequentemente vinculado à necessidade de se imitarem os procedimentos das ciências naturais. Um dos *founding fathers* da sociologia, Durkheim (1967, p. xiv) recomenda que o sociólogo adote “o estado de espírito dos físicos, químicos ou fisiologistas”. Visto que está longe de ser fácil caracterizar de modo incontroverso o *método das ciências naturais*, Durkheim apresenta, principalmente em seus escritos metodológicos, a díade observacionalismo e indutivismo da concepção empirista (baconiana) de conhecimento como encarnação da cientificidade. Em complemento, Durkheim advoga que “tudo que o método científico exige é que o princípio da causalidade se aplique aos fenômenos sociais”:

Uma vez que a lei da causalidade foi verificada nos outros reinos da natureza, estendendo progressivamente seu império do mundo físico-químico para o mundo biológico, achamo-nos no direito de admitir que seja igualmente verdadeira com relação ao mundo social. (Durkheim 1967, p. 139, tradução minha)

É questionável que a “lei da causalidade”, tal qual entendida e defendida por Durkheim, possa ser encontrada em operação nas ciências naturais e que destas possa ser transferida para as ciências sociais. Toulmin (1953, p. 119) assinala que “nas próprias ciências físicas, a palavra ‘causa’ é uma ausência tão marcante quanto a palavra ‘verdadeiro’”. Russell (1977, p. 187) é de opinião que apesar de “todos os filósofos, de todas as escolas, imaginarem que a causação é um dos axiomas ou postulados fundamentais da ciência, a verdade é que a palavra ‘causa’ jamais ocorre nas ciências avançadas”. Críticas parecidas, e ainda mais duras, já tinham sido feitas por Comte (1908, p. 3 e p. 8, tradução minha) que considera “absolutamente inacessível e carente de sentido o que chamamos de causa”. O positivismo encara a busca de causas dos fenômenos como um procedimento teológico ou metafísico por entender que a pesquisa científica deve se adstringir a descobrir “unicamente as leis efetivas dos fenômenos, ou seja, se limitar a estabelecer relações de sucessão e similitude entre eles”.

Longe de ser uma solução, o naturalismo também tem contribuído para que as controvérsias epistemológicas e ontológicas se tornem endêmicas nas ciências sociais. As pesquisas sociais que procuraram imitar a física chegaram a resultados, como destaca Sorokin (1956, p. 174), pouco animadores. Houvesse sucesso em apreender os procedimentos distintivos das ciências naturais – sem as recalcitrantes divergências nos modos epistemológicos de reconstruí-las – seria mais defensável a recomendação para que os estudos sociais os imitassem. Identificado

consensualmente o método das ciências naturais, se teria de enfrentar o desafio de determinar se os fatos sociais possuem singularidades que tornam necessária uma metodologia diferente, ao menos parcialmente, da empregada pelos cientistas naturais. Partimos da constatação de que há uma gama importante de fatos e eventos sociais que se destacam por se apresentarem *pré-interpretados*: os *socii* têm algum tipo de compreensão sobre eles antes de serem cientificamente estudados. O naturalista não deixa de reconhecer isso:

Os homens não esperaram o advento da ciência social para formar ideias sobre o direito, a moral, a família, o Estado, a própria sociedade. Não poderiam passar sem elas para viver. É, sobretudo, na sociologia que essas pré-noções, retomando a noção de Bacon, estão em condições de dominar os espíritos colocando-se no lugar das coisas. (Durkheim 1967, p. 18, tradução minha)

O veredicto de que o senso comum se reduz a pré-noções supõe que isso seja suficiente para desconsiderá-lo ou desqualificá-lo. Nesse caso, o cientista social não vê necessidade de investigar de que modo as ideias de senso comum contribuem não só para definir modos de vivenciar determinados tipos de fato como também para favorecer a recorrência deles. À luz de ópticas como a de Durkheim, deixa-se de conferir importância à peculiaridade de que determinados tipos de fato social ocorrem *acompanhados* de uma compreensão, independentemente de se falsa ou ilusória, de si mesmos. Nesse caso, a pesquisa científica não precisa elaborar teorias que se revelem aptas a lidar com os conteúdos ideacionais – por exemplo, reconstruindo-os *semântica* e *pragmaticamente* – que se formam no seio do chamado senso comum:

Acreditamos fecunda a idéia de que a vida social deve ser explicada não pela concepção formada sobre ela pelos que dela participam e sim pelas causas profundas que escapam à consciência; pensamos que essas causas devem ser buscadas principalmente na forma com que se agrupam os indivíduos associados. (Durkheim 1987, p. 250, tradução minha)

O causalismo objetivista negligencia o aspecto crucial, destacado por Winch (1980, p. 23, tradução minha), de que “as relações sociais de um homem com seus semelhantes são permeadas por suas idéias sobre a realidade [...] as relações sociais são expressões de idéias sobre a realidade”. Reputamos problemática a visão disseminada de que só se consegue *explicar cientificamente* os fatos fundamentais da sociabilidade por meio de teorias que desconsiderem ou desqualifiquem as crenças espontâneas e irrefletidas do senso comum. No caso específico do mundo social, é necessário ter presente que as pré-noções *fazem parte* dos fatos por mais que se logre comprovar que geram compreensões incompletas, enviesadas, falsas, ilusórias ou alienadas:

O homem não espera pela ciência para ter sua vida explicada; e quando o teórico aborda a realidade social encontra um campo já ocupado pelo que se pode chamar de autointerpretação da sociedade. A sociedade humana não é meramente um fato, ou um evento do mundo exterior, a ser estudado por um observador como um fenômeno natural [...] é um pequeno mundo [...] iluminado de significado a partir de seu interior pelos seres humanos. (Voegelin 1952, p. 27, tradução minha)

Chama a atenção que Voegelin repete, quase *ipsis litteris*, a primeira parte da supracitada argumentação durkheimiana. No entanto, a mesma constatação – parte significativa do que ocorre no mundo social se apresenta pré-interpretado – é razão para Voegelin propor uma abordagem do conteúdo do senso comum que o afasta completamente do objetivismo que leva Durkheim a conferir estatuto ontológico de *chose ao fato social*. A despeito de a explicação científica ter o potencial de provar que as ‘teorias’ elaboradas pelo leigo são falsas, ilusórias ou alienadas, é discutível que possa ignorá-las. Não se trata apenas de reconhecer que há *tipos* de fatos sociais que *se oferecem* impregnados de ‘teoria’ à observação do cientista, mas também de averiguar em que medida ocorrem em virtude do tipo de compreensão que os *socii* formam sobre eles.

Durkheim defende três teses que, aceitas, tornam prescindível a identificação das idéias – visto que equivocadas – que se mostram *partes constitutivas* dos fatos. São elas: 1) “a causa determinante de um fato social deve ser buscada entre os fatos sociais antecedentes e não entre os

estados da consciência individual” (Durkheim, 1967, p. 109); 2) “é necessário considerar os fenômenos desvinculando-os dos sujeitos conscientes que os representam” e “cumpre estudá-los de fora como coisas exteriores” (Durkheim, 1967, p. 28); 3) “os estados de consciência devem ser considerados de fora, e não do ponto de vista da consciência que os experimenta” (Durkheim 1967, p. 30, traduções minhas).

O estudioso que desconsidera ou desqualifica as compreensões *acompanhantes* dos fatos sociais se dedica a elaborar explicações causais convencido de que são as únicas científicas. As insuficiências do objetivismo, do que Brodbeck (1977, p. 98) caracterizou como *spectator methods*, estimularam a formação da *sociologia compreensiva*. Para Weber (1978, p. 4), a ação deve ser distinguida do “comportamento” meramente reativo (*blos reaktive*) por se poder a ela atribuir um significado subjetivo. Weber dá destaque à ação ‘subjetivamente significativa’ sem deixar de reconhecer a importância das ‘conseqüências objetivas’, pretendidas ou não, que determinado curso de ação pode produzir. O problema é que a *sociologia compreensiva* não se revelou capaz de desenvolver elucidativas metacompreensões sobre as ‘teorias’ espontâneas gestadas no seio do senso comum. Mesmo depois de Weber, o desafio maior das ciências sociais continua sendo apontar o método adequado para elucidar e explicar o conteúdo ideacional que acompanha fatos que se apresentam pré-interpretados.

Quando o senso comum faz parte dos próprios fatos, quando se materializa em ‘teorias’ sobre fatos vinculados direta ou indiretamente ao universo vivencial dos *socii*, impõe-se avaliar em que extensão desconsiderá-lo acarreta diminuir a abrangência e a real capacidade explicativa das teorias sociais. O pretensão conhecimento científico reivindicado pelo pesquisador social é razão insuficiente para legitimar a desqualificação de teorias de senso comum vinculadas a *formas de vida*. Em virtude de as compreensões que acompanham os fatos sociais poderem contribuir, independentemente de sua sustentabilidade epistêmica, para que eles ocorram ou não, a ciência não pode *sic et simpliciter* ignorá-las. Fatos que sobrevêm em virtude do entendimento que se tem sobre eles, como consequência das avaliações sobre fatos antecedentes, são fundamentais para a composição de *formas de vida*:

O mundo social, [...] tem uma estrutura particular de significado e relevância para os seres humanos que nele vivem, pensam e agem; são eles que pré-selecionam e pré-interpretam esse mundo por meio de uma série de constructos de senso comum aplicados à realidade da vida cotidiana; são esses objetos construídos que determinam seu comportamento, definem o objetivo de suas ações, os meios disponíveis para alcançá-los. (Schutz 1953, p. 3, tradução minha)

Os cientistas que reconhecem que as ‘teorias’ encontradas nos fatos sociais fazem parte de seus objetos de estudo enfrentam o desafio especial de formular uma metodologia capaz de justificar teorias sobre ‘teorias’. O dificultoso é que essas ‘teorias’ também são fatos, fatos que acompanham fatos. A descrição reiterativa, quase pleonástica, do senso comum não é solução; o mesmo se pode dizer da desqualificação do senso comum que leva à desconsideração de propriedades fundamentais de algumas modalidades de fato social. A história das ciências sociais evidencia que têm se mostrado parcamente explicativas as pesquisas que se dedicaram ao estabelecimento de generalizações causais. E a resultados pouco alvissareiros têm chegado os esporádicos estudos que se propõem a levar em conta o conteúdo ideacional presente nos fatos sociais. Mesmo sendo indispensáveis, generalizações são insuficientes:

No campo da política e das ciências sociais tem crescido uma justificada desconfiança nas generalizações forçadas. Quando o pensamento é demasiadamente dominado por essas generalizações, interpretações equivocadas de seqüências específicas de causa e efeito são prontamente feitas a ponto de se deixar de fazer justiça à multiplicidade dos acontecimentos. O abandono da generalização, por outro lado, significa renunciar completamente à compreensão. Por essa razão, acredito que se pode fazer generalizações correndo riscos desde que se permaneça consciente de sua incerteza. (Einstein 1959, p. 197, tradução minha)

Os cientistas que adotam o modelo “de cima para baixo” – das estruturas holisticamente concebidas para a ação individual – atribuem uma funcionalidade ao mundo social para o

entendimento da qual é desnecessário dispensar atenção às ‘teorias’ encontradas no que é investigado. A visão de que existem estruturas e processos com *vida própria* localiza o *social* em uma dimensão supra-individual. Nesse caso, a explicação científica não tem razão para partir da identificação, para posterior reconstrução, dos “modos pessoais” de pensar e *dar significado* aos fatos. O senso comum é acusado de ‘teorizar’ – errada ou ilusoriamente – sobre fatos irrelevantes por carecer da capacidade de identificar os determinantes sistêmicos da sociabilidade. Acreditando que sua teoria é a única com acesso às causas dos fatos sociais, o cientista desqualifica o senso comum com base na alegação trivial de que lhe faltam os meios para o conhecimento. A ontologia do senso comum é acusada de ficar presa ao especioso plano pessoal ignorando os determinantes da conduta que se situam nas estruturas e processos sociais. Concebidas como meras racionalizações da consciência, as ‘teorias’ dos *socii* deixam de ser vistas como constitutivas dos objetos de estudo.

### 3. Conhecimento, senso comum e forma de vida

Desde seu alvorecer, a filosofia tem combatido o senso comum por reputá-lo refém das aparências. Apresentando-se como capaz de apreender o que é a realidade na sua dimensão essencial, a *episteme* desqualifica as *doxai* por considerá-las produtoras das falsas ou interesseiras visões com as quais se forma o senso comum. A tendência a estabelecer uma descontinuidade entre conhecimento e senso comum migrou de modo mais pronunciado da filosofia para as ciências sociais em virtude de estas se defrontarem com a necessidade de definirem modos de abordar o que nos fatos sociais os torna pré-interpretados. Situação diferente é a do cientista natural que combate crenças de senso comum sobre fatos que não se apresentam eles mesmos eivados de carga interpretativa. Entre os filósofos, os empiristas são os que têm maior propensão a encarar com “generosidade epistêmica” o senso comum. Costumam caracterizar, à maneira de Hume, conhecimento como senso comum “corrigido e metodizado”. Em contraposição, a maioria dos filósofos racionalistas e idealistas advoga que o conhecimento marca sempre uma ruptura com o senso comum.

Em defesa de uma completa descontinuidade entre conhecimento e senso comum, entre objeto construído e percebido, Descartes (1950, p. 48) salienta que, à primeira vista, o sol parece estar perto de nós e, no entanto, está longe. Parece pequeno, mas é grande. As primeiras impressões que formamos de nosso planeta mostram que podemos incorrer em erros banais de representação. A maioria dos cientistas sociais também acredita que o senso comum é refém de “obviedades” enganosas sem, entretanto, levar em consideração a ressalva de Descartes (1957, p. 24, tradução minha) de que “no que diz respeito aos costumes, é necessário às vezes seguir opiniões sabidamente muito incertas, como se fossem indubitáveis”. Afinado com a argumentação cartesiana contra o senso comum, Bachelard (1949, p. 9-10, tradução minha) apregoa que “a objetividade científica só é possível se rompermos, já de saída, com o objeto imediato, se recusarmos a sedução da primeira escolha, se barrarmos e contrariarmos os pensamentos nascidos da primeira observação”. Contraoendo-se à visão *continuista*, Bachelard (1966, p.132, tradução minha) assinala que “a ciência clássica [chegou a ser concebida] como um prolongamento do senso comum, da razão comum, [que se dedicava a] clarificar as opiniões, a precisar as experiências, a confirmar os conhecimentos elementares”.

