

ISSN 2525-1198

---

Volumen 3

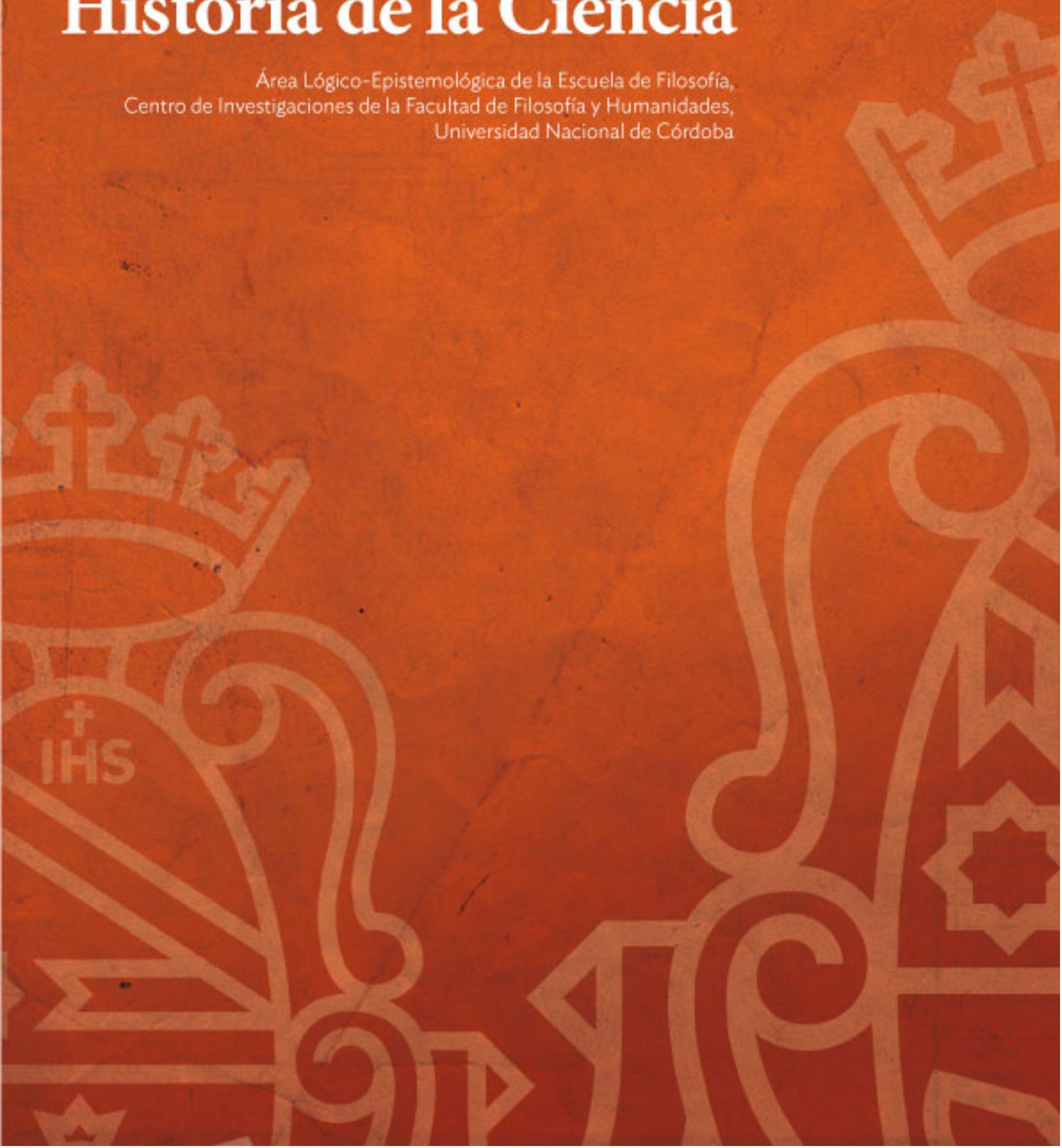
Nº 2

Mayo 2019

---

# Epistemología e Historia de la Ciencia

Área Lógico-Epistemológica de la Escuela de Filosofía,  
Centro de Investigaciones de la Facultad de Filosofía y Humanidades,  
Universidad Nacional de Córdoba



## **Editor Responsable**

Hernán Severgnini, Universidad Nacional de Córdoba (Argentina)

## **Editores**

Pío García, Universidad Nacional de Córdoba (Argentina)

Marisa Velasco, Universidad Nacional de Córdoba (Argentina)

Luis Salvatico, Universidad Nacional de Córdoba (Argentina)

A. Nicolás Venturelli, Universidad Nacional de Córdoba, CONICET (Argentina)

## **Comité Académico**

Mario Casanueva, Universidad Autónoma Metropolitana (México)

Silvio Seno Chibeni, Departamento de Filosofía, Universidade Estadual de Campinas (Brasil)

Miguel Angel Fuentes, Instituto de Sistemas Complejos (Chile), Santa Fe Institute (Estados Unidos)

Lucía Lewowicz, Universidad de la Republica (Uruguay), Max Planck Institute for the History of Science (Alemania)

Oswaldo Pessoa Jr. Departamento de Filosofía, Universidade de São Paulo (Brasil)

Anna Carolina K.P. Regner, Instituto Latino Americano de Estudos Avançados, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Brasil)

Víctor Rodríguez, Universidad Nacional de Córdoba (Argentina)

## **Secretaria**

María Gabriela Rho

## **Organismo Responsable**

Área de Filosofía del Centro de Investigaciones de la Facultad de Filosofía y Humanidades y Escuela de Filosofía de la Universidad Nacional de Córdoba

Pabellón Agustín Tosco, Ciudad Universitaria, Córdoba Capital

## **Indexación**

Directory of Open Access Journals

ISSN: 2525-1198

# Epistemología e Historia de la Ciencia

Epistemología e Historia de la Ciencia es una revista digital, de aparición semestral, dedicada a la publicación de artículos originales de filosofía general de la ciencia y filosofías de las ciencias particulares, así como artículos de historia de la ciencia con orientación filosófica. Las áreas de interés son entendidas en un sentido amplio y teóricamente plural.

Editorial y correspondencia

Revista Epistemología e Historia de la Ciencia

Centro de Investigaciones Facultad de Filosofía y Humanidades (CIFYH), Pabellón Agustín Tosco, Ciudad Universitaria, Córdoba (5000), Argentina.

Información adicional y envío de artículos

<https://revistas.unc.edu.ar/index.php/afjor/index>

Correo electrónico

[revistaepistemologia@ffyh.unc.edu.ar](mailto:revistaepistemologia@ffyh.unc.edu.ar)

# Índice

Índice .....	4
Editorial .....	5
Pedro Walter Lamberti y Víctor Rubén Rodríguez	
Hermann Weyl y el gauge .....	6
Gonzalo Luis Recio	
La longitud lunar en el <i>Almagesto</i> de Ptolomeo: el segundo modelo .....	17
José Antonio Castorina y Alicia Mabel Zamudio	
Supuestos ontológicos y epistemológicos en las investigaciones del cambio conceptual .....	50
Daniel López Sanz	
El origen del principio de causalidad exterior en los modelos epistemológicos de Hermann von Helmholtz y Ramón Turró .....	70
Luciano Nicolás Astor	
Las leyes de la naturaleza como determinación matemática del movimiento en la física cartesiana .....	87
Paul Hoyningen-Huene (Traducción Andrés Ilcic)	
Reducción y emergencia .....	112
Alan Heiblum Robles	
Reseña: The physicist & the philosopher: Einstein, Bergson, and the debate that changed our understanding of time.....	133

## Editorial

*Epistemología e Historia de la Ciencia* presenta el volumen 3, número 2, cuando se cumplen 30 años de las Jornadas de Epistemología e Historia de la Ciencia. La realización anual e ininterrumpida de este evento ha contribuido en el desarrollo y afianzamiento de la historia y la filosofía de la ciencia en Argentina. La numerosa participación de investigadores nacionales y de América Latina, principalmente de países limítrofes, junto a la serie de publicaciones con referato de selecciones de trabajos allí presentados, han colaborado de manera significativa en crear una plataforma para la cohesión e intercambio de ideas por parte de la comunidad académica.

Esta revista representa la continuación del trabajo iniciado con dicha serie de volúmenes. Las Jornadas nacieron en el año 1990, por iniciativa de Víctor Rodríguez, acompañado por docentes del Área Lógico-Epistemológica de la Escuela de Filosofía de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Su incansable compromiso y dedicación fueron imprescindibles para mantener la continuidad de este evento.

Por todo ello, y por la deuda académica que los miembros de este Comité Editorial tenemos con Víctor, nos sentimos muy honrados de contar en este número con un trabajo de su autoría.

Hernán Severgnini  
Pío García  
Marisa Velasco  
Luis Salvatico  
Nicolás Venturelli  
Editores

Severgnini, Hernán; García Pío; Velasco, Marisa; Salvatico, Luis y Venturelli, Nicolás (2019). Editorial. *Epistemología e Historia de la Ciencia*, 3(2), 5. ISSN: 2525-1198 (<https://revistas.unc.edu.ar/index.php/afjor/index>)



# Hermann Weyl y el gauge

Pedro Walter Lamberti<sup>1</sup> y Víctor Rubén Rodríguez<sup>2</sup>

Recibido: 21 de febrero de 2019

Aceptado en versión revisada: 13 de mayo de 2019

---

**Resumen.** Se hace en este trabajo una aproximación conceptual a la noción de gauge introducida por Hermann Weyl, contextualizada en su origen clásico en la segunda década del siglo XX, con un breve comentario sobre su posterior inserción en la mecánica cuántica de la década siguiente, cuando el área estaba consolidándose. Considerando que es conveniente dar para ello un ámbito adecuado en el que es importante atender al estilo de pensamiento de su autor, se presenta un breve perfil del mismo. Se atiende a sus intereses físicos y filosóficos sin dejar de lado su principal tarea profesional como matemático. El punto de vista adoptado sugiere que no es posible comprender en su integridad el pensamiento de este autor si no se contemplan sus facetas relacionadas con estos tres grandes campos disciplinares. Aunque este objetivo en su plenitud escapa por su extensión y sutilezas a este trabajo, se supone que una aproximación introductoria al caso histórico puede contribuir a una mejor comprensión de su alcance posterior, tal como aparece en las numerosas aplicaciones de este concepto en investigaciones contemporáneas vinculadas con la física de partículas elementales.

**Palabras clave:** Gauge – H. Weyl – filosofía de la matemática – filosofía de la física.

**Title:** Hermann Weyl and the gauge

**Abstract.** A conceptual approach to the notion of gauge, mainly due to Hermann Weyl, is developed in this work. Its classical origin in the second decade of the XX century is particularly emphasized, with a brief comment on its posterior insertion in quantum mechanics during the following decade, when this area was emerging. Considering that it is convenient for this purpose to give an adequate framework in which the style of thought of the author is taken into account, a brief profile of it is presented. His physical and philosophical motivations are expounded, but attending to the fact that his main work has been as a professional mathematician. The adopted point of view suggests that it is not possible to comprehend the integrity of his thought without analyzing the aspects related to these three big disciplinary fields. Even though this integral goal is out of the scope of this work, it is assumed that an introduction to the historical case may contribute to a better understanding of its later use, such as it figures in numerous applications of this concept in contemporary researches related to elementary particle physics.

**Keywords:** Gauge – H. Weyl – philosophy of mathematics – philosophy of physics.

---

<sup>1</sup> Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación. Universidad Nacional de Córdoba.

✉ pwlamberti@gmail.com

<sup>2</sup> Universidad Nacional de Córdoba.

✉ gauchovrr@gmail.com

Lamberti, Pedro Walter y Rodríguez, Víctor Rubén (2019). Hermann Weyl y el gauge. *Epistemología e Historia de la Ciencia*, 3(2), 6-16. ISSN: 2525-1198

(<https://revistas.unc.edu.ar/index.php/afjor/index>)



“[gauge] is the most pressing problem in current  
philosophy of physics”  
M. Redhead

“Gauge theory exemplifies one of the most profound  
mysteries of nature”  
D. Gross

## 1. Introducción

Estimamos que la reflexión del premio Nobel D. Gross citada arriba, (Gross, 1992), ilustra la principal razón por la que este tema se ha transformado en una de las grandes líneas de investigación en física y filosofía de la física contemporánea. El concepto de gauge, (calibre o medida, en español) se usa en diferentes contextos en la física teórica, estando todos ellos relacionados entre sí. La simetría de gauge hace referencia a la propiedad de una teoría que permanece invariante frente a ciertos cambios de las variables usadas en su formulación; las transformaciones de medida son precisamente esos cambios en las variables y las teorías de gauge son la formulación matemática de esas ideas. Este concepto se remonta a los albores de la teoría electromagnética, (Rodríguez-Lamberti, 2013) y juega hoy en día un rol central en la formulación de las teorías de las interacciones fundamentales de la naturaleza, como las que han llevado al modelo estándar de partículas elementales. De hecho, el electromagnetismo maxwelliano es la primera teoría de gauge. En los comienzos del siglo XX y siguiendo los pasos de la formulación geométrica de la relatividad general, la idea de gauge tomó un nuevo impulso y uno de los encargados de dar esos primeros pasos fue Hermann Weyl. Por ello se lo asocia con el nacimiento de esta noción. Según comenta C. N. Yang (2005), en 1918-1919, en tres artículos relacionados, Weyl articuló este concepto. En los dos primeros, de 1918, usó el término *Masstab Invarianz*; en el tercero, de 1919, usó la expresión *Eich Invarianz*. La traducción inglesa de *Eich Invarianz* fue ‘calibration invariance’ en la traducción de H. Brose de 1921 de la cuarta edición del libro de Weyl (1952), *Space, Time and Matter*. La traducción ‘gauge invariance’ no fue usada, se sospecha, hasta después del artículo de Weyl de 1929. Apareció (probablemente no por primera vez) en un artículo de Dirac de 1931.

Nuestra intención aquí es analizar algunos aspectos de este episodio temprano, aún clásico, ya que este concepto recibe luego un fuerte respaldo por parte de la entonces naciente mecánica cuántica en la década de 1920. Si bien este artículo se focaliza principalmente en el desarrollo de las ideas en juego alrededor de 1918, en la década siguiente recibe el aporte conceptual de otros nombres interesados en la física cuántica. Esto llevó a su vez a Weyl (1997) a una reformulación de su concepto y hoy este trabajo se ha transformado en una referencia clásica. Además, este último enfoque significó de algún modo una reivindicación de Weyl en su anterior disputa con Einstein, relacionada con los trabajos de 1918 e inmediatamente posteriores, donde fue parcialmente derrotado en sus argumentos. Con respecto a las críticas de Einstein, haremos una breve descripción más adelante. Puede apreciarse en esta polémica tanto el profundo sentido

físico de Einstein, como el sutil ideal de matematización esgrimido por Weyl. No en vano Einstein consideró en esa época al trabajo de Weyl como un auténtico golpe de genio.

Aquí analizaremos uno de los artículos de 1918. Por otro lado, consideraremos el nacimiento de este concepto como parte de un contexto más general que incluye otras facetas del pensamiento del autor. Desde nuestro punto de vista, esto permite una mejor comprensión del significado del gauge y también de las motivaciones que hicieron posible su emergencia. No se nos escapa que existe una vasta bibliografía al respecto (e.g. Jackson-Okun, 2001; Strautmann, 1996; Yang, 1987), por eso la eventual originalidad del trabajo reside en la ponderación al menos parcial de esta literatura en contraposición con ese trabajo original del autor y la interpretación de algunas de sus consecuencias. A este fin presentamos una breve descripción de su pensamiento y su obra.

## 2. Un acercamiento a Weyl

Hermann Weyl (1885-1955) fue un pensador polifacético dotado de una extraña profundidad. Fue un gran matemático –alumno de Hilbert en Gotinga– que tuvo también una gran pasión por la física y que dedicó buena parte de su vida a la filosofía. Sostenemos aquí que no es posible captar su obra en toda su magnitud si no se contemplan estas otras tradiciones intelectuales. Si bien un análisis integral escapa a este trabajo, hay un escenario que no queremos dejar de lado aquí: el extraordinario bagaje conceptual de su autor, el cual parece estar presente en la época en que abordó este tema. Se interesó en el pensamiento de Husserl, con quien estuvo ligado por lazos de diversa índole. Se conservan cuatro cartas de su relación con él. Quien llegó a ser su esposa, fue alumna de Husserl. La fenomenología como el pensamiento alemán de los siglos xxviii y xix formaron parte de su formación cultural. También es de destacar la influencia que sobre él tuvo el pensamiento de Fichte. Es de señalar que estudiosos del tema, como Scholz (1995) y Ryckman (2005), han marcado conexiones entre este perfil filosófico y sus pensamientos sobre los fundamentos de la matemática. Este último es un tema al que dedicó buena energía y varios escritos.

Para la comunidad matemática su perfil y obra lo ubican en un lugar realmente distinguido. En sus últimos años en Princeton fue reconocido como un gran matemático. No puede decirse lo mismo con respecto a sus aportes a la física. La profundidad y originalidad de sus ideas tardaron un buen tiempo en ser debidamente apreciadas. Actualmente se considera que la contribución de Weyl a la física ha sido notable y que hay numerosas ideas en física teórica que tienen su sello. Su extenso trabajo sobre grupos y simetría da cuenta de esto.

En la Introducción de F. Wilczek, en Weyl (2009a), a la nueva edición de *Philosophy of Mathematics and Natural Science*, cita a Weyl reflexionando que “Yo estaba obligado por la literatura alemana y por la tradición filosófica en la que crecí” (Weyl, 2009a, p. vii)<sup>3</sup> y señala que este libro podría ser la última expresión de una tradición cosmopolita que incluye a pensadores de la talla de Descartes, Leibniz, Hume y Kant. Como este autor señala, hay también una dimensión estética en la obra de Weyl que es digna de consideración. “Mi trabajo trató de unir la verdad con lo bello, pero cuando tuve

---

<sup>3</sup>Las citas cuyo original está en otro idioma son traducción nuestra.

que elegir uno o lo otro, usualmente elegí lo bello” (Dyson, 1956). Por supuesto, hay gente que no está de acuerdo con esta lectura de la actividad científica, pero eso es materia de otro trabajo.

Su trabajo matemático entre 1923 y 1938 lo llevó a incursionar en la teoría de grupos, en especial en los grupos de Lie. Al respecto deben destacarse sus dos grandes obras, *Theory of groups and quantum mechanics*, Weyl (1950), y *The classical groups*, Weyl (1939), así como numerosos trabajos menores. Como comentario lateral señalamos que, debido a la importancia que jugaron en su obra las nociones de simetría e invariancia, su relación con Emmy Noether, no será parte de este trabajo; para alguien eventualmente interesado en este punto, remitimos a (Roquette, 2018). Solo nos permitimos citar aquí una breve reflexión suya que refleja la profundidad de su pensamiento sobre este particular: “En contraste con el oriente, el arte occidental, como la vida misma, está inclinado a mitigar, a suavizar, a modificar, aún a romper la simetría estricta. Pero rara vez es la asimetría simplemente ausencia de simetría” (Weyl, 1958). Lamentablemente Weyl no pudo disfrutar del trabajo de los físicos Lee y Yang sobre la no conservación de la paridad, porque murió poco tiempo antes.

Volviendo a la matemática, sus incursiones en este campo abarcan un abanico temático considerablemente amplio (ver por ejemplo, Wells, 1987; Tent, 2008). Hizo aportes en el ámbito de las ecuaciones diferenciales, en la teoría de números, en geometría, en álgebra y teoría de grupos, y siempre le preocuparon los fundamentos de la matemática. Es de destacar su enfoque sobre las propiedades espectrales de los operadores diferenciales. No hay que olvidar que bebió del manantial directo de Hilbert en Gotinga, pero en lo que hace a fundamentos de la matemática también quedó fuertemente incentivado por el intuicionismo de Brouwer. Allí siempre estuvo presente el tema del infinito, en lo grande y en lo pequeño. Para él, la matemática está profundamente impregnada de la noción de infinito. Luego diremos algo sobre su geometría infinitesimal, que es una consecuencia de estas reflexiones.

Su idea del continuo es fruto de esta temprana preocupación. Durante sus años de juventud, osciló entre una postura cuasi-constructivista y una adherencia al pensamiento intuicionista de Brouwer, pero en general, no dejó de considerar algunos aspectos rescatables del tratamiento de Hilbert con su enfoque formalista. Tuvo su distancia respecto del continuo con el enfoque basado en la teoría de conjuntos, pero podría decirse que no logró dar con una posición totalmente definida sobre este aspecto de los fundamentos a lo largo de toda su vida. Desde la década de 1920, vuelve a rescatar de Hilbert una concepción pragmático-formalista más próxima a la práctica de los matemáticos. Hay excelentes escritos de otros autores sobre estos puntos (e.g. Feferman, 2000; Mancosu, 1998). Pero no queremos dejar de citar su propio trabajo sobre el continuo, Weyl, (1918).

Considerando todo esto, nos parece acertada la opinión de Michael Atiyah, “en retrospectiva uno podría casi decir que él [Weyl] definió la agenda y suministró el andamiaje de trabajo para lo que siguió” (Atiyah, 2003, p. 321). En este sentido, no se caracterizó por un enfoque especializado. Como Weyl decía, en la matemática misma hay un carácter que está más cerca al arte creativo libre. También se ha dicho “ningún otro matemático podría reclamar haber iniciado más teorías que las que están ahora siendo explotadas”, (Atiyah, 2003, p. 331).

En 1913 aparece su notable obra sobre *The Concept of a Riemann Surface* (Weyl, 1955). Esta obra influyó en el destino futuro de toda el área. Esto en realidad es algo difícil de precisar, pero lo que es claro en relación con el período que nos ocupa es la incidencia de sus ideas sobre la geometría infinitesimal, un aspecto que jugará un rol importante en su interpretación de la obra de Riemann. Sobre su trabajo de 1913, el matemático Bieberbach opinó elogiosamente que fue Weyl quien puso todo en orden en la teoría de funciones de Riemann (Remmert, 1998). En esta obra el joven Weyl muestra la madurez de su pensamiento y el libro ha llegado a ser una obra de referencia. A pesar del enorme trabajo de Riemann, fue Weyl quien estableció el andamiaje y la forma de las futuras investigaciones. Como expresara Atiyah, sin el aporte de Weyl sobre las superficies de Riemann, es imposible imaginar la teoría de Hodge de las formas armónicas (Atiyah, 2003, p. 7). Todo esto refleja una cultura matemática notablemente amplia y también profunda.

Pero Weyl quedó impactado por el trabajo de Einstein sobre la relatividad general y su libro de 1918, *Space, Time, Matter* (Weyl, 1952), fue elogiado por Einstein como “una armoniosa sinfonía” por sus sutilezas y tratamiento global del tema. Por ello se ha enfatizado su particular modo de asociar la matemática con la física y la epistemología. En cualquier caso, Einstein obtuvo una victoria parcial en la discusión que se extendió durante cierto tiempo en relación con el alcance de las ideas de Weyl (1918) sobre el rol del gauge en la geometría del espacio-tiempo. Finalmente, gracias a la mecánica cuántica, el concepto de gauge fue reivindicado, aunque bajo otra interpretación, como veremos más adelante. De un modo indirecto, esto abrió las puertas al concepto elaborado posteriormente por vía de una descripción no abeliana al ámbito que se conoce actualmente como ‘teorías de Yang-Mills’. Éste es un terreno muy activo de investigación.

En síntesis, puede decirse que este pensador fue un navegante solitario en aguas de tradiciones intelectuales muy diferentes. Si bien la matemática fue su disciplina madre –su profesión–, nunca abandonó sus otros intereses, especialmente la física y la filosofía. Prueba de ello son sus escritos tardíos, incluido su *Insight and reflection* del año de su muerte (Weyl, 2009b). En este trabajo, como en varios anteriores, se puede apreciar la influencia que ejercieron sobre él Fichte y Husserl. Su gran cultura sobre Kant y su conocimiento de la filosofía occidental se despliegan por otra parte en varios de sus escritos.

### 3. El trabajo de 1918

En el año 1918, H. Weyl publica en la revista *Sitzungsberichte der Königlich preussischen akademie der Wissenschaften* (Actas de la Real Academia Prusiana de Ciencias), el trabajo titulado “Gravitation und Elektrizität” (Weyl, 1918). El propósito que Weyl siguió con este trabajo ha sido motivo de discusiones entre los historiadores de la ciencia. Un punto sobre el que hay bastante consenso es que Weyl trató de hacer una “mejora” de los trabajos de Einstein sobre la Relatividad General. Procuraremos rescatar los elementos más sobresalientes de este trabajo, fundamentalmente en lo que se refiere a las estructuras matemáticas subyacentes. Estas, al cabo de años, florecieron en los ingredientes básicos de las modernas teorías de gauge.