É importante observar que Bachelard (1949, p.10, tradução minha) adota linha *epistemológica* argumentativa de inspiração cartesiana não só quando advoga que “toda objetividade, devidamente verificada, desmente o primeiro contato com o objeto e que, por isso, em primeiro lugar, deve criticar tudo: a sensação, o senso comum até a prática mais constante”, mas também quando, em continuação, recomenda ao estudioso das coisas humanas e sociais que assuma uma atitude diferente diante do senso comum: “quando se trata de observar homens, nossos semelhantes,

nossos irmãos, a simpatia é a base do método”. Mais que simpatia, que colocar-se no lugar do *outro*, o estudo social envolve o desafio de definir o tratamento a ser dispensado à compreensão que os *socii* formam sobre os fatos da sociabilidade. Só assim se pode identificar de que modo as ‘teorias’ de senso comum contribuem para a ocorrência ou recorrência de eventos psicossociais. Entendendo que a teoria científica e o senso comum são movidos por diferentes interesses e são respostas a diferentes problemas, Ryle (1964, p. 68-80) encara a tendência a apartá-los como fruto de confusão conceitual. Há quem defenda até a importância do senso comum e de fatores extracognitivos na aceitação de uma teoria que aspire a ser científica:

Se a teoria desenvolvida exclusivamente por se mostrar em conformidade com os fatos observados contasse a “verdade” sobre o mundo seria tolo supor seriamente que a aceitação de uma teoria científica fosse influenciada por razões como simplicidade e concordância com o senso comum, e mais ainda por motivos morais, religiosos ou políticos. (Frank 1957, p. 355, tradução minha)

Giddens (1993, p. 26) assinala que o funcionalismo merece ser criticado, entre outras coisas, “por reduzir a agência humana à ‘internalização de valores’ e por fracassar em tratar a vida social como *ativamente constituída* pelo que fazem *seus* membros”. As ciências sociais têm se mostrado ineficientes com suas teorias que ambicionam explicar estruturas, processos e outras entidades supra-individuais. Parcamente explicativos também se têm revelado os poucos estudos que colocam como objetivo fundamental da ciência social proporcionar, como advoga Schutz (1967, pp. 220-1), a maior clarificação possível do que pensam sobre o mundo social aqueles que nele vivem. Lidando ou não com o material ideacional *encontrável* em fatos que despontam pré-interpretados, as teorias das ciências sociais têm se mostrado explicativamente falhas. Quando se propõem a forjar teorias aspirantes a ser científicas sobre ‘teorias’ (de senso comum) fracassam em elaborar a metodologia apropriada. O desafio consiste em criar teorias que, sem incorrer em confusões conceituais, sejam formadas por proposições que se refiram tanto a fatos quanto às noções das pessoas sobre eles. O malogro do objetivismo é fruto de descuidar que está lidando com um mundo de fatos sobre o qual os atores criam *significados*. Ademais, a associação reiterada entre fatos e as ideias que os acompanham é fundamental para a *formação* de uma *forma de vida*:

Cabe ao cientista natural, e só a ele, definir [...] seu campo observacional e nele identificar os fatos, dados e eventos relevantes ao seu problema [...] Esses fatos e eventos não são pré-selecionados nem seu campo observacional previamente interpretado. O mundo da natureza, tal qual explorado pelo cientista natural nada “significa” para as moléculas, átomos e elétrons. No entanto, o campo observacional do cientista social – a realidade social – tem uma estrutura específica de significado e relevância para os seres humanos que em seu interior vivem, agem e pensam. (Schutz 1971, p. 59, tradução minha)

Entendemos ser vital destacar que sendo as compreensões do leigo *constitutivas* dos fenômenos sociais, a decisão de desqualificá-las e descartá-las não se reduz a um julgamento epistêmico. Condená-las, independentemente de se falsas ou ilusórias, equivale também a julgar a *forma de vida* construída com base nelas. Os modos de os *socii* compreenderem as ações e interações não podem ser avaliados apenas em termos de sua veracidade e fundamentação. Visto que as compreensões dos fatos influenciam sua ocorrência e recorrência, o senso comum contribui para a realidade social ser o que é. Reputar erradas as ideias de senso comum implica, em muitos casos, que as ações que nelas se inspiram são ineptas. Não incumbe ao cientista social emitir veredictos sobre a eficácia instrumental das ações que estuda decretando, por exemplo, ser uma cretinice dançar para fazer chover. Mesmo sendo epistemologicamente precárias, as compreensões acompanhantes dos fatos compõem *formas de vida*. Se no mundo social o ideacional impacta o fático, o estudioso tem a obrigação de investigar como isso se dá sem por isso ficar impedido de construir explicações que venham a retificar ou refutar as ‘teorias’ do leigo.

Ao situar a etiologia das causas dos fatos sociais em uma dimensão fora do alcance do olhar do leigo, a maioria das teorias sociais – estruturalistas, funcionalistas ou dialéticas – se exime de auscultar o senso comum. A questão é que a rejeição de uma compreensão de senso comum sobre fenômenos naturais pode ser justificada de modo estritamente epistêmico, pela invocação, por

exemplo, da autoridade da evidência empírica. Desqualificar as compreensões que as pessoas têm de suas ações e interações é diferente por envolver desconsiderar componentes da realidade estudada. Isso não quer dizer que a ciência social possa se legitimar reiterando o senso comum, mas sim que precisa lidar explicativa e reconstrutivamente com o fato, destacado por Schutz (1971, p. 59, tradução minha), de que “por meio de uma série de constructos de senso comum, [as pessoas] pré-selecionam e pré-interpretam esse mundo por elas experienciado como a realidade de suas vidas cotidianas”.

Diferentemente da rejeição das compreensões de fenômenos naturais elaboradas pelo senso comum, a teoria de que a religião é o ópio do povo, tal qual formulada por Marx (1978, p. 54), não se limita a ir contra a forma com que é pensada pelos fiéis. Isto porque desacreditar a visão que os crentes têm da religião e de suas práticas é mais que um juízo (pretensamente) científico. É também o julgamento de uma *forma de vida* na medida em que a prática religiosa é vista como fomentadora de alienação. E se o cientista fracassa em demonstrar o poder explicativo de sua teoria, possuidora também de cunho condenatório, o resultado final se reduz à depreciação de uma *forma de vida*. Isso é recorrente na história das teorias psicossociais que se pretendem crítico-revolucionárias: desqualificam o senso comum sem comprovar a própria cientificidade.

Para refutar a crença de alguém sobre algo que *não* faça parte do universo de suas vivências – por exemplo, de que a Terra é plana – é suficiente encontrar evidência empírica adversa. Já desacreditar o modo de as pessoas interpretarem e avaliarem o que vivenciam é mais que uma operação de falsificação de teoria: envolve colocar em julgamento – para além da questão epistemológica – determinada *forma de vida*. Há consenso entre os cientistas naturais em torno do que torna errôneas algumas ‘teorias’ do senso comum, mas não entre os cientistas sociais a respeito de se a religião aliena as pessoas fazendo-as se *desconectarem* das adversas condições materiais de sua existência. Nos antípodas de Marx, Durkheim (1968, p. 3, tradução minha) sublinha que “no fundo, não há religiões falsas; todas são verdadeiras ao seu modo: todas respondem, ainda que de maneiras diferentes, a condições dadas da existência humana”. É difícil justificar o rechaço das visões de senso comum sobre fatos como o religioso se os cientistas teorizam sobre eles chegando a conclusões conflitantes e até excludentes.

Sempre foi mais amplamente reconhecida a necessidade de levar em conta o conteúdo ideacional insito em fatos de *outra* cultura. Como não podem reiterar o senso comum sem produzir metanarrativas improfícuas, importantes antropólogos e etnólogos assumem posição ambivalente diante dele. Depois de buscarem identificar o conteúdo ideacional presente nos fatos, esses estudiosos acabam em um segundo momento considerando-o explicativamente insuficiente. Por isso oferecem explicações (pretensamente) científicas que nunca deixam de ir além das compreensões espontâneas que se formam no *Lebenswelt*. Por mais que se possa acusá-lo de adotar visões fragmentárias e atomistas, de pensar as várias dimensões da realidade social desvinculando-as umas das outras, por mais que seja incapaz de explicar fatos, o senso comum de uma cultura diferente da do cientista não pode ser desconsiderado. Mesmo porque desconsiderá-lo inviabilizaria o acesso a essa cultura, impediria conhecê-la *por dentro*.

Evans-Pritchard (1976, pp. 241-2, tradução minha) entende que se pode compatibilizar o senso comum do cientista social, e seu ferramental teórico-metodológico, com o material interpretativo encontrável no objeto de estudo: “costumava-se dizer – e se continua a fazê-lo – que o antropólogo vai ao campo com ideias preconcebidas sobre a natureza das sociedades primitivas e que suas observações são dirigidas por propensão teórica, como se isso fosse um vício e não uma virtude”. Para Evans-Pritchard, tudo depende do conjunto de ideias preconcebidas e da qualidade explicativa da teoria à luz da qual são feitas as observações. Supondo que o cientista, diferentemente do homem comum, opera com ideias construídas com rigor metodológico e imune a preconceitos, Evans-Pritchard afirma que “todo mundo vai a um povo primitivo com ideias preconcebidas, mas que, como Malinowski costumava assinalar, enquanto as ideias do leigo são

desinformadas e, em geral, preconceituosas, as do antropólogo são científicas; pelo menos no sentido de que se baseiam em um corpo considerável de conhecimento acumulado e refletido”. A conclusão de Evans-Pritchard é a de que se o estudioso não se dirigisse a seu objeto “com pré-concepções não saberia o que e como observar”. Mesmo porque “não se pode estudar o que quer que seja sem uma teoria sobre sua natureza”.

Quando se depara com crenças que *prima facie* são irracionais, qual deveria ser, indaga Lukes (1967, p. 247), a atitude do cientista social com relação a elas? Uma possibilidade seria a de dissecar, em nome da adoção de uma atitude crítica, epistemicamente as crenças para chegar à conclusão de que *são* irracionais; nesse caso, o problema passa a ser o de explicar como chegaram a ser adotadas e o que tem ensejado sua longevidade. Outra possibilidade seria indagar por que a atividade intelectual que veio a ser caracterizada como crítica racional a partir da filosofia grega deixou de se formar em outras sociedades. Igualmente importante pode ser identificar as conseqüências de crenças ‘irracionais’ – como a de que “aipins andam à noite” – serem endossadas por toda uma comunidade. A tendência entre os cientistas sociais tem sido a de identificar o valor e a função contextuais dessas crenças sem emitir juízos epistêmicos sobre elas. Mesmo os cientistas sociais que argumentam que o que parece irracional pode ser interpretado como racional quando contextualizado não se limitam a reiterar as crenças do senso comum: ambicionam elucidá-las e mostrar como operam em termos funcionais e contextuais.

Por necessidade, a empatia costuma ser exercitada por quem estuda *outras culturas*. A obrigação de ter respeito vivencial e epistêmico pelo senso comum de uma cultura diferente da sua impede o cientista social de desqualificar crenças que se lhe afiguram exóticas ou irracionais. O estudioso fica sujeito à acusação de etnocentrismo caso deprecie como pré-lógicas algumas das ‘teorias’ que singularizam o senso comum da cultura estudada. Não há dúvida de que no âmbito de sua própria cultura o cientista social fica mais à vontade para desmerecer as explicações do senso comum ainda que enfrente dificuldades para demonstrar que faz isso contando com uma teoria comprovadamente científica. Malinowski (1961, p. 25, tradução minha) é amiúde citado por pregar que a principal missão da etnografia é “apreender o ponto de vista do nativo, sua relação com a vida – é compreender *sua* visão de *seu* mundo”. Visto que precisa evitar incorrer em redundância descritivo-explicativa, fruto da reiteração do senso comum que torna a ciência social desnecessária, Malinowski não deixa de indigitar “limitação cognitiva” no que proclamam os selvagens sobre os fatos e as regras da vida social. Isso fica claro quando sustenta que os selvagens “não têm conhecimento da configuração total de sua estrutura social”:

Conhecem seus próprios motivos, o propósito de suas ações individuais e as regras que a eles se aplicam. Está, porém, *além de sua capacidade mental* saber como, fora essas coisas, a instituição coletiva total opera. Nem o mais inteligente nativo tem uma ideia clara do *Kula*, como uma grande e organizada construção social, e menos ainda de sua função e implicações sociológicas. Se lhe perguntássemos o que é o *Kula*, nos responderia com uns poucos detalhes, muito provavelmente relatando-nos suas experiências pessoais e as visões subjetivas do *Kula*, mas nada que se aproxime da definição dada aqui. Dele não podemos obter nem mesmo uma descrição parcialmente coerente. Isto porque a visão integral não existe em sua mente; ele é parte do todo e não tem como vê-lo de fora. (Malinowski 1961, p. 83, tradução minha)

O que Malinowski faz é reconhecer que o cientista, mesmo tendo a necessidade de apreender as ideias que os nativos formam sobre fatos da vida social, precisa ir além delas. Há várias formas de ultrapassar explicativamente o senso comum: por meio da observação “externa e distanciada”, da apreensão dos aspectos estruturais e processuais do mundo social ou da construção de explicação que se acredite capaz de desvendar a funcionalidade da totalidade. Mesmo quando pretendem ir além do senso comum, os antropólogos e etnógrafos o incorporam por considerarem-no caminho obrigatório para o acesso ao diferente. Sem falar que desqualificá-lo pode ser visto como desrespeito a uma forma de vida:

Os Azande falavam diariamente de bruxaria entre eles e comigo; qualquer comunicação era quase impossível se a bruxaria não fosse aceita como certa. Não se pode ter uma conversa profícua ou

inteligente com as pessoas sobre algo que elas tomam por autoevidente caso se provoque a impressão de se considerar a crença delas uma ilusão ou delírio. O entendimento mútuo, e com ele a simpatia, deixa de existir, se é que chega a existir, quando as crenças alheias são desconsideradas. (Evans-Pritchard 1976, p. 244, tradução minha)

Respeitando o senso comum imbricado nos fatos, Evans-Pritchard (1976, p. 159) defende que os Azande não têm como operar para *além de certos limites*: “sua cegueira não é devida à estupidez; mesmo porque raciocinam com excelência *no idioma de suas crenças*, sem que possam raciocinar fora de suas crenças, ou contra elas, uma vez que não têm outro idioma por meio do qual possam exprimir seus pensamentos”. Contudo, o fato de a ciência não poder se limitar a criar metanarrativas leva Evans-Pritchard a elaborar argumentação similar à supracitada de Malinowski: a pesquisa só logra oferecer alguma contribuição explicativa caso não se limite a sustentar, de modo *deferente*, que o engenho intelectual dos Azande é “condicionado pelos padrões do comportamento ritual e pela crença mística, e que nos limites impostos por esses padrões, eles mostram grande inteligência”. Para evitar fazer uma pesquisa reiterativa das crenças que acompanham os fatos, Evans-Pritchard acrescenta que “seus oráculos [dos Azande] nada lhes informam”:

Embora enfatize que um membro da cultura científica tem uma concepção de realidade diferente da do crente Azande na magia, Evans-Pritchard pretende ir além do mero registro desse fato de modo a tornar as diferenças explícitas e a poder afirmar que a concepção científica concorda, e a concepção mágica não, com o que a realidade efetivamente se parece. (Winch 1964, p. 308, tradução minha)

Exemplos como o de Malinowski e Evans-Pritchard ilustram a perseguição de metas de difícil consecução e conciliação: compreender e respeitar o senso comum de *outra* cultura e ir além de seus confins descritivo-explicativos. Evans-Pritchard (1976, p. 204) faz uma crítica semântico-metodológica cuidadosa quando observa que “as crenças dos Azande são em geral vagamente formuladas, e que uma crença para ser facilmente contradita pela experiência e para se mostrar em manifesta desarmonia com outras crenças deve ser claramente enunciada e intelectualmente desenvolvida; e o conceito azande, por exemplo, de alma do remédio é tão vago que não tem como se chocar com a experiência”. Evans-Pritchard (1976, p. 221) enfatiza repetidamente que despontam coerentes as crenças azande quando consideradas associadamente e interpretadas em termos das situações e relações sociais. Em sua opinião, ostentam inclusive plasticidade se vistas como respostas às situações e como partes dos contextos. Sustentando que não são estruturas ideacionais indivisíveis, mas associações frouxas de noções, Evans-Pritchard pensa que apresentá-las como um *sistema conceitual* faz com que suas insuficiências e contradições se tornem manifestas.

Ao investigar as crenças de senso comum, principalmente se de povos primitivos, o essencial não é determinar se são verdadeiras ou falsas e sim saber como afetam ações e relações. Definir um valor-de-verdade para as crenças políticas, psicológicas, econômicas, cosmológicas, biológicas etc. do senso comum não pode ser o objetivo central das ciências sociais. Mesmo porque precisam apreender as ‘teorias’ que as pessoas criam sobre *suas* realidades com a finalidade de entender de que modo a carga interpretativa inerente aos fatos ajuda, independentemente de seu valor epistêmico, a desencadeá-los. Investigando fenômenos de sua própria cultura, o pesquisador descarta liminarmente o senso comum em nome da construção de uma explicação apresentada como científica. É questionável que só quando estuda *outra* cultura precisa identificar e reconstruir explicativamente os conteúdos formadores do senso comum. Não fica comprovado que o entendimento de fenômenos de outra cultura – por exemplo, a feitiçaria – precisa *partir* dos relatos dos envolvidos, mas não a explicação que o cientista busca para fatos de sua própria sociedade.

Fatos sociais fornecem evidências favoráveis ou contrárias às teorias que aspiram a ser científicas. O problema é que não se justifica erigir a carga interpretativa ínsita nos fatos sociais em autoridade julgadora das teorias sociais que se pretendem científicas. A teoria que ambiciona

ser científica não pode se voltar para a busca de confirmação nas ‘teorias’ que se mostram constitutivas dos fatos sociais. Caso uma teoria psicossocial encare as ‘teorias’ dos agentes como fontes decisivas de contraexemplos ficará sempre à mercê do senso comum. Por isso, colocar-se contra a desqualificação das ‘teorias’ do senso comum não implica conceder-lhes o poder de avaliar as explicações dos cientistas. Se a compreensão dos *socii* sobre o que fazem for guindada a juiz das teorias sociais, se inviabilizará o projeto de uma ciência do social na medida em que o fato social passa a conter a explicação de si mesmo.

As teorias que se pretendem científicas podem intentar criticar e corrigir as compreensões que os *socii* têm dos fatos. Não podem, contudo, perder de vista que as compreensões também são, em parte, fatos na medida em que fazem parte do objeto estudado. E fatos não têm como ser refutados. Nada há de elucidativo em ‘parafrapear’ os modos de as pessoas compreenderem fatos e eventos psicossociais. Nenhum ator detém um amplo conhecimento da inserção de sua existência nas complexas malhas dos processos de interação humana. Seu campo diminuto de atuação não é o palco inteiro do teatro no qual se desenrolam ações e interações de sua comunidade. Não se trata de tornar as ciências sociais dependentes do senso comum e sim de sublinhar que o conteúdo encontrado nos fatos sociais – pré-interpretados – faz parte deles, não se reduz a teia de ilusões descartáveis, como muitos cientistas sociais propalam. O conteúdo do senso comum não deve ser acolhido pelas ciências sociais, mas dissecado como parte do fato social. Como não se tem conseguido fazer isso com proficiência, o problema crucial, ainda por ser equacionado, é o de lidar com a complexa relação entre a linguagem do senso comum e as metalinguagens que se pretendem científicas.

## Referências bibliográficas

---

- Bachelard, G. (1949), *La Psychanalyse du Feu*, Paris: Gallimard.
- Bachelard, G. (1966), *La Philosophie du Non: Essai d'une Philosophie du Nouvel Esprit Scientifique*, Paris: Presses Universitaires de France.
- Brodbeck, M. (1977), “Meaning and Action”, in Nidditch, P. (ed.), *The Philosophy of Social Science*, Oxford: Oxford University Press, pp. 97-120.
- Comte, A. (1908), *Cours de Philosophie Positive*, Volume I, Paris: Schleicher Frères Editeurs.
- Descartes, R. (1950), *Méditations Métaphysiques*, Paris: Librairie Larousse.
- Descartes, R. (1957), *Discours de la Méthode*, in *Oeuvres Choisies de Descartes*, Paris: Garnier Frères, pp. 1-59.
- Durkheim, E. (1967), *Les Règles de la Méthode Sociologique*, Paris: Presses Universitaires de France.
- Durkheim, E. (1968), *Les Formes Élémentaires de la Vie Religieuse*, Paris: Presses Universitaires de France.
- Durkheim, E. (1987), “La Conception Matérialiste de L’histoire: Une Analyse Critique de L’ouvrage d’Antonio Labriola: Essais sur la Conception Matérialiste de L’histoire”, in Durkheim, E., *La Science Sociale et l’Action*, Paris: Presses Universitaires de France, pp. 245-254.
- Einstein, A. (1959), “Why Do they Hate the Jews?”, in Einstein, A., *Ideas and Opinions*, Nova Iorque: Crown Publishers, pp. 191-200.
- Evans-Pritchard, E.E. (1976), *Witchcraft Oracles, and Magic among the Azande*, Oxford: Clarendon Press.
- Frank, P. (1957), *Philosophy of Science: The Link between Science and Philosophy*, Nova Jérsei: Prentice-Hall.
- Giddens, A. (1993), *New Rules of Sociological Method*, Stanford: Stanford University Press.
- Lukes, S. (1967), “Some Problems about Rationality”, *European Journal of Sociology/Archives Européennes de Sociologie* 2 247-264.
- Malinowski, B. (1961), *Argonauts of the Western Pacific*, Nova Iorque: E.P. Dutton.
- Marx, K. (1978), “Contribution to the Critique of Hegel’s Philosophy of Right”, in Tucker, R. (ed.) *The Marx-Engels Reader*, Nova Iorque: W. W. Norton & Co., pp. 53-65.

- Russell, B. (1977), *Misticismo e Lógica e Outros Ensaio*s (trad. de Alberto Oliva), Rio de Janeiro: Zahar Editores.
- Ryle, G. (1964), "The World of Science and the Everyday World", in *Dilemmas: The Tarner Lectures*, Londres: Cambridge University Press, pp. 68-81.
- Sorokin, P. (1956), *Fads and Foibles in Modern Sociology and Related Sciences*, Chicago: Henry Regnery.
- Schutz, A. (1953), "Common-Sense and Scientific Interpretation of Human Action", *Philosophy and Phenomenological Research* 1: 1-38.
- Schutz, A. (1967), *The Phenomenology of the Social World* (trad. de George Walsh), Evanston, Ill.: Northwestern University Press.
- Schutz, A. (1971), "Concept and Theory Formation in the Social Sciences", in Schutz, A., *Collected Papers I The Problem of Social Reality*, Martinus Nijhoff: The Hague, pp. 48-96.
- Toulmin, S. (1953), *The Philosophy of Science*, Londres: Hutchinson.
- Voegelin, E. (1952), *The New Science of Politics: An Introduction*, Chicago: The University of Chicago Press.
- Weber, M. (1978), *Economy and Society: An Outline of Interpretive Sociology* (trad. de Ephraim Fischhoff *et alii*), Berkeley: University of California Press.
- Winch, P. (1980), *The Idea of a Social Science and its Relation to Philosophy*, Londres: Routledge.
- Winch, P. (1964), "Understanding a Primitive Society", *American Philosophical Quarterly* 4: 307-324.



# Conciliando a neutralidade e a carga teórica das observações\*

Oswaldo Pessoa Jr.†

## Resumo

Neste artigo, trataremos de duas questões que surgem em teorias empiristas do conhecimento científico: a das observações neutras e de sua carga teórica, e a distinção entre termos observacionais e teóricos. Para isso, desenvolvemos uma metateoria “causal pluralista” da observação, para a qual uma observação é definida como sensação (percepção, vivência) acompanhada de teorização (interpretação, representação, pretensão conhecimento). A chamada “observação neutra”, defendida pelo empirismo de Mill, mas criticada por tantos outros, como Whewell e Hanson, pode ser considerada uma observação carregada apenas de teorização de “baixo nível”. Discutimos a distinção entre teorizações de alto, médio e baixo nível, associando a última com quatro tipos de inferências inconscientes sugeridas por Irvin Rock. Segundo a presente abordagem, um termo observacional refere-se a uma situação de observação neutra em relação a teorias científicas, mas não neutra em relação a teorizações de médio e baixo nível. Mencionamos também o debate sobre a carga teórica da percepção empreendida por Paul Churchland e Jerry Fodor.

## 1. Introdução

A observação pode ser definida como uma percepção na qual (i) se salienta um foco de atenção e que (ii) envolva a aquisição de conhecimento. O ponto (ii) é o aspecto “epistêmico” da observação, e exprime a aquisição de informação que está associada à observação (Shapere 1982, p. 492).

Ao observarmos algo no mundo, carregamos expectativas sobre o que iremos perceber. Quando tais expectativas estão minimamente articuladas, pode-se falar em “expectativas teóricas”, que (i) orientam o foco de atenção e (ii) influenciam o julgamento a respeito do que estamos observando.

Nas palavras de Dudley Shapere (1982), uma observação “é uma função do atual estado de conhecimento físico” (p. 492), e “informação prévia desempenha um papel extenso na determinação do que conta como observação” (p. 505). Só podemos observar neutrinos solares se nossa teoria científica postular sua existência e fornecer várias de suas propriedades. Ou seja, de modo geral, uma observação é “carregada” ou “impregnada” de expectativas teóricas (epistêmicas). Na ciência, a observação de uma entidade postulada teoricamente (como os neutrinos solares) envolve longas cadeias de inferências guiadas pelas teorias da fonte, do meio de transmissão, do instrumento científico e do aparelho perceptivo humano. Este é o aspecto causal da teoria da observação, explorado em artigo anterior (Pessoa 2011), numa abordagem “causal-pluralista” da observação, de cunho realista.

---

\* Agradeço ao Alberto Oliva pelo incentivo e comentários às ideias deste texto, na sua coordenação da mesa-redonda “Cabe continuar distinguindo teoria de observação?”, realizada no *VIII Encontro da AFHIC*, realizada em Santiago em 18/10/2012, e no convite para a palestra no Centro de Epistemologia e História da Ciência, IFCS-UFRJ, Rio de Janeiro, em 18/06/2013.

† Departamento de Filosofia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo (USP). Para contatar ao autor, por favor, escreva a: [opessoa@usp.br](mailto:opessoa@usp.br).

Neste artigo, trataremos mais especificamente de duas questões que surgem em teorias empiristas do conhecimento científico: a das observações neutras (e de sua carga teórica) e a distinção entre termos observacionais e teóricos.

## 2. A questão da carga teórica das observações

É possível haver uma observação neutra em relação a teorias?

A tendência da tradição empirista, que se iniciou com Francis Bacon e foi fortemente articulada por alguns empiristas lógicos, é separar *observação direta*, de um lado, e *inferências* obtidas a partir destas, de outro. Desse modo, há observações cujo aspecto epistêmico é fornecido diretamente para nós, sem a mediação de uma teoria científica. Tal ideal de observação neutra é às vezes chamado de “baconiano”, apesar de Francis Bacon ter ressaltado que “as próprias impressões dos sentidos são viciosas” e que podem levar ao erro (Bacon 1979 [1620], § 69).

Há duas situações em que o ideal baconiano deve ser avaliado. O primeiro caso é o de uma ciência nascente. Nesta situação, geralmente não há ainda boas teorias a respeito do fenômeno estudado. Assim, a atitude baconiana envolve um esforço de eliminar a influência de qualquer pressuposto teórico ou “ídolo”, que porventura conheçamos, na organização do material que se observa. Esta atitude pode ser vista como salutar em uma ciência nascente, como a termologia ou a eletricidade do séc. XVII, mas no caso de uma ciência madura, como a física do final do século XIX, passa a ser vantajoso acoplar observações a considerações teóricas sofisticadas.

Na tradição empirista do século XX, Rudolf Carnap (1995, p. 226) reconheceu que a estipulação do que seja uma “observação direta” tem um elemento de arbitrariedade: um físico pode considerar que um amperímetro fornece uma observação direta de uma corrente elétrica, ao passo que um filósofo pode considerar que a observação direta em questão é a da posição do ponteiro do amperímetro, e que a corrente é apenas “inferida”. Mas, de qualquer maneira, fica clara a importância, para o empirismo lógico, da distinção entre “observação direta” e a “inferência teórica” obtida a partir de uma observação.

Esta distinção foi claramente defendida em 1843 por John Stuart Mill, mas ela já havia sido criticada por seu colega William Whewell, influenciado por Kant. Se para Mill os fatos são independentes da teoria, para Whewell “todo fato envolve ideias”, isto é, todo fato é apreendido sob uma certa perspectiva teórica. Ao focar uma reunião de fatos isolados, como nos dados planetários de Kepler, Whewell (1840, pp. 213-214) argumentava que “há um novo elemento” acrescentado por meio do ato de pensar: “As pérolas estão lá, mas não formarão o colar até que alguém providencie o fio”. Ou seja, Kepler projetou nos dados a construção mental conhecida como elipse. Em oposição a ele, John Stuart Mill (1843, livro III, cap. II, §4, p. 363) afirmava que a elipse que Kepler identificou nas órbitas planetárias “estava nos fatos antes que a reconhecesse [...] Kepler não *colocou* o que concebera nos fatos, mas *viu* isso neles”.

A posição de Whewell é conhecida como a “tese da carga (ou impregnação) teórica das observações” (*theory-ladenness of theories*), e tem sido defendida por diversos filósofos da ciência, como Pierre Duhem, Karl Popper e Carl Hempel, entre outros. Norwood Russell Hanson (1958, p. 5) defendeu esta posição colocando a pergunta: “Kepler e Tycho veem a mesma coisa a leste no alvorecer?” Para o empirista baconiano (ou melhor, milliano), ambos recebem os mesmos dados dos sentidos – o Sol se separando do horizonte – mas fazem inferências ou interpretam-nos de maneiras diferentes: para um é a Terra que está girando, para o outro é o Sol que se move. Hanson admite que as *sensações* de ambos são semelhantes, mas salienta que “observação” é mais do que sensação, pois envolve também uma dimensão linguística, expressa na construção “observo que ...”. Assim, Kepler e Tycho Brahe observariam coisas distintas no alvorecer: o primeiro observa *que* a Terra gira, e o segundo *que* o Sol se levanta.

Neste caso, em que duas teorias científicas relativamente maduras guiam as observações, há uma solução para conciliar a tese da carga teórica das observações com o ideal da observação neutra em relação a teorias. No caso que o empirista milliano chama de “observação neutra”, o

que estaria acontecendo é que qualquer teoria que esteja impregnando a observação é equidistante em relação às duas teorias científicas sendo testadas pela observação – no exemplo dado, o geocentrismo e o heliocentrismo. Em outras palavras, essas duas teorias astronômicas (e também uma terceira posição, o relacionismo de Mach, que considera as duas como equivalentes) são igualmente consistentes com as teorias físicas que possam estar impregnando a observação, por exemplo teses da mecânica, termologia e óptica que estariam sendo pressupostas no funcionamento dos instrumentos de observação.

O que faremos agora é levar adiante essa estratégia de conciliação, distinguindo diferentes níveis de teorização, e depois examinando o debate a este respeito, ocorrido na literatura da filosofia da ciência, entre Paul Churchland e Jerry Fodor.

### 3. Teorização de baixo nível

A conciliação entre observações neutras e impregnação teórica pode ser feita a partir de uma distinção entre diferentes “graus” de teorização. Simplificadamente, podemos falar em teorização de “alto nível”, como na ciência mais madura, de “médio nível”, como no conhecimento cotidiano e na psicologia popular, e de “baixo nível”, que estaria implícito no funcionamento de nosso aparelho perceptivo.

Tomemos um bom exemplo de observação neutra em relação a teorias. Quando o grego Estráton quis mostrar que na queda livre dos corpos há aceleração, ele comparou o som gerado pela queda de um corpo bem próximo ao solo com a queda do mesmo corpo a partir de uma altura grande (Cohen & Drabkin 1948, pp. 211-212). As observações auditivas indicaram claramente que, no segundo caso, o volume do som é maior. Tal observação seria carregada de teoria?

Está claro que a *realização* do experimento foi guiada por considerações teórico-científicas de nível razoavelmente alto, assim como sua *interpretação*. Mas a observação propriamente dita não é afetada pela validade ou não da teoria aristotélica do movimento natural, que estava em questão.

Mesmo aceitando que a observação auditiva dos sons não está impregnada pela sofisticada teoria aristotélica do movimento natural, pode-se argumentar, no entanto, que neste caso ocorre implicitamente uma “teorização de baixo nível”. Em primeiro lugar, o foco de atenção está dirigido para o volume de som. Mesmo que este ponto não seja relevante para um milliano, o segundo ponto é mais importante: a comparação entre diferentes volumes de som envolve uma concepção prévia a respeito da distinção entre um som mais baixo e mais alto (no sentido subjetivo de *loudness*). A associação dos conceitos de “alto” e “baixo” a diferentes sons percebidos subjetivamente é um exemplo de *teorização de baixo nível*. A aceitação desta categoria de teorização permite conciliar o ideal empirista de observação neutra com a tese da carga teórica das observações. Uma observação carregada apenas de teorização de baixo nível seria “neutra”.

Tomemos agora um exemplo em que somos enganados pela nossa teorização de baixo nível (Pessoa Jr. 2011, pp. 378-379). Considere um painel luminoso retangular com 323 lâmpadas de diodo. Suponha que um único diodo se acenda e apague durante um curto intervalo de tempo, e logo em seguida o mesmo aconteça para um diodo vizinho, e em seguida para um vizinho deste, e assim por diante, em sucessão. Ao observarmos esse fenômeno, temos a tendência de identificar uma *coisa* se movendo no céu, como se fosse um avião ao longe, com suas luzes ligadas. Mas na verdade não há tal coisa, mas apenas diodos que se acendem em sucessão. Essa ilusão ocorre porque a “teoria gerada pelo aparelho perceptivo”, uma teorização de baixo nível, implicitamente supõe que o mundo percebido é feito de coisas que mantêm sua identidade e podem se locomover no espaço. Tal teorização, é claro, tem grande função adaptativa (segundo a biologia evolutiva), mas em certas circunstâncias – como na observação do que ocorre no telão de diodos – ela pode levar a erros de previsão. Nessas circunstâncias, pode-se neutralizar a influência da teoria espontânea errônea (de que os pontos luminosos são coisas que se movem) impondo uma teoria

de médio nível mais verdadeira (a de que os pontos iluminados não se movem, mas se acendem e apagam em sucessão).