El trabajo de Weyl comienza con una descripción del “estado del arte” de la geometría diferencial. Referencia trabajos de Levi-Civita, Hessenberg y propios, en los que se postula que la geometría de Riemann está basada en el concepto de transporte paralelo infinitesimal. Detengámonos un poco en esta afirmación. La formulación Riemanniana de la geometría de una variedad diferencial (continuo, en la terminología de los primeros años del siglo XX), tiene como concepto fundamental al elemento de línea. Es decir la prescripción de cómo medir la separación entre dos puntos vecinos de la variedad, está dada por la expresión:

$$ds^2 = \sum g_{ij} dx^i dx^j \quad (1)$$

siendo  $\{x^i\}$  y  $\{x^i+dx^i\}$  las coordenadas de dos puntos vecinos y  $g_{ij}(x)$  los elementos del tensor métrico. En el marco de la teoría general de la relatividad, estas componentes están relacionadas con el potencial gravitatorio. El gran aporte de Riemann es haber demostrado que toda la geometría de la variedad (curvatura, curvas geodésicas, etc.) puede deducirse a partir del elemento (1). Es interesante destacar que la noción de paralelismo de dos vectores, muy simple en la geometría euclídea (plana) elemental, deja de serlo en el marco de la geometría de los espacios curvos. Solo por la imposición de una condición extra, es posible vincular la noción de paralelismo entre dos vectores tangentes al espacio curvo, con el elemento de línea (1). Sin embargo, en general, la idea de paralelismo puede definirse independientemente del elemento (1). Respecto de esto, Weyl hace una afirmación fuerte, al decir que solo es un hecho casual que la geometría de Riemann haya tenido como punto de partida al elemento (1) en lugar de haberlo hecho a través de la noción de paralelismo de vectores.

En palabras de Quigley, un estudioso del tema,

Como es bien sabido, en la geometría Euclideana, la traslación de un vector preserva su longitud y su dirección. En la geometría de Riemann, la conexión de Christoffel garantiza la preservación de la longitud, sin embargo, la orientación de un vector es dependiente del camino. De cualquier modo, el ángulo entre dos vectores, siguiendo el mismo camino, se preserva bajo traslación. Weyl se preguntó por qué el remanente de la geometría plana, la preservación de la longitud, persistía. Después de todo, nuestros estándares de medición (varas rígidas y relojes) son conocidos solamente en un punto del espacio-tiempo. Para medir longitudes en otro punto, debemos traer nuestras herramientas de medir con nosotros. De acuerdo con Weyl, solo las longitudes relativas de dos vectores cualesquiera (en el mismo punto), y el ángulo entre ellos, son preservados bajo transporte paralelo; la longitud de cualquier vector singular es arbitraria. Para codificar esto matemáticamente, Weyl hizo la siguiente sustitución

$$g_{ij}(x) \rightarrow \varphi(x)g_{ij}(x) \quad (2)$$

en donde el factor conforme,  $\varphi(x)$ , es una función suave, positiva y arbitraria de la posición en el continuo 4 dimensional. Weyl requirió adicionalmente a la invariancia de coordenadas de la relatividad general, que las fórmulas deben permanecer invariantes bajo la sustitución (2). Llamó a esto una transformación de gauge[...]. En la geometría de Riemann, la métrica se fija a menos de un factor de escala global. La idea de Weyl fue hacer de la escala una propiedad local de la métrica (Quigley, 2003, p. 5).

En el trabajo de 1918, Weyl propone una forma explícita para la función  $\varphi(x)$ :

$$g_{ij} \rightarrow e^{\gamma \int W_j dx^j} g_{ij} \quad (3)$$

donde  $\gamma$  es una constante y  $W_j$  es un campo vectorial identificado con el potencial electromagnético.

Según Scholz (1995), la integral presente en la expresión (3) significa para Weyl que las relaciones entre cantidades en diferentes vecindades de distancia finita deberían ser consideradas significativas solo por mediación del todo, esto es, por un proceso de integración sobre caminos que unen los dos puntos en los centros de los entornos.

Como consecuencia de su impacto por la reciente obra de Einstein, en 1917 impartió algunas clases sobre relatividad general y allí aparece una anécdota significativa.

La idea para mi teoría de campo unificada de la gravitación y el electromagnetismo basada en el principio de la invariancia gauge apareció en una conversación con Willy Scherrer, entonces un joven estudiante de matemáticas. Le había explicado que los vectores cuando son llevados alrededor por desplazamiento paralelo pueden retornar a su punto de partida en dirección cambiada. Y él me preguntó “¿También con longitud cambiada?”. Por supuesto que le dí la respuesta ortodoxa en ese momento, pero en mi pecho roía la duda. La concepción del campo de materia de Mie me suministró el fermento (Weyl, 2009c, p. 168).

Esto lo llevó a intentar separar el concepto de desplazamiento paralelo de la métrica e introducir la noción de conexión afín. Esta noción a su vez lo estimuló a construir la métrica de una variedad desde una perspectiva infinitesimal que tiene una estructura conforme y una conexión, ambas asociadas con una transformación de gauge. O, como ha sido dicho, derivó la transformación de gauge como una condición de compatibilidad para la transferencia de longitud expresada en representaciones diferentes de la métrica conforme. La transferencia de longitud por una conexión fue introducida por analogía con la transferencia de dirección por una conexión afín. Si tomamos en consideración la calibración de la longitud, ella es significativa solamente como un dispositivo de medición en un punto, pero para dos puntos infinitesimalmente próximos, la medida del transporte de longitud presentaba una característica: la longitud tenía que recalibrarse en una transferencia infinitesimal. De este modo, la comparación de longitud entre puntos finitamente distantes es en general dependiente del camino, del mismo modo que la comparación de dirección para las conexiones afines. Así llegó a un tensor de curvatura que es invariante gauge. Esta última noción fue muy importante para Weyl debido a que ella fue considerada como un fuerte criterio para la relevancia física de cantidades en su nueva estructura geométrica. La relación esencial que estableció entre física y matemática fue abonada por la teoría del campo electromagnético de Mie y de esta manera llegó a su supuesta teoría unificada de la gravitación y el electromagnetismo.

Einstein respondió a la propuesta (3), afirmando que, si bien la idea era atractiva, físicamente era insostenible pues implicaría que la separación de las líneas espectrales dependería de la historia de los átomos emisores, en marcada contradicción con los hechos experimentales.

Con respecto a la evolución del concepto de gauge en física cuántica, citaremos extensamente por su claridad, un artículo de 1927 de Fritz London. Este autor comienza el artículo de la siguiente manera:

Como es sabido, la idea de una geometría puramente local, concebida primero por Riemann, ha sido completada recientemente de una manera excepcionalmente bella y simple por Weyl. Uno puede mirar a la concepción de Weyl como la remoción del prejuicio de que las condiciones de la curvatura en un punto de un espacio determinan la curvatura en todos los puntos. Para hacer esta idea de Riemann significativa fue necesario suponer que la vara de medir usada para determinar los coeficientes del tensor métrico  $g_{ij}(x)$  en cada punto era una vara de medir “rígida”. En contraste, Weyl señala que la suposición de tal escala de longitud rígida está en contradicción con la geometría estrictamente local y que solamente las razones del  $g_{ij}$  y no sus valores absolutos, pueden ser determinadas[...]Uno puede solo admirar el colosal atrevimiento que condujo a Weyl, sobre la base de esta correspondencia puramente formal, a su interpretación geométrica del electromagnetismo[...]debe haber sido una inusualmente fuerte convicción metafísica la que le impidió a Weyl abandonar la idea de que la naturaleza tendría que hacer uso de la bella posibilidad geométrica que era ofrecida[...]Me gustaría mostrar que la forma original de la teoría de Weyl contiene un rango mucho más amplio de posibilidades que las que fueron usadas por su creador, incluyendo ni más ni menos, que un camino lógico a la mecánica ondulatoria, y desde este punto de vista tiene un inmediato significado físico[...]De ninguna manera tomo el enfoque de que al hablar de geometría a nivel atómico uno debe dar una prescripción práctica para la medición; no hay tal prescripción en la teoría del electrón. Pero si uno quiere agregar un sentido definitivo a los enunciados de la medición, me parece que al menos debería exigirse que existiera algún objeto real (como un “prototipo”) al cual se pudieran relacionar los enunciados...pero tal objeto real no se obtiene en el continuo de la onda. En la eternamente fluida (pantarei) formación y disolución de las ondas el principio de identidad no se aplica y en el continuo no hay un punto de referencia fijo que fuera conveniente para usar como una medida de longitud reproducible. La dificultad de principio en la que uno está atrapado carecería completamente de salida si Weyl, en su generalización del concepto de espacio de Riemann, no hubiera creado un tipo de espacio en el cual precisamente la no-reproducibilidad de la medida-gauge es un postulado lógico de la radical geometría local. ...desde el punto de vista presente la situación ha cambiado fundamentalmente. Uno está, en efecto, forzado a retirar el concepto general de espacio de Weyl e intentar aplicarlo al continuo de Schrödinger (London, 1997, p.94-95; 97).

En términos matemáticos, London concluye que la idea de Weyl es correcta, pero aplicada en un contexto erróneo. Más específicamente, London asocia a la transformación conforme de Weyl, el cambio en la función de onda de Schrödinger  $\psi(x)$  dado por

$$\psi(x) \rightarrow e^{\left(\frac{2\pi i}{h} \int A_{\mu} dx^{\mu}\right)} \psi(x) \quad (4)$$

donde  $i$  es la unidad imaginaria,  $h$  es la constante de Planck y  $A$  es el potencial electromagnético.

De este modo encuentra el objeto físico que se comporta como la medida de Weyl y enfatiza sobre la noción de amplitud compleja de la onda de De Broglie. Es conveniente aclarar aquí que ya se incursiona en la teoría de las variables complejas, lo que genera otro tipo de problemas respecto de la naturaleza de los observables, pero que escapa a este trabajo.

#### 4. Comentarios finales

Hoy el concepto de gauge está presente en al menos tres de las interacciones básicas conocidas y también se conoce su compatibilidad con algunos tratamientos de la gravitación y de la relatividad general. Es por ello que está actualmente incorporado al andamiaje básico de las grandes teorías de las interacciones fundamentales. Pero este campo es extraordinariamente complicado y no es el propósito de este artículo llegar tan lejos. Muy por el contrario, el objetivo es extremadamente modesto: nos hemos focalizado solamente en su emergencia y algunos de sus primeros contextos, bajo el supuesto que esto puede ayudar a comprender mejor algunas de sus consecuencias altamente elaboradas en investigaciones posteriores.

El contexto continúa abierto para futuras indagaciones, ya que el tópico ofrece numerosas sugerencias para eventuales abordajes futuros. Podemos sintetizar nuestra impresión del paisaje general de este modo: así como el concepto de campo estuvo presente durante varias décadas en la actividad de los especialistas, del mismo modo parece suceder con el concepto de gauge actualmente. Esto ha contribuido a lecturas parciales y a distorsiones conceptuales propias de cada perspectiva. Estimamos que una historia integral del concepto está aún por escribirse. Pero, como se ha dicho, Afriat (2008), quizás conviene rescatar para un tratamiento histórico, que a pesar de aparecer tempranamente un intento de unificación de las interacciones gravitacionales y electromagnéticas –como fue el caso con Weyl–, ello es mera consecuencia de incorporar una analogía a un terreno lleno de sutilezas matemáticas y por qué no, también filosóficas.

**Agradecimientos:** Los autores desean agradecer al o los evaluadores, por sus valiosos comentarios y observaciones que mejoraron sustancialmente el trabajo.

#### 5. Bibliografía

- Afriat, A. (2018). arXiv\_0804\_2947v1
- Atiyah M. (2003). Hermann Weyl. *Biographical Memoirs: Vol. 82*, National Academy of Sciences. Washington, DC: The National Academies Press.
- Feferman, S. (2000). The significance of Weyl's *Das Kontinuum*. En Hendricks et al. (eds), *Proof Theory*, Kluwer Acad. Publ., Netherlands, pp 179-194.
- Gross, D. J. (1992). Gauge Theory-Past, Present, and Future? *Chinese Journal of Physics*, 30(7), pp 955-972.
- Jackson, J. D., & Okun, L. B. (2001). Historical roots of gauge invariance. *Reviews of Modern Physics*, 73(3), 663.

- London, F. (1997). Quantum-Mechanical Interpretation of Weyl's Theory. En: O'Raiheartigh, L.: *The Dawning of Gauge Theory*. Princeton U.P., p.: 94-106.
- Mancosu, P. (1998) *From Brouwer to Hilbert. The debate on the foundations of mathematics in the 1920s*. Oxford U.P., N. York. (En particular, Weyl H.: On the New Foundational Crisis of Mathematics, pp. 86-118. The Current Epistemological Situation in Mathematics. pp. 123-142).
- Quigley, C. (2003) On the Origins of Gauge Theory. [http://www.math.toronto.edu/~colliand/426\\_03/Papers03/C\\_Quigley.pdf](http://www.math.toronto.edu/~colliand/426_03/Papers03/C_Quigley.pdf)
- Rodríguez, V., Lamberti, P (2013). La Prehistoria del Gauge. *Epistemología e Historia de la Ciencia. Sel. de Trabajos de las XXIII Jornadas*, Facultad de Filosofía y Humanidades, pp. 367-375.
- Roquette, P. (2018). Emmy Noether and Hermann Weyl. <https://www.cambridge.org/core>. University of Sussex Library, pp: 285-326.
- Ryckman, T. (2005). *The Reign of Relativity: philosophy of physics 1915-1925*. Oxford U.P., Oxford.
- Scholz, E. (1995). Hermann Weyl's "purely infinitesimal geometry". *Proceedings of the international congress of mathematicians* (pp. 1592-1603). Birkhäuser, Basel.
- Straumann, N. (1996) Hermann Weyl and the early history of gauge theories. *Invited talk at the PSI Summer School on Physics with Neutrinos*, Zuoz, Switzerland, August 4-10.
- Tent, K. (Ed.) (2008) *Groups and Analysis. The legacy of Hermann Weyl*. Cambridge U.P.
- Wells, Jr., R. O. (Ed.) (1987) *The Mathematical Heritage of Hermann Weyl*. Proc. of Symposia in Pure Mathematics, Vol. 48. American Math. Society. Rhode Island.
- Weyl, H. (1918). Gravitation and Electricity, *Sitzungsber. K. Preuss. Akad. Wiss. Berlin*, 465, pp. 1918.
- Weyl, H. (1939). *The Classical Groups*. Princeton, Univ. P., Princeton.
- Weyl, H. (1950). *The theory of groups and quantum mechanics*. Dover Publ.Inc..
- Weyl, H. (1952). *Space, Time, Matter*. Dover Publ. Inc, 1952 (trad. al inglés de la edición alemana de 1922).
- Weyl, H. (1955). *The Concept of a Riemann Surface*. Addison-Wesley P. Co., Inc. Reading, Mass. Third ed.
- Weyl, H. (1997). Electron and Gravitation. En O'Raiheartigh, L. *The Dawning of Gauge Theory*. Princeton University Press, pp. 121-144.
- Weyl, H. (2003). *The Continuum. A critical examination of the foundations of analysis*. Dover Publ. (Original de 1918).
- Weyl, H. (2009a). *Philosophy of mathematics and natural science*. (Con introducción de F. Wilczek). Princeton U.P., 2009. (Basado en el escrito de 1926).
- Weyl, H. (2009b). Insight and Reflection. En Pesic, P. (Ed.) *Mind and Nature*. Chapter 9, Pp. 204-221, Princeton U.P., Princeton.

Weyl, H. (2009c). Address at the Princeton Bicentennial Conference 1946. En Pesic, P. (Ed.): *Mind and Nature*. Chapter 6, pp. 162-174, Princeton U.P., Princeton.

Yang, C. N. (2005). *Selected Papers*, pp.528, World Scientific Pub.

Yang, C.N. (1987) A Hermann Weyl 1885 Centenary Lecture. ETH 1885, in *Hermann Weyl (1885-1985)*, ed. K. Chandrasekharan, pp. 7-21. Springer-Verlag.

# La longitud lunar en el *Almagesto* de Ptolomeo: el segundo modelo

Gonzalo Luis Recio<sup>1</sup>

Recibido: 2 de agosto de 2018  
Aceptado en versión revisada: 9 de abril de 2019

---

**Resumen.** Luego de construir un modelo para las longitudes lunares que sea capaz de incorporar la primera anomalía, Ptolomeo continúa su investigación, detectando una segunda anomalía de la Luna que está asociada a la elongación lunar, esto es, a las fases de la Luna. El modelo que construye para dar cuenta de esta anomalía es uno de los mejores ejemplos de la complejidad alcanzada por la astronomía matemática griega. El artículo busca llevar a lector a través de los diversos problemas encontrados y de las soluciones propuestas por Ptolomeo.

**Palabras clave:** Ptolomeo – *Almagesto* – teorías lunares en la antigüedad – segunda anomalía lunar.

**Title:** Lunar longitude in Ptolemy's *Almagest*: the second model

**Abstract.** After constructing a model for the lunar longitudes which is able to incorporate the first anomaly, Ptolemy continues his investigation, detecting a second anomaly for the moon, one which is associated with lunar elongation, that is, to the phases of the moon. The model he constructs to account for this anomaly is one of the best examples of the complexity reached by Greek mathematical astronomy. This paper tries to take the reader through the diverse problems encountered by Ptolemy, and also through the solutions he proposed for them.

**Keywords:** Ptolemy – *Almagest* – lunar theories in antiquity – second lunar anomaly.

---

## 1. Introducción

La teoría de las longitudes lunares es una de las partes más complejas de todo el *Almagesto*. Es, quizá, el mejor ejemplo de continuidad en la tradición astronómica griega, pues allí Ptolomeo comienza construyendo un primer modelo que responde a las exigencias de la anomalía con la cual sus “[...] predecesores –casi todos ellos– se habían topado.” (IV, 3; H1 294; 180-181), modelo que, con toda probabilidad, era producto de las investigaciones de algunos de esos mismos predecesores (Pedersen, 2010, p. 159). La descripción ptolemaica del modelo que responde a la primera anomalía culmina en un sistema en el cual la Luna se mueve en el sentido contrario a los signos sobre un epiciclo que a su vez se mueve en el sentido de los signos sobre el deferente (fig. 1). Asumiendo

---

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Quilmes. Universidad Pedagógica Nacional.

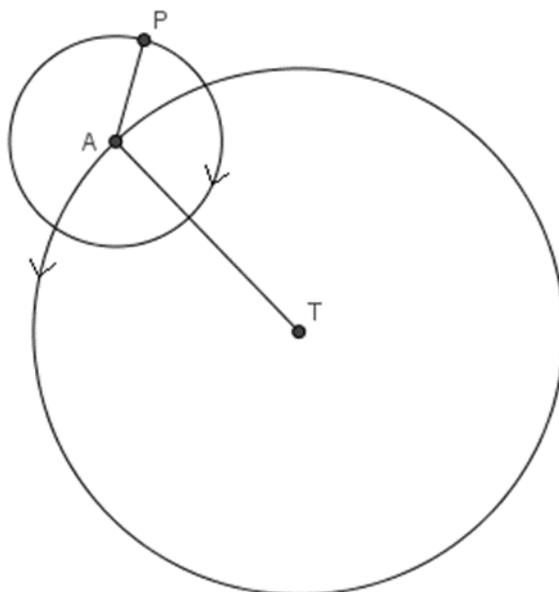
✉ gonzalorecio@hotmail.com

Recio, Gonzalo Luis (2019). La longitud lunar en el *Almagesto* de Ptolomeo: el segundo modelo. *Epistemología e Historia de la Ciencia*, 3(2), 17-49. ISSN: 2525-1198

(<https://revistas.unc.edu.ar/index.php/afjor/index>)



un radio arbitrario de 60 partes para el deferente, calcula que el radio del epiciclo es de 5;15 partes. Las velocidades de los movimientos son derivadas a partir de determinaciones de períodos que provienen, al menos, de tiempos babilónicos, y que fueron corroboradas y corregidas por el propio Ptolomeo.



**Figura 1.** Diagrama del primer modelo para la longitud lunar. El centro del deferente T es la Tierra, en torno al cual se mueve A, el centro del epiciclo. La Luna P se mueve sobre el epiciclo en torno a A.

Sin embargo, luego de finalizar la construcción de ese primer modelo lunar, Ptolomeo señala que

[...] se halló, tanto a partir de las observaciones registradas por Hiparco como a partir de las nuestras, que la distancia [angular] de la Luna al Sol estaba a veces de acuerdo con lo calculado a partir de la hipótesis de más arriba, y a veces en desacuerdo, siendo la discrepancia a veces pequeña y a veces grande (V, 2; H1 355; 220).

Los capítulos 2 al 5 del libro V del *Almagesto* están dedicados a solucionar las dificultades contenidas en esas observaciones. No es exagerado decir, con Pedersen, que “En ningún otro lugar obtenemos una imagen más convincente de Ptolomeo como un gran astrónomo que aquí” (2010, p. 159). El segundo modelo lunar presenta, además, algunos de los problemas más graves de todo el sistema ptolemaico: las predicciones que hace respecto de la distancia variable de la Luna respecto de la Tierra a lo largo del mes sinódico han sido las responsables no solo de seculares esfuerzos por reformar los modelos de Ptolomeo<sup>2</sup>, sino también de la percepción de Ptolomeo como un astrónomo resueltamente instrumentalista, cuyos modelos no tenían otra pretensión que predecir longitudes y latitudes correctas para los astros en el tiempo (Duhem, 1969, pp. 16-21).

Este artículo continúa lo comenzado en *La longitud lunar en el Almagesto de Ptolomeo: el primer modelo*, donde se había expuesto el primer modelo mencionado más

<sup>2</sup> Algunos modelos astronómicos islámicos son un ejemplo de esto. Cfr. (Saliba, 1994).

arriba. Puesto que en el segundo modelo Ptolomeo no hace otra cosa más que modificar, aunque drásticamente, el primer modelo, es necesario conocer para comprender cabalmente el contenido de este artículo, las características de esa primera etapa en el tratamiento ptolemaico de la Luna. Como dije, en este caso expongo y explico las soluciones ptolemaicas a los fenómenos que Ptolomeo llama, justificadamente, *la segunda anomalía*. Por ello Ptolomeo entiende un comportamiento irregular del movimiento lunar ya no asociado a la posición de la Luna sobre su epiciclo, o del epiciclo lunar sobre el deferente –este aspecto es el que ya solucionó en el primer modelo– sino la elongación lunar, es decir, a la posición de la Luna respecto del Sol.

Al igual que en el artículo referido, busco aquí seguir los cálculos ptolemaicos respetando los métodos y pasos que el propio Ptolomeo indica en su *Almagesto*, para servir así no solo como una lectura que reemplace aquélla de la obra original, sino fundamentalmente como guía para la misma. Por ese motivo voy a señalar, nuevamente, los pasajes correspondientes en la obra de Ptolomeo en indicaciones al margen del texto.

Existen otras obras que se ocupan de los modelos lunares ptolemaicos (Pedersen, 1974, Neugebauer, 1975, Petersen, 1969, entre otros). En estas obras se hace hincapié en la división entre la teoría ptolemaica de la longitud lunar y aquella correspondiente a la latitud. Si bien esta distinción está fundada en las propias palabras de Ptolomeo, quien explícitamente dice que tal maniobra no afecta los cálculos de un modo relevante<sup>3</sup>, también es verdad que Ptolomeo mismo suspende en su explicación del segundo modelo –y por buenos motivos– esta división, y momentáneamente obliga al lector a tomar en cuenta los movimientos en latitud para poder comprender cabalmente los cambios que introduce en su modelo de las longitudes. Este “puente” momentáneo que Ptolomeo tiende entre ambas teorías lunares se encuentra, probablemente por motivos de simplicidad expositiva, silenciado en la bibliografía sobre el tema. Si se pretende, como aquí, ayudar al lector del *Almagesto* en la comprensión del texto de Ptolomeo, esto no es conveniente. Este artículo busca cubrir esa laguna.

El artículo está estructurado del siguiente modo: la primera parte trata acerca del *input* observacional a partir del cual Ptolomeo descubre ciertas dificultades derivadas del primer modelo, y acerca de las características generales de la modificación –la excentricidad móvil del deferente– que el astrónomo introduce para dar cuenta de ella. La segunda expone la sección acerca del movimiento del centro del deferente en torno a la Tierra. Una vez que quedan determinados el sentido y velocidad de ese movimiento, comienza la tercera parte, donde se explica con más detalle el modo que el propio Ptolomeo expone los parámetros de ese movimiento, y se muestra de qué manera este tema se conecta con la teoría de las latitudes lunares. En cuarto lugar se explica el procedimiento ptolemaico para determinar los radios relativos del deferente y epiciclo, y de ambos con la excentricidad. La quinta parte está dedicada al tratamiento de la manifestación de la segunda anomalía en los octantes. Allí Ptolomeo adopta una estrategia teórica sumamente interesante, con la cual da por finalizada su exposición acerca del modelo lunar.

Es necesario aclarar que no todos los diagramas del artículo se corresponden con aquellos presentes en el *Almagesto*. Por motivos de claridad he agregado varios diagramas

---

<sup>3</sup> Cfr. IV, 6. H1 302. 191.

propios. Para distinguir los diagramas ptolemaicos de los que no lo son, las descripciones de los primeros comienzan con una letra P entre paréntesis "(P)".

## 2. El *input* observacional de la segunda anomalía y las características señaladas por Ptolomeo

Al inicio del capítulo 2 del libro V, después de indicar que ha descubierto una nueva anomalía, Ptolomeo nos cuenta que, tras reflexionar sobre el comportamiento de la misma, ha encontrado un cierto patrón:

[...] cuando prestamos más atención a las circunstancias de la anomalía en cuestión, y la examinamos con más cuidado a lo largo de un período continuo, descubrimos que en conjunción y oposición la discrepancia es o bien imperceptible o bien pequeña, siendo la diferencia explicable por la paralaje lunar; en ambas cuadraturas, sin embargo, mientras que la discrepancia es muy pequeña o nula cuando la Luna está en el apogeo o perigeo del epiciclo, alcanza un máximo cuando la Luna se halla cerca de su velocidad media y la ecuación de la primera anomalía se halla también en el máximo; aún más, en cualquier cuadratura, cuando la primera anomalía es substractiva la posición observada de la Luna está a una longitud menor aún que la calculada substrayendo la ecuación de la primera anomalía, mientras que si la primera anomalía es aditiva su posición verdadera es aún mayor [que la calculada adicionando la ecuación de la primera anomalía], y el tamaño de esta discrepancia está íntimamente relacionado con el tamaño de la ecuación de la primera anomalía (V, 2; H1 355; 220).