A noção de teorização de baixo nível foi proposta por Hermann von Helmholtz (1867, III, § 26, p. 430), ao descrever as “conclusões inconscientes” (*unbewusste Schlüsse*) que acompanham atos de percepção, inclusive as ilusões de óptica, que levariam a “inferências indutivas incorretas”. O movimento psicológico do “Novo Olhar” (*New Look*), capitaneado por Jerome Bruner na década de 1950, salientou o caráter *ativo* da percepção, por exemplo nos experimentos pioneiros mostrando que crianças pobres tendem a superestimar o tamanho de moedas (devido ao fato de atribuir maior valor a elas do que fazem crianças mais ricas). Richard Gregory (1970, p. 30) exprimiu a proximidade entre percepção e cognição salientando que toda percepção envolve “uma espécie de resolução de problema – uma espécie de inteligência”, e isso equivaleria à tese de que esta resolução é sempre carregada de expectativas e teorizações (Fodor 1984, p. 30).

Dois exemplos clássicos associados com inferência inconsciente são (i) a avaliação da distância dos objetos e tendência a considerar que os tamanhos dos objetos não mudam com a distância, e (ii) a constância das cores sob diferentes iluminações (Hatfield 2002, p. 116-9). Mais modernamente, Irvin Rock (1983) identificou quatro tipos de operações cognitivas na percepção: (1) descrição inconsciente, no caso da percepção de forma; (2) solução de problema e inferência para a melhor explicação, no caso de ambiguidade de estímulos; (3) determinação relacional de perceptos, como na comparação de cores ou de movimentos, onde o contexto é relevante; (4) inferência dedutiva, usada para explicar constâncias (i e ii, acima). Para cada tipo, há situações em que as inferências levam a conclusões errôneas, que são as ilusões perceptivas. Assim como fez Fodor, Rock postulou que essas operações cognitivas da percepção são baseadas em descrições internas em uma “língua do pensamento” ainda desconhecida (cf. Hatfield 2002, p. 125).

O exemplo da observação neutra de Estráton se aproxima mais da teorização de baixo nível do tipo (3), apesar de ser mais simples, pois o contexto em que a percepção do volume do som se dá é mantida constante (não há ilusão associada).

Pode-se objetar, contudo, que chamar uma inferência inconsciente de “teorização de baixo nível” envolve um uso do termo “teorização” que está muito distante do sentido usual, e que portanto o termo é inadequado. Nossa insistência no uso do termo é para salientar que tanto a teorização de baixo nível quanto as de níveis mais sofisticados são produtos da estrutura material do cérebro.

Outra questão interessante, colocada por Otavio Bueno, é se as primeiras percepções de um bebê são carregadas de teoria. É concebível que não envolvam ainda nem os mecanismos de inferência inconsciente, de forma que poderíamos dizer que envolve um grau nulo de teorização.

#### 4. O debate sobre a neutralidade da percepção

As colocações da seção anterior não são novas, e se aproximam da posição defendida por Jerry Fodor (1984), em debate com Paul Churchland. Este último havia explorado a questão da carga teórica das observações em artigo de 1975. Seguindo a tradição de N.R. Hanson, Wilfrid Sellars, Nelson Goodman, Mary Hesse, Thomas Kuhn e Paul Feyerabend (cf. Churchland 1979, p. 37-8), o ponto principal do artigo é que a tradução linguística de uma percepção simples é carregada de pressuposições teóricas: nossa visão de uma mancha cinza invoca crenças implícitas (*background beliefs*) muito distintas daquelas de uma hipotética espécie de homínidos noturnos que percebe temperaturas não de maneira tátil, mas de maneira visual (através de manchas cinzas). Portanto, o *significado* de um termo observacional simples não é dado na sensação, mas também (ou exclusivamente) por conjuntos de crenças (Churchland 1975, p. 253-5).

Este é o que chama de “viés intensional” da carga teórica das observações, que é distinto do “viés extensional”, que envolve a maneira como dividimos qualitativamente em classes as sensações que chegam até nós do mundo exterior.

Sem errar muito, poder-se-ia descrever a meta da ciência teórica como [1] a identificação das classes naturais importantes nas quais a natureza se divide, e [2] a especificação das relações gerais que há entre elas. Mas pelo que vimos nas duas seções anteriores, esses dois assuntos já estão, em grande medida, estabelecidos por qualquer vocabulário observacional – seu viés extensional consistindo de seus comprometimentos com respeito ao primeiro ponto, e seu viés intensional consistindo da rede de comprometimentos com o segundo ponto. Podemos colocar este fato no foco adequado concedendo que um vocabulário de observação é ele próprio apenas mais um vocabulário teórico, distinto dos outros por ser [...] o vocabulário corrente da “primeira resposta” da incidência causal do ambiente. (Churchland 1975, p. 259)

Esta concepção de que há um vocabulário teórico “de primeira resposta” implícito na percepção é conciliável com a proposta da seção 3 do presente artigo, de que a teorização envolvida na percepção é de baixo nível. A única diferença é que concebemos que esta teorização inconsciente possa ser pré-lingüística, de forma que não falamos em “vocabulário”.

Jerry Fodor (1984, p. 28) invocou a opinião de sua fictícia vovozinha conservadora (*Granny*) para ir contra a noção de que “alguém pode alterar suas capacidades observacionais [simplesmente] alterando suas teorias”. Um dos argumentos que Fodor fornece é o da ilusão de óptica de Muller-Lyre, em que dois segmentos de reta horizontais, de mesmo comprimento, parecem ter tamanhos diferentes porque linhas orientadas em diferentes direções oblíquas são desenhadas nas extremidades do segmento (em um segmento, como cabeças de flecha, em outro, como as penas da flecha). Mesmo depois que aprendemos a explicação por trás da ilusão de óptica, continuamos a ter a ilusão de que um dos segmentos é maior do que o outro. Isso indicaria que aspectos da percepção são “encapsulados” e isolados de qualquer teorização, como um módulo mental, uma percepção não suscetível à plasticidade salientada por Churchland.

O materialista eliminativista respondeu às críticas (Churchland, 1988), com tréplica do teórico da modularidade (Fodor, 1988). Parte da discussão girou sobre o quanto as expectativas teóricas podem afetar as percepções, com ambos apelando para resultados empíricos da psicologia e da neurociência. Os dois, porém, concordam que há, até um determinado grau, influência da teorização de baixo nível na percepção.

Tudo isso sugere que seria melhor distinguirmos duas questões que até agora tratamos como a mesma: a questão de se a percepção é uma espécie de resolução de problema (i.e., se a observação é inferencial) e a questão de se a percepção é penetrada totalmente por crenças implícitas (i.e., se a observação pode ser neutra de teoria). Colocando de outra maneira, é perfeitamente possível trilhar um caminho do meio entre *Granny* [a vovozinha] e Jerome Bruner: concordar com Bruner (contra *Granny*) de que há um sentido importante em que a observação é uma espécie de inferência, mas também concordar com *Granny* (contra os relativistas de Harvard [Quine, Goodman, Putnam]) de que há, na percepção, um radical isolamento entre como as coisas aparecem e os efeitos de muito do que se acredita. (Fodor 1984, p. 35)

Porém, se considerarmos o tipo de informação implícita que penetra a percepção (de acordo com a teoria da modularidade), resulta que a percepção é de fato neutra com respeito à maioria dos desacordos científicos (e, nesse sentido, práticos) para os quais se invoca a observação para resolver. (Fodor 1988, p. 189)

De acordo com Fodor, como a teorização de baixo nível é em grande medida independente da teorização científica, a contaminação teórica que a primeira exerce sobre a observação científica é constante, e a que a segunda exerce é irrelevante.

## 5. Distinção entre termos observacionais e teóricos

A distinção defendida pelos empiristas lógicos (e já mencionada acima) entre termos de observação e termos teóricos (Carnap 1995, pp. 225-231) pode ser analisada segundo a concepção aqui proposta. Um termo de observação refere-se a uma situação de observação neutra – neutra

em relação a teorias científicas, mas não neutra em relação a teorizações de médio e baixo nível. Ao observar uma fotografia obtida em uma câmara de bolhas, o leigo identificará apenas traços curvos na imagem, não dirá que esteja “observando partículas”. O conceito de “traço curvo” envolve apenas uma teorização de nível razoavelmente baixo, e assim pode ser considerado um termo de observação.

Já um físico teórico poderá identificar um neutrino, mesmo em uma região sem traços, e dirá que “observou um neutrino de múon”. Tal observação depende de uma sofisticada teorização de alto nível, de tal forma que é justificado considerar o “neutrino de múon” um termo teórico.

### Referências bibliográficas

- Bacon, F. (1979 [1620]) *Novum Organon* (trad. J.A.R. de Andrade), in *Os Pensadores*, São Paulo: Abril Cultural, pp. 1-231.
- Carnap, R. (1995), *An Introduction to the Philosophy of Science* (org. por M. Gardner), New York: Dover. Originalmente: *Philosophical Foundations of Physics*, New York: Basic Books, 1966.
- Churchland, P.M. (1975), “Two Grades of Evidential Bias”, *Philosophy of Science* 42: 250-259.
- Churchland, P.M. (1979), *Scientific Realism and the Plasticity of Mind*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Churchland, P.M. (1988), “Perceptual Plasticity and Theoretical Neutrality: A Reply to Jerry Fodor”, *Philosophy of Science* 55: 167-187.
- Cohen, M.R. y I.E. Drabkin (1948), *A Source Book in Greek Science*, London: Oxford University Press.
- Fodor, J. (1984), “Observation Reconsidered”, *Philosophy of Science* 51: 23-43.
- Fodor, J. (1988), “A Reply to Churchland’s ‘Perceptual Plasticity and Theoretical Neutrality’”, *Philosophy of Science* 55: 188-198.
- Gregory, R.L. (1970), *The Intelligent Eye*, New York: McGraw-Hill.
- Hanson, N.R. (1958), *Patterns of Discovery*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Hatfield, G. (2002), “Perception as Unconscious Inference”, in Heyer, D. e R. Mausfeld (orgs.), *Perception and the Physical World*, New York: Wiley, pp. 115-143.
- Helmholtz, H. (1867), *Handbuch der physiologischen Optik*, Leipzig: Leopold Voss.
- Mill, J.S. (1843), *A System of Logic, Ratiocinative and Inductive*, vol. I, London: J.W. Parker.
- Pessoa Jr., O. (2011), “Uma Teoria Causal-Pluralista da Observação”, in Dutra, L.H.A. e A.M. Luz (orgs.), *Temas de Filosofia do Conhecimento*, Coleção Rumos da Epistemologia, vol. 11, Florianópolis: NEL/UFSC, pp. 368-381.
- Rock, I. (1983), *Logic of Perception*, Cambridge, MA: The MIT Press.
- Shapere, D. (1982), “The Concept of Observation in Science and Philosophy”, *Philosophy of Science* 49: 485-525.
- Whewell, W. (1840), *Philosophy of the Inductive Sciences*, vol. II (posteriormente: *Novum Organon Renovatum*), London: J.W. Parker.

# Uma axiomatização operacional da teoria quântica

Oswaldo Pessoa Jr.<sup>†</sup>

## Resumo

Apresenta-se um esboço de uma axiomatização operacional da teoria quântica, com postulados mais ligados a questões empíricas, visando uma abordagem mais didática à física quântica e que não pressuponha a teoria matemática dos espaços vetoriais complexos. Como pano de fundo, faz-se uma comparação das axiomatizações empiristas e dedutivistas. Após apresentar brevemente os tradicionais sete postulados da mecânica quântica, próximos da abordagem dedutivista, propomos seis postulados mais operacionais, incluindo um que destaca a existência de estados não-separáveis (emaranhados) de dois objetos quânticos.

## 1. Duas abordagens para a axiomatização de teorias científicas

A axiomatização da geometria de Euclides foi o paradigma do conhecimento seguro ao longo de dois milênios. Sistemas filosóficos do séc. XVII, como os de Descartes e Espinosa, buscavam partir de postulados auto-evidentes para então deduzir teoremas de seu sistema. Na física, Descartes e Newton construíram seu sistema de mundo com base em postulados que, se não eram auto-evidentes ou intuitivos, eram relativamente simples, como o princípio de inércia e o de ação e reação.

Duas características almeçadas para esses sistemas axiomáticos eram a segurança dos postulados fundamentais e o rigor das deduções. A partir da segunda metade do séc. XIX, o peso diferente atribuído a cada uma dessas características gerou dois polos distintos de axiomatizações (com ampla gama de casos intermediários): a abordagem *empirista* ou *operacional* versus a abordagem *dedutivista* (geralmente associada a um realismo semântico, mas também consistente com o instrumentalismo). A primeira enfatiza a segurança dos postulados, que no caso das ciências empíricas está associado à observação ou aos “fatos”, e buscam-se postulados que reflitam diretamente operações experimentais e observações objetivas. Já a abordagem dedutivista aceita que o sistema axiomático se baseie em hipóteses não diretamente comprováveis, desde que as deduções feitas a partir desses postulados descreva corretamente as observações empíricas.

A axiomatização informal que Newton apresentou nos *Principia* era bastante próxima da abordagem empirista. Cada axioma pretendia exprimir uma lei fundamental do Universo, ou seja, pretendia ter um importante conteúdo físico, mesmo que houvesse redundância: a 1ª lei é um caso particular da 2ª lei, para força resultante igual a zero. No séc. XIX, Mach, Kirchhoff e Hertz, entre outros, buscaram fazer uma revisão dos postulados newtonianos para torná-los ainda mais condizentes com o ideal empirista de reduzir uma teoria científica a observações minimamente impregnadas de teorização. Assim, o conceito de “força” foi considerado como sendo não diretamente observável, e passou a ser definido a partir de massa e aceleração.

Em suma, as abordagens mais empiristas ou operacionais de axiomatização de teorias científicas buscam ao máximo definir apenas conceitos observacionais, minimizando a introdução de termos teóricos (que não designam entidades observáveis) e buscando construir as estruturas

---

<sup>†</sup> Departamento de Filosofia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo (USP).

Para contatar ao autor, por favor, escreva a: [opessoa@usp.br](mailto:opessoa@usp.br).

matemáticas passo a passo com a definição dos conceitos. Costuma haver nos partidários deste estilo uma forte preocupação didática. No séc. XX, Herbert Simon (1970) adotou tal perspectiva para a axiomatização da mecânica clássica (ver discussão em Dorling 1977).

Em oposição a isso, abordagens dedutivistas seguem um estilo que foi explorado de maneira rigorosa por McKinsey, Sugar & Suppes (1953). Em sua axiomatização da mecânica clássica, eles encararam o conceito de força de maneira realista, mesmo adotando um tom geral instrumentalista, e aceitaram que se pudesse definir esse conceito de modo independente das observações. Redundâncias como aquela apontada entre a 1ª e a 2ª leis de Newton eram rigorosamente eliminadas. Tal abordagem se alia com a chamada concepção semântica de teorias (ver, por exemplo, Suppe 1989), que incorpora toda uma teoria matemática (por exemplo, a da geometria simplética na mecânica hamiltoniana) na base da axiomatização. Pode-se dizer que esta abordagem prioriza mais o rigor lógico do que a preocupação didática.

## 2. A axiomatização dedutivista da teoria quântica

As axiomatizações da teoria quântica não-relativística (por exemplo, d'Espagnat 1976, pp. 14-20, Cohen-Tannoudji *et al.* 1977, pp. 162-163, 213-225, Isham 1995, pp. 84-85) geralmente seguem a versão pioneira de von Neumann (1932), que é apontada como uma antecipação da abordagem dedutivista na axiomatização de teorias científicas, e da concepção semântica a teorias científicas (Suppe 1989, p. 3).