El primer modelo lunar había sido construido a partir de observaciones en una de las sicigias, la Luna llena, en cuanto se apoyaba en observaciones de eclipses lunares. Por ese motivo no es sorprendente el éxito que tal modelo tenía para esos momentos del mes sinódico. La pretensión ptolemaica, sin embargo, implica contar con un modelo que pueda dar cuenta de las posiciones de la Luna para cualquier momento del mes, y no solo para las sicigias. Por ello es que realiza observaciones propias –y analiza observaciones anteriores– con el fin de comparar las predicciones del modelo con las posiciones observadas. El párrafo de arriba muestra las primeras conclusiones a las que llega Ptolomeo luego de ese trabajo.

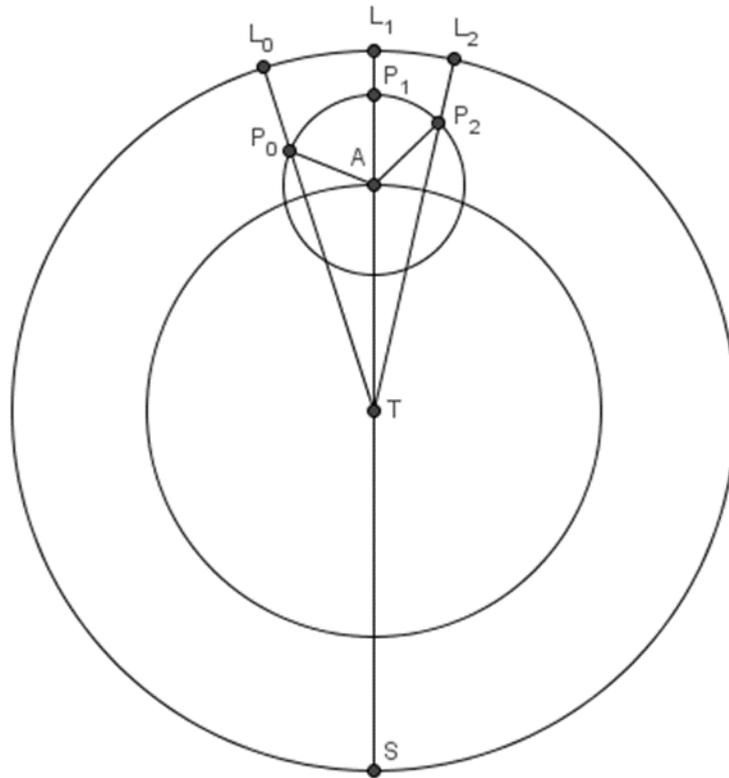
El pasaje presenta dos aspectos de la anomalía: en primer lugar indica los momentos y posiciones para los cuales el modelo es exitoso, y en segundo aquellos para los cuales el modelo no da cuenta de lo observado. Respecto de esto último, agrega además algunas regularidades que halló, y que serán determinantes a la hora de resolver el problema.

Respecto de los momentos exitosos, Ptolomeo dice que “[...] en conjunción y oposición la discrepancia es o bien imperceptible o bien pequeña [...]”. Esto, como dije, no es sorprendente, dada la base observacional del primer modelo. En la fig. 2 la longitud del Sol medio sobre la eclíptica es S, mientras que el centro del epiciclo A se halla en oposición al Sol medio<sup>4</sup>, sobre un deferente con centro en T, la Tierra. Dada esta configuración, no

---

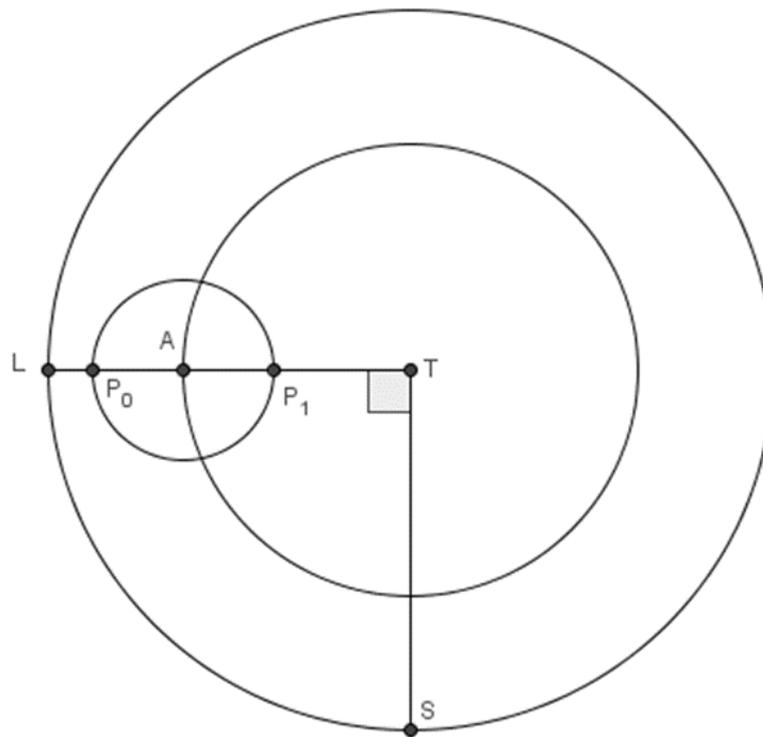
<sup>4</sup> El texto no aclara explícitamente que lo que se halla en oposición es el centro del epiciclo y no la Luna misma. La explicación ptolemaica, no obstante –y sobre todo si se tiene en cuenta el comentario posterior referente a las cuadraturas– no tiene sentido si no se asume que se está hablando de ese punto.

importa en qué posición se encuentre la Luna sobre el epiciclo: tanto si es en  $P_0$  como en  $P_1$  o  $P_2$ , la longitud de la Luna en  $L_0$ ,  $L_1$  y  $L_2$ , respectivamente, coincide con aquélla calculada a partir del modelo.



**Figura 2.** Diagrama de la posición del epiciclo en una sicigia.

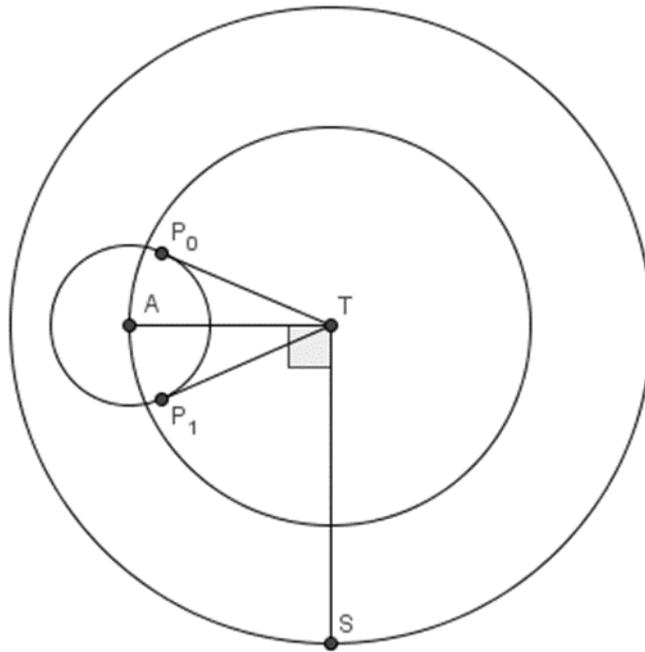
La indicación ptolemaica según la cual “[...] en ambas cuadraturas [...] la discrepancia es muy pequeña o nula cuando la Luna está en el apogeo o perigeo del epiciclo [...]” es mucho más sorprendente y reveladora. Ptolomeo nos dice que, en una configuración como la indicada en la fig. 3, donde el centro del epiciclo se halla en una cuadratura, la longitud observada de la Luna, correspondiente al punto  $L$  sobre la eclíptica, coincidirá con la derivada del primer modelo siempre que la misma se halle en los puntos  $P_0$  o  $P_1$ , esto es, el apogeo y perigeo del epiciclo, respectivamente.



**Figura 3.** Diagrama de la posición del epiciclo en una cuadratura, con la Luna en el apogeo y perigeo del epiciclo.

Respecto de los momentos donde el modelo no da cuenta de las longitudes observadas, Ptolomeo señala tres factores que contribuyen al comportamiento de la anomalía: en primer lugar la anomalía crece en la medida en que el centro del epiciclo se acerca a la cuadratura, en segundo, la anomalía crece a medida que la Luna se acerca a la velocidad media o, lo que es lo mismo, a medida que la ecuación de la primera anomalía se acerca a su máximo, y en tercer lugar, la segunda anomalía siempre se manifiesta en el mismo sentido en el que se manifiesta la primera anomalía.

La figura 4 representa la configuración del primer modelo en la cual, según Ptolomeo, se encuentra la máxima manifestación de la segunda anomalía. Ésta se da cuando la velocidad del movimiento en longitud de la Luna real coincide, instantáneamente, con aquella del movimiento medio. Esto es debido a que cuando la Luna se encuentra en ese punto sobre el epiciclo, el observador terrestre no percibe que el epiciclo, en su movimiento circular en torno a A, la esté llevando ni en el sentido de los signos ni en sentido contrario. Para que eso suceda, es necesario que la línea de visión del observador terrestre sea tangente al epiciclo. Es por esto que, como dice Ptolomeo, en esos puntos – P<sub>0</sub> y P<sub>1</sub> en el diagrama– la “[...] ecuación de la primera anomalía se halla también en el máximo [...]”. Pues por *ecuación de anomalía* Ptolomeo entiende la distancia angular entre la Luna media y la Luna verdadera – $\angle ATP_0$  y  $\angle ATP_1$  en el diagrama–, y es obvio que ese ángulo no puede ser mayor que cuando la Luna verdadera se halla en esos puntos.



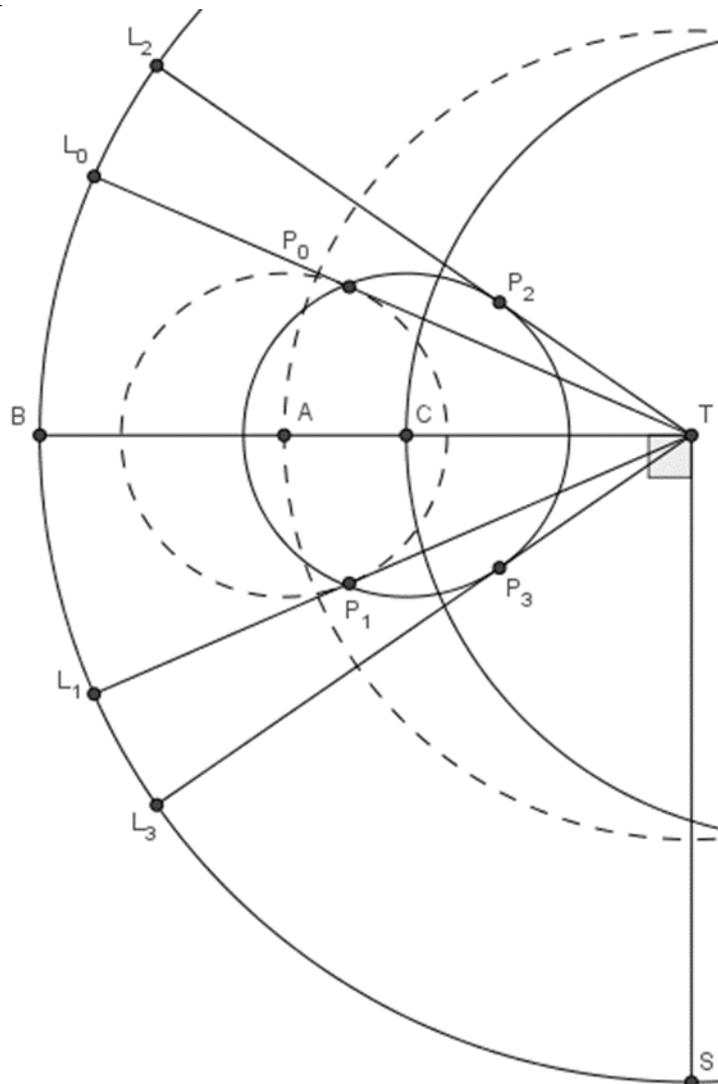
**Figura 4.** Diagrama de la posición del epiciclo en una cuadratura, con la Luna produciendo la máxima ecuación de anomalía.

Según señala Ptolomeo, la segunda anomalía siempre se manifiesta aumentando el efecto de la primera, por ejemplo, “[...] cuando la primera anomalía es substractiva la posición observada de la Luna está a una longitud menor aún que la calculada substrayendo la ecuación de la primera anomalía [...]”. En la fig. 5 si a la longitud B de la Luna media se le subtrae<sup>5</sup> la ecuación de la primera anomalía  $\angle BTL_0$ , producida por la posición de la Luna real sobre el epiciclo en P<sub>0</sub>, se obtiene una longitud L<sub>0</sub>. No obstante, debido a la segunda anomalía se observa una longitud aún menor en L<sub>2</sub>. De la misma manera, cuando la Luna se encuentra en P<sub>1</sub> el primer modelo indica una longitud L<sub>1</sub>. La longitud observada es, sin embargo, L<sub>3</sub>.

<sup>5</sup> En los diagramas del artículo, al igual que en los del *Almagesto*, la longitud aumenta en el sentido antihorario.



del primer modelo  $-\angle BTL_0$  en la fig. 6- y aquella observada  $-\angle BTL_2$ - será mayor cuanto más grande sea primera.



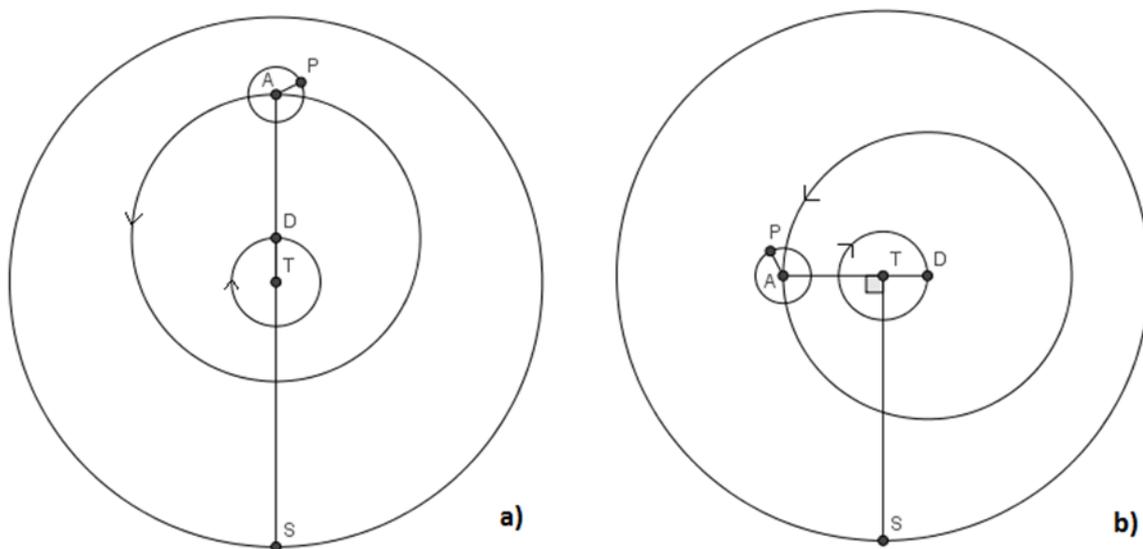
**Figura 6.** Diagrama de la solución ptolemaica al aumento de la ecuación de la primera anomalía en las cuadraturas.

Este modo de solucionar el aumento de la ecuación de la primera anomalía cumple además con la condición de mantener el éxito del primer modelo en las sicigias y en la configuración en cuadraturas donde la Luna real se halla en el apogeo o perigeo del epiciclo. Respecto de lo primero, el propio Ptolomeo lo dice explícitamente: la modificación hecha al primer modelo debe ser tal que en las cuadraturas el epiciclo se acerque a la Tierra y en las sicigias mantenga la distancia calculada para el modelo original. Cómo se puede lograr esto es parte del cálculo que Ptolomeo desarrolla posteriormente. Respecto de lo segundo, dado que si la Luna real se encuentra tanto en el apogeo o perigeo del epiciclo del primer modelo como en aquellos del epiciclo más cercano del segundo modelo siempre se hallará sobre la línea TCAB, entonces la longitud derivada de ambos modelos para esa posición lunar es exactamente la misma: B.

### 3. El movimiento del deferente en el segundo modelo

Una vez que ha determinado de qué modo solucionar la segunda anomalía tal y como se manifiesta en las cuadraturas, Ptolomeo debe todavía determinar de qué manera lograr que el epiciclo se acerque y aleje del observador terrestre.

El centro del epiciclo se halla siempre, por definición, sobre un deferente, de tal modo que este movimiento del epiciclo respecto de la Tierra debe ser causado por el movimiento del centro del deferente. En el segundo modelo para las longitudes lunares el astrónomo determina que este movimiento además de ser, por supuesto, circular, es geocéntrico.



**Figura 7.** Diagrama de la posición del centro del deferente con el epiciclo en sicigia y en cuadratura.

En el diagrama a) de la fig. 7 el alineamiento entre T, D y A hace que el epiciclo se encuentre a la máxima distancia posible respecto de la Tierra. Esta configuración debe suceder en Luna llena y Luna nueva. En el diagrama b) los tres puntos también se encuentran alineados, solo que D está del otro lado de la Tierra. De ese modo el centro del epiciclo A se encuentra a la mínima distancia posible. Esta configuración debe suceder en cuarto menguante y cuarto creciente.

El interrogante obvio es qué clase de movimiento debe tener el centro del deferente D en torno a T para lograr ubicarse en los lugares correctos durante los momentos adecuados. En la figura 7, donde por mor de la simplicidad en la argumentación suponemos que el Sol medio está quieto respecto de la eclíptica, podemos ver que una forma simple de obtener el efecto deseado es hacer que el centro del epiciclo y el centro del deferente se muevan en sentidos contrarios: mientras que el primero lo hace en el sentido del Zodíaco<sup>6</sup>, el segundo lo hace en el sentido contrario. Una cuestión

<sup>6</sup> En general, cuando Ptolomeo quiere indicar que algo se mueve en el sentido del Zodíaco, es decir, en longitud creciente, lo hace con la expresión “hacia atrás”. Por el contrario, cuando quiere indicar que algo se mueve en sentido contrario al Zodíaco, dice “hacia adelante”. El motivo de este modo de referirse a las

importante a resaltar es el hecho de que el primer modelo es exitoso respecto de la longitud media de la Luna tanto en las sicigias como en las cuadraturas. Esto queda implícitamente demostrado cuando Ptolomeo, a partir de las observaciones, dice que el primer modelo funciona bien cuando el centro del epiciclo está en una sicigia, y cuando el epiciclo se halla en una cuadratura y la Luna real tiene la misma longitud que la Luna media. La modificación introducida sobre el deferente del modelo, entonces, solo debe afectar la distancia del centro del epiciclo a la Tierra, pero no su centro de velocidad uniforme. Si en el primer modelo este era la Tierra, en el segundo modelo también debe serlo, aun cuando su centro geométrico ya no lo sea. La decisión de diferenciar ambos puntos constituye un paso de dramáticas consecuencias para la astronomía posterior: en gran medida toda la historia de la astronomía islámica, y el inicio de la astronomía europea moderna puede ser descrita como el esfuerzo de volver a unir en un punto único ambas funciones.<sup>7</sup> Y Ptolomeo da este paso sin siquiera sugerir su carácter revolucionario.

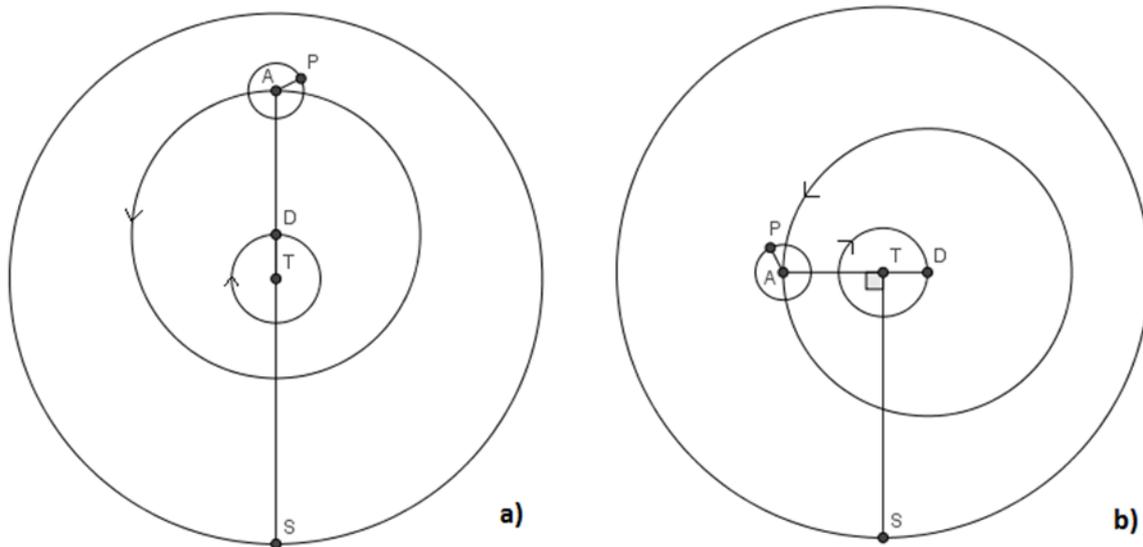
Una vez determinado el sentido del movimiento del centro del deferente, Ptolomeo todavía tiene que calcular su velocidad. En un modelo lunar donde son ignorados los problemas de latitud de la Luna, la velocidad del centro del deferente excéntrico debe ser igual a dos veces la velocidad de elongación media menos la velocidad de longitud media. Si expresamos la velocidad del deferente excéntrico como  $V_{Exc}$ , la velocidad de elongación media como  $V_{Elo_m}$ , y la velocidad del epiciclo sobre el deferente como  $V_{Epi}$ , entonces la igualdad puede ser expresada como

$$(1) \quad V_{Exc} = 2 \cdot V_{Elo_m} - V_{Epi}.$$

---

direcciones es el hecho de que para toda la astronomía griega antigua el primer y más obvio movimiento celeste, que afectaba a absolutamente todos los astros, era el movimiento diurno, el cual se da en el sentido contrario a los signos. Ese movimiento es la referencia direccional para todos los demás. Cfr. (Toomer, 1984, p. 20)

<sup>7</sup> Este es el importante problema de la incompatibilidad entre el punto ecuante y la física aristotélica: la imposibilidad de concebir una esfera sólida rotante cuyo eje de rotación no pase por su centro. Para ver solo algunos ejemplos de los reproches posteriores a este aspecto de la astronomía del *Almagesto*, ver la crítica de Abu Ubayd al-Juzjani en (Saliba, 1994, pp. 89-90) y del propio Copérnico en (Swerdlow, 1973, pp. 434-5).



**Figura 8.** Diagrama para la demostración de la velocidad del centro del deferente en un modelo que ignora el movimiento latitudinal de la Luna.

En la fig. 8 el punto Z representa la longitud del Sol medio en un momento inicial de oposición, en el cual el centro del deferente excéntrico se halla en W con una longitud Y, y el centro del epiciclo tiene la misma longitud.<sup>8</sup> Luego de un determinado tiempo la longitud del Sol medio es S, y el centro A del epiciclo se halla a una longitud  $C_0$ , a  $270^\circ$  de S, es decir, en una cuadratura. Tal y como lo exige el modelo, el centro D del deferente se ha movido a su vez en sentido contrario hasta alcanzar la longitud  $C_1$  en la otra cuadratura. Si representamos la velocidad del Sol medio como  $VSol_m$ , entonces cada una de las velocidades puede ser representada como un ángulo del siguiente modo:

- (2)  $VExc = \angle C_1TY$ ,
- (3)  $VEpi = \angle YTC_0$ ,
- (4)  $VElom = \angle STC_0 - 180^\circ$ <sup>9</sup>,
- (5)  $VSol_m = \angle ZTS$ .

La expresión correspondiente a (1), entonces, sería

$$(6) \quad \angle C_1TY = 2 \cdot (\angle STC_0 - 180^\circ) - \angle YTC_0.$$

Esta igualdad es la que hay que demostrar. Por otro lado, puesto que  $VElom$  es igual a la diferencia entre  $VEpi$  y  $VSol_m$ , entonces

$$(7) \quad \angle STC_0 - 180^\circ = \angle YTC_0 - \angle ZTS.$$

Gracias a Elem. I 15 sabemos que

$$(8) \quad \angle C_1TY = \angle COTZ.$$

<sup>8</sup> Esta configuración es idéntica a la representada en el diagrama a) de la figura 6.

<sup>9</sup> Se le restan  $180^\circ$  porque ese era el valor de la elongación media en la posición inicial. Además, cabe aclarar que el ángulo  $\angle STC_0$  es mayor a  $180^\circ$ , es decir, corresponde al arco  $SC_1YC_0$ .