O 1º postulado associa cada *estado puro* de um sistema quântico a um vetor em um espaço de Hilbert (espaço vetorial complexo). Implícito nesta associação está o princípio quântico de superposição: dados dois estados permitidos do sistema, qualquer combinação linear dos vetores associados fornece um vetor associado a um estado permitido. Implícito também está a existência de estados emaranhados de duas partículas, representados por vetores não fatoráveis. O 2º postulado associa uma grandeza fisicamente *observável* a um operador auto-adjunto no espaço de Hilbert, e os *resultados* possíveis da medição deste observável são associados pelo 3º postulado aos autovalores do operador. O 4º postulado exprime as *probabilidades* de se obterem os diferentes resultados possíveis da medição do observável. O 5º é o *postulado da projeção*, que estipula qual o estado final após uma certa medição que forneceu um resultado específico. O 6º postulado é a *equação de Schrödinger*, que descreve a evolução temporal de um sistema fechado, antes da realização de uma medição. Por fim, um 7º postulado é adicionado (d'Espagnat 1976, pp. 27-28), afirmando que partículas indistinguíveis (ou seja, tendo mesma massa, carga etc.) devem ser descritas por vetores de estado simétricos (no caso de bósons, com spin inteiro) ou anti-simétricos (no caso de férmions, com spin semi-inteiro).

Tal axiomatização é bastante clara e útil para quem domina o formalismo matemático da teoria. Conforme já mencionado, uma característica bastante apreciada, dentro da concepção semântica de teorias, é o fato de que uma teoria matemática completa (a dos espaços vetoriais complexos) é incorporada na base da axiomatização.

No entanto, tal abordagem não é facilmente assimilada por alunos que estão aprendendo física quântica, e que não possuem a adequada preparação matemática. Vários dos conceitos apresentados, como os de estado, autovalor, autovetor e ortogonalidade, são primeiramente definidos em termos matemáticos, o que traz dificuldades para esses estudantes. Alguns princípios importantes, como o de superposição ou o de emaranhamento de estados, acabam não recebendo destaque, por serem consequências da estrutura matemática subjacente. Além disso, nada é dito sobre o domínio de aplicação da teoria: o que é um “sistema quântico”? Quais são as teses empíricas da teoria, que poderiam ser falseadas, e quais são as definições, aceitas de maneira convencional?

### 3. Conceitos observacionais da teoria quântica

Na seção anterior fizemos menção aos sete postulados do formalismo matemático, da formulação canônica da física quântica. O problema que se coloca é se é possível exprimir esses postulados de uma maneira menos matemática e mais intuitiva para o aluno do ensino médio e superior.

Uma primeira consideração é que o formalismo matemático da mecânica quântica está distante da realidade à qual temos acesso em um laboratório de física. O espaço de vetores de estado, a equação de Schrödinger, o postulado da projeção, operadores e autoestados não correspondem a nada que possa ser diretamente observado no laboratório. Nesse sentido, os conceitos envolvidos costumam ser chamados de termos “teóricos”, participando de leis teóricas, em oposição aos termos “de observação” ou “observacionais”, envolvidos em leis empíricas, que correspondem de maneira mais íntima ao que é observado. E quais são os termos observacionais da teoria quântica?

Um primeiro conceito a ser mencionado é o de *autovalores* (3º postulado), que corresponde aos *resultados* possíveis de uma medição quântica, em qualquer unidade escolhida. O outro termo observacional que faz a ligação entre a teoria e os experimentos está relacionado com a *probabilidade* de se obter um certo resultado de medição (4º postulado), o que na prática é fornecido por uma contagem de *frequência relativa* (que envolve um número finito de observações, e portanto é apenas uma aproximação à probabilidade). De acordo com o 4º postulado, a probabilidade é obtida como o módulo quadrado do produto escalar dos vetores representando o estado do sistema e o autoestado (associado ao autovalor em questão). Para uma representação gráfica do contato entre termos observacionais e base empírica, e da estrutura da teoria quântica, ver Pessoa Jr. (2003, p. 64).

Como apresentar, de uma maneira não matemática para os alunos, os conceitos de estado e autoestado, usados também nos postulados 1º e 5º, e o conceito de observável, usado no 2º postulado?

O ponto de partida é caracterizar qual o *sistema físico* a ser analisado. Pode ser um feixe de luz oriundo de um laser, uma coleção de átomos emitidos de um forno, etc. Tal sistema físico envolve uma entidade, geralmente de natureza microscópica (luz, átomo, etc.), caracterizada por certos parâmetros (frequência, velocidade, temperatura, etc.).

Tal sistema físico é considerado *quântico* se as medições realizadas fornecerem resultados “quantizados”, ou seja, transferirem pacotes discretos de energia para o detector, e tais pacotes forem localizadas de maneira pontual (em medições sensíveis à posição do objeto microscópico). Além disso, para distinguir um sistema quântico de um sistema descrito pela mecânica clássica de partículas, é preciso que o sistema quântico seja constituído de ondas de matéria ou ondas eletromagnéticas. A característica ondulatória de um objeto quântico aparece ao se variarem as fases de diferentes componentes do objeto quântico espalhado, gerando franjas de interferência ou batimentos quânticos. É possível definir quase todas as propriedades de um sistema essencialmente quântico apenas considerando que se trata de uma onda material (ou eletromagnética, ou de outro bóson) com quantização na detecção. Dessa forma, fenômenos quânticos como o princípio de incerteza e o tunelamento podem ser entendidos a partir de seus congêneres ondulatórios clássicos. Discutiremos isso em um trabalho posterior, no qual analisaremos a interpretação ondulatória realista com colapsos, mas vale mencionar que pelo menos dois outros traços seriam necessários para a adequada caracterização de sistemas quânticos: o emaranhamento quântico (envolvendo dois ou mais quanta) e a distinção entre bósons e férmions (o postulado 7º mencionado acima).

O formalismo que se segue se aplica a “estados puros”, que se referem a objetos quânticos individuais ou, por extensão, a uma coleção de objetos individuais independentes preparados no mesmo estado. Para simplificar, consideraremos que um sistema quântico é microscópico (melhor seria dizer “nanoscópico”) e que o aparelho de medição é macroscópico (mais de bilhões de vezes maior que o objeto quântico).

A caracterização operacional de um estado costuma ser feita a partir de duas estratégias: (a) o estado corresponderia a um arranjo experimental que *prepara* o sistema estudado de uma certa maneira; (b) o estado forneceria todas as informações que permitiriam descrever corretamente as probabilidades de resultados de *medições*, para quaisquer observáveis que forem medidos. No caso da física quântica, há uma convergência dessas duas estratégias. Daremos prioridade à definição (b).

O que é um autoestado? É um estado para o qual se pode montar um detector de tal forma que a probabilidade de detecção seja 1. E o que é um observável? Nada mais do que o conjunto de todos os autoestados e seus autovalores correspondentes (isso é expresso de maneira matemática pelo teorema espectral de von Neumann; ver Pessoa Jr. 2003, p. 69).

#### 4. Uma axiomatização operacional da teoria quântica

Façamos uma lista mais cuidadosa dessas definições operacionais e de quatro postulados da teoria quântica, expressos sem uso de simbolismo matemático e sem preocupação com o rigor formal:

*Definições 1* (experimentais):

*Def. 1a:* Uma *preparação* envolve a geração de um ou mais objetos físicos por meio de um instrumento científico ou por processos naturais.

*Def. 1b:* Uma *análise experimental* consiste de uma certa disposição de analisadores, filtros e outros dispositivos macroscópicos com os quais o objeto quântico interage antes de ser detectado.

*Def. 1c:* Uma *medição* é completada quando a preparação e análise experimental são seguidas pelo registro macroscópico em um ou mais detectores. (Iremos supor que a eficiência dos detectores é de 100%.)

*Postulado 1* (*empírico*): Existem objetos físicos microscópicos que:

- a) Ao serem medidos individualmente, fornecem resultados “quantizados”, ou seja, transferem pacotes discretos de energia para o detector, e se manifestam de maneira localizada ou pontual. (Propriedade de quantização)
- b) Ao serem medidos coletivamente (sem modificação da preparação ou análise experimental), em situações em que mais de um detector pode disparar, os valores obtidos são “flutuantes” ou aleatórios, ou seja, não é possível prever com certeza o resultado da medição, mas apenas de maneira probabilista. (Propriedade de imprevisibilidade)
- c) Em medições coletivas, em que o sistema está sujeito a variações nas fases nos diferentes feixes (ou também variações de fase no tempo), resultam franjas de interferência ou batimentos quânticos. (Propriedade de serem ondas materiais ou bosônicas)

Este primeiro postulado é “empírico”, ou seja, ele estabelece um fato observado a respeito do mundo, que é importante para determinar o domínio de aplicação dos postulados restantes.

*Def. 2:* Um *sistema quântico* consiste de um ou mais objetos microscópicos que satisfazem o postulado empírico.

*Def. 3:* O *estado* de um sistema quântico preparado é definido pelo conjunto de resultados (no limite de muitas medições), variando-se a análise experimental de todas as maneiras possíveis.

Assim: (a) duas preparações geram o mesmo estado quântico se os resultados de quaisquer medições para as duas preparações forem estatisticamente indistinguíveis; (b) preparações perfeitamente semelhantes geram o mesmo estado; mas (c) um mesmo estado pode surgir a partir de preparações distintas. (Tal definição não deve proibir que possa haver especificações mais

completas do estado do sistema, por meio de variáveis ocultas, que poderiam ser chamadas de estados “subquânticos”.)

*Def. 4:* Um sistema quântico é *puro* se ele satisfizer os postulados abaixo. Isso engloba entidades individuais (não-emaranhadas), duas ou mais entidades emaranhadas, ou uma coleção não-interagente de tais sistemas individuais (ou sistemas emaranhados) puros preparados da mesma maneira. Caso contrário trata-se de uma *mistura estatística*. (Para o iniciante no assunto, tal distinção precisa ser trabalhada com exemplos cuidadosamente escolhidos. Note também que ainda não se definiu um estado emaranhado.)

*Def. 5:* Um *autoestado* é um estado para o qual existe uma análise experimental que leva um certo detector a disparar com probabilidade 1. Diz-se que este detector está associado ao autoestado.

*Def. 6:* Para cada preparação de um autoestado, associa-se um número chamado *autovalor*, que corresponde ao resultado do experimento, em unidades arbitrariamente escolhidas.

*Def. 7:* Dado um autoestado, define-se um autoestado *ortogonal* a ele a partir de uma preparação experimental que define outro autoestado, mas cuja probabilidade de ser medido no detector associado ao primeiro autoestado é nula. A relação de ortogonalidade é simétrica.

*Def. 8:* Dado um sistema quântico, o número máximo de autoestados mutuamente ortogonais forma uma *base completa de autoestados*. Esse número é chamado a *dimensão* do espaço de estados.

*Def. 9:* O *observável* sendo medido em um experimento consiste da base completa de autoestados e dos correspondentes autovalores. Cada observável é expresso matematicamente por meio de um *operador*  $\hat{Q}$  no espaço de estados.

A relação matemática entre o operador  $\hat{Q}$  associado ao observável, os autovalores  $\gamma_i$  e os autoestados  $|\phi_i\rangle$  é dado pelo teorema espectral:  $\hat{Q} = \sum_i \gamma_i \cdot \hat{P}[\phi_i]$ , onde  $\hat{P}[\phi_i]$  é o operador de projeção sobre  $|\phi_i\rangle$ .

*Def. 10:* *Observáveis incompatíveis* podem ser caracterizados a partir de dois autoestados que violam a ortogonalidade (Def. 7). A partir de cada um deles, pode-se construir uma base completa de autoestados (Def. 8), que por sua vez definem observáveis incompatíveis.

Em termos formais, os operadores  $\hat{Q}$  e  $\hat{R}$  (Def. 9) associados a observáveis incompatíveis não comutam, ou seja,  $\hat{Q}\hat{R} - \hat{R}\hat{Q} \neq 0$ . Definido-se os desvios padrão  $\Delta\hat{Q}$  e  $\Delta\hat{R}$ , Kennard mostrou em 1927 como se deriva a *relação de incerteza* de Heisenberg.

*Def. 11:* Um *estado acessível* é um estado que pode ser preparado em um arranjo experimental.

*Postulado 2: (Princípio quântico de superposição)* Qualquer estado acessível de um sistema quântico é ou um dos autoestados  $|\phi_i\rangle$  da base completa, ou uma combinação linear desses autoestados envolvendo quaisquer coeficientes  $a_i$  escolhidos de tal maneira que:

a) A soma dos módulos quadrados dos coeficientes  $a_i$  é 1 (normalização).

- b) O módulo quadrado do coeficiente  $a_i$  fornece a *probabilidade* de disparar o detector associado ao autoestado  $|\phi_i\rangle$  (regra de Born), levando-se em conta a imprevisibilidade do resultado individual.
- c) Uma fase arbitrária pode multiplicar cada coeficiente, a menos de uma fase global.

O princípio de superposição afirma que qualquer combinação linear de autoestados é acessível.

*Postulado 3: (Transição de estados na medição)* Após uma medição:

- a) Se o objeto quântico não é absorvido pelo detector, o estado final do objeto geralmente é o autoestado associado ao detector (postulado da projeção). Esta situação é válida para uma classe limitada de medições, conhecida como medições “repetíveis” ou de “1o tipo”, incluindo medições diretas de posição.
- b) Há casos, conhecidos como medições “previsíveis” ou de “2o tipo”, em que o estado final não corresponde ao autoestado associado à medição. Um exemplo é a medição indireta do estado energético excitado de um átomo, por meio da emissão de um fóton (que é detectado diretamente).
- c) Se o objeto quântico é absorvido pelo detector, não há estado final do objeto.

*Postulado 4: (Evolução unitária)* Entre a preparação e a medição, há uma evolução contínua, determinista e reversível do estado quântico, regida pela equação de Schrödinger (ou outra equivalente), que depende do observável (“hamiltoniano”) associado à energia total do sistema fechado.

## 5. Discussão

A proposta informal de axiomatização apresentada acima, para um objeto quântico individual (não emaranhado), foi aplicada no contexto de ensino de física em Pereira *et al.* (2012), para um interferômetro de Mach-Zehnder. Outra ilustração didática pode ser feita com medições de componente de momento angular (spin) em um aparelho de Stern-Gerlach (Pessoa Jr. 2003, pp. 39-44). Resta determinar em que medida a presente proposta é consistente com abordagens operacionais logicamente mais sofisticadas, como a de Randall & Foulis (1970).

A presente abordagem operacional não incorpora a definição de espaço de Hilbert em seus axiomas. Assim, para dar conta do fenômeno do emaranhamento, um postulado separado deve ser introduzido, o que é consistente com o espírito mais empirista da abordagem operacional, que procura capturar em seus postulados as novidades empíricas da teoria. Conforme indicamos na seção 3, a teoria quântica para um único objeto quântico (coberto com os postulados operacionais 1 a 4) pode ser entendida como uma aplicação da teoria ondulatória clássica para ondas materiais (e bosônicas) adicionada ao fato de que as detecções são quantizadas.

Esta concepção, porém, fracassa ao serem consideradas dois ou mais (digamos  $N$ ) objetos quânticos interagentes, a não ser que se trabalhe com ondas em um espaço de configuração de  $3N$  dimensões. Esta grande novidade da teoria quântica, estados não-separáveis, foi explicitada pela primeira vez por Heisenberg (1926), ao estudar o átomo de hélio com dois elétrons emaranhados, foi usada por London & Heitler (1927) para descrever a ligação química covalente e explicar a “interação de troca”, esteve presente no argumento de Einstein, Podolsky & Rosen (1935), foi explorada no teorema de Bell (1964) e encontrou aplicação especial na teoria da computação quântica. Ela pode ser esboçada da seguinte maneira:

*Postulado 5: (Não-separabilidade)* Dois objetos quânticos interagentes podem formar um sistema quântico “emaranhado”, caracterizado por um estado *não fatorável*, ou seja, um estado que não pode ser escrito como o produto de um estado associado ao primeiro objeto e um estado associado ao segundo objeto.