Puesto que  $\angle YTC_0$  es el suplementario de  $\angle C_0TZ$ , entonces

$$(9) \angle C_1TY = 180^\circ - \angle YTC_0 \text{ o, lo que es lo mismo, } \angle C_1TY = 90^\circ + 90^\circ - \angle YTC_0.$$

Además, puesto que  $C_1$  representa la longitud de una cuadratura, entonces  $\angle STC_1$  es, necesariamente, igual a  $90^\circ$ . El ángulo  $\angle ZTC_1$  puede ser expresado, por lo tanto, del siguiente modo:

$$(10) \angle ZTC_1 = \angle ZTS + 90^\circ.$$

Por lo tanto se da que

$$(11) \angle ZTC_1 - \angle ZTS = 90^\circ.$$

Entonces, por (9) y (11) se obtiene que

$$(12) \angle C_1TY = \angle ZTC_1 - \angle ZTS + \angle ZTC_1 - \angle ZTS - \angle YTC_0.$$

Pero, también por Elem. I 15, sabemos que  $\angle ZTC_1$  es igual a  $\angle YTC_0$ . Por lo tanto, si se hace el reemplazo en (12) se obtiene que

$$(13) \angle C_1TY = \angle YTC_0 - \angle ZTS + \angle YTC_0 - \angle ZTS - \angle YTC_0 \text{ o, lo que es lo mismo, } \\ \angle C_1TY = 2 \cdot (\angle YTC_0 - \angle ZTS) - \angle YTC_0.$$

Por último, si a (13) se le aplica la equivalencia indicada en (7), entonces se obtiene  $\angle C_1TY = 2 \cdot (\angle STC_0 - 180^\circ) - \angle YTC_0$ , que es el valor propuesto en (6), y que había que demostrar.

Esta formulación supone que el deferente lunar está en el plano de la eclíptica, es decir, que la Luna no sufre ninguna variación en latitud. Este no es, por supuesto, el caso. La cuestión no parece tener mayor relevancia, pues el propio Ptolomeo se había encargado de indicar que la inclinación del deferente lunar es tan pequeña que, a los efectos de los cálculos de longitud, la variación que causaba era despreciable.<sup>10</sup> Por ese motivo es que descomponen el análisis de ambos aspectos, tratándolos independientemente. De hecho, luego de finalizar el primer modelo, dedica un libro entero a la cuestión de la latitud lunar (IV, 9; H1 326-336; 205-209). La solución que allí propone a ciertas características de la variación latitudinal de la Luna, sin embargo, sí tiene implicancias más relevantes para el cálculo de longitud, y particularmente en el caso del segundo modelo. Es por ese motivo que el modo en el cual Ptolomeo formula la velocidad de la excéntrica en *Almagesto* V, 2 es un poco más complejo.

---

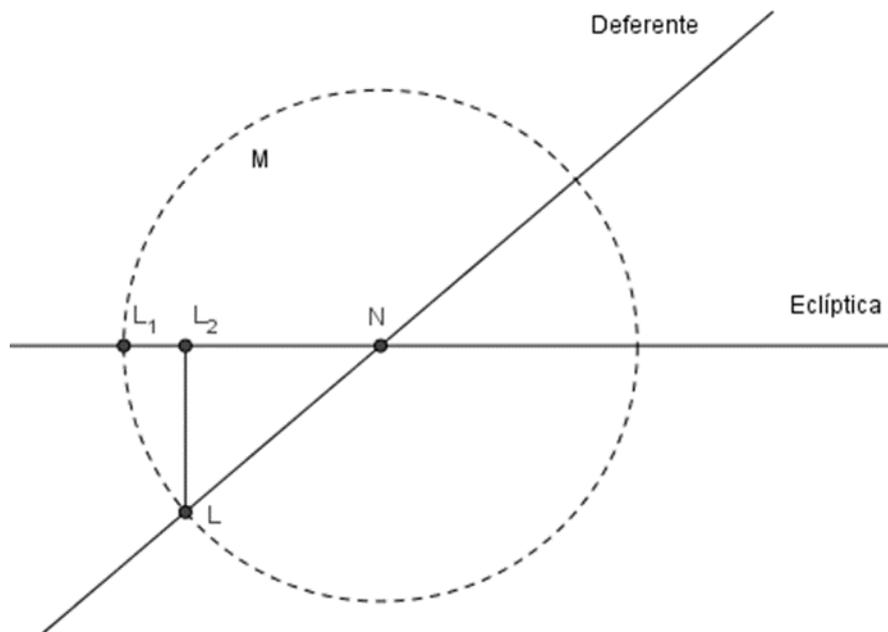
<sup>10</sup> Si bien sabe que la Luna varía su latitud eclíptica hacia el sur y hacia el norte, en el desarrollo de los modelos de longitud lunar Ptolomeo propone ignorar el tema de la latitud, dejando la solución para esto en una sección aparte. De ese modo, imagina una Luna que se mueve siempre sobre la eclíptica. Respecto de los cálculos en longitud, esto no acarrea ningún problema ya que la inclinación angular de la órbita lunar respecto de la eclíptica es tan pequeña que la diferencia es despreciable. cfr. VI, 7. H1 505. 297.

#### 4. Formulación ptolemaica de la velocidad del centro del deferente excéntrico.

Ptolomeo no desarrolla, como sí lo hace en otras partes, un argumento geométrico detallado en el cual se concluye en la velocidad del punto D. En el párrafo en el que formula la velocidad del centro del deferente excéntrico, sin embargo, nos explica brevemente cuál es el valor para esa velocidad, y expone, si bien sintéticamente, el camino por el cual llegó a ese número:

[...] en este plano inclinado [el deferente], suponemos que se dan dos movimientos en direcciones opuestas, ambos uniformes respecto del centro de la eclíptica: uno de ellos lleva al centro del epiciclo hacia atrás a través de los signos con la velocidad del movimiento en latitud, mientras que el otro lleva el centro y el apogeo de la excéntrica, a la cual asumimos ubicada en el mismo plano (el centro del epiciclo siempre se hallará sobre esta excéntrica en todo momento), hacia adelante a través de los signos según una cantidad correspondiente a la diferencia entre el movimiento en latitud y la doble elongación (siendo la elongación la cantidad por la cual el movimiento medio en longitud de la Luna excede el movimiento medio del Sol). Así, para dar un ejemplo, en un día el centro del epiciclo se mueve cerca de  $13;14^\circ$  en latitud hacia atrás a través de los signos, pero parece haberse movido  $13;11^\circ$  en longitud sobre la eclíptica, pues la totalidad del círculo inclinado [de la Luna] se mueve la diferencia de  $0;3^\circ$  en sentido opuesto, hacia adelante, [mientras] el apogeo de la excéntrica, a su vez, se mueve  $11;9^\circ$  en sentido opuesto, (también hacia adelante): esta es la cantidad por la cual la doble elongación,  $24;23^\circ$ , excede el movimiento en latitud,  $13;14^\circ$ . La combinación de estos dos movimientos, que se dan en direcciones opuestas, como dijimos, en torno al centro de la eclíptica, producirá como resultado que el radio que lleva el centro del epiciclo y el radio que lleva el centro de la excéntrica estarán separados por un arco que es la suma de  $13;14^\circ$  y  $11;9^\circ$ , y es dos veces la cantidad de la elongación (que es aproximadamente  $12;11\frac{1}{2}^\circ$ ) (V, 2; H1 356; 220).

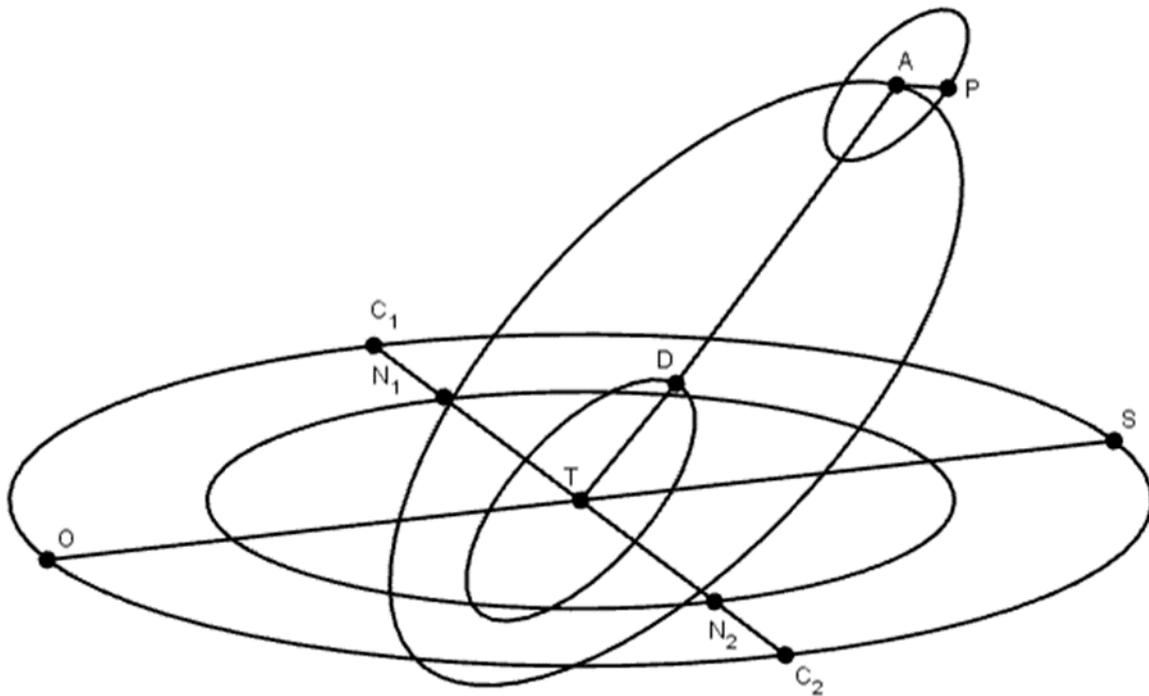
Ptolomeo, como sus antecesores, había notado que la latitud de la Luna variaba con el tiempo, lo que indicaba que la Luna realiza su movimiento en un ángulo inclinado respecto de la eclíptica –es decir, que tanto el deferente como el epiciclo comparten un plano inclinado. La consecuencia obvia de esto es que la distancia angular que recorre el centro del epiciclo sobre el deferente no sea igual a la variación en longitud de ese punto a causa de ese movimiento.



**Figura 9.** Diagrama en el cual se aprecia el efecto de la inclinación del deferente lunar sobre el plano de la eclíptica respecto del movimiento en longitud.

En el diagrama 9 se pueden ver los planos de la eclíptica y del deferente lunar desde la perspectiva de un observador terrestre. El punto N representa un nodo, es decir, uno de los dos puntos en los cuales el centro del epiciclo lunar pasa de un lado a otro de la eclíptica. Si el centro del epiciclo se mueve de N a L en el deferente, se ha movido una distancia angular igual a la distancia  $NL_1$  en la eclíptica –puesto que ambos son radios del círculo M con centro en N. Sin embargo su movimiento en longitud fue menor, el equivalente a la distancia angular que hay desde N a  $L_2$ . Ptolomeo dice explícitamente que va a ignorar esto y que va a suponer que el movimiento sobre el deferente es igual a la variación en longitud, es decir, que  $NL = NL_2$ . Puede hacerlo porque la inclinación del plano del deferente respecto del de la eclíptica es muy pequeño, por lo que el efecto señalado es despreciable.

El movimiento lunar, no obstante, presenta otro problema respecto de su latitud: las latitudes máximas y mínimas de la Luna no se dan siempre en la misma longitud, sino que esta va variando con el tiempo respecto de aquellas. Para solucionar el problema Ptolomeo ideó un sistema muy ingenioso.



**Figura 10.** Diagrama del segundo modelo con movimiento de los nodos. La inclinación del deferente lunar está exagerada.

En el diagrama 10 vemos una combinación del segundo modelo para las longitudes, y el dispositivo teórico que Ptolomeo incorpora para explicar los problemas de latitud lunar. Además de los puntos ya indicados en el diagrama 8, vemos que el deferente está inclinado respecto del plano de la eclíptica, en cuyo plano se halla el deferente solar medio. El círculo concéntrico con el deferente solar medio es el responsable de mover todo el deferente lunar de tal modo que quede explicado el cambio de longitudes para las latitudes máximas y mínimas. Aquí no interesa el modo por el cual Ptolomeo llega al valor de la inclinación del deferente, ni el sentido y la velocidad del movimiento del círculo que mueve al deferente lunar. Solo basta indicar que la combinación del segundo modelo lunar para las longitudes con el modelo lunar para la latitud indica que el centro del deferente lunar  $D$  se mueve en torno a  $T$  a  $V_{Exc}$ , en el sentido contrario a los signos. Al mismo tiempo el centro del epiciclo se mueve a  $V_{Lat}$ , que es la velocidad en latitud media de la Luna, en el sentido de los signos.<sup>11</sup> El Sol medio, por supuesto, se mueve en el sentido de los signos a  $V_{Sol_m}$ . Para explicar el hecho de que las máximas y mínimas latitudes se dan en diversos sectores del Zodíaco, no obstante, Ptolomeo introduce el movimiento representado por el círculo concéntrico al deferente solar. Este se mueve en sentido contrario a los signos a  $V_{Nod}$ , llevando a los dos nodos  $N_1$  y  $N_2$  de tal modo que se da una suerte de “precesión” de los puntos de máxima y mínima latitud sobre el Zodíaco.

<sup>11</sup> Dado que, por lo pequeño de la inclinación del deferente lunar respecto de la eclíptica, la totalidad del mismo se encuentra comprendido en la banda del Zodíaco, las expresiones “hacia adelante” y “hacia atrás”, que en sí mismas se refieren al orden de los signos, todavía tienen sentido.

Las observaciones y cálculos le permiten a Ptolomeo obtener el valor del movimiento en latitud de tal modo que  $V_{Lat}=13;13,45,39,48,56,37^{\circ/d}$ . Este movimiento es el responsable de los cambios en la latitud lunar, pero también del avance de la Luna en longitud media. Ahora bien, este avance, como ya sabe<sup>12</sup> es de  $13;10,34,58,33,30,30^{\circ/d}$ , es decir, más lento. Es obvio que el responsable de este atraso es el movimiento contrario a los signos de los nodos. Para obtener ese valor, entonces, hay que restar  $VE_{pi}$  a  $V_{Lat}$ , lo que da un valor de  $V_{Nod}=0;3,10,11,15,25,60^{\circ/d}$ . En el texto citado, como vimos, Ptolomeo redondea los valores de tal modo que  $V_{Lat}=13;14^{\circ/d}$ ,  $VE_{pi}=13;11^{\circ/d}$  y  $V_{Nod}=0;3^{\circ/d}$ . En este contexto es necesario tomar en cuenta que por un lado  $VE_{pi}$  es el producto de dos movimientos contrarios, y por otro  $V_{Nod}$  ya está produciendo un movimiento de D en el sentido correcto, aun cuando D permanezca fijo respecto de E. Por todo ello podemos reformular tanto  $VE_{pi}$  como  $VE_{exc}$  de tal modo que

$$(14) VE_{pi}=V_{Lat}-V_{Nod}$$

y

$$(15) VE_{exc}=V_{Nod}+ VE_{exc1},$$

siendo  $VE_{exc1}$  la velocidad propia del centro de la excéntrica, que sumada a la velocidad de los nodos logra el efecto de la “doble elongación”. En la cita ptolemaica vimos que según el astrónomo alejandrino la velocidad propia del centro de la excéntrica, debe ser

[...] una cantidad correspondiente a la diferencia entre el movimiento en latitud y la doble elongación (siendo la elongación la cantidad por la cual el movimiento medio en longitud de la Luna excede el movimiento medio del Sol).

es decir,

$$(16) VE_{exc1}=2 \cdot VE_{lom}-V_{Lat}.$$

La derivación desde la formulación simplificada (1) a la formulación estrictamente ptolemaica (16), es sencilla. Si partimos de  $VE_{exc}=2 \cdot VE_{lom}-VE_{pi}$  y le agregamos dos términos al segundo miembro de la ecuación de tal modo que

$$(17) VE_{exc}=2 \cdot VE_{lom}-VE_{pi}+V_{Nod}-V_{Nod},$$

podemos obtener que

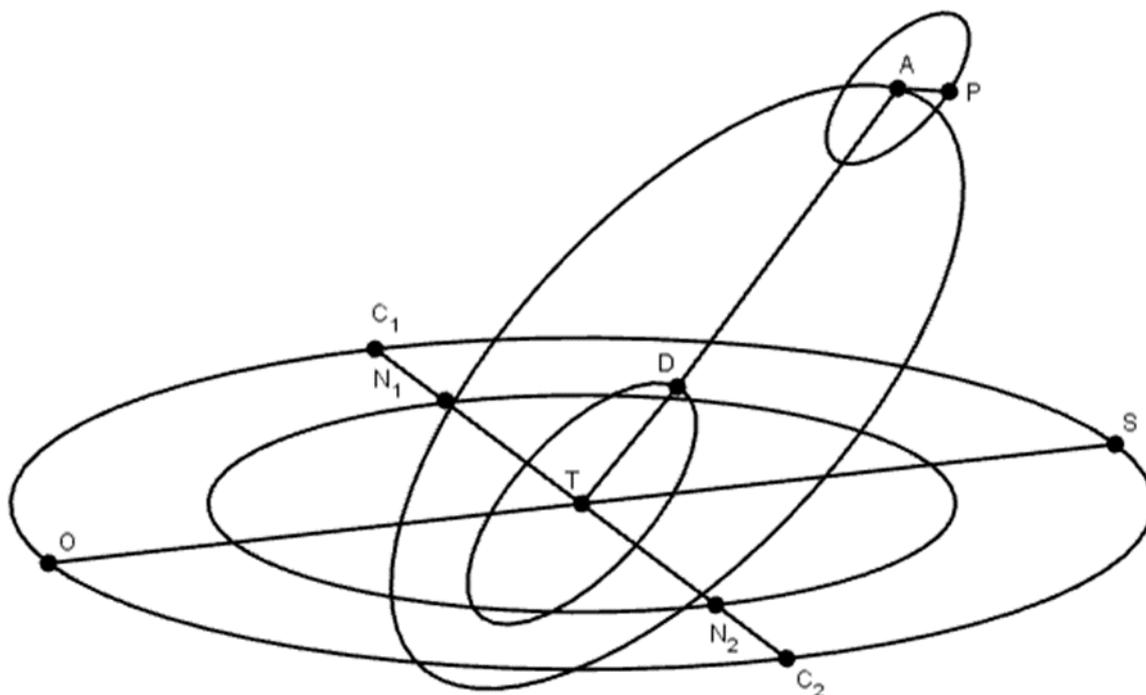
$$(18) VE_{exc}-V_{Nod}=2 \cdot VE_{lom}-VE_{pi}-V_{Nod} \text{ o, lo que es lo mismo, } VE_{exc}-V_{Nod}=2 \cdot VE_{lom}-(VE_{pi}+V_{Nod}).$$

Tomando en cuenta las equivalencias señaladas en (14) y (15) queda que  $VE_{exc1}=2 \cdot VE_{lom}-V_{Lat}$ , que es el modo según el cual Ptolomeo formula la velocidad para el centro de la excéntrica.

<sup>12</sup> Ptolomeo indica las velocidades medias lunares en IV, 3; H1 278-281; 179-180.

## 5. Los tamaños del deferente excéntrico y de su excentricidad en el segundo modelo.

El primer modelo para las longitudes lunares había arrojado un valor proporcional de  $5;15^p$  para el radio del epiciclo, dado un radio de  $60^p$  para el deferente.<sup>13</sup>



**Figura 11.** Diagrama de la máxima ecuación de anomalía en el primer modelo.

En la fig. 11 los segmentos TA y AP representan al radio del deferente y del epiciclo, respectivamente. La línea TP es tangente al epiciclo, por lo cual, como expliqué más arriba (ver p. 22), cuando la Luna se halla en P se percibe el máximo valor posible de la ecuación de anomalía. Gracias a Elem. III 18 sabemos que el ángulo  $\angle APT$  es recto. Esto permite resolver trigonómicamente el triángulo rectángulo ATP, y calcular el valor de la máxima ecuación de anomalía correspondiente al ángulo  $\angle ATP$ :  $5^\circ$ .

La estrategia de Ptolomeo para determinar los radios correspondientes en el segundo modelo es sumamente ingeniosa. Él ya sabe que en una cuadratura el epiciclo se acerca por efecto del movimiento del centro del deferente. Este movimiento es, como vimos, circular y geocéntrico. Si observamos nuevamente la figura 7 veremos que el radio de la excentricidad debe ser tal que cuando se suma al radio del deferente (diagrama 7.a.) la distancia total desde la Tierra T al centro del epiciclo A debe ser igual a  $60^p$ . Esa alineación, como vimos, debe darse en las sicigias, para que de ese modo la proporción entre epiciclo y deferente coincida en esos momentos con aquélla determinada para el primer modelo, el cual era exitoso en tales momentos del mes sinódico. La otra condición que debe cumplir el valor del radio de la excentricidad es que, al ser restado al radio del

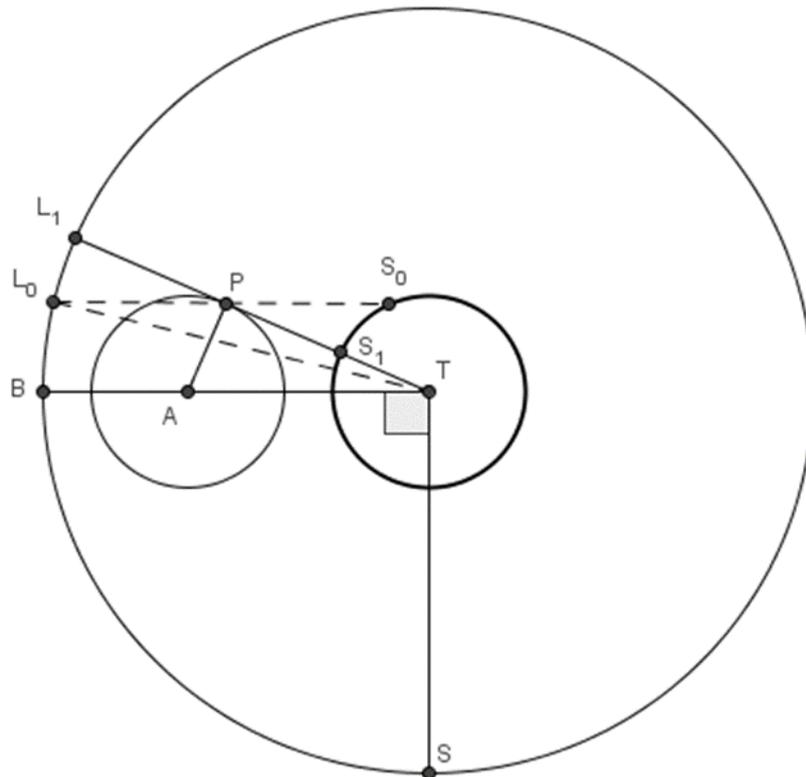
<sup>13</sup> cfr. IV, 6; H1 312; 197 y IV, 6; H1 322; 202.

deferente (diagrama 7.b.) la distancia total desde T a A debe ser tal que el ángulo  $\angle ATP$ , correspondiente a la máxima ecuación de anomalía en una cuadratura, coincida con la observada. Para conocer cuál debe ser esa distancia TA en las cuadraturas, por lo tanto, hay que determinar cuál es la máxima ecuación de anomalía cuando el centro del epiciclo se encuentra en una cuadratura, para luego resolver trigonométricamente el triángulo rectángulo que queda determinado.

El capítulo 3 del libro V está dedicado exclusivamente a la determinación del valor de esta máxima ecuación de anomalía. Ptolomeo indica que buscó observaciones que debían cumplir con tres condiciones:

- [1] La velocidad de la Luna era cercana a la media (porque es cuando la ecuación de anomalía está en su máximo). [2] La elongación media de la Luna respecto del Sol era de alrededor de un cuadrante (porque entonces el epiciclo se hallaba cercano al perigeo de la excéntrica). [3] Además de las [condiciones] anteriores, la Luna no mostraba paralaje longitudinal (V, 3; H1 361; 223).

Las dos primeras condiciones enumeradas se derivan directamente de las características geométricas del cálculo propuesto, y ya han sido explicadas. La tercera, sin embargo, merece un poco más de atención.



**Figura 12.** Diagrama que indica los problemas de paralaje en una cuadratura.

En la fig. 12 el epiciclo con centro en A se halla en cuadratura. El círculo más grueso es la circunferencia de la Tierra, sobre la cual se hallan dos observadores en S<sub>0</sub> y S<sub>1</sub>. El círculo externo representa la eclíptica. El deferente excéntrico no está representado. Toda teoría lunar debe determinar, para Ptolomeo, la posición verdadera

de la Luna en el cielo para cualquier momento dado. Verdadero significa, aquí, respecto del centro de la Tierra, en este caso, desde T. Para lograrlo debe tener, también, un *input* observacional que sea verdadero. Dado que el radio de la Tierra no es despreciable en comparación con la distancia Tierra-Luna,<sup>14</sup> no cualquier observación cumple con las condiciones necesarias para que eso se dé. Este es el motivo por el cual, al comenzar a construir su primer modelo, Ptolomeo advierte que solo los eclipses lunares son fenómenos adecuados para evitar los problemas de paralaje causados por la cercanía de la Luna al observador. Aquí, sin embargo, no es posible usar eclipses lunares, ya que esos fenómenos solo se dan en Luna nueva.<sup>15</sup>

En nuestro caso, para calcular trigonómicamente la distancia TA, Ptolomeo debe conocer primero el valor del ángulo  $\angle ATP$ , la máxima ecuación de anomalía, por observación. La longitud verdadera que determinará entonces para P será  $L_1$ . Sin embargo, si observa a la Luna desde, por ejemplo, un punto  $S_0$  sobre la superficie terrestre, la longitud observada será  $L_0$ . En el caso de que no se tomara en cuenta la cercanía de la Luna, entonces se pensará que la longitud verdadera de la Luna es efectivamente  $L_0$ , y que por lo tanto la máxima ecuación de anomalía en cuadraturas es  $\angle ATL_0$ , cuando en realidad es  $\angle ATL_1$ . Para que un observador perciba a la Luna en su posición verdadera en el cielo, debe observarla en su cenit, esto es, en la posición  $S_1$  sobre la superficie. Si así lo hiciera, dado que se encuentra sobre la línea que une al centro de la Tierra con la Luna, su línea de visión coincidiría con ella.