As consequências desta propriedade de sistemas quânticos têm sido bastante exploradas nas últimas décadas (ver, por exemplo, d’Espagnat 1979). Para finalizar, é preciso um postulado que saliente as diferenças entre bósons e férmions, de maneira análoga ao 7<sup>o</sup> postulado da seção 2:

*Postulado 6:* Os objetos quânticos elementares se dividem em *bósons*, com spin inteiro, e *férmions*, com spin semi-inteiro. Os primeiros devem ser descritos por estados simétricos, e os últimos por estados anti-simétricos.

### Referências bibliográficas

---

- Cohen-Tannoudji, C., Diu, B. e F. Laloë (1977), *Quantum Mechanics*, New York: Wiley.
- d’Espagnat, B. (1976), *Conceptual Foundations of Quantum Mechanics*, 2<sup>nd</sup> ed., Reading, MA: Benjamin.
- d’Espagnat, B. (1979), “The Quantum Theory and Reality”, *Scientific American* 241 (Nov.): 128-140.
- Dorling, J. (1977), “The Eliminability of Masses and Forces in Newtonian Particle Mechanics: Suppes Reconsidered”, *British Journal for the Philosophy of Science* 28: 55-57.
- Isham, C.J. (1995), *Lectures on Quantum Theory*, London: Imperial College Press.
- McKinsey, J.C.C., Sugar, A.C. e P. Suppes (1953), “Axiomatic Foundations of Classical Particle Mechanics”, *Journal of Classical Mechanics and Analysis* 2: 253-272.
- Pereira, A.P., Pessoa Jr., O., Cavalcanti, C.J.H. e F. Ostermann (2012), “Uma Abordagem Conceitual e Fenomenológica dos Postulados da Física Quântica”, *Cadernos Brasileiros de Ensino de Física* 29, número especial 2: 831-863.
- Pessoa Jr., O. (2003), *Conceitos de Física Quântica*, vol. 1. São Paulo: Livraria da Física.
- Randall, C.H. e D.J. Foulis (1970), “An Approach to Empirical Logic”, *American Mathematical Monthly* 77: 363-374.
- Simon, H.A. (1970), “The Axiomatization of Physical Theories”, *Philosophy of Science* 37: 16-26.
- Suppe, F. (1989), *The Semantic Conception of Theories and Scientific Realism*, Urbana: University of Illinois Press.
- von Neumann, J. (1955), *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics*, Princeton: Princeton University Press (original em alemão: 1932).



# Las explicaciones psicológicas por análisis funcional frente a la encrucijada de las explicaciones neurocientíficas mecanicistas... ¿O viceversa?

Adrian Omar Ramirez<sup>†</sup>

## Resumen

En este trabajo, se describirá cómo se vinculan las explicaciones psicológicas funcionales con explicaciones neurobiológicas mecanicistas desde los modelos de explicación mecanicistas “abiertamente reduccionistas”, y desde los modelos mecanicistas que admiten ciertos grados de reduccionismo explicativo sin relegar el papel de las explicaciones psicológicas como una mera heurística. De esta manera, se buscará aportar elementos para considerar si los modelos mecanicistas son en realidad modelos explicativos más útiles para explicar en neurociencias que en psicología, mediante la exposición de ciertas características de los mismos entre las que se resaltarán virtudes y debilidades de sus propuestas.

### 1. Filosofía de las Ciencias Cognitivas y las Neurociencias

El avance de las neurociencias y la abrumadora cantidad de resultados experimentales que mejoraron nuestra comprensión del cerebro fue acompañado por el abandono de los modelos explicativos filosóficos tradicionales inspirados en la física y la química. Estos modelos, basados en la explicación mediante leyes, demostraron ser inadecuados para abordar los fenómenos de los cuales se ocupan las neurociencias, y fueron progresivamente reemplazados en años recientes por modelos mecanicistas de explicación, en un intento por dar cuenta de las prácticas llevadas a cabo dentro de estas ciencias (Machamer, Darden & Craver 2000, Craver 2007, Bechtel 2008, Bickle 2003).

Estos resultados han impactado también dentro de los modelos de explicación psicológica, al cuestionarse el modelo de explicación funcional que predominó durante los ‘80s y ‘90s. Los cuestionamientos al modelo funcional que aseguraba la autonomía de la psicología en el seno de las ciencias cognitivas, reactivaron discusiones disciplinares y epistemológicas que fueron abordadas por estas propuestas mecanicistas: ¿Todavía es posible defender la autonomía de la psicología frente a una reducción o vinculación de los estados psicológicos a estados cerebrales? ¿Pueden plantearse explicaciones mecanicistas en psicología, manteniendo una autonomía explicativa en relación a las explicaciones neurocientíficas?

Surge así un problema que puede ser llamado como problema del *solapamiento explicativo*, referente a que allí donde la psicología tradicionalmente había abordado ciertos fenómenos mediante modelos cognitivos (memoria, atención, procesamiento y producción del lenguaje, reconocimiento social, etc.) las neurociencias han avanzado desarrollando sus propios modelos neurobiológicos y neurocognitivos, no siempre complementarios o coincidentes con los modelos cognitivos: ¿cómo buscan reconstruir y resolver esas tensiones las principales propuestas explicativas en la filosofía de las ciencias cognitivas?

---

<sup>†</sup> Secyt–Laboratorio de Psicología Cognitiva, Universidad Nacional de Córdoba (UNC). Para contactar al autor, por favor, escribir a: [adrianomarramirez@gmail.com](mailto:adrianomarramirez@gmail.com).

Si aceptamos el modelo de análisis funcional de Cummins (1975, 1983, 2000) como un referente principal de la explicación en psicología cognitiva, se trata entonces de definir si la psicología todavía puede ser considerada capaz de brindar explicaciones funcionales sobre sistemas complejos y sus actividades (caso cerebro-mente) que no puedan ser reducidas a explicaciones neurocientíficas (Bickle 2006, Piccinini & Craver 2011), o incluso que puedan ser completamente autónomas, sin referencia alguna a estados cerebrales.

Existen alternativas no reductivas dentro de los modelos mecanicistas actuales en neurociencias. Sin embargo, estos modelos no sostienen una autonomía total entre datos psicológicos y neurocientíficos, por lo tanto manejan una noción de autonomía diferente a la tradicional (Fodor 1974) e incluso diferente a la de Cummins (2000). A su vez presentan problemas conceptuales para relacionar ciertos fenómenos descriptos psicológicamente con las explicaciones mecanicistas ofrecidas por las neurociencias.

En este trabajo, se describirá cómo se vinculan las explicaciones psicológicas funcionales con explicaciones neurobiológicas mecanicistas desde un modelo mecanicista “abiertamente reduccionista”, y desde un modelo mecanicista que admite ciertos grados de reduccionismo explicativo sin relegar el papel de las explicaciones psicológicas al de una mera heurística. De esta manera, se buscará aportar elementos para considerar si los modelos mecanicistas son en realidad modelos explicativos más útiles para explicar en neurociencias que en psicología, lo cual plantea problemas para sus pretensiones de unificación explicativa dentro de las ciencias cognitivas (como en el caso del *modelo mosaico* en Craver 2007).

## 2. Análisis funcional

Alejándose de los modelos explicativos reduccionistas apoyados en leyes, y formalizando propuestas del funcionalismo, Robert Cummins propuso un modelo explicativo por análisis funcional para entender las explicaciones psicológicas y su relación con abordajes neurocientíficos (Cummins 1975, 1983, 2000).

Para Cummins, los fenómenos psicológicos son propiedades disposicionales complejas (capacidades) que deben ser explicadas funcionalmente, tanto a través del análisis de la propiedad misma como del sistema que posee esta propiedad. El análisis de la capacidad puede ir de la mano de un análisis mecanicista, o componencial del sistema, en una correlación “forma-función” que, al decir de Cummins se encuentra ausente en muchos casos y cuya ausencia remarca la necesidad de “mantener el análisis funcional como conceptualmente distinto del análisis componencial” (2000, p. 125).

Esto se debe al hecho de que, según el autor, en ocasiones puede realizarse un análisis funcional sin referencia al sistema realizador en cuyo caso el análisis es evidentemente no un análisis de un sistema realizador sino de la capacidad en sí misma. Así, de acuerdo a esta postura, el análisis funcional determina restricciones muy indirectas en un análisis componencial, ya que se refiere a propiedades funcionales, capacidades, que no hacen referencia necesariamente a componentes estructurales específicos.

A este respecto, Cummins (2000) asume dos posibilidades para las explicaciones neurocientíficas que apelan a descripciones de fenómenos psicológicos en términos de estructuras cerebrales: la primera es asumir un programa neurocientífico “fuerte”, eliminativista, descartando los conceptos mentalistas que no poseen una clara reconstrucción neurocientífica y simplemente reemplazando aquellos que sí la poseen (Cummins 2000, p. 134). La segunda es asumir un programa neurocientífico “débil”, dentro del cual las neurociencias poseen un rol de “fuente de evidencia” para arbitrar entre análisis funcionales, asumiendo que los fenómenos psicológicos están instanciados en el cerebro de alguna forma, pero permitiendo una coexistencia con la forma explicativa funcional psicológica (Cummins 2000, p. 135).

Veremos cómo los modelos mecanicistas de explicación en filosofía de las neurociencias se han posicionado, frente a estas posibilidades planteadas por Cummins, para desarrollar sus propuestas de relación psicología-neurociencias en ciencias cognitivas.

### 3. Los mecanicismos

A partir de los experimentos de Kandel sobre la *Aplysia*<sup>1</sup> (Brunelli, Castellucci & Kandel 1976), con el consecuente descubrimiento del rol de los mecanismos moleculares en la consolidación de la memoria a largo plazo (Kaang, Kandel & Grant 1993), y otros experimentos similares, se encuentra que ciertas capacidades psicológicas definidas por explicaciones funcionales admiten explicaciones componenciales a partir de la estructura neuronal y molecular del sistema nervioso. Tales explicaciones neurocientíficas son principalmente definidas en términos mecanicistas, en tanto organizaciones de entidades (neuronas, moléculas), que mediante su actividad conjunta generan el fenómeno de interés a ser explicado.

Los modelos mecanicistas de explicación en neurociencias, entonces, son propiciados en buena medida a partir de datos y críticas que ponen en duda la autonomía explicativa de los modelos funcionalistas psicológicos, surgiendo la posibilidad de una comprensión de los fenómenos psicológicos mediante mecanismos neurales. Lo cual abre las puertas a una doble encrucijada, disciplinar (psicología-neurociencias) y explicativa a nivel de modelos explicativos en las filosofías de estas ciencias (análisis funcional-mecanicismo), cuando un fenómeno psicológico previamente abordado por un análisis funcional, comienza a ser abordado por las neurociencias, mecanicístamente.

Esto llevará a dos posturas mecanicistas principales en la filosofía de las neurociencias: el *reduccionismo despiadado* (Bickle 2003), y el *mecanicismo constitutivo* (Craver 2007, Piccinini & Craver 2011).

#### 3.1. Reduccionismo *despiadado*

John Bickle, en su propuesta de reducción metacientífica, pretende explicar los fenómenos mentales a partir de reducciones empíricas concretas (esto es, dejando de lado propuestas de reducción interteórica). Desde su enfoque, un filósofo naturalista debe enfocarse en los descubrimientos empíricos sobre la estructura y función del cerebro, los cuales puedan sugerir detalladamente cómo los programas naturalistas pueden desarrollarse, más allá de las consideraciones filosóficas abstractas (Branca 2011). Las neurociencias de nivel bajo son aquellas que, en su opinión, brindan los descubrimientos empíricos mediante los cuales se puede explicar la cognición y las conductas complejas de una manera directa (Bickle 2006).

Para decir esto, se apoya en su descripción de las prácticas investigativas actuales en neurociencias en las que se busca intervenir a nivel molecular y registrar los resultados a nivel conductual, llevando las conclusiones obtenidas en este ámbito a terrenos filosóficos y atacando así la posibilidad de que propiedades psicológicas puedan ser múltiplemente realizables por propiedades neurobiológicas.

---

<sup>1</sup> Mediante estos experimentos y su modelo neuronal resultante, se buscó dar cuenta de cómo el aprendizaje, y su consiguiente modificación conductual, hallan su expresión a nivel estructural y funcional en las células nerviosas. Se partió del estudio de modificaciones en un reflejo de defensa simple del animal, mediante tres tipos de aprendizaje, mostrando el circuito neuronal y molecular involucrado para estos procesos. Tuvo un fuerte impacto en neurociencias en tanto modelo “reduccionista” (en palabras de Kandel), como forma de estudiar de manera inter-específica procesos como la memoria o el aprendizaje a nivel de sus mecanismos neuronales y moleculares más básicos.

Para esto, aporta ejemplos de modelos animales en los cuales propiedades de nivel alto son vinculadas unívocamente a propiedades de nivel bajo, como el caso de “la consolidación de memorias de corto plazo a memorias de largo plazo, que revela que este proceso es unívocamente realizado por una sola cascada bioquímica que involucra AMPc, proteína kinasa A y el elemento de respuesta AMPc enlazando proteínas” (Aizawa 2008).

Esta es la forma en que el reduccionismo despiadado entiende que pueden vincularse propiedades de nivel alto con propiedades de nivel bajo: “estos ‘vínculos’ no son nada más ni nada menos que *reducciones* de conceptos y clases psicológicas a mecanismos y vías moleculares-biológicas” (Bickle 2006). Así, los niveles superiores no tendrían características causales relevantes que no estén en relación con los niveles bajos, de tal manera que no tendrían poder explicativo alguno sin la descripción de los niveles bajos.

Bickle menciona la noción de niveles de mecanismos para dar cuenta de los fenómenos biológico-moleculares, al vincular los distintos niveles de mecanismos mediante relaciones causales: un mecanismo de nivel bajo causa un mecanismo de nivel alto, por lo tanto y siguiendo la lógica de causación aplicada a niveles de realización desde el planteo metafísico de Jaegwon Kim (2000) de que ninguna entidad no-fundacional puede ser causal, se desprende que los niveles superiores son directamente reducibles a niveles fundacionales, añadiendo que puede accederse a tal reducción mediante la experimentación directa.

### 3.2. Mecanicismo constitutivo

A este respecto, el modelo de explicaciones constitutivas no-fundacionales de Carl Craver sostiene una diferencia radical en cuanto a la propuesta de vinculación entre distintos niveles de mecanismos y se apoya en la noción de constitutividad o componencialidad internivel.

Craver sostiene que las totalidades constitutivas, o sea la suma de los mecanismos, están conformadas en cada nivel mecanísmico por mecanismos causales-etiológicos que se relacionan componencialmente con mecanismos de nivel superior. Estas totalidades constitutivas tienen propiedades que no poseen sus componentes de nivel bajo, por lo cual abogar por una reducción causal como la propuesta por Bickle no es posible: no se trata de determinar si los niveles bajos tienen mayor peso causal sobre niveles altos, porque los niveles de mecanismos más bajos no causan los más altos, sino que los componen.

Su modelo de explicación rechaza (al menos explícitamente) la existencia de niveles fundacionales, tanto a nivel de mecanismos como a nivel de realizaciones. Entendiendo que el postulado de niveles fundacionales es un argumento en contra de las causas de nivel alto, Craver dirá que así como los mecanismos, en virtud de su organización, son capaces de hacer cosas que sus partes no pueden hacer individualmente, entonces “pueden efectuarse generalizaciones acerca de relevancia causal que son ciertas acerca de los mecanismos y falsas para sus partes” (2007). Y respecto a los niveles de realización, sostendrá que ciertas generalizaciones causales establecidas acerca de propiedades realizadas no pueden ser expresadas en generalizaciones que describan relaciones entre realizadores.

Asimismo, Craver brinda una visión de unidad mosaica para las neurociencias: siguiendo el modelo mecanicista planteado, y en virtud de las relaciones constitutivas de los distintos niveles de mecanismos, los hallazgos provenientes de distintos campos de investigación tendientes a explicar fenómenos internivel deben complementarse hasta dar descripciones mecanicistas aún más y más completas.

Sin embargo, y quizás como una progresión lógica del modelo de unidad mosaica, la más reciente propuesta del mecanicismo constitutivo (Piccinini y Craver 2011), considera que los análisis funcionales son solo bocetos de mecanismos, es decir explicaciones mecanicistas incompletas, atacando la noción de autonomía explicativa vía un ataque a la noción de distinción explicativa: si análisis funcional y mecanicismo no son diferentes, y el análisis funcional es una

versión limitada de la explicación mecanicista, el análisis funcional no puede ser considerado una explicación autónoma en ciencias cognitivas.