Ahora bien, dado que Ptolomeo está construyendo un modelo sobre la longitud lunar no es necesario que determine con precisión la posición verdadera de la Luna, sino solo su longitud. Para ello basta con que en el momento de la observación el ángulo entre la eclíptica y el círculo de altitud lunar sea de  $90^\circ$ . Si así fuera, es posible que la posición observada sea errada, por causa de la paralaje *en cuanto a la latitud lunar*. La longitud, no obstante, será precisa.

Ptolomeo relata que observó<sup>16</sup> desde Alejandría, en nuestro 9 de febrero del 139, que

(19) la Luna se hallaba a  $219;40^\circ$ .

Dado que la Luna se hallaba casi sobre el meridiano de Alejandría, la observación garantiza una alta precisión en la longitud lunar.

Su modelo solar le indica a Ptolomeo que en ese momento

(20) el Sol medio se hallaba a  $316;27^\circ$ ,

A su vez, su primer modelo lunar le indica que en el momento de la observación la Luna se hallaba, respecto del apogeo del epiciclo, a  $87;19^\circ$ . Esta posición, nos dice, pone a la Luna muy cerca del punto donde la línea de visión del observador es tangente al

<sup>14</sup> Ptolomeo, al igual que muchos de sus antecesores, sabía esto: "Pues la distancia entre la esfera de la Luna y el centro de la Tierra [...] no es tan grande que el tamaño de la Tierra sea proporcionalmente como un punto respecto a ella." (IV,1; H1 266; 173).

<sup>15</sup> Cfr. IV, 1; H1 265-268; 173-174.

<sup>16</sup> Es la observación número 82 en la lista de (Pedersen, 2010, p. 420).

epiciclo, y por lo tanto donde la ecuación de anomalía alcanza su máximo valor.<sup>17</sup> Como dije (ver pág. 26), el segundo modelo también conserva del primero la capacidad de predecir la posición de la Luna media, que se representa con el centro del epiciclo. A partir del primer modelo, entonces, Ptolomeo deriva la longitud del centro del epiciclo para el momento de la observación, y determina que

(21) la Luna media se hallaba a  $227;20^\circ$ .

A partir de allí podemos confirmar que la observación cumple con la condición de darse en una cuadratura. Además, y fundamentalmente, nos indica que

(22) la máxima ecuación de anomalía en una cuadratura es de  $7;40^\circ$ , es decir,  $2;40^\circ$  más que lo permitido por el primer modelo.

Ptolomeo repite luego el cálculo a partir de una observación de Hiparco<sup>18</sup>, tras lo cual alcanza el mismo resultado. Termina diciendo que

A partir de otras numerosas observaciones similares también encontramos que la máxima ecuación de anomalía es  $7\frac{2}{3}^\circ$  cuando el epiciclo se encuentra en el perigeo de la excéntrica (V, 3; H1 H1 365; 225).

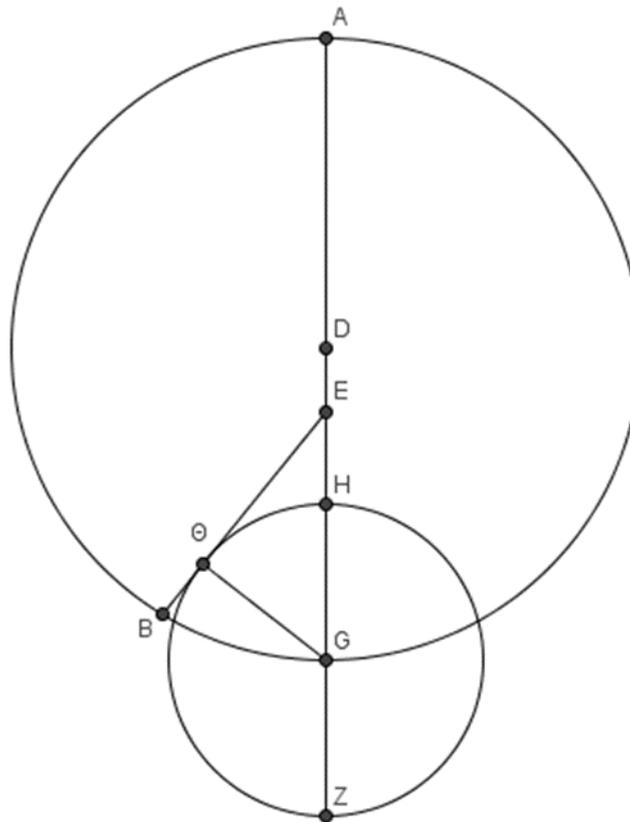
Con estos datos Ptolomeo nos pide

[...] que la excéntrica de la Luna sea el círculo ABG con centro en D y diámetro ADG, donde E es el centro de la eclíptica. Así A es el apogeo de la excéntrica y G el perigeo. En el centro G trazar el epiciclo de la Luna ZH $\Theta$ , trazar E $\Theta$ B tangente a él, y unir G $\Theta$  (V, 3; H1 365; 225.).

---

<sup>17</sup> El valor de ese ángulo debe ser, necesariamente, mayor a  $90^\circ$ . De hecho, hasta no conocer la distancia desde la Tierra al centro del epiciclo –que es justamente el valor que se está buscando–, es imposible calcular con precisión la posición que la Luna debería tener sobre el epiciclo. No obstante ello, dado que Ptolomeo conocía al menos cualitativamente el orden de magnitud del valor que estaba buscando, sabía que el valor del ángulo buscado se hallaba cerca del que utilizó. Además, el cálculo mismo no es especialmente sensible a diferencias en el *input*.

<sup>18</sup> V, 3; H1 363; 224.



**Figura 13.** (P) Diagrama para el cálculo de los radios en el segundo modelo.

Esta construcción es la que Ptolomeo utiliza para calcular el valor de los radios de su nuevo deferente y su excentricidad. En primer lugar resuelve el triángulo rectángulo determinado por la Luna sobre el epiciclo, el centro del propio epiciclo, y la Tierra, esto es, el triángulo rectángulo  $GE\Theta$ . Dado que conoce el valor del radio  $G\Theta$  del epiciclo,  $5;15^p$ , y también conoce el valor del ángulo  $\Theta EG$  a partir de la observación arriba mencionada,  $7;40^\circ$ , entonces puede calcular trigonométricamente el valor de  $EG$ :  $39;22^p$ . Ahora bien, si  $A$  representa el apogeo del deferente excéntrico, es decir, la distancia entre el centro del epiciclo y la Tierra en las sicigias, entonces sabemos que  $EA$  es igual a  $60^p$ . Por lo tanto, a través de una simple suma, podemos conocer el valor del diámetro  $AG$  del deferente, que es igual a  $99;22^p$ , y por lo tanto del radio  $DG$ , que es igual a  $49;41^p$ . Por último, restando  $EG$  a  $DG$  se obtiene el valor de la excentricidad  $ED$  del deferente:  $10;19^p$ .

## 6. La modificación del segundo modelo lunar: la *prósneusis* del epiciclo

En todo lo concerniente a los fenómenos en la posición de sicigia y cuadratura de la Luna, la discusión precedente va a permitir una explicación completa de la hipótesis que elucida los círculos de la Luna descritos arriba. Pero a partir de observaciones individuales tomadas en las distancias de la Luna [respecto del Sol] cuando se encuentra en forma de hoz o gibosa (lo que ocurre cuando el epiciclo se encuentra entre el apogeo y el perigeo de la excéntrica), encontramos que la Luna tiene una característica peculiar asociada a la dirección [*prósneusis*] hacia la cual el epiciclo apunta (V, 4; H1 367; 226-227).

Con estas palabras Ptolomeo comienza el capítulo 5 del libro V, y en ellas nos indica al mismo tiempo tanto la esencia del problema que encontró luego de confeccionar el segundo modelo lunar como la del camino que tomó para solucionarlo. Por un lado, nos dice que la nueva dificultad sigue estando asociada a la elongación del epiciclo lunar, pues indica expresamente que se manifiesta en las posiciones de Luna gibosa. Por el otro, adelanta que, en su interpretación del problema, la cuestión está relacionada con “la dirección hacia la cual el epiciclo apunta”. De hecho, allí se encuentra la clave de su solución. Pero primero debemos entender a qué se está refiriendo.

Cuando un planeta –en este caso la Luna– gira sobre un epiciclo, es necesario, si se desea medir su velocidad o el arco a través del cual se movió en un tiempo determinado, fijar un punto de referencia. Cuando la Luna vuelve a ese punto se puede decir que ha dado una revolución sobre el epiciclo. Este punto no es otro que el apogeo del epiciclo. Un modo sencillo de determinar ese punto es trazar una recta que pase por el centro de la eclíptica y el centro del epiciclo. El apogeo será aquel punto donde la recta corte al epiciclo en su parte más lejana de la Tierra. En la figura 13, por ejemplo, este punto es Z. En ese sentido, se puede decir que el epiciclo está “apuntando” a la Tierra, pues la línea que une al apogeo con el centro del epiciclo pasa, por construcción, por el centro de la Tierra. El perigeo, por supuesto, es el punto opuesto en el epiciclo: el punto H en la figura 13. Enfrentado al nuevo problema, Ptolomeo va a replantear el modo de definir el apogeo lunar, llegando a un resultado no exento de sorpresa.

Si bien Ptolomeo hace referencia a muchas observaciones<sup>19</sup>, hace explícita mención de solo dos, ambas hechas por Hiparco, y realizadas cuando la Luna se encontraba en dos elongaciones distintas aunque siempre en Luna gibosa. En el artículo solo vamos a desarrollar los cálculos a partir de la primera de ellas, puesto que la otra solo tiene como función confirmarlos.

Hiparco observó<sup>20</sup>, en nuestro 2 de mayo del -126, que

(23) el Sol se encontraba a  $37;45^\circ$ ,

(24) la longitud aparente de la Luna era  $351;40^\circ$ .

Hiparco registró además la longitud *verdadera* de la Luna, luego de corregir el efecto de paralaje, y dice que

(25) la longitud verdadera de la Luna era  $351;27,30^\circ$ .

Por lo tanto en el momento de la observación

(26) la elongación de la Luna respecto al Sol era  $313;42^\circ$ .

Luego Ptolomeo calcula, a partir de sus modelos, las longitudes del Sol, del Sol medio y de la Luna media para el momento de la observación. Las tablas le indican que

(27) el Sol medio se encontraba a  $36;41^\circ$  de longitud,

(28) el Sol se encontraba a  $37;45^\circ$  de longitud, tal como Hiparco había registrado,

<sup>19</sup> V, 5; H1 368; 227.

<sup>20</sup> Es la observación número 49 en la lista de (Pedersen, 2010, p. 415).

(29) la Luna media se encontraba a  $352;13^\circ$  de longitud,

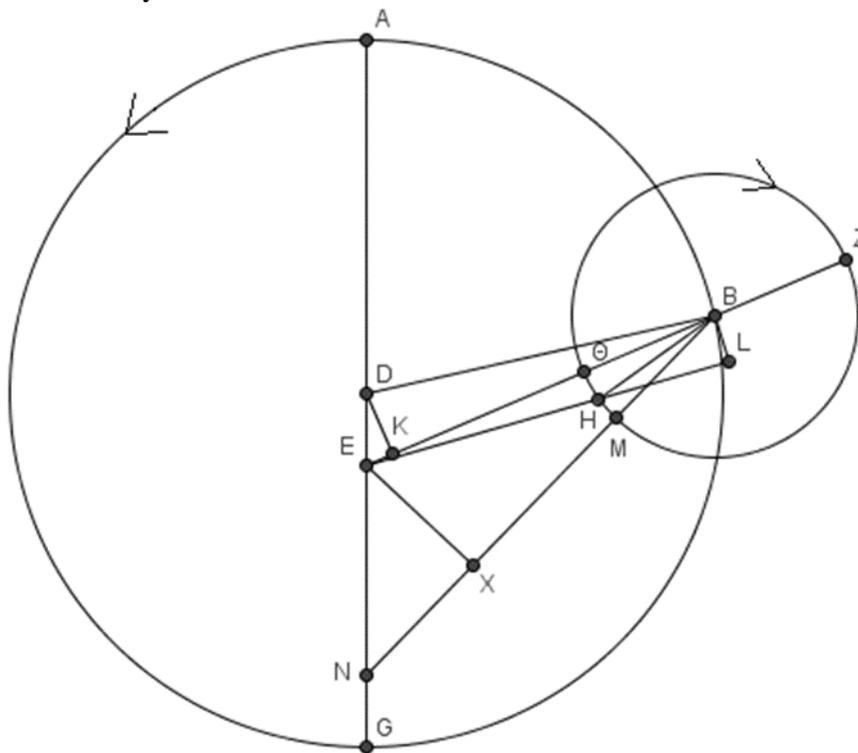
y

(30) la posición en anomalía de la Luna sobre el epiciclo era  $185;30^\circ$  respecto del apogeo del epiciclo.

Entonces, a partir de (28) y (29) se obtiene que

(31) la elongación de la Luna media respecto del Sol era  $314;28^\circ$ , es decir, se encontraba en un octante.

Con estos datos Ptolomeo nos pide que construyamos la siguiente figura: determinar la excéntrica ABG con centro en D y diámetro ADG, en el cual E representa el centro de la eclíptica. Luego determinar el círculo del epiciclo ZH $\Theta$  con centro en B de tal modo que E $\Theta$ BZ estén alineados y  $\angle AEH > \angle AE\Theta$ . Luego trazar la recta DK de tal modo que sea perpendicular a EB y K se encuentre sobre EB. A continuación unir BH y EH, prolongando esta última hasta el punto L, donde la recta BL es perpendicular a EH. Finalmente, determinar el punto M sobre el epiciclo de tal modo que quede más cerca de Z que H, pero más lejos que el punto de movimiento medio, es decir, el punto donde una recta que pasa por E es tangente al epiciclo. Luego determinar la recta BH y el punto N donde BH intersecta al diámetro ADG. Por último trazar la recta EX del tal modo que sea perpendicular a BN, y X esté sobre BN.



**Figura 14.** (P) Diagrama para la determinación de la prosneusis lunar.

A continuación Ptolomeo, brevemente, nos guía a través del camino que lo llevó a descubrir el extraño fenómeno que refiere respecto de la “dirección” del epiciclo lunar. La clave está en descubrir una inconsistencia entre los datos observacionales y aquellos

parámetros que surgen de su modelo. Puntualmente, Ptolomeo va a mostrar que hay problemas en compatibilizar el ángulo de anomalía indicado en (30) con la relación entre las longitudes de la Luna media –indicada en (29)– y de la Luna verdadera –indicada en (25).

Si observamos los tres valores referidos, vamos a ver que la longitud de la Luna verdadera es menor que la longitud de la Luna media. En la fig. 14 la Luna está representada por H, mientras que la Luna media, es decir, el centro del epiciclo, es B. Dado el sentido del movimiento en el deferente, vemos que esta relación entre ambas longitudes está correctamente representada. Sin embargo, si observamos el valor del ángulo de anomalía, representado en el diagrama por el ángulo  $\angle ZBH$ , encontramos que este es superior a  $180^\circ$ . Obviamente, puesto que la referencia para el ángulo de anomalía es el apogeo Z, cualquier valor para ese ángulo que supere ese límite coloca a la Luna verdadera del lado del epiciclo donde su longitud observada va a ser mayor que la de la Luna media. Si se pretende respetar la relación entre las dos longitudes mencionadas arriba, esto no es posible. Por otro lado, si se busca representar adecuadamente el ángulo de anomalía, entonces será imposible respetar esa relación. En algún lugar, entonces, hay un problema. Los siguientes pasos están dirigidos a aclarar y explicar cuál es la solución de Ptolomeo a este problema.

El valor que necesita averiguar para presentar su solución es el ángulo  $\angle \Theta BH$ . Ese ángulo pertenece al triángulo EBH, del cual puede averiguar el ángulo  $\angle BEH$ , pues es la ecuación de anomalía que se deriva a partir de las posiciones de la Luna verdadera y media. Si además averigua el ángulo  $\angle BHL$ , que se forma por la prolongación de uno de los lados del triángulo, entonces puede calcular  $\angle \Theta BH$ . Ahora bien,  $\angle BHL$  pertenece al triángulo rectángulo BHL, cuya hipotenusa es el radio del epiciclo, para el cual Ptolomeo ya conoce el valor. Un modo de resolver el triángulo rectángulo es averiguando un cateto, en este caso, BL. El cateto BL también pertenece al triángulo rectángulo EBL, para el cual conoce la ecuación de anomalía  $\angle BEL$ . Para resolverlo, solo necesita conocer la hipotenusa BE. Ahora bien, BE es la suma de BK y EK, por lo que conociendo a estos conocerá a aquel.

Respecto de BK, este es uno de los catetos del triángulo rectángulo BDK, cuya hipotenusa es el radio del deferente excéntrico, para el cual Ptolomeo ya conoce su valor. Si averigua el valor del cateto DK, entonces a través del teorema de Pitágoras ya puede calcular BK. El cateto DK pertenece también al triángulo rectángulo DEK, para el cual Ptolomeo conoce la hipotenusa DE, pues es la excentricidad del deferente, ya calculada anteriormente. Una de las posibilidades para resolver el triángulo rectángulo es calcular el valor del ángulo  $\angle BED = \angle BEA$ , el cual es conjugado de  $\angle AEB$ , por lo que conociendo el último se conoce el primero. El valor de  $\angle AEB$ , finalmente, se deriva directamente de la velocidad calculada para el centro del deferente excéntrico.

Respecto de EK, el camino es sencillo. En el mismo cálculo en el que se soluciona el triángulo rectángulo DEK, se obtiene el valor del otro cateto, que no es otro que EK. A continuación voy a exponer los cálculos ptolemaicos.

La velocidad que Ptolomeo obtuvo para el centro del deferente excéntrico asegura que el ángulo  $\angle AEB$  es igual a dos veces la elongación media. Ahora bien, a partir de (27)

y (29) es posible calcular que la elongación media en ese momento era  $315;32^\circ$ . El valor de  $\angle AEB$  es, entonces,  $271;4^\circ$ .<sup>21</sup> Por lo tanto

(32) el valor del ángulo  $\angle BEA = \angle BED$ , conjugado del anterior, es  $88;56^\circ$ .

Respecto del triángulo rectángulo DEK, puesto que se conoce que el valor de la excentricidad DE es  $10;19^p$ , y a partir del valor obtenido en (32), se obtiene trigonométricamente que

(33)  $DK \approx 10;19^p$

y que

(34)  $EK = 0;12^p$ .

A partir del valor obtenido para DK, y sabiendo que el radio DB del deferente excéntrico es  $49;41^p$ , se puede aplicar Elem. I 47 al triángulo rectángulo BDK, de tal modo que se obtiene

(35)  $BK = \sqrt{49;41^p + 10;19^p} = 48;36^p$ .

Sumando los valores obtenidos en (34) y (35) obtenemos que

(36)  $BE = 48;48^p$ .

Luego Ptolomeo calcula la ecuación de anomalía a través de la comparación de las elongaciones de la Luna verdadera y la Luna media al Sol verdadero en el momento de la observación. Estos valores son los indicados en (26) y (31), y la comparación indica que

(37) en ese momento la ecuación de anomalía tenía un valor de  $-0;46^\circ$ .

Este es el valor, entonces, del ángulo  $\angle BEH = \angle BEL$ . De este modo puede resolverse el triángulo rectángulo EBL: a partir de (36) y (37) se obtiene trigonométricamente que

(38)  $BL = 0;39^p$ .

A partir de BL, y conociendo el valor del radio BH, que es igual a  $5;15^p$ , Ptolomeo puede resolver el triángulo rectángulo BHL. De ese modo, obtiene trigonométricamente que

(39)  $\angle BHL = 7;7^\circ$ .

Finalmente, respecto del triángulo EBH, dado que conoce el ángulo  $\angle BEH$ , cuyo valor de  $0;46^\circ$  averiguó en (37), y dado que HL es una prolongación del lado EH del triángulo, puede aplicar Elem. I 32, y obtener que

(40)  $\angle EBH = 6;21^\circ$ .

---

<sup>21</sup> Obviamente se debe restar  $360^\circ$  al resultado original. El ángulo del que se habla, por supuesto, sigue el sentido de movimiento del epiciclo sobre el deferente.

Ahora bien, dado que desde un observador en E la longitud de la Luna media es igual a la del perigeo, entonces  $\angle EBH = \angle \Theta BH$ , con lo cual ese ángulo expresa el arco que separa a la Luna del perigeo del epiciclo.

Como indiqué anteriormente, el ángulo de anomalía que Ptolomeo deriva de sus tablas lunares es incompatible con la diferencia entre la longitud de la Luna media, que también deriva de sus tablas, y la longitud de la Luna verdadera, que es producto de la observación. En principio, Ptolomeo tiene tres salidas, que consisten en suponer que alguno de los tres parámetros está errado. O bien sus tablas derivan ángulos de anomalía o longitudes equivocadas, o bien la observación misma de la Luna no fue hecha con precisión. Inesperadamente, Ptolomeo decide confiar en sus tablas y observaciones, y no descartar ninguno de los tres datos. El camino que decide es mucho más ingenioso.

Como vimos antes, el apogeo y el perigeo del epiciclo son definidos por el punto de vista del observador terrestre. Sus mismos nombres así lo indican: mientras que el primero es el punto del epiciclo más lejano a la Tierra, el segundo es el más cercano. El ángulo de anomalía es luego definido en relación a esos puntos, siendo usado como punto de referencia, usualmente, el apogeo. Así es como se ubica a la Luna en el epiciclo. Lo que Ptolomeo hace es invertir completamente el orden de referencias, y utilizar como punto de partida a la posición de la Luna sobre el epiciclo, para, a partir de ella, calcular la posición del apogeo y del perigeo. Por último, calculará la posición del punto exterior al epiciclo hacia el que el mismo “apunta”. En términos de la fig. 14 podemos decir que Ptolomeo mantiene al mismo tiempo tanto que la Luna verdadera se encuentra en una longitud menor que la Luna media por  $0;46^\circ$ , como que el ángulo de anomalía es  $185;30^\circ$ . El cambio lo introduce al redefinir *respecto de qué punto se mide el ángulo de anomalía*. Asumiendo que la posición de la Luna sobre el epiciclo que se deriva de sus parámetros de longitudes es la correcta, es decir, que la Luna efectivamente se encuentra a  $6;21^\circ$  del perigeo del epiciclo, decide que el punto de referencia para medir el ángulo de anomalía es un nuevo punto, ubicado a  $185;30^\circ$  de la Luna, y que llamará *apogeo medio*, diferenciándolo así del antiguo apogeo, que llamará de ahora en más *apogeo verdadero*. El modo concreto a través del cual Ptolomeo efectúa esta redefinición de la noción de apogeo y perigeo es indicar que el perigeo medio, representado en el diagrama por M, se encuentra a  $5;30^\circ$  de la Luna H y, por adición de  $\angle \Theta BH$  y  $\angle HBM$ , a  $11;51^\circ$  del perigeo verdadero  $\Theta$ .

Dado que cualquier modificación al segundo modelo debe conservar todos los aspectos exitosos que viene acumulando hasta ahora, el lugar hacia el que siempre “apunta” el epiciclo, esto es, el punto que junto al centro del epiciclo define el apogeo medio y que aquí está representado por N, debe necesariamente encontrarse en la línea absidal. Esta configuración es la única que permite que en las sicigias y en las cuadraturas el nuevo apogeo medio coincida con el apogeo original: si se observa la figura 14, cuando el centro del epiciclo B se halla en A –en las sicigias– o en G –en las cuadraturas– las líneas EB y NB coinciden. El punto en cuestión debe además girar en torno a la Tierra en el mismo sentido y a la misma velocidad angular que el centro del deferente, pues solo así encontraremos una misma explicación para todos los fenómenos en los octantes lunares. La única pregunta que cabe es identificar en qué lugar de la línea absidal se halla ese punto N. Ptolomeo determina ese lugar buscando cuál es la distancia EN.

El segmento EN pertenece al triángulo rectángulo ENX, el cual puede ser resuelto si se conoce el cateto EX y el ángulo  $\angle ENB$ .

Respecto de EX, es también un cateto del triángulo rectángulo BEX, del cual se conoce el valor de BE. Si además se averigua el valor de  $\angle EBX$ , es posible resolverlo. El ángulo  $\angle EBX$  es fácil de obtener, pues no es otra cosa que la suma de los ángulos  $\angle \Theta BH$  y  $\angle HBM$ , que ya se conocen.

Respecto del ángulo  $\angle ENB$ , pertenece al triángulo EBN. Puesto que anteriormente ya se obtuvo el valor del ángulo  $\angle EBX$ , que también pertenece al mismo triángulo, solo resta calcular el valor de  $\angle BEN$ , el último de los tres ángulos. Pero  $\angle BEN$  es el ángulo suplementario de  $\angle BEA$ , cuyo valor ya se conoce, por lo que puede derivarse fácilmente. A continuación voy a exponer los cálculos ptolemaicos.

El ángulo  $\angle EBX$  es la suma de los ángulos  $\angle \Theta BH$  y  $\angle HBM$ , que valen  $6;21^\circ$  y  $5;30^\circ$ , respectivamente, por lo que se obtiene que

$$(41) \angle EBX = 11;51^\circ.$$

Entonces, respecto del triángulo rectángulo BEX, a partir de la hipotenusa obtenida en (36) y el ángulo obtenido en (41) se deriva trigonométricamente que

$$(42) EX = 10;2^p.$$

Por otro lado, en (32) se obtuvo que  $\angle BEA = 88;56^\circ$ , por lo que

$$(43) \angle BEN, \text{ el ángulo conjugado de } \angle BEA, \text{ es igual a } 180^\circ - 88;56^\circ = 91;4^\circ.$$

Entonces respecto del triángulo EBN, a partir de (41) y (43), y gracias a Elem. I 32 se obtiene que

$$(44) \angle ENB = 77;5^\circ.$$

Finalmente, respecto del triángulo rectángulo ENX, por el cateto obtenido en (42) y el ángulo obtenido en (44), se deriva trigonométricamente que

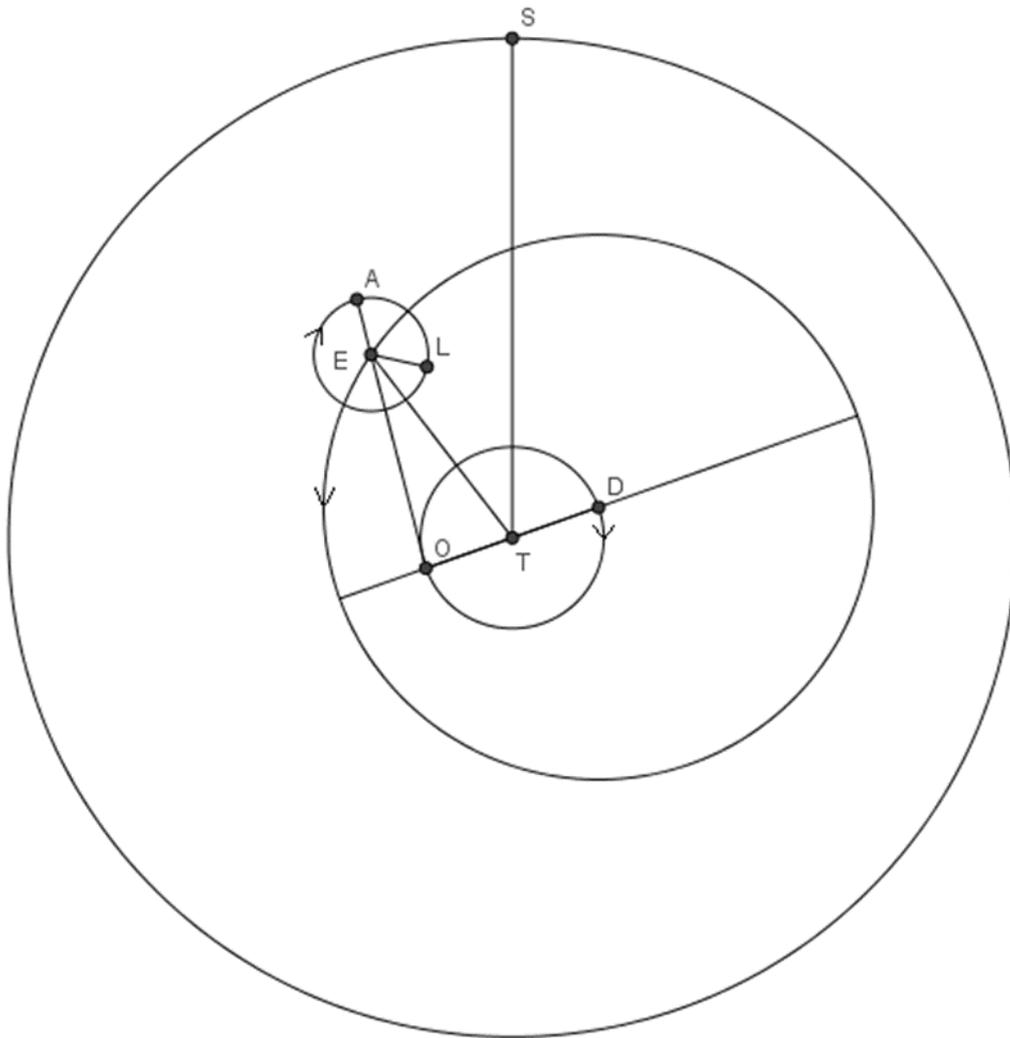
$$(45) EN = 10;18^p.$$

Puesto que por el valor de la excentricidad es  $10;19^p$  y N está como se mostró antes, sobre la línea absidal, encuentra que N se halla en el punto opuesto de la excentricidad respecto de D, el centro del deferente<sup>22</sup>. Este resultado sin duda causó sorpresa a Ptolomeo, que concluye con estas líneas:

Así estas observaciones confirman la peculiar característica de la dirección del epiciclo en la hipótesis de la Luna: la revolución del centro del epiciclo toma lugar en torno a E, el centro de la eclíptica, pero el diámetro del epiciclo que define el punto inmutable sobre el epiciclo en el cual el apogeo medio del epiciclo apunta, no (como sí lo hace en los otros [planetas]) hacia E, el centro de movimiento uniforme, sino hacia N, que está desplazado en la dirección

<sup>22</sup> Ptolomeo muestra, como se dijo, el mismo cálculo con la Luna en otro octante, y obtiene un valor de EN de  $10;20^\circ$ . Puesto que, nos dice, a partir de otros cálculos obtiene valores que rondan los  $10;19^\circ$ , ajusta el valor de EN a ese número.

opuesta por una cantidad igual a DE, la distancia entre los centros (V, 5; H1 379-380; 222-223).



**Figura 15.** Modelo final de Ptolomeo para las longitudes lunares. T es el centro de la eclíptica, en torno al cual gira el centro del deferente D en sentido horario, el punto O que determina la dirección del epiciclo y es opuesto a D en la excentricidad también se mueve en sentido horario, y el centro del epiciclo E en sentido antihorario. En torno a E gira la Luna en sentido horario, y su giro se cuenta a partir del apogeo medio A, que está determinado por la línea OE. Como referencia para las longitudes se indica el deferente medio solar, con el Sol medio S. Las velocidades han sido indicadas antes.

## 7. Conclusión

La teoría de las longitudes lunares, como dije al inicio, es una de las partes más complejas e interesantes del *Almagesto*. Ptolomeo no solo muestra en plenitud su talento para aplicar la geometría de la época a problemas astronómicos, sino que manifiesta su espíritu creativo de un modo supremo. El análisis que hace de la manifestación de la segunda anomalía en las cuadraturas implica no solo un largo trabajo de recolección de

datos, sino también una gran capacidad para captar regularidades y patrones que le permitieran conceptualizar adecuadamente el problema. En ese sentido, para decirlo en términos de Kuhn, Ptolomeo fue un eximio *puzzle solver*. Al estudiar el modelo lunar uno no puede sino imaginar la familiaridad con la que el astrónomo alejandrino se manejaba con los movimientos circulares y uniformes que enmarcaban la tarea de todo astrónomo de aquellos tiempos.

Una reflexión más detenida acerca de estos libros muestra, sin embargo, algo más. Si bien sería exagerado decir que Ptolomeo rompió con los límites fundamentales con los cuales la astronomía griega constreñía al sabio, sí creo que es legítimo afirmar que supo, por decirlo de algún modo, flexibilizarlos de acuerdo a las necesidades que, en su opinión, los fenómenos imponían. Un ejemplo típico es la redefinición del concepto de apogeo del epiciclo. Mientras que tradicionalmente este punto era el más alejado a la Tierra, y solo accidentalmente funcionaba como punto de referencia para medir el movimiento en anomalía, Ptolomeo decide que esta última función sea la que lo define esencialmente, e ignora completamente el obvio origen de la noción de apogeo.

El ejemplo más claro, sin embargo, creo que lo representa la separación del centro de velocidad uniforme respecto del centro geométrico de movimiento. Esta maniobra, que como vimos ni siquiera merece un comentario de parte de Ptolomeo, desafiaba algunas de las bases más fundamentales que mantenían –aunque con dificultades, es verdad– unidas a la física y la astronomía. Los astrónomos islámicos que lo seguirían por más más de siete siglos lo percibieron con claridad, y lucharon hasta el final por unificar a las dos disciplinas separadas por el gran astrónomo.

El segundo modelo presenta también algunos de los flancos más interesantes para los debates epistemológicos en torno a la obra ptolemaica. Su solución para la segunda anomalía en las cuadraturas, si bien exitosa respecto de las longitudes, muestra a una Luna cuya distancia a la Tierra varía dramáticamente: mientras que puede alcanzar una distancia máxima de  $65;15^p$ , también puede acercarse a tan solo  $34;7^p$  del centro de la Tierra. Una variación semejante produciría cambios tan grandes en el diámetro aparente de la Luna que no podrían ser ignorados. De hecho, no suceden. Y Ptolomeo no pudo haberse dado cuenta de ello.<sup>23</sup> ¿Significa esto que los modelos ptolemaicos solo buscaban la predicción certera de las posiciones celestes, sin buscar una descripción verdadera del κόσμος? Uno de los últimos grandes historiadores de la astronomía que así lo consideran es Pierre Duhem, quien nos dice que “[...] Ptolomeo pretende indicar [...] que los muchos movimientos que compone en el *Almagesto* para determinar la trayectoria de un planeta no tienen ninguna realidad física [...]” (Duhem, 1969, p. 17). La cuestión sin embargo, tiene otra cara: cuando Ptolomeo, en el capítulo 13 del libro V, se propone calcular la distancia lunar por medio de mediciones de paralaje, elige, de entre todas las posibilidades, el momento en que la Luna se halla prácticamente en una cuadratura, como si hubiera buscado el momento en que la Luna, según le indica su modelo, estaba más cerca de la Tierra, y por tanto la paralaje producía efectos más notables. La cuestión queda abierta.

---

<sup>23</sup> Esta dificultad del modelo ptolemaico para la Luna fue objeto de numerosas críticas y reformas. Copérnico, por ejemplo, soluciona el mismo problema a través de un epiciclo adicional (Swerdlow, 1973, pp. 454 y ss.).

El modelo de Ptolomeo para las longitudes de la Luna es, pues, una parte central del *Almagesto* no solo por el lugar que ocupa en el edificio argumentativo construido por el gran astrónomo griego, sino también porque en él se revelan, como condensadas en unas cuantas páginas, muchas de las cuestiones más complejas, interesantes y revolucionarias que la astronomía antigua tiene para ofrecer.

**Agradecimientos:** Quiero agradecer particularmente a los Dres. Cristián Carman, Diego Pelegrin y Aníbal Szapiro por sus sugerencias para mejorar este artículo. Además, las sugerencias de un evaluador anónimo fueron muy útiles para aclarar algunos puntos del argumento.

## 8. Bibliografía

- Aristarco (1913). Aristarchus of Samos on the Sizes and Distances of the Sun and Moon. En *Aristarchus of Samos the Ancient Copernicus* (T. L. Heath, Trans., pp. 351-411). Oxford: Clarendon Press.
- Barker, A. (1989). *Greek Musical Writings: II. Harmonic and Acoustic Theory*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bowen, A., & Todd, R. (2004). *Cleomedes' Lectures on Astronomy: A Translation of The Heavens*. Los Angeles: University of California Press.
- Britton, J. P. (1992). *Models and Precision; The Quality of Ptolemy's Observations and Parameters*. New York: Garland Publishing.
- Carman, C. C. (2009). Rounding numbers: Ptolemy's calculation of the Earth-Sun distance. *Archives for the History of Exact Sciences*(63), pp. 5-242.
- Carman, C. C. (2010). La refutabilidad del sistema de epiciclos y deferentes de Ptolomeo. *Principia: Revista Internacional de Filosofía*, 14(2), pp. 211-239.
- Delambre, J. B. (1817). *Histoire de l'Astronomie Ancienne* (Reimp. New York, 1965. ed.). Paris.
- Duhem, P. (1969). *To Save the Phenomena: an essay on the idea of physical theory from Plato to Galileo* (E. Dolan, & C. Maschler, Trad.). Chicago: The University of Chicago Press.
- Duke, D. (2002). Dating the *Almagest* star catalogue using proper motions: a reconsideration. *Journal for the History of Astronomy*, XXXIII(1), pp. 45-55.
- Duke, D. (2005). The Equant in India: The Mathematical Basis of Ancient Indian Planetary Models. *Archives for the History of the Exact Sciences*(59), 563-576.
- Duke, D. (2007). The Second Lunar Anomaly in Ancient Indian Astronomy. *Archives for the History of the Exact Sciences*(61), pp. 147-157.
- Euclides. (1991). *Elementos* (M. L. Puerta Castaños, Trad.). Madrid: Gredos.
- Evans, J. (1998). *The History and Practice of Ancient Astronomy*. New York: Oxford University Press.

- Goldstein, B. (1967). The Arabic Version of Ptolemy's Planetary Hypothesis. *Transactions of the American Philosophical Society*, pp. 3-55.
- Goldstein, B., & Bowen, A. (1999). The role of observation in Ptolemy's lunar theories. En N. M. ed. Swerdlow, *Ancient astronomy and celestial divination* (pp. 141-159). Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Halma, t. (1813-16). *Ptolémée: Composition Mathématique, Traduite pour la première fois du grec en français par M. Halma (avec le texte grec) et suivie des notes de M. Delambre* (Reimp. 1927 ed.). Paris.
- Hamilton, N., Swerdlow, N., & Toomer, G. (1987). The Canobic Inscription: Ptolemy's Earliest Work. En J. L. Berggren, & B. R. Goldstein (Eds.), *From Ancient Omens to Statistical Mechanics* (pp. 55-73). Copenhagen: University Library.
- Hanson, N. (1960). The mathematical power of epicyclical astronomy. *Isis*, 51(2), pp. 150-158.
- Heiberg, J. L. (1898-1903). *Syntaxis Mathematica*. Leipzig: Teubner.
- Langer, R. E. (1941). Alexandria: Shrine of mathematics. *The American Mathematical Monthly*, 48(2), pp. 109-125.
- Luce, J. V. (1988). Greek Science in its Hellenistic Phase. *Hermathena*(145), pp. 23-28.
- Neugebauer, O. (1957). *The Exact Sciences in Antiquity* (Segunda ed.). Brown University Press. Copenhagen:
- Neugebauer, O. (1975). *The History of Ancient Mathematical Astronomy*. Springer-Verlag.
- Newton, R. (1977). *The Crime of Claudius Ptolemy*. Baltimore: The John Hopkins University Press.
- North, J. (2008). *Cosmos: an Illustrated History of Astronomy and Cosmology*. Chicago: University of Chicago Press.
- Pedersen, O. (1974). *A survey of the Almagest*. Odense University Press.
- Pedersen, O. (2010). *A Survey of the Almagest: with annotation and new commentary by Alexander Jones*. (A. Jones, Ed.) New York: Springer.
- Petersen, V. (1969). The Three Lunar Models of Ptolemy. *Centaurus*, 14(1), pp. 142-171.
- Ptolomeo, C. (1898-1903). *Syntaxis Mathematica*. (J. L. Heiberg, Ed.) Leipzig: Teubner.
- Ptolomeo, C. (1940). *Tetrabiblos*. (F. Robbins, Trans.) Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Ptolomeo, C. (1984). *Almagest*. In G. Toomer, *Ptolemy's Almagest* (G. Toomer, Trans., pp. 27-659). Princeton: Princeton University Press.
- Ptolomeo, C. (1987). *Hipótesis planetarias*. (Perez Sedeño, Trans.) Madrid: Alianza.
- Ptolomeo, C. (1989). *Harmónica*. En A. Barker (Ed.), *Greek Musical Writings: Harmonic and Acoustic Theory* (Vol. II, pp. 275-391). Cambridge: Cambridge University Press.

- Ptolomeo, C. (1989). Harmonics. En A. Barker, *Greek Musical Writings: II. Harmonic and Acoustic Theory*. (A. Barker, Trad., pp. 270-391). Cambridge: Cambridge University Press.
- Ptolomeo, C. (1989). Ptolemy on the Criterion: An Epistemology for the Practising Scientist. En e. Huby, & Neal, *The Criterion of Truth: Essays written in honour of George Kerferd together with a text and translation (with annotations) of Ptolemy's On the Kriterion and Hegemonikon* (A. A. Long, Trad., pp. 151-178). Liverpool.
- Saliba, G. (1994). *A History of Arabic Astronomy: Planetary Theories During the Golden Age of Islam*. New York: New York University Press.
- Swerdlow, N. (1973). The Derivation and First Draft of Copernicus's Planetary Theory: A Translation of the Commentariolus with Commentary. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 117(6), pp. 423-512.
- Swerdlow, N. M. (1979, Autumn). Ptolemy on trial. *The American Scholar*, 48(4), pp. 523-531.
- Taub, L. C. (1993). *Ptolemy's Universe: the Natural Philosophical and Ethical Foundations of Ptolemy's Astronomy*. Chicago: Open Court.
- Toomer, G. J. (1984). *Ptolemy's Almagest*. (G. J. Toomer, Ed., & G. J. Toomer, Trans.) Princeton: Princeton University Press.
- van Helden, A. (1985). *Measuring the Universe: Cosmic Dimensions from Aristarchus to Halley*. Chicago: University of Chicago Press.

# Supuestos ontológicos y epistemológicos en las investigaciones del cambio conceptual

José Antonio Castorina<sup>1</sup> y Alicia Mabel Zamudio<sup>2</sup>

Recibido: 14 de agosto de 2018

Aceptado en versión definitiva: 15 de mayo de 2019

---

**Resumen.** Las investigaciones del cambio conceptual abordan el problema relativo a las transformaciones que tienen lugar en el sistema cognitivo del sujeto en procesos de aprendizaje de nuevos conceptos en dominios específicos de conocimiento. Estos procesos son asimilados con frecuencia al cambio teórico que tiene lugar en el desarrollo de una ciencia madura y de acuerdo con las interpretaciones surgidas en el seno de la filosofía de la ciencia a partir de Kuhn. Las teorías apuntan a fundamentar posibles intervenciones didácticas que promuevan procesos de cambio y están representadas tanto por psicólogos del desarrollo como por profesores de ciencias. Entre los diferentes problemas epistemológicos que es posible identificar en los estudios sobre cambio conceptual en el aprendizaje, abordaremos en este trabajo la cuestión relacionada con ciertos supuestos filosóficos subyacentes, tanto de carácter ontológico como epistemológico, que condicionan las investigaciones y permanecen implícitos para los propios investigadores. Trataremos de exponer algunos de los supuestos que podrían considerarse los más influyentes en relación con la investigación del cambio conceptual e intentaremos identificar sus modos de intervención en estas investigaciones. Finalmente, haremos una reflexión acerca de las perspectivas de los estudios de cambio conceptual desde una revisión crítica de sus supuestos.

**Palabras clave:** investigaciones del cambio conceptual – supuestos ontológicos – supuestos epistemológicos – revisión crítica.

**Title:** Ontological and epistemological assumptions in researches on conceptual change

**Abstract.** The theories of conceptual change address the problem of the transformations that take place in the subject's cognitive system in learning processes of new concepts in specific domains of knowledge; most of them assimilate that process to theoretical change in the development of a mature science, in accordance with the interpretations that have emerged in the philosophy of science from Kuhn. The theories aim to support possible didactic interventions and are represented by both developmental psychologists and science teachers. Among the different epistemological problems that can be identified in the studies on conceptual change, we will address in this paper the issue related to underlying philosophical assumptions, both ontological and epistemological, which

---

<sup>1</sup> Universidad Pedagógica Nacional. Universidad Nacional de Tres de Febrero. CONICET.

✉ ctono@fibertel.com.ar

<sup>2</sup> Universidad Nacional de Lanús. Universidad de Buenos Aires.

✉ aliciazamudio62@yahoo.com.ar

Castorina, José Antonio y Zamudio, Alicia Mabel (2019). Supuestos ontológicos y epistemológicos en las investigaciones del cambio conceptual. *Epistemología e Historia de la Ciencia*, 3(2), 50-69. ISSN: 2525-1198

(<https://revistas.unc.edu.ar/index.php/afjor/index>)



conditions the research and remains implicit for the researchers themselves. We will try to expose the most influential assumptions in relation to conceptual change research and try to identify their modes of intervention in the elaboration of theories of conceptual change; finally, we will reflect on the perspectives of conceptual change studies from a critical review of their philosophical assumptions.

**Keywords:** conceptual change studies – ontological assumptions – epistemological assumptions – critical review.

---

## 1. Las investigaciones sobre cambio conceptual

La enseñanza de las ciencias plantea el problema relativo al tipo de modificación que tiene lugar en las ideas previas del sujeto que aprende y sus condiciones de posibilidad, al modo en que se relacionan los conocimientos de los que dispone el sujeto en situación de aprendizaje, con el saber que se pretende enseñar. Diversas teorías, surgidas tanto desde las psicologías del desarrollo como desde la enseñanza de las ciencias, abordan este problema, asimilándolo a la noción de “cambio conceptual”<sup>3</sup>, bajo el supuesto de una analogía con el cambio teórico que tiene lugar en la historia de la ciencia, tal como lo han entendido las filosofías de la ciencia del giro historicista de la segunda mitad del siglo XX, a partir de Kuhn. El problema del cambio conceptual (en adelante, CC) ha sido asumido por los investigadores como una forma de aprendizaje que requiere cambios fundamentales en el contenido y organización del conocimiento disponible, con su consiguiente reestructuración, que supone asimismo la adquisición de nuevos conceptos relativos a dominios específicos de conocimiento. La investigación sobre CC intenta explicar las dificultades de los “estudiantes” para aprender los conceptos más avanzados y contra intuitivos de cada área específica. Podría indicarse que se trata de explicar dificultades y también posibilidades, pero las formulaciones habituales de las teorías del CC ponen el acento en la dificultad u obstáculo que representa el sistema actual de ideas de un sujeto respecto del nuevo conocimiento, asimilando el conocimiento disponible a las formas del conocimiento ingenuo o “de la vida cotidiana” y el nuevo conocimiento al saber científico disciplinar (Vosniadou, Vamvaloussi & Skopeliti, 2008).

Se ha configurado así un campo de investigación en el que es posible distinguir por un lado, una línea de indagación, de carácter más bien descriptivo, sobre conocimientos disponibles relativos a diferentes dominios, que parte de la literatura identifica como “conceptos erróneos” (*misconceptions*)<sup>4</sup>, asimilados, a su vez, a una variedad de categorías epistémicas, que suponen diferentes niveles de organización y sistematicidad; por otro lado, se ubican las teorías explicativas del cambio, como la teoría

---

<sup>3</sup> Cabe señalar que no todo aprendizaje de conceptos científicos es asimilado al cambio conceptual sino el pasaje de una concepción C1 a una concepción C2 entendiendo por “concepción” a un objeto cognitivamente complejo en el que se interrelacionan un conjunto de elementos (Strike & Posner, 1992).

<sup>4</sup> Halldén, Scheja & Haglund, (2013) identifican el acento puesto en la falibilidad y la dificultad como un racionalismo negativo en el que el saber disponible es identificado en términos de obstáculo en relación con la posibilidad del cambio conceptual. Al respecto refieren las diferencias respecto de los estudios de Piaget cuyo objetivo consistía en identificar los rasgos del pensamiento infantil y no sus “deficiencias”. Más bien estos rasgos constituían las bases de una explicación psicogenética del conocimiento como fundamento de una epistemología naturalizada.

del *bootstrapping* (Carey, 1999) que representa uno de los intentos más sistemáticos de explicación, especialmente en los dominios biológico y matemático.

Las investigaciones sobre CC abordan así la cuestión de la novedad cognitiva y su relación con el conocimiento existente relativo a contenidos de dominios o disciplinas específicas. Intentan explicar el surgimiento de un conocimiento a partir de otro disponible pero a su vez irreductible a este. Gran parte de estas investigaciones se proponen, a su vez, promover posibles intervenciones que denominan “instruccionales” y consideran capaces de favorecer estos procesos de cambio. Los autores entienden, muchas veces, que sus indagaciones tienen “implicaciones didácticas” directas. Sin embargo, uno de los problemas importantes de la investigación sobre CC remite a su dificultad para conceptualizar y justificar el ámbito de sus potenciales aplicaciones. Esto es, por lo general no toman en cuenta las condiciones específicas inherentes a la situación didáctica en el marco de la cual se configura una génesis artificial del conocimiento.

En un trabajo anterior identificamos algunos de los principales problemas epistemológicos que plantean las teorías del CC: 1) los problemas relativos a las categorías utilizadas para caracterizar los denominados conocimientos “previos”, o ingenuos o pre-instruccionales, interpretados de modo positivo o crítico según diferentes teorías, apelando a categorías provenientes de la filosofía de la ciencia (Di Sessa, 2017); 2) los problemas que surgen de los ensayos que asimilan el CC en el aprendizaje con el producido en la historia de la ciencia, planteando argumentos a favor o en contra de la identidad de los procesos; 3) los problemas relacionados con las concepciones del mundo y del conocimiento que se asumen, inevitablemente, al postular diferentes explicaciones del CC; esto es, una serie de presupuestos filosóficos ontológicos y epistemológicos, que condiciona los enfoques psicológicos, siendo irreductibles a estos últimos. Estos diferentes problemas epistemológicos son distinguibles más o menos arbitrariamente, ya que se trata de cuestiones interrelacionadas en el análisis de cualquier teoría del CC.