Pero existe otro corolario a estas afirmaciones: si, como sostienen los autores, decir “análisis funcional” es igual a decir “explicación psicológica”, y decir “explicación mecanicista” es igual a decir “explicación neurocientífica”, entonces, vía el ataque a la distinción y autonomía explicativa, la explicación psicológica solo es explicativa en virtud de ser una explicación neurocientífica (incompleta, preliminar), de suerte que la psicología puede ser vista así como una ciencia “boceto”, heurística, de manera similar a lo propuesto por el reduccionismo despiadado.

#### 4. Críticas y observaciones

Ciertas dificultades han sido señaladas en referencia al mecanicismo constitutivo, respecto a su relación con modelos funcionalistas psicológicos. Una de ellas es la referida a la imposibilidad que tienen los modelos mecanicistas para dar cuenta de la representación mental. Von Eckardt y Poland (2004) señalan que el modelo mecanicista no captura todos los aspectos del contenido y significación de las representaciones mentales, ya que falla en dar cuenta de los aspectos externalistas involucrados en la noción de representación mental: “Es decir, las propiedades naturalistas y las relaciones de un soporte representacional [...] se consideran que son propiedades y relaciones que van más allá de la cabeza [...]” (Von Eckardt & Poland 2004, p. 981), no pudiendo tales componentes externalistas ser parte de un mecanismo neural (Chemero & Silberstein 2008).

Otra dificultad se relaciona con los problemas de evidencias que justifiquen niveles múltiples de explicación. Johnson (2009) considera que las áreas funcionales cerebrales, tomadas por el mecanicismo como entidades pertenecientes a niveles legítimos de explicación mecanicista (niveles intermedios entre el nivel conductual y el nivel neuronal) carecen de las características de actividad necesarias para sostenerse como entidades según los criterios de la misma perspectiva mecanicista (Machamer *et al.* 2000) ya que serían incapaces de mostrar una interacción causal de forma directa entre ellas sin que se apele a descripciones de niveles más bajos. Por lo tanto, “[...] ellas no serían las entidades que realicen las capacidades psicológicas” (Machamer *et al.* 2000, p. 256), y por ende, puede ser el caso de que las capacidades psicológicas debieran ser entendidas “[...] directamente en términos del nivel más bajo de la organización del sistema nervioso” (p. 270).

También ha sido señalada la necesidad de abstracción funcional en el desarrollo de modelos cognitivos, y opacidad del mapeo resultante entre algunas explicaciones funcionales y explicaciones mecanicistas. Weiskopf (2011) retoma la tesis de distinción y autonomía de las explicaciones por análisis funcional con relación a las explicaciones mecanicistas neurocientíficas que defendió Cummins (1983, 2000), y sostiene que las capacidades psicológicas son frecuentemente entendidas mediante la descripción de modelos cognitivos que utilizan técnicas para abstraer las propiedades funcionales del sistema, pudiendo no coincidir con su organización mecanicista.

Sin embargo, el análisis funcional cumple con los criterios normativos necesarios para ser considerado una explicación completa. Así, las clases funcionales (*functional kinds*) empleadas en la explicación por análisis funcional representan, incluso bajo los mismos cánones mecanicistas, clases naturales aceptables (*natural kinds*) para construir explicaciones, sin necesidad de perder su distinción y autonomía respecto a otro tipo de datos, como los relacionados a instancias físicas cerebrales.

Rusanen y Lappi (2007), retoman las definiciones de David Marr según las cuales existe un nivel computacional de descripción de sistemas cognitivos. Este sistema abstracto da cuenta de las tareas que el sistema neurocognitivo realiza en tanto un mapeado de “funciones de un tipo de información a otro” (Rusanen & Lappi 2007, p. 2). A partir de esto, sostienen que las explicaciones

computacionales tienen características que van más allá de las explicaciones mecanicistas, siendo además que sin el nivel computacional de explicación “probablemente no seríamos en principio capaces de identificar las propiedades funcionalmente relevantes de los sistemas neurales, excepto por referencia a este nivel más alto” (Rusanen & Lappi 2007, p. 3).

De esta manera, también el modelo propuesto por Craver, si bien plantea una superación del modelo de Bickle, parece presentar ciertas fisuras con relación a sus pretensiones de reducción explicativa respecto al análisis funcional. Este modelo mecanicista que se plantea en primera instancia como aparentemente no reduccionista, no parece brindar soluciones concretas al problema de la existencia de explicaciones *psicológicas* mecanicistas.

## 5. Conclusiones

El mecanicismo constitutivo plantea intervenciones multinivel y explicaciones que reflejan características de distintos niveles, pero, seguidos hasta sus últimas consecuencias parecen llevar a una forma de reduccionismo, por lo cual no parece ser muy claro al respecto de la posibilidad o no de una autonomía explicativa para la psicología en el marco de explicaciones neurocientíficas.

Una postura intermedia es la de buscar una complementación entre explicaciones psicológicas y neurocientíficas, con mutua influencia (Ken Aizawa & Gillett 2011). De esta forma, aun cuando se pueda tomar un modelo mecanicista de explicación psicológica, no tendría por qué considerarse a las explicaciones por análisis funcional como incompletas o dependientes en última instancia de descripciones mecanicistas (Piccinini & Craver 2011), sino que podrían aceptarse diferentes grados de dependencia de los datos mecanicistas para explicaciones funcionales, según el fenómeno abordado.

De otra forma, se cae en una forma de reduccionismo explicativo respecto al análisis funcional, pero sin embargo no se está proponiendo un modelo con suficiente respaldo en lo referente a fenómenos psicológicos estudiados mediante métodos funcionales psicológicos que involucran representaciones e intencionalidad, por lo cual abogar por una reducción radical (reducción salvaje de Bickle), acotada (al estilo del mecanicismo de Craver), o mediante un ataque a la distinción (Piccinini & Craver) es apresurado en el actual momento de desarrollo de estos modelos.

## Bibliografía

- Aizawa, K. (2008), “Neuroscience and Multiple Realization: A Reply to Bechtel and Mundale”, *Synthese* 167: 493-510.
- Aizawa, K. y C. Gillett (2011), “The Autonomy of Psychology in the Age of Neuroscience”, en Illari, I., Russo, F y J. Williamson (eds.) *Causality in the Sciences*, New York: Oxford University Press, pp. 202-223.
- Bechtel, W. (2008), *Mental Mechanisms: Philosophical Perspectives on Cognitive Neuroscience*, London: Routledge.
- Bechtel, W. y J. Mundale (1999), “Multiple Realizability Revisited: Linking Cognitive and Neural States”, *Philosophy of Science* 66: 175-207.
- Bickle, J. (2003), *Philosophy and Neuroscience: A Ruthlessly Reductive Account*, Dordrecht: Springer.
- Bickle, J. (2006), “Reducing Mind to Molecular Pathways: Explicating the Reductionism Implicit in Current Cellular and Molecular Neuroscience”, *Synthese* 151: 411-434.
- Branca, M.I. (2011), *Diálogos emergentes y divergentes entre neurociencias y psicoanálisis: el caso del neuro-psicoanálisis* (Tesis de Licenciatura), Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba.
- Brunelli, M., Castellucci, V. y E.R. Kandel (1976), “Synaptic Facilitation and Behavioral Sensitization in Aplysia: Possible Role of Serotonin and Cyclic AMP”, *Science* 194: 1178-1181.
- Chemero, A., y M. Silberstein (2008), “After the Philosophy of Mind: Replacing Scholasticism with Science”, *Philosophy of Science* 75 (1): 1-27.

- Craver, C. (2007), *Explaining the Brain: Mechanisms and the Mosaic Unity of Neuroscience*, New York: Oxford University Press.
- Cummins, R. (1975), "Functional Analysis", *Journal of Philosophy* 72: 741-65
- Cummins, R. (1983), *The Nature of Psychological Explanation*, Cambridge: The MIT Press.
- Cummins, R. (2000), "How Does it Work? «Versus» What Are the Laws?: Two Conceptions of Psychological Explanation", en Keil, F.C. y R.A. Wilson (2000), *Explanation and Cognition*, Cambridge: The MIT Press, pp 117-144.
- Fodor, J.A. (1974), "Special Sciences (Or: The Disunity of Science as a Working Hypothesis)", *Synthese* 2: 97-115.
- Johnson, G. (2009), "Mechanisms and Functional Brain Areas", *Minds and Machines* 19 (2): 255-271.
- Kaang, B.K., Kandel, E.R. y S.G. Grant (1993), "Activation of cAMP-Responsive Genes by Stimuli that Produce Long-term Facilitation in Aplysia Sensory Neurons", *Neuron* 10: 427-435.
- Kim, J. (1998), "The Mind Body Problem After Fifty Years", *Royal Institute of Philosophy Supplements* 43: 3-21.
- Kim, J. (2000), *Mind in a Physical World: An Essay on the Mind-body Problem and Mental Causation*, Cambridge: The MIT Press.
- Machamer, P., Darden, L. y C. Craver (2000), "Thinking about Mechanisms", *Philosophy of Science* 67: 1-25.
- Piccinini, G. y C. Craver (2011), "Integrating Psychology and Neuroscience: Functional Analyses as Mechanism Sketches", *Synthese* 183: 283-311.
- Rusanen, A.M. y O. Lappi (2007), "The Limits of Mechanistic Explanation in Neurocognitive Sciences", *Proceedings of the European Cognitive Science Conference 2007*, London: Francis and Taylor.
- Sotelo, J. (2006), *Alcances y límites de un modelo de explicación por niveles para las teorías psicológicas* (Tesis Doctoral), Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba.
- Von Eckardt, B. (2003), "The Explanatory Need for Mental Representations in Cognitive Science", *Mind & language* 18: 427-439.
- Von Eckardt, B. y J.S. Poland (2004), "Mechanism and Explanation in Cognitive Neuroscience", *Philosophy of Science* 71: 972-984.



# Modelos incompatibles y relaciones interteóricas en la física contemporánea

*Claudia E. Vanney*<sup>†</sup>

## Resumen

El presente trabajo propone que los modelos utilizados por la física buscan dar cuenta de las regularidades fenomenológicas, mientras que las teorías aspiran a alcanzar un nivel explicativo mayor. Sin embargo, también se señala la necesidad de ahondar en el valor epistémico de las nociones de modelo y teoría para responder a los problemas de fundamentación de la física, muchos de ellos de naturaleza ontológica.

## 1. Introducción

Durante el último siglo la física ha ido evolucionando en la búsqueda de una formulación cada vez más amplia, intentando dar una explicación más unificada de un número siempre creciente de nuevos fenómenos. Las teorías científicas han propuesto unificaciones parciales, de una generalidad siempre mayor, con la aspiración de incorporar y explicar resultados empíricos cada vez más abundantes y precisos.

Para dar razón del conocimiento científico, muchos filósofos contemporáneos consideran que la noción de modelo juega un papel preponderante (Bailer-Jones 2009). Pues en la práctica de las ciencias empíricas, los modelos científicos desempeñan actualmente funciones heurísticas, didácticas, explicativas y predictivas. Sin embargo, como la modelización no es comprendida de un modo unívoco por la ciencia actual, el interés de la filosofía de la ciencia por clarificar el alcance de esta noción se ha incrementado notablemente en las últimas dos décadas (Cartwright & Jones 1999, Da Costa & French 2003, Rivadulla 2004, 2006, Jones 2005, Suárez 2009, 2010).

La práctica cotidiana de los físicos se dirige principalmente hacia el logro de fines específicos o hacia la ampliación del campo de aplicabilidad de las teorías vigentes, evitando la mayoría de las veces el cuestionamiento de las visiones ontológicas que las formulaciones científicas conllevan. Por una parte, es usual que los científicos utilicen simultáneamente varios modelos diferentes, algunos de ellos incluso incompatibles entre sí –hay, por ejemplo, cerca de treinta modelos distintos del núcleo atómico (Morrison 2011)–. Por otra parte, las diversas ramas de la física proponen diferentes formulaciones teóricas relativas a niveles de descripción particulares –por ejemplo, el microfísico o el macrofísico (Lombardi 2002)–. Así, la práctica científica suele dejar sin respuesta suficiente tanto las cuestiones que refieren a la interpretación de los modelos científicos, como aquellas que señalan la necesidad de alcanzar una adecuada articulación entre las diversas teorías físicas.

---

<sup>†</sup> Instituto de Filosofía, Universidad Austral. Para contactar al autor, por favor, escribir a: [cvanney@austral.edu.ar](mailto:cvanney@austral.edu.ar).

## 2. La noción de modelo en la física

Si bien a la física le interesa estudiar el comportamiento de sistemas reales, que involucran una multitud de factores, no resulta posible tratar todas las características de estos sistemas de un modo pormenorizado. Por este motivo en la práctica científica los físicos utilizan sistemas simplificados e idealizados, a los que llaman *modelos*. Estos sistemas idealizados son entidades abstractas, que incorporan como variables sólo los factores que inciden de un modo significativo en la concurrencia del fenómeno, o aquellos que se consideran relevantes a la luz de las hipótesis de partida de la teoría. Los modelos, además, suelen representar ciertos elementos del sistema real por medio de entidades abstractas, generalmente de carácter matemático o geométrico (i. e. masas puntuales). Algunas veces, incluso postulan la existencia de objetos inobservables del sistema determinando sus características precisas, como por ejemplo su estructura interna.

Los modelos así contruidos distan mucho de ofrecer una imagen pictórica del sistema real. Es más, entre el sistema simplificado y el sistema real “se establece una relación compleja, de sistema a sistema, donde algunas variables del sistema real pueden no aparecer en el modelo [...] y, a su vez, algunas variables del modelo pueden no poseer su correlato en el sistema real” (Lombardi 1998, p. 11). En realidad, sólo cuando las variables adquieren un valor a través de una medición se puede mantener una correspondencia biunívoca entre las variables del modelo y las variables del sistema real. En estos casos, la determinación empírica de tales variables es condición necesaria, aunque no suficiente, para evaluar la pertinencia de modelo respecto al aspecto del sistema real que pretende describir.

Para un dado sistema real existe una multiplicidad de modelos, pues ellos pueden diferir en la elección de los factores considerados como relevantes, en la eventual postulación de alguna entidad inobservable o en el modo que se eligió para representar los elementos del sistema. Al elegir entre un modelo u otro en cada circunstancia particular el científico se mueve por un interés concreto. Es decir, un modelo sólo es mejor que otro en relación a los objetivos específicos de una investigación concreta.

## 3. Modelos complementarios y modelos incompatibles en la práctica científica

Los modelos científicos son idealizaciones con una capacidad limitada para explicar el comportamiento de los sistemas físicos. En ciertos casos es posible mejorar el modelo, añadiendo factores de corrección para obtener una mejor descripción del sistema real. Pero otras veces los fenómenos observados exigen la elección de un nuevo modelo, distinto al que se venía utilizando, que puede incluso contradecir los supuestos del modelo anterior. La diversidad de modelos utilizados por la física conduce a la pregunta: ¿cuándo resulta inconsistente el uso de diferentes modelos para describir un mismo sistema? Si diferentes modelos son capaces de predecir con precisión una cierta clase de fenómenos pero no otros, ¿cómo determinar cuál es el modelo más fiable? Por otra parte, el hecho de que la práctica científica utilice modelos que a veces son inconsistentes entre sí, ¿debilita el estatuto epistemológico de la información que recibimos de ellos? Se encuentran diversas posiciones sobre el papel que juegan los modelos en la práctica científica. Hay quienes interpretan los modelos como ficciones, otros los consideran herramientas con un valor instrumental, mientras que para un tercer grupo los modelos brindan una descripción más o menos precisa del sistema físico.

Para los perspectivistas, las leyes de la naturaleza son principios generales que definen una perspectiva, pero sin la pretensión de hacer afirmaciones sobre el mundo real (Giere 2006). Es decir: “desde la perspectiva de la teoría T, el modelo M representa al sistema S de un modo particular” (Morrison 2011, p. 343). Pero como para cada perspectiva los fenómenos pueden tener características diversas, no es necesario asumir que un único modelo es el correcto para describir el comportamiento de un sistema físico. Es decir, se puede utilizar un modelo u otro para tratar un mismo fenómeno, dependiendo del contexto en el que se esté trabajando. El perspectivismo admite

el valor representacional de los modelos, pero enfatiza también su carácter instrumental. Otros filósofos de la ciencia, como Knuuttila, proponen en cambio una concepción no representacionista de los modelos, tratándolos como artefactos epistémicos con una diversidad de funciones (Knuuttila 2005).

Ante la gran variedad de modelos de la física, Morrison sugiere distinguir entre modelos que son complementarios y modelos que son incompatibles (Morrison 2011). El uso simultáneo de modelos inconsistentes no parecería muy problemático cuando los modelos son complementarios. Por ejemplo, cuando se aplican a diferentes partes de un sistema físico. En estos casos suele ser posible establecer un marco conceptual unitario o una serie de principios básicos para encuadrar los distintos modelos que explican fenómenos diversos, como hace, por ejemplo, la mecánica de los fluidos al estudiar los fenómenos de turbulencias y el flujo laminar con la ecuación de Navier-Stokes. Pero la valoración de la información que recibimos de los modelos se complica cuando se utilizan modelos que son incompatibles entre sí, asumiendo supuestos muy diferentes sobre el mismo objeto de estudio. Esto sucede, por ejemplo, con los distintos modelos del núcleo atómico (Rivadulla 2004, pp. 148-152). Las circunstancias de este tipo manifiestan, para Morrison, un problema más serio, pues estarían detectando una falta de coherencia conceptual e indicando la carencia de una genuina comprensión teórica.

#### 4. Las teorías físicas

Una teoría física está constituida por un conjunto de enunciados articulados deductivamente. Los elementos primitivos de la teoría y las hipótesis de partida (leyes de la teoría) se adoptan sin demostración. De ellos se deducen un conjunto de enunciados singulares –consecuencias observacionales– que permiten un testeo empírico de la teoría (Klimovsky 1994). Por ejemplo, son elementos primitivos de la mecánica clásica las nociones de espacio, tiempo, masa y fuerza (en cambio, la velocidad y la aceleración son nociones derivadas); las tres ecuaciones de Newton constituyen sus leyes fundamentales. El electromagnetismo añade a los elementos primitivos de la mecánica clásica la carga eléctrica; la fuerza de Lorentz y las cuatro ecuaciones de Maxwell son sus leyes fundamentales.

Los sistemas axiomáticos de las teorías físicas poseen propiedades sintácticas y semánticas. Las propiedades sintácticas son el resultado de relaciones formales entre los símbolos del sistema. Las propiedades semánticas, en cambio, permiten interpretar el sistema mediante una correspondencia de cada símbolo con su referente. Es interesante notar que los físicos llaman *modelos matemáticos* a estas estructuras puramente sintácticas, que articulan cuasi-enunciados carentes de contenido referencial, pero que poseen una regla de correspondencia interpretativa (Lombardi 1998). Como vemos, el término modelo es polisémico para la física, pues esta nueva noción de modelo, más propia de las ciencias formales que de las ciencias empíricas o fácticas, difiere de las idealizaciones mencionadas en la sección anterior.

Desde sus orígenes en la modernidad el desarrollo teórico de la física buscó expandir su propio marco conceptual, intentando explicar cada vez un mayor número de fenómenos. Así, las nuevas teorías físico-matemáticas propusieron unificaciones teóricas parciales, avanzando con propuestas de mayor generalidad. Las nuevas teorías utilizaron, para esto, estructuras axiomáticas más amplias que las de las teorías previas. Por ejemplo, el formalismo de la relatividad especial se desarrolla en el *espacio tetradimensional de Minkowski*. Los puntos de este espacio vectorial son cuadvectores con tres coordenadas espaciales y una temporal. El *espacio de Riemann* de la relatividad general también es tetradimensional (y con métrica pseudoeuclídea), pero a diferencia de este último no es un espacio plano.

## 5. Relaciones interteóricas y reduccionismo

Aún las teorías científicas más ampliamente aceptadas en la comunidad científica plantean problemas filosóficos de fundamentación relacionados con cuestiones de interpretación y de articulación interteórica. Los vínculos entre las diversas teorías suelen actualmente involucrar procedimientos de paso al límite o, inversamente, de introducción de grano grueso (Rohrlich 1990, Batterman 2001). Sin embargo, en la actualidad no resulta trivial determinar el modo preciso en el que se relacionan las diversas teorías científicas.

En la segunda mitad del siglo XX estuvo en auge el programa reduccionista, que aspiró a reducir todas las teorías científicas a una única considerada como fundamental. Este programa distinguió reduccionismos diversos: el *reduccionismo semántico* (el lenguaje del campo científico reducido se traduce al lenguaje del reductor), el *reduccionismo interteórico* (las leyes de la teoría reducida se deducen de la teoría reductora), el *reduccionismo metodológico* (el método privilegiado es el de la teoría reductora) (Sklar 2000). Además, estos reduccionismos suelen estar sustentados por un *reduccionismo ontológico*, que considera que la teoría reductora contiene el dominio de la realidad de la teoría reducida.

Debido a algunos casos “exitosos” de reducción, en diversas ocasiones el reduccionismo fue asumido de manera acrítica. La reducción de la termodinámica a la mecánica estadística es un caso paradigmático (Nagel 1961). Sin embargo, aun estos casos “exitosos” siguen presentando problemas abiertos: la termodinámica contiene leyes fundamentales que no son t-invariantes, mientras que las leyes fundamentales de la mecánica estadística son t-invariantes: ¿cómo recuperar la irreversibilidad con teorías reversibles o cómo adecuar la imagen de un mundo irreversible dentro de un mundo reversible? (Prigogine 1980, Castagnino, Gadella & Lombardi 2005). La mecánica cuántica ofrece también otro ejemplo paradigmático: la complejidad del problema de decoherencia muestra que recuperar la mecánica clásica desde la mecánica cuántica implica algo más que la mera aplicación de un límite matemático (Castagnino, Laura & Lombardi 2007). En la actualidad, prevalece la opinión de aceptar la coexistencia simultánea de diferentes formulaciones teóricas sin prioridades ni dependencias mutuas entre ellas. Pero esto implica aceptar que las diversas teorías físicas no brindan hoy una imagen unitaria del mundo (Cartwright 1999, Held 2009, Bueno & French 2011).

## 6. Teorías y modelos

La filosofía de la ciencia intentó dilucidar la estructura de las teorías científicas durante todo el siglo XX. La *concepción clásica*, heredada del positivismo lógico, hizo foco en la dimensión sintáctica de los “modelos matemáticos”. Para esta concepción las teorías físicas son entidades lingüísticas o sistemas axiomáticos formales, parcialmente interpretados mediante reglas de correspondencia (Braithwaite 1953). Sin embargo, esta perspectiva no pudo dar cuenta con claridad de las reglas interpretativas de correspondencia, encontrado dificultades para distinguir con nitidez entre teorías de las ciencias formales (como la matemática) y teorías de las ciencias fácticas (como la física).

Una versión corregida de la concepción clásica fue propuesta recientemente por Cassini con el nombre de *concepción proposicional*. Para esta perspectiva, una teoría es un conjunto de proposiciones significativas formuladas en un lenguaje interpretado. “Las proposiciones no son entidades lingüísticas, sino entidades abstractas portadoras de significado y verdad” (Cassini 2009, p. 30). Además, las teorías se pueden formular en lenguajes distintos y utilizando recursos lógicos y matemáticos diversos, pues la elección de la base axiomática depende de factores pragmáticos. La concepción proposicional responde así a la mayor objeción presentada a la concepción clásica: su incapacidad para distinguir entre una teoría y sus diferentes formulaciones.

Sin embargo, la perspectiva con mayor aceptación en la actualidad es la *concepción semántica* de las teorías. Para esta concepción ni las teorías son entidades lingüísticas, ni los recursos de un

determinado lenguaje son instrumentos apropiados para individuar las teorías. La identidad de una teoría científica no depende de su particular presentación formal, sino que está dada por una colección de modelos que representan a los fenómenos (Suppe 1989). Así, una misma teoría puede utilizar diferentes formalismos, siempre que estos definan una misma clase de modelos. Si, además, en el conjunto de modelos de la teoría se introduce una distinción entre modelos centrales y modelos periféricos de la teoría, esta perspectiva ofrece una mayor flexibilidad que las anteriores, pues permite distinguir entre cambios en la teoría y cambios de teoría (Giere 1988).

El principal interés epistemológico de la noción de modelo se centra, para Lombardi, en que “un modelo en ciencias fácticas se manifiesta, no en tanto modelo *de una teoría*, como lo conciben las descripciones sintáctica y semánticas, sino en tanto modelo *de un sistema real*” (Lombardi 2010). Los modelos son entidades abstractas que se comportan como afirma la teoría: no son por tanto verdaderos, sino similares al sistema real en ciertos aspectos. Es decir, los modelos son mediadores entre el sistema real y una teoría, pues son construcciones abstractas, que permiten el uso de una teoría científica para explicar un fenómeno natural mediante una conceptualización de tal fenómeno (Morgan & Morrison 1999). Los modelos tienen, según Morrison, una naturaleza híbrida: no son ni teoría ni realidad, sino instrumentos autónomos para la exploración de ambos dominios. Son tan necesarios para la explicación de los cambios teóricos, como para el desarrollo de la ciencia dentro de un paradigma establecido. Por un lado, guían la formulación de nuevas teorías, pues remplazan a los sistemas reales en tanto referentes directos de las teorías. Por otro, permiten explorar el mundo real cuando se los construye dentro de un marco teórico establecido para estudiar nuevos fenómenos, pues contienen un conocimiento específico o “local” acerca del sistema real que modela (Morrison 2005). Por esta razón no existe un único modelo de un sistema real, sino una multiplicidad de modelos que enfatiza, cada uno, un aspecto de la realidad.

## 7. Conclusión

Para dar cuenta de las regularidades fenoménicas, la práctica científica utiliza idealizaciones o modelos, que no pretenden ser una imagen pictórica de la realidad, sino que brindan cierta información sobre un aspecto específico de ella, muchas veces de ámbito local. Como los científicos estudian un mismo sistema físico con objetivos diversos, suelen utilizar simplificaciones distintas según el interés que los mueve. Cada modelo destaca aquellos aspectos del sistema que interesan especialmente considerar, dejando de lado otros que no resultan relevantes para una investigación concreta. Si bien en muchos casos es posible afinar los modelos añadiéndoles factores de corrección, los modelos más útiles suelen ser los más sencillos, las idealizaciones simples que focalizan la atención en el aspecto específico que es objeto de estudio. No existe un modelo que sea mejor que los otros de un modo absoluto, sino que se elige el modelo que resulta más adecuado para llevar adelante una investigación particular. El uso de modelos inconsistentes entre sí no es por tanto un grave problema para la práctica científica, pues suelen referir a aspectos complementarios de la realidad que describen. No queda debilitado entonces el estatuto epistemológico de la información que recibimos de ellos, siempre que se reconozca el carácter incompleto y aspectual de la información que los modelos brindan.

Las teorías científicas, en cambio, aspiran a explicar de un modo unificado un gran número de fenómenos, mediante generalizaciones del marco conceptual. Aunque el programa reduccionista buscó reducir todas las teorías a una única, considerada como fundamental, cada vez es más evidente que las relaciones interteóricas en la física no son un problema resuelto. Pero si se busca responder a los problemas de fundamentación de la física, muchos de ellos de naturaleza ontológica, es importante ahondar en esta cuestión. Un uso instrumentalista de los modelos científicos resulta admisible, pero la aspiración explicativa de las formulaciones teóricas exige una consistencia mayor. Los modelos y las teorías no se encuentran en un mismo nivel epistémico.

## Bibliografía

- Bailer-Jones, D. (2009), *Scientific Models in the Philosophy of Science*, Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.
- Batterman, R.W. (2001), *The Devil in the Details. Asymptotic Reasoning in Explanation, Reduction and Emergence*, Oxford: Oxford University Press.
- Braithwaite, R.B. (1953), *Scientific Explanation*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Bueno, O. y S. French (2011), "How Theories Represent", *British Journal for the Philosophy of Science* 62: 857-894.
- Cartwright, N. (1999), *The Dappled Word*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Cartwright, N. y M. Jones (eds.) (1999), *Idealizations in Physics*, Amsterdam: Rodopi.
- Cassini, A. (2009), "¿Son necesarios los modelos para identificar las teorías? Una crítica de la concepción semántica", en Mortari, C.A. y L.H. De A. Dutra (ed.), *Anais do V Simposio Internacional Principia*, Col. Rumos da Epistemologia vol. 9, Florianopolis: NEL/UFC, pp. 23-37.
- Castagnino, M., Gadella, M. y O. Lombardi (2005), "Time's Arrow and Irreversibility in Time-asymmetric Quantum Mechanics", *International Studies in the Philosophy of Science* 19: 223-243.
- Castagnino, M., Laura, R. y O. Lombardi (2007). "A General Conceptual Framework for Decoherence in Closed and Open Systems", *Philosophy of Science* 74: 968-980.
- Da Costa, N.C.A. y S. French (2003), *Science and Partial Truth: A Unitary Approach to Models and Scientific Reasoning*, New York: Oxford University Press.
- Giere, R. (1988), *Explaining Science: A Cognitive Approach*, Chicago: University of Chicago Press.
- Giere, R. (2006), *Scientific Perspectivism*, Chicago: University of Chicago Press.
- Held, C. (2009), "When Does a Scientific Theory Describe Reality?", en Suárez, M. (ed.), *Fictions in Science. Philosophical Essays on Modeling and Idealization*, New York: Routledge, pp. 139-157.
- Jones, M. y N. Cartwright (eds.) (2005), *Idealization XII: Correcting the Model. Idealization and Abstraction in the Sciences*, Amsterdam: Rodopi.
- Klimovsky, G. (1994), *Las desventuras del conocimiento científico*, Buenos Aires: A-Z Editora.
- Knuuttila, T. (2005), "Models, Representation, and Mediation", *Philosophy of Science* 72: 1260-1271.
- Lombardi, O. (1998), "La noción de modelo en ciencias", *Educación en Ciencias* 2 (4): 5-13.
- Lombardi, O. (2002), "Determinism, Internalism and Objectivity", en Atmanspacher H. y R. Bishop (eds.), *Between Chance and Choice: Interdisciplinary Perspectives on Determinism*, Thorverton: Imprint-Academic, pp. 75-87.
- Lombardi, O. (2010), "Los modelos como mediadores entre teoría y realidad", en Galagovsky, L. (ed.), *Didáctica de las Ciencias Naturales. El caso de los modelos científicos*, Buenos Aires: Editorial Lugar, pp. 83-94.
- Morgan, M. y M. Morrison (1999), *Models as Mediators*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Morrison, M. (2005), "Approximating the Real; the Role of Idealizations in Physical Theory", en Jones, M. y N. Cartwright (eds.), *Idealization XII: Correcting the Model. Idealization and Abstraction in the Sciences*, Amsterdam: Rodopi, pp. 145-172.
- Morrison, M. (2011), "One Phenomenon, Many Models: Inconsistency and Complementarity", *Studies in History and Philosophy of Science* 42: 342-351.
- Nagel, E. (1961), *The Structure of Science*, New York: Hartcourt, Brace & World.
- Prigogine, I. (1980), *From Being to Becoming*, New York: Freeman.
- Rivadulla, A. (2004), *Éxito, Razón y Cambio en Física. Un enfoque instrumental en teoría de la ciencia*, Madrid: Trotta.
- Rivadulla, A. (2006), "The Role of Theoretical Models in the Methodology of Physics", en Magnani, L. (ed.), *Model-Based Reasoning in Science and Engineering*, London: College Publications, pp. 75-85.
- Rohrlich, F. (1990), "There is Good Physics in Theory Reduction", *Foundations of Physics* 20: 1399-1412.
- Sklar, L. (ed.) (2000), *Theory Reduction and Theory Change*, New York: Garland.
- Suárez, M. (ed.) (2009), *Fictions in Science: Philosophical Essays on Modeling and Idealization*, New York: Routledge.

Suárez, M. (2010), "Scientific Representation", *Philosophy Compass* 5: 91-101.

Suppe, F. (1977), *The Structure of Scientific Theories*, Chicago: University of Illinois Press.

Suppe, F. (1989), *The Semantic Conception of Theories and Scientific Realism*, Chicago: University of Illinois Press.