La delimitación y abordaje específico del tercer problema –que será el objeto de este artículo– supone atribuir a la epistemología el análisis, no solo en términos de la estructura de las teorías o su adecuación empírica, sino también la identificación y análisis de supuestos filosóficos acerca del conocimiento y de tesis ontológicas. Estas, no explicitadas por los investigadores, se asumen –según argumentaremos– al elaborar las teorías de CC e incluso condicionan los enfoques psicológicos de base, tienen consecuencias respecto del modo en que se formulan las investigaciones empíricas o se formulan los problemas a investigar, e incluso respecto de la elección de los métodos de indagación, o los modelos explicativos del CC.

En este sentido cabe revisar algunas perspectivas epistemológicas que han asumido en alguna medida este problema. Por ejemplo, la categoría kuhniana de paradigma, en un cierto sentido, involucra la existencia de compromisos ontológicos; también estos se incluyen en la categoría de “tradiciones de investigación” de Laudan, aun con sus fuertes diferencias. Para Laudan, la investigación científica supone compromisos acerca de entidades y procesos, propios de un ámbito de estudio específico, y acerca de los métodos apropiados en ese ámbito. Sin embargo, los compromisos que asumen los científicos parecen más amplios que las tesis referidas a un dominio de estudio, son de carácter decididamente filosófico, y conforman una suerte de sentido

común académico de los investigadores (Overton, 2014). Proviene de un campo más amplio ya que las concepciones del mundo se originan en las tesis mismas de las filosofías, surgidas en determinados contextos socio-culturales, en determinados momentos históricos e incluyen también valores no epistémicos que intervienen sobre las investigaciones. En este sentido las categorías tanto de paradigma como de tradiciones se restringen a la consideración de valores epistémicos, sin incluir de manera decisiva a los valores no epistémicos (Gómez, 2014).

Por su parte, la categoría de *marco epistémico* (ME) propuesta por García (2000) abarca un conjunto de tesis filosóficas en sentido amplio, no tematizadas o explicitadas por los científicos, y vinculadas con los contextos sociales donde se han originado. Según García, las ideas filosóficas o religiosas que han dominado diferentes momentos en la historia del pensamiento son indisociables de las situaciones socio-históricas en que se han formulado, más bien se constituyen en relación con estas. Ellas conforman una concepción del mundo, dentro de la cual se desarrollan las teorizaciones en diversas disciplinas. Estas no determinan los problemas a los que responden ni sus contenidos conceptuales, sino que los hacen posibles y condicionan sus alcances. Los marcos epistémicos cambian, (guardando alguna semejanza con los cambios de compromisos ontológicos integrados a las tradiciones según Laudan o los integrados a los paradigmas) y se modifican en la historia. No determinan, sino que condicionan en una relación no directa, el cambio de las teorías científicas. Las conceptualizaciones propias de las teorías que pertenecen a disciplinas particulares pueden compartir ciertos presupuestos no explicitados aun cuando resulten contrapuestas entre sí –como se verá en las versiones del contextualismo vs cognitivismo respecto del CC.

Un marco epistémico no corresponde exactamente a las tesis epistemológicas y ontológicas que integran paradigmas y tradiciones de investigación al no ser elaboradas por los científicos respecto del dominio de su campo, sino por provenir del campo más amplio de las visiones del mundo insertas en los entramados sociales. Las filosofías han formado parte de tales entramados, en su formulación explícita por los filósofos, pero sobre todo al ser transformadas en el sentido común “académico”. Estas no se tratan como sistemas filosóficos elaborados y sistemáticamente desarrollados, al estilo del platonismo como las ve Koyré (1994), sino que forman parte de los entramados mencionados; dichos presupuestos son asimilados por los científicos a su propia práctica, desde la especificidad de su elaboración de conocimientos (García, 2000). De este modo, la noción de marco epistémico, en la medida en que está asociada con su trasfondo socio-cultural, incluye los valores no epistémicos, referidos a aspectos normativos morales y políticos, debido a que esas concepciones del mundo son expresión de las relaciones y disputas sociales. Los aspectos mencionados son necesarios, pero no parece que sean suficientes para que un conjunto de creencias sean un ME. Cabe admitir pues que la noción de ME resulta en algún sentido demasiado amplia para poder ofrecer una definición y caracterización exhaustiva y precisa. Sin embargo, a pesar de esta vaguedad, a nuestro entender, su valor fundamental reside en que ofrece un marco para indagar la actividad y producción de la ciencia en la inescindible articulación de aspectos referidos a las propias comunidades de investigación, como los relativos a la sociedad de la que son parte y los contextos históricos de ideas que permean sus producciones. Constituye una categoría que podría considerarse en sí misma un intento de romper con la dicotomía

entre externalismo/internalismo para al análisis de la práctica científica en la historia, con mayor énfasis en ideas de orden filosófico, religioso, político y moral que se aceptan de manera implícita. Asigna así una mayor relevancia que Kuhn a lo que este considerara “factores extra-científicos”, intentando explicitar su contenido en contextos específicos. La mera caracterización de factores sociológicos y económicos que conforman un cierto sistema de pensamiento es según García incompleta para explicar, por ejemplo, por qué no tuvo lugar en China la revolución científica que dio origen a la ciencia moderna en Occidente: “se requiere un análisis epistemológico de la manera en que ese sistema condicionó el tipo de ciencia que allí se desarrolló” (García, 2000, p. 159) El análisis supone tres componentes: factores sociopolíticos y filosófico-religiosos, que condicionan un cierto marco epistémico con su cosmovisión resultante, que configura a su vez una concepción de la naturaleza y un tipo de preguntas que se formulan para su estudio. Estos están presentes de manera implícita en cualquier teoría entendida en su condición socio-histórica. La riqueza y peculiaridad del concepto reside en la indisociabilidad de elementos externos e internos tradicionalmente escindidos en el análisis histórico de la ciencia, sin caer en una concepción determinista en relación con alguno de los factores en juego. No se trata de una versión externalista, porque en un ME aquellos presupuestos llegan a ser constitutivos de una ciencia y tampoco es un estudio internalista, porque sitúa a la ciencia en sus relaciones con la sociedad, irreductible al estudio de los enunciados del lenguaje de la ciencia.

Estas referencias a las categorías propuestas por diversas filosofías de la ciencia dan cuenta de diferentes aproximaciones al problema de los supuestos que subyacen de manera no explícita en las formulaciones de teorías científicas, como objeto de análisis epistemológico. En lo que sigue nos ocuparemos de describir y analizar la intervención en las investigaciones sobre CC de ciertos supuestos epistemológicos y ontológicos que podrían considerarse un contexto de ideas en el cual se inscribe la práctica científica, y que va a condicionarla, reconociendo la relevancia que adquieren esos supuestos en diferentes aspectos de las investigaciones en este campo.

## **2. Los presupuestos epistemológicos y ontológicos en los estudios del cambio conceptual**

Con la finalidad de especificar algunas modalidades de intervención de los presupuestos mencionados, nos permitimos exponer brevemente un caso que ejemplifica debates actuales y representativos del campo de investigación objeto de este trabajo. Para ello, consideremos la cuestión ya clásica, relativa a las concepciones infantiles sobre la forma y posición de la tierra, y en su relación con el proceso de adquisición de la concepción más próxima al conocimiento científico. Por un lado, mencionamos las investigaciones de Vosniadou (1992; 2013), referidas a los diferentes modelos infantiles, que se ponen de manifiesto cuando se solicita a los niños que dibujen y luego expliquen lo hecho. En primer lugar, aparece la representación de la tierra plana apoyada en el agua, pasando por el modelo dual, en el cual la tierra es hueca y en cuyo interior hay una plataforma donde “vive la gente”, que representa un intento de sintetizar las ideas espontáneas y la instrucción escolar; más tarde aparece una elaboración parecida a un cigarro; por último, algunos sujetos llegan a representarse a la tierra esférica, cuyos

habitantes viven en toda su superficie. Según esta perspectiva, estos modelos se inscriben en teorías marco conformadas por ciertos presupuestos ontológicos y epistemológicos. Por ejemplo, el modelo infantil de la tierra plana depende de un conjunto de tesis ontológicas implícitas, tales como que la gravedad es de arriba para abajo o que el mundo es jerárquico en su estructura; desde el punto de vista epistemológico, el conocimiento es “lo que parece”, al modo de un realismo ingenuo. La revisión de los modelos –de la tierra plana y el sintético o dual– proviene de una reorganización trabajosa de estos presupuestos (Vosniadou, 1992; et al. 2008). En las antípodas de esta interpretación se encuentra la teoría contextualista (Ivarsson, Schoultz & Säljö, 2002), que cuestiona la idea misma de CC, basándose en que las concepciones de la tierra como plana o como esfera hueca no aparecen en los dibujos y las conversaciones con los niños cuando han sido expuestos a un globo terráqueo, en tanto un instrumento cultural. Es decir, cada vez que se presentó un globo terráqueo como un recurso para pensar, los niños lo hicieron de modo bastante sofisticado. En este sentido, todos los participantes podían identificar al globo como una representación de la tierra, y todos consideran que las personas pueden vivir en cualquier punto de la esfera, y sin caerse, y hasta pudieron apelar a una noción de gravedad, como explicación, incluso de porque las cosas caen sobre la superficie. A diferencia de la teoría del CC, en la versión de Vosniadou, centrada en la reconstrucción individual de sus supuestos, de sus teorías y de sus representaciones, se considera que no se pueden estudiar las ideas al margen de los instrumentos culturales asociados. Más aún, lo único que interesa son las relaciones con estos últimos a través del diálogo discursivo entre alumnos y docentes. En términos estrictos, no resultan relevantes los saberes previos como tales en términos del sujeto individual, sino los saberes asociados al vínculo socio-cultural.

Las controversias han sido agudas: por un lado, los resultados de los contextualistas, brevemente mencionados, parecen sugerir que, efectivamente, las ideas no son independientes de los instrumentos con que son pensadas, ni de los diálogos intersubjetivos. Así, niños que habían aceptado una versión plana de la tierra, en presencia de un globo terráqueo adoptaban sin duda esa versión, pero no al revés. Por el otro, se ha mostrado, por el lado de investigadores como Vosniadou (et al. 2008), que –si bien las ideas están claramente vinculadas al instrumento cultural– cuando la respuesta que dan los niños no puede derivar directamente del modelo externo, pueden usar un conocimiento previo que es incompatible con ese modelo. Por ejemplo, al preguntarles hacia dónde caería una pelota lanzada por el niño (que creía firmemente que la gente vivía “abajo” de la tierra esférica), muchos contestaron que la pelota no iría hacia la tierra. Veremos que estas disputas, el modo de plantear los problemas o la aproximación metodológica de las diferentes teorías están asociadas a los supuestos ontológicos y epistemológicos de los investigadores.

Ahora bien, respecto de la propia producción de conocimiento en psicología, ya Vigotsky había anticipado (1927/1991) la presencia inevitable en cualquier corriente psicológica de un conjunto interconectado de tesis básicas que trascienden a las teorías, incluidas sus hipótesis más abstractas y los métodos específicos. En la psicología contemporánea, Valsiner (2012) y Overton (2006; 2014) sostienen la misma posición: definen el contexto en el cual los conceptos teóricos o las metodologías son construidos

y que frecuentemente actúa implícitamente en la práctica cotidiana de la ciencia y opera incluyendo una dimensión ontológica acerca de lo que “hay” en el mundo psicológico y otra que abarca principios epistemológicos (Overton, 2006).

La intervención de estos supuestos ha formado parte de la conformación histórica de la psicología del CC y de los debates actuales, como hemos sugerido. Estos establecen lo que es significativo como problema y lo que no lo es, lo que es central y periférico como teoría del CC, incluyendo los medios de la exploración conceptual y observacional, e implicando estándares de juicio y de evaluación (Overton, 2006; 2014). Resultan por tanto condicionantes de las propias investigaciones, aunque no son objeto de análisis y reflexión por parte de los propios investigadores, en la medida que conforman algo así como supuestos de partida que no se formulan.<sup>5</sup> De ahí que el esclarecimiento de estos supuestos sea imprescindible para el avance de la investigación, especialmente si se tiene en cuenta que las teorías del CC se encuentran en un estado de desarrollo y no han alcanzado aún un alto nivel de sistematicidad y poder explicativo.

Dichos presupuestos, de modo semejante a los compromisos que conforman las tradiciones de investigación según Laudan o los ME de García, influyen sobre la práctica misma de cualquier ciencia y las evaluaciones que hacen los científicos de sus producciones teóricas y de las rivales. En este sentido, respecto de las teorías del CC cabe formularse algunas preguntas: ¿Cuáles son las suposiciones ontológicas que posibilitaron la eliminación del pensamiento individual en las teorías contextualistas? ¿Y de los contextos en las versiones cognitivas de corte individual? ¿Qué compromisos están involucrados en la polémica actual entre los defensores del CC y los contextualistas? ¿De qué modo participan estos compromisos del proceso de investigación? ¿Hasta qué punto las decisiones metodológicas están condicionadas por la epistemología y la ontología subyacentes?

### **2.1. Los supuestos epistemológicos y ontológicos de la escisión**

La concepción que enmarcó gran parte de la historia de la psicología del desarrollo, y que se extiende a buena parte de las teorías del CC, consiste en una estrategia intelectual que desvincula los componentes de la experiencia que sostenemos con el mundo (Taylor, 1995). Tal desvinculación se expresa en el dualismo entre lo mental y lo material, el mundo interno y el externo, originados en la filosofía cartesiana. Se trata de una ontología –en el sentido de una interpretación de lo que “hay” en el mundo– dualista de la mente y la materia, o del individuo y la sociedad, así como su aparente opuesto, el reduccionismo del materialismo naturalista, o el sociologismo discursivo.

---

<sup>5</sup> Si relacionamos este problema con las diferentes categorías propuestas por la filosofía de la ciencia para su abordaje, a las que hemos aludido en el apartado anterior, cabe señalar que en alguna medida la noción misma de paradigma de Kuhn opera también en la delimitación y caracterización de los problemas significativos para la investigación en un campo en ciertos momentos de su desarrollo, y que como tal está implícita en las prácticas de la comunidad científica durante la “ciencia normal”. Pero los componentes del paradigma comprenden más bien principios generales de una ciencia particular y algunos criterios de orden ontológico o epistemológico, en tanto que la noción de ME a que aludimos esta íntegramente conformada por una ontología y epistemología (en tanto teoría del conocimiento) general, que condiciona la construcción del conocimiento en un campo disciplinar y problemático específico, con fuerte arraigo histórico y cultural, no contemplado específicamente por Kuhn a través de la noción de paradigma.

Epistemológicamente se asume la escisión entre subjetividad y objetividad, entre el sujeto y el objeto en el racionalismo y el empirismo, también originada en la filosofía moderna. Esta estrategia no se expresa solo en diversas formas de dualismo, sino también en lo que se ve como su opuesto: el reduccionismo a uno de los términos, como veremos en el caso del naturalismo y el contextualismo psicológicos.

Así, algunas de las formulaciones más influyentes en el CC evolutivo –es decir, aquellas perspectivas que analizan el desarrollo espontáneo del sujeto cognitivo y no en su relación con procesos de enseñanza y aprendizaje en ámbitos institucionalizados– se vinculan al naturalismo ontológico, al postular que las representaciones y habilidades básicas resultan del proceso evolutivo, del que deriva la maquinaria cognitiva. La actividad intelectual de niños y científicos es comparable porque finalmente ambos elaboran teorías que –aunque muy diferentes– utilizan básicamente los mismos instrumentos y mecanismos que las producen, provenientes solamente de la evolución natural, y respecto de los cuáles las diferencias en las condiciones sociales y culturales son por completo secundarias. Hay una identidad fundamental en aquello que constituye la actividad intelectual (Gopnick & Meltzoff, 1997). Sin duda, cabe mencionar, en defensa de nuestra tesis de los presupuestos, que no hay ninguna investigación empírica que pueda verificar esta tesis naturalista, como tampoco ninguna otra, porque pertenece justamente a un nivel de afirmaciones epistémicas, subyacente a las teorías de educadores y psicólogos.

Desde un punto de vista epistemológico formulado explícitamente, Spelke (1998) afirma que el debate central en la investigación sobre CC es exclusivamente entre explicaciones innatistas y empiristas, es decir, las que suponen que las ideas o conceptos emergen del saber como dado desde el interior, y las que lo postulan como adquirido por asociaciones desde el exterior. Para ella, el futuro de la investigación dependerá del diálogo entre estas posturas, cuya sumatoria podrá dar cuenta del desarrollo, sin reconocer otras perspectivas epistemológicas. Claramente, ese debate está sustentado en una dicotomía ontológica entre un proceso biológico de base, y el mundo de la cultura, y una dicotomía epistemológica entre apriorismo y empirismo. Así, a la oposición innatismo-empirismo le subyacen supuestos escisionistas tanto en términos ontológicos como epistemológicos.

Por su parte, la alternativa contextualista a las teorías del CC está vinculada también a la disociación de los componentes de la experiencia cognoscitiva. Es decir, los investigadores han reducido los procesos de desarrollo a las interacciones participativas de los individuos en prácticas socio-culturales, han postulado la tesis de que el conocimiento es socialmente construido y que emerge *solamente* de las prácticas sociales discursivas. Únicamente cuentan los formatos narrativos o la negociación de significados entre niños y adultos respecto de ciertas herramientas simbólicas, subestimando la producción cognitiva del sujeto, más aun postulando la “evaporación del sujeto” por considerarlo una herencia del dualismo sujeto-objeto de la modernidad (Ivrasson, Schoultz & Säljö, 2002) De este modo, se quita a la actividad constructiva individual cualquier relevancia para explicar la formación de las respuestas de los niños.

## 2.2- *Los supuestos ontológicos y epistemológicos relacionales*

Por el contrario, se puede identificar otra posición ontológica, en la que cada elemento de la experiencia con el mundo solo existe por su conexión constitutiva con su dual y en una dinámica de transformación: lo intersubjetivo con lo subjetivo, y recíprocamente; similarmente el organismo respecto del medio; la naturaleza respecto de la cultura, o el individuo con la sociedad. Dicha perspectiva relacional surge con Leibniz, Hegel y Marx, y prosigue con Cassirer y llega hasta la escuela post-marxista de Frankfurt (Adorno, 2011) y a Taylor entre otros filósofos contemporáneos, con Elias (2009) o Bourdieu y Wacquant (2005) en el pensamiento social. Estos mismos supuestos posibilitaron a Vigotsky (1927/1991) concebir los sistemas de relaciones dialécticas entre individuo e instrumentos culturales socio-individuales o de las relaciones entre naturaleza y cultura, por sobre sus componentes, al estudiar la génesis del lenguaje o los conceptos. Por su parte, el constructivismo piagetiano se sitúa en las interacciones constitutivas entre sujeto y objeto, rompiendo con el dualismo entre sujeto y objeto, al estudiar la formación del pensamiento lógico matemático. Sin duda, dichos supuestos fueron asumidos de modo incompleto por este autor, porque se limitan a la relación sujeto y objeto, o las relaciones entre procesos cognitivos y las interacciones sociales (de heteronomía o autonomía), dejando de lado los instrumentos culturales (Martí & Rodríguez, 2014). Las teorías de Piaget y Vigotsky se centraron en el desarrollo cognitivo sin ocuparse específicamente del aprendizaje de conceptos científicos. Pero sus tesis han impactado en ciertas teorías del CC propiamente dichas.

Desde el punto de vista metodológico, este marco epistémico relacional se tradujo en una metodología dialéctica en las teorías del desarrollo de Piaget y Vigotsky, principalmente. En la historia reciente de las teorías del CC (Inagaki & Hatano, 2008) se ha intentado elaborar teorías menos sesgadas por las presuposiciones dualistas, naturalistas o individualistas, que han constituido el *mainstream* de la psicología del desarrollo (Overton, 2006). Por ello, es preciso explorar el enfoque ontológico relacional o dialéctico entre contexto y estructuración individual, naturaleza y cultura, o restricciones y elaboraciones conceptuales. Por ejemplo, algo en este sentido se esboza en los intentos recientes de Vosniadou (2013), por articular la actividad constructiva con la intervención de los instrumentos culturales (Vosniadou, Scopelli & Ikopentaki, 2005), aunque también de manera incompleta. Resulta entonces importante discutir el alcance de las tesis filosóficas subyacentes que cuestionan el marco de la escisión, y analizar su vinculación con el planteo de problemas relativos al CC y sus posibles aplicaciones.

Estos supuestos, utilizados consistentemente por los investigadores, como una instancia legítima de la investigación, pueden conducir a estudiar los fenómenos del desarrollo del conocimiento en los términos de su contexto. En este sentido, la totalidad no es, claramente, un agregado de partes, sino un sistema auto-organizado, donde cada parte es definida por sus relaciones con otras partes y con la totalidad. Cada categoría que se utiliza para construir una teoría contiene –y de hecho es– su opuesto; los elementos no solo interactúan entre sí, sino que las partes de la totalidad solo existen en dicha interacción. Así, la naturaleza y la cultura, el cerebro y los procesos de conocimiento, lo individual y lo social, el sujeto y el objeto de conocimiento, operan como polaridades, donde cada categoría se opone a la otra, pero solo existe por su

complementariedad con otra. De ahí que se puedan examinar los problemas del desarrollo de los conocimientos, desde los puntos de vista biológico, psicológico y cultural, en su diversidad, y en su articulación dinámica; finalmente, la oposición en la polaridad de los términos requiere alguna solución; así la aproximación relacional se mueve hacia la superación de los conflictos (Valsiner, 2012). Se construye un sistema novedoso que coordina los sistemas opuestos, en forma de una síntesis dinámica. Por ejemplo, respecto de la dualidad naturaleza y sociedad, hay una identidad o interpenetración de los opuestos, en el desarrollo del lenguaje y de los conceptos en la obra de Vigotsky. En un sentido análogo, el proceso de desarrollo puede ser analizado desde un punto de vista de los conocimientos individuales, de los procesos cognitivos, o desde el punto de vista de la apropiación de la cultura, pero en su relación, tal que sin cultura no hay ideas previas de los sujetos, pero sin participación activa de éstos, no hay apropiación de la cultura. Y cuándo se habla de síntesis, se trata de la coordinación entre estos dos sistemas en su articulación, dando lugar a un nuevo sistema que resulta de ello (Overton & Ennis, 2006).

### **2.3- *La intervención de los supuestos en las investigaciones***

Explorar las modalidades de intervención de estos supuestos en la investigación del CC constituye una actividad epistemológica original respecto del análisis filosófico de las teorías en su estructura relativamente terminal o en estado estático. Tal actividad pretende precisar el lugar de los supuestos ontológicos y epistemológicos en “el ciclo metodológico” en el que se incluyen y de cuya elaboración forman parte (Valsiner, 2006). Básicamente, interactúan con los modelos, las observaciones, los fenómenos, los métodos y las técnicas, así como en la formulación de las teorías.

Una tesis general –ya mencionada– es que dicha intervención no determina unívocamente la credibilidad de la propia investigación psicológica, ya que la producción y verificación de hipótesis dependen de la actividad de los investigadores en la estructuración de los datos y su análisis. Las hipótesis sobre el CC tienen aceptable verificación empírica o no, bajo diferentes presupuestos. Incluso, el explicitar y cuestionar el marco filosófico no invalida el logro de las investigaciones empíricas realizadas dentro de ese marco, ya que hay una relativa autonomía de los procedimientos de producción y prueba de las hipótesis. Tales serían, entre otras, las hipótesis verificadas de las teorías cognitivas de la información, referidas a las estrategias del conocimiento o las atinentes a las representaciones básicas de dominio; otro tanto puede decirse de los estudios sobre las negociaciones discursivas que permiten el CC. No tratamos –al igual que Laudan– con una derivación lógica que va de los presupuestos hacia las hipótesis específicas en la investigación empírica, sino entendiendo que estos las suscitan o posibilitan.

Pasamos al análisis de los posibles ámbitos de intervención de los supuestos en la investigación del CC, aunque reconociendo la limitación de que la mayoría de los casos estudiados se refieren al CC evolutivo, y tratamos más débilmente al proceso de aprendizaje del conocimiento científico. Igualmente, y por su relevancia actual, analizamos la perspectiva contextualista en la enseñanza de la ciencia.

### 2.3.1- Las preguntas del investigador

La intervención de los supuestos mencionados es –por lo general– implícita en el proceso mismo de investigación y fija los límites de lo que se hace “visible” o “invisible” al estudiar el proceso de aprendizaje, lo que se puede o no preguntar. Así, la estrategia de dicotomizar los componentes de la experiencia vivida con el mundo da lugar a una cierta formulación de los problemas. Por ejemplo, cuando las teorías neoinnatistas del CC buscan un desarrollo cognoscitivo en términos del procesamiento interior al aparato mental, ello implica que ciertos aspectos centrales de su arquitectura están ya constituidos. De otra manera, los investigadores están obligados, lo sepan o no, por la fuerza de sus presuposiciones innatistas, a preguntar obsesivamente por las representaciones iniciales que restringen (*constraints*) o canalizan las adquisiciones cognoscitivas de dominio (físico, mental o matemático). También, durante décadas, las preguntas fueron sobre los factores del CC, ya sea por principios innatos, o por causas externas, o su sumatoria, en la psicología del desarrollo, y en parte en la teoría evolutiva del CC (el célebre *which one*). Por lo tanto, el genuino problema del logro de las “novedades” conceptuales no es formulado –ni formulable–; la búsqueda de la génesis de ideas originales e irreductibles a las representaciones iniciales no aparece como posibilidad.

Por su parte, y de modo semejante, la versión contextualista, antes resumida, no puede plantear la cuestión clásica de la transferencia del saber a enseñar al conocimiento previo, y viceversa, al quedar prisionera de la interpretación del contexto y del carácter situado del conocimiento. Digamos, al no aceptarse que haya sistemas de conceptos elaborados individualmente, no tiene sentido preguntarse por el proceso “cognitivo” de reelaboración del saber socialmente construido o la información cultural, particularmente la que proviene del saber académico.

Sin duda, es preciso admitir que hay una experiencia social contextualmente situada en los espacios de pertenencia del sujeto, siendo la escuela un nuevo contexto que entra en relación (y eventualmente en conflicto) con las experiencias sociales de su vida cotidiana. Pero si no se examinan los procesos cognitivos individuales, aun tomando en cuenta la experiencia social, no se puede interpretar cómo los sujetos tienen dificultades específicas, que se revelan empíricamente, en comprender el conocimiento propiamente científico. Como se sabe, los autores contextualistas han subrayado con razón la frecuente ausencia de transferencia del saber escolar al saber cotidiano, lo que sería un indicador de su carácter contextual y situado. Pero no se alcanza a “ver”, justamente por la perspectiva asumida, el sentido de la transferencia del saber disponible en el alumno respecto de la información que proviene del saber disciplinario (Vosniadou, et al. 2008). Sin apelar a una actividad constructiva no se pueden explicar las dificultades y las posibilidades de aprender los nuevos conocimientos. De este modo, registran la ausencia de cambio en las respuestas de los alumnos, pero no el trabajo activo para comprender el conocimiento disciplinar. La actividad cognitiva del sujeto se vuelve “invisible”, en virtud de sus supuestos (Vosniadou, 2013; 2012).

### 2.3.2- *Las unidades de análisis*

En la perspectiva escisionista, los investigadores llegan a considerar como unidades de análisis los procesamientos internos de la información, o las actividades constructivas individuales, sin considerar los contextos. En la mayoría de las teorías, el proceso de CC es escindido de sus condiciones sociales. En este sentido, se puede considerar que los investigadores al estudiar el CC han sido “demasiado cognitivos” y “demasiado individualistas” (Inagaki & Hatano, 2008, p. 259). Por su lado, la unidad de análisis de los autores contextualistas es una totalidad de interacciones discursivas al presentarse a los niños situaciones con instrumentos culturales, pero tal unidad no es dialéctica, al no incluir los procesos propiamente cognoscitivos de los sujetos. La unidad de análisis es un “holismo” interaccionista, pero sin distinciones relacionales a su interior, como la participación de las elaboraciones personales, lo que quita densidad a las descripciones de los investigadores. Las tesis clásicas del CC (Vosniadou & Brewer, 1992) tenían como unidad de análisis las actividades de reorganización conceptual, dentro de una perspectiva escisionista. Ahora bien, la última obra de esta autora (2013) se sigue ocupando de modelos mentales, pero ahora vinculados a los artefactos culturales, no solo de la experiencia cognitiva con los objetos del mundo. Como se ha aludido en el apartado 2 de este trabajo, respecto de los estudios sobre las concepciones infantiles sobre la forma de la tierra, por ejemplo, se incorpora al análisis el impacto del modelo externo, sea la esfera o un mapa, tendiendo a constituir –aun parcialmente– una unidad dinámica. Al modificarse, en buena medida, el supuesto ontológico, cambia la unidad de “análisis”.<sup>6</sup>

En las teorías del CC, en sentido estricto, se podría hablar de una unidad “en las diferencias o en la oposición dinámica” de los componentes, entre las condiciones contextuales de la actividad y la elaboración de ideas previas o de su reorganización en las condiciones de las situaciones didácticas. Así, Halldén et al. (2013) asumieron que la elaboración conceptual se debe estudiar solo en contexto: hay actividad conceptual cuando la tierra es concebida como plana respecto del contexto cotidiano; a su vez el concepto de tierra como esférica lo es en el contexto astronómico. Lo que Vosniadou denominaba “modelo sintético” sería una integración en base a diferenciaciones previas, pensadas en diferentes contextos.

### 2.3.3- *La cuestión de las entrevistas*

Halldén et al. (2013) piensan que el conocimiento está siempre situado en determinadas condiciones contextuales, pero con frecuencia este postulado adquiere una forma que proviene del supuesto ontológico de la escisión: que el conocimiento solo tiene

---

<sup>6</sup> En la psicología del desarrollo, Vigotsky (1927/1991), bajo la inspiración de *El Capital* de Marx sitúa la unidad de análisis en el significado interno de la palabra con su aspecto social externo, tomados en su identidad y diferencia. A su manera, también Piaget establece una relación bipolar, pero entre esquema y observable, o asimilación y acomodación, o sujeto y objeto (Castorina & Baquero, 2005). Y esta perspectiva dio lugar a la atribución de procesos dialécticos al propio desarrollo psicológico, lo que da lugar a sus explicaciones sistémicas, básicamente, en base a considerar “unidades de análisis” a la dialéctica de esos términos. Claramente, esta propuesta no fue consecuente, porque se desconoció el rol de la apropiación de la cultura, considerándose una articulación dinámica de sujeto y objeto que no integró a los otros respecto a dicha apropiación (Martí & Rodríguez, 2014).

lugar en las prácticas sociales. A este respecto, la entrevista con los sujetos suministra un buen ejemplo. En la perspectiva contextualista, se postula una construcción conjunta del significado, durante la entrevista del investigador al alumno o al niño, se la puede describir como “un texto negociado”, depende de ambos en un escenario socio-cultural en un instante del tiempo. En este sentido, no hay instrumentos neutrales de obtención de datos, sino activas interacciones entre los protagonistas de la entrevista (Ivarsson et al., 2002). Al preguntar a los niños sobre la forma y posición de la tierra, por ejemplo, mientras operan con instrumentos mediacionales (mapas o globos terráqueos) se produce una conversación situada. Se supone que no hay acercamiento a procesos mentales de los entrevistados, sino solamente a un modo de hablar y pensar distribuido entre los participantes. Sin duda, es central poner de relieve la índole de la participación del propio entrevistador en la negociación que conforma la entrevista, pero la crítica metodológica a la posibilidad de indagar las creencias de los alumnos en nombre de la ontología de la comunicación es discutible. En cambio y desde supuestos relacionales, es posible investigar el CC sobre escenarios o en condiciones discursivas de negociación, sin que ello involucre la ausencia de pensamientos individuales o de saberes previos de los que dispone cada individuo (Larsson & Halldén, 2009; Vosniadou, 2013). Es decir, considerar a los datos que se producen en una situación de diálogo, pero asumiendo un proceso de conocimiento que se despliega durante el diálogo.

#### 2.3.4 El problema de la objetividad

Al considerar la contraposición entre las concepciones intuitivas y el conocimiento científico<sup>7</sup> de un cierto dominio en términos de una sustitución definitiva, las teorías del CC asumen una tesis acerca de la objetividad. Esta se concibe, en una perspectiva escisionista clásica, como una propiedad epistémica, característica de un conocimiento que representa adecuadamente el mundo y que es comparada con las versiones ingenuas o alternativas de la vida cotidiana, consideradas enteramente erróneas (*misconceptions*)<sup>8</sup>. Por el contrario, la objetividad ha sido duramente rechazada, sobre la base del carácter contextual o discursivo del conocimiento científico. Así, el relativismo epistemológico, característico del contextualismo, sostiene la tesis de la “independencia entre los contextos específicos de conocimiento”, particularmente de la vida cotidiana y de la vida académica, lo que equivale a su inconmensurabilidad fuerte, en el sentido del primer Kuhn. En diversas investigaciones en las ciencias sociales, la psicología y el campo educativo se ha considerado que la objetividad es una “lamentable”

<sup>7</sup> Las teorías del CC identifican el conocimiento que se enseña a nivel escolar con el conocimiento científico. Sin embargo es necesario revisar esta idea ateniéndose a la naturaleza del conocimiento que se enseña en el contexto de la situación didáctica en sus relaciones con el saber de un campo disciplinar específico; relación que Chevalard describe como de transposición didáctica.

<sup>8</sup> En el caso de autores como Strike y Posner (1992), resulta interesante analizar que si bien adoptan declaradamente una perspectiva kuhniana que les impediría plantear una oposición entre representación inadecuada y adecuada o bien una versión representacioncita de la objetividad, piensan el CC como sustitución de ideas “erróneas” lo cual es inconsistente con el enfoque de Kuhn atendiendo a sus tesis acerca de la inconmensurabilidad. Parecería que la analogía con la versión kuhniana del desarrollo científico y el cambio teórico no es considerada de manera rigurosa para atender a las consecuencias de sus tesis epistemológicas; conviven una versión kuhniana del cambio con una idea de objetividad o de adecuación de la representación, ya que de lo contrario no podrían hablar de errores en sentido estricto.

herencia de la modernidad que se debe abandonar (Danzin & Lincoln, 2005). Para estas posiciones es prácticamente insostenible que el CC sea una transformación del conocimiento de las ideas previas, en dirección al saber “a enseñar”. El conocimiento se reduce al discurso y a la negociación de significados, tanto en las comunidades científicas como en la sala de clase (Lemke, 1990), en diferentes cuerpos de significación compartida, cada uno con sus propias reglas. De este modo, no hay ningún pasaje de formas menos adecuadas a más adecuadas o probadas de conocimiento. Lo que hay es simplemente alternancias de un contexto a otro, o diversidad de reglas discursivas. El enfoque contextualista, a pesar de sus críticas valederas al dualismo y a la objetividad como representación adecuada de los hechos ya dados, no abandona la estrategia escisionista, ya que ve en el CC solo la apropiación de las herramientas culturales en las interacciones participativas de los individuos, y no puede pronunciarse sobre el sentido de su modificación. Más aún, esta tesis equivaldría a un rechazo del propio CC, en el sentido del proceso cognitivo de sustitución de ideas menos adecuadas por otras más adecuadas, con mayor potencia explicativa. Si el conocimiento reside solo en las prácticas sociales discursivas, se descarta cualquier aproximación al mundo o un avance hacia un conocimiento más avanzado, según criterios fijados establecidos históricamente, como expectativa (Schoultz et al., 2001; Prawat, 1999).

Sin embargo es necesario admitir la adquisición de formas de conocimiento alternativas que conviven. Existe abundante investigación empírica que permite inferir que en el sistema cognitivo de un sujeto conviven representaciones incluso contradictorias que se activan, en relación con contextos diferentes (Pozo et al., 1999). En cualquier caso, para interpretar el CC como paso a formas más adecuadas o superadoras de conocimiento en un cierto dominio, es necesario indagar cómo entienden las diferentes teorías del CC lo que quiere decir “ir de menor a mayor estado de conocimiento”. En una perspectiva relacional, las transformaciones conceptuales incluyen el contexto discursivo, pero es cuestionable que no se pueda establecer que el saber “cotidiano” puede ser reorganizado por la actividad constructiva del sujeto en dirección al saber disciplinario. Dicho marco de supuestos es compatible con una objetividad pensada como una conquista de la actividad cognoscitiva de los sujetos, una elaboración complejizadora, por diferenciaciones e integraciones, respecto de las ideas previas. Se podría arriesgar: una aproximación “asintótica” al mundo comandada por la apropiación del saber disciplinar. La objetividad se predica del conocimiento que se hace, por la actividad constructiva individual y en las condiciones didácticas, sociales y contextuales, que apunta de modo incompleto, pero posible, a los saberes disciplinares. La objetividad es una tarea o un proyecto, en el sentido de Bachelard, y no un dato anterior al conocimiento.

### **2.3.5- Los modelos explicativos**

A la pregunta por los factores del cambio de las ideas previas, formulada desde los supuestos escisionistas, se respondió apelando a las variables independientes, hasta aislar las causas internas (las capacidades iniciales) o externas, sean las condiciones ambientales, sean los factores socio-culturales. Por ello, la explicación causal implica la disociación de los hechos observables, a los que se denomina causas y efectos. En algunas

de las teorías cognitivas del CC, la cultura es un *input*, o a lo sumo es una condición de un proceso interior, como en el caso del mecanismo de “redescripción representacional” (Karmiloff-Smith, 1992). Así, se propusieron causas naturales, o una sumatoria de factores, sean capacidades o representaciones naturales, en conjunción con el choque de las ideas infantiles con la evidencia empírica. Este tipo de explicación no logra dar cuenta de las novedades conceptuales respecto de las ideas previas. Autores clásicos como Gopnik y Meltzoff (1997) y Cosmides y Tooby (2002) admiten los fines culturales, pero solamente como disparadores de las conceptualizaciones. Por su parte, la idea de una dotación innata de mecanismos cognitivos supone una analogía relativa a las distintas formas de conocimiento de la vida cotidiana y el científico, reductibles en última instancia a los mecanismos cognitivos en sentido evolutivo, como causa. Tanto la formación de las hipótesis infantiles como la predicción, tanto en el sentido común como en la ciencia, no corresponden a elaboración con participación cultural, sino que derivan causalmente de nuestro equipamiento evolutivo. Ciertamente, este modelo ha resultado exitoso para tratar los problemas del desarrollo en los que se pueden especificar las condiciones independientes y las variables dependientes, pero falla si la pregunta es por la emergencia de novedades en la elaboración de ideas. Pero no hay modo de dar cuenta de la novedad cognitiva por la variación de ciertas habilidades o competencias anteriores (Carey, 1999); y tampoco por la variación en las herramientas culturales que puedan ser una causa “eficiente” para las transformaciones. Quedan fuera de consideración las preguntas genuinas sobre la emergencia de novedades. El cambio se explica como enriquecimiento y no como transformación.

A este enfoque se contraponen la perspectiva relacional que sitúa las construcciones de los aprendices en contextos, incluidos los didácticos, en una relación dinámica de subsistemas sociales y culturales que restringen las construcciones individuales. Una interacción entre la construcción de nociones nuevas, con integración y diferenciación de los conceptos y las situaciones contextuales (Halldén, et al. 2013; Larsson & Halldén, 2009), como vimos a propósito de los contextos relativos a la conceptualización de la tierra plana y como objeto astronómico, para el pensamiento acerca de la forma de la tierra. La cuestión a la que pretende responder la explicación del CC ya no es cómo ciertos factores influyen desde el exterior o desde “el interior” del sujeto, para explicar el CC, sino cómo la cultura soporta y limita dicha construcción, y cómo se entrelazan. Estamos hablando de una explicación sistémica, enmarcada en una versión relacional y dialéctica: un resultado B (una nueva noción o concepto) no deriva de la acción causal de ninguna de las partes de un sistema A (sean, X, Y o Z), sino de sus interacciones, las que caracterizan al sistema en cuestión (entre conceptualización y observación; entre situaciones e ideas previas desafiadas por aquellas; entre sujeto y objeto; entre recursos culturales y construcción individual (Valsiner, 2000). En relación con procesos de CC independientes de la enseñanza, los estudios sobre cambio de ideas biológicas (Inagaki & Hatano, 2002) o de ideas sociales sobre el derecho a la intimidad en los niños (Horn & Castorina et al., 2010) muestran procesos más sistémicos. Se trata de una explicación que involucra procesos dialécticos de diferenciación e integración, de relativización de los conceptos al interactuar individualmente con los objetos, en las condiciones de contexto –sean prácticas sociales, representaciones sociales o

determinados instrumentos culturales— en que se produce aquella construcción. No se apela solo a los contextos situacionales, sino a su entrelazamiento con los procesos de construcción. Para el CC respecto del saber disciplinar, es esencial considerar que dicho cambio de ideas solo se produce dentro del contexto de las situaciones didácticas. No se trata simplemente de operar con actividades instruccionales o proponer como camino excluyente a la meta-cognición. Se trata de considerar cómo los alumnos resignifican desde sus saberes previos los desafíos que plantean las situaciones didácticas que “estructuran” la actividad representativa de los alumnos, estudiando allí las interacciones con la información y con los instrumentos culturales que se pretenden transmitir socialmente. Por su parte, Halldén et al. (2013) postulan la articulación de las situaciones contextuales, los recursos del discurso y la actividad propiamente cognitiva, una explicación teleológica que incluye una interacción constitutiva entre estos componentes. El CC se explica por las actividades significativas de los individuos en un escenario particular. No se trata de una cadena causal lineal sino de una articulación entre las dimensiones cognitiva y sociocultural, de una interacción entre las restricciones situacionales y las creencias y habilidades del alumno.

Resumiendo, el modelo explicativo promovido desde la escisión se inspira en el pensamiento que disocia la continuidad y la discontinuidad entre saber previo y saber escolar; la cultura exterior y la interioridad de la producción cognitiva; o las prácticas discursivas comprometidas en acciones mediadas por el uso de instrumentos, sin apelar a procesos constructivos. De otro lado, los modelos que consideran en su unidad y diferencia, en su continuidad y discontinuidad, a las ideas previas respecto de los saberes disciplinarios, así como el proceso de construcción por relativización o diferenciación e integración de conceptos en un contexto (Halldén et al., 2013). La novedad conceptual se explica sistémicamente: por una reorganización del saber previo, interactuando con la cultura científica, mediante un mecanismo de “abstracción” que transforma lo ya sabido, en una interacción social y bajo ciertas condiciones contextuales particulares. Dicha explicación se puede mirar, desde los significados que se elaboran, como una inferencia dialéctica —no discursiva— que va desde ciertas premisas (el saber previo) hacia una conclusión que les añade novedades (Castorina & Baquero, 2005).

### **3. Una conclusión: el porvenir de los estudios del CC**

En relación a la emergencia de nuevos sistemas conceptuales, se puede postular una actividad constructiva para el desarrollo del conocimiento y, en el contexto didáctico, para los saberes “transpuestos” en la práctica educativa. Sin embargo, las respuestas alcanzadas son insuficientes ante los serios interrogantes sobre el CC: ¿cómo puede un sistema conceptual dar lugar a otro más complejo? o ¿cómo puede producirse la novedad de un sistema en base al anterior? La construcción de saberes no reductibles a los anteriores, por medio de procesos de abstracción y reelaboración realizados por el sujeto, no conduce necesariamente a una tesis individualista? De modo semejante, cuestionar el individualismo no elimina la tesis de una reconstrucción individual del objeto de conocimiento. Y la modificación de los saberes no es una “interiorización” lisa y llana del

sistema de conocimiento escolar, sino su reconstrucción por una elaboración individual. Podría sostenerse que los supuestos ontológicos y epistemológicos relacionales proporcionan un marco que relaciona a los polos de las interacciones cognoscitivas en la unidad dinámica de sus oposiciones. Vinculado a lo dicho, la elaboración individual está restringida y posibilitada no solo por condiciones biológicas sino por prácticas sociales y culturales, ya que solo bajo estas últimas se pueden hacer abstracciones o tomas de conciencia. Todo esto a condición de que –particularmente en los procesos de enseñanza y aprendizaje– dichas abstracciones tiendan a reconstruir los sistemas simbólicos externos; a su vez estos “estructuran” a los procesos de pensamiento. Es decir, lo que cada alumno reconstruye de los significados sociales depende de sus propios saberes; puede conformar, si lo permite la situación didáctica, una reorganización de sus ideas previas en dirección “al saber a enseñar”, y a partir de conflictos entre sus ideas, y entre éstas y los observables construidos (Halldén et al., 2013; Lenzi et al., 2010).

Una nota central de los sistemas conceptuales es su transformación durante los diálogos y negociaciones de significados con los otros e interactuando con los objetos. Por eso, una completa comprensión del CC involucra un aspecto de construcción cognitiva y restricciones situacionales, como hemos insistido. Esto exige que la interacción se pueda precisar conceptualmente y probar empíricamente para contextos y sujetos particulares (Halldén et al., 2013), pero todavía –debemos reconocerlo– es una tarea solo parcialmente cumplida. Sin embargo, se puede razonablemente rechazar la versión naturalista del CC, porque deja sin resolver la cuestión central: la exigencia de reorganización de los saberes a disposición del sujeto, aun para acercarse al saber a enseñar. También se puede cuestionar a las explicaciones por cadenas causales, o por simple sustitución de un saber por otro, porque no dejan espacio a la novedad.

Consideramos la perspectiva relacional, o su especificación como un sistema complejo para explicar el CC, de un subsistema de actividad cognoscitiva que se interdefine con los subsistemas biológicos y sociales en juego. Esta propuesta ofrece un marco que favorece las definiciones y caracterizaciones del problema del CC para orientar las investigaciones, particularmente, al indagar la actividad individual en el contexto de las restricciones o “sus condiciones de contorno” que imponen las condiciones culturales. El supuesto de “la unidad dinámica de los contrarios” parece representar una estrategia intelectual, con base socio-cultural, para generar hipótesis verificables: el pensamiento individual y los contextos, la asimilación de nueva información a las ideas previas y la simultánea acomodación de estas últimas, los procesos de integración y diferenciación conceptual, las estructuras conceptuales y los escenarios en los cuales se construyen.

Hemos insistido en la significación epistemológica de los análisis de la intervención de los supuestos meta-teóricos, la filosofía “de los científicos”, enraizada en contextos sociales, y que aparece no argumentada, o no tematizada por ellos, pero que condiciona a la investigación. Hemos intentado esbozar como ensayo de aproximación al problema la intervención de esos presupuestos en el CC, lo que no sustituye las modalidades teórica y empírica de investigación. Sin embargo, es posible que los psicólogos, profesores y estudiosos del CC puedan modificarlos por la actividad reflexiva, instaurando una interacción entre esos supuestos, la teoría misma, los datos empíricos,

a lo largo del complejo ciclo metodológico del proceso productivo de conocimientos. Es plausible pensar que todo cambio significativo en un campo científico es a la vez una transformación de aquellos supuestos que lo han hecho posible. El avance hacia una teoría sistémica del CC no es ajeno al cuestionamiento explícito de las concepciones del mundo que la han dificultado. Es decir, el porvenir de las investigaciones en este campo depende, al menos en parte, de un análisis crítico de sus supuestos. En el caso de los supuestos de la escisión, porque se ha mostrado que funcionan como “obstáculo epistemológico”, a los fines de reconsiderar la formación de sistemas conceptuales novedosos en los procesos de aprendizaje de los saberes “a enseñar”.

#### 4. Bibliografía

- Adorno, T. W. (2011). Dialéctica negativa. En *Obra completa*, 6. Dialéctica negativa. La jerga de la autenticidad. Madrid. Akal
- Bourdieu, P. & Wacquant, L. (2005). *Una invitación a la sociología reflexiva*. México. Siglo XXI
- Carey, S. (1999). Sources of Conceptual Change. En Scholnick, E; Nelson, K., Gelman, S. y Miller, P. (Eds.). *Conceptual Change. Piaget's Legacy*, pp 293-326. London, Lawrence Erlbaum
- Castorina, J. A., Baquero, R. et al. (2005). *Dialéctica y psicología del desarrollo. El Pensamiento de Piaget y de Vigotsky*. Buenos Aires. Amorrortu
- Cosmides, L. & Tooby, J. (2002). Orígenes de la especificidad de dominio: la evolución de la organización funcional. En L. Hirschfeld & S. Gelman. *Cartografía de la Mente*. Barcelona. Gedisa
- Danzin, N. K. & Lincoln, I. S. (2005). Introduction. En Danzin, N. K. & Lincoln, I. S. *Handbook of Qualitative Research*. London. Sage Publications
- Di Sessa, A. (2017). Conceptual Change in a Microcosm: Comparative Learning Analysis of a Learning Event. *Human Development* 60, pp. 1-53
- Elias, N. (2009). *El Proceso de la civilización*. México. Fondo de Cultura Económica
- García, R. (2000). *El Conocimiento en Construcción*. Barcelona. Gedisa
- Gómez, R. (2014). *La dimensión valorativa de las ciencias*. Buenos Aires. Universidad Nacional de Quilmes
- Gopnik, A. & Meltzoff, A. (1997). *Learning, Development, and Conceptual Change*. Cambridge, MA. The MIT Press
- Halldén, I., Scheja, N. & Haglund, L. (2013). The Contextuality of Knowledge. En Vosniadou, S. (Comp) *International Handbook of Research on Conceptual Change*. New York. Routledge
- Horn, A. & Castorina, J. A. (2010). Las ideas infantiles sobre la privacidad. Una construcción conceptual en un contexto institucional. En Castorina, J. A. (Coord.). *Desarrollo del Conocimiento Social*. Buenos Aires. Miño y Dávila
- Inagaki, K. & Hatano, G. (2002). *Young Children's Naive Thinking about the Biological World*. Philadelphia, PA. Psychology Press

- Inagaki, K. & Hatano, G. (2008). Conceptual Change in Naïve Biology. En S. Vosniadou (Comp.). *International Handbook of Research on Conceptual Change*. New York. Routledge
- Ivarsson, J., Schoultz, J. & Säljö, R. (2002). Map Reading versus Mind Reading: Revisiting Children's Understanding of the Shape of the Earth. En Limon, M. & Mason, L. (Eds.). *Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice*. Cambridge, MA. Kluwer Academic Publisher
- Karmiloff-Smith, A. (1992). *Learning, Development, and Conceptual Change. Beyond Modularity: a Developmental Perspectives on Cognitive Science*. Cambridge, MA. The MIT Press
- Koyré, A. (1994). *Pensar la Ciencia*. Barcelona. Paidós
- Larsson, A. & Halldén, O. (2009). A Structural View on the Emergence of a Conception: Conceptual Change as Radical Reconstruction of Contexts. *Science Education*, 94, pp. 640-664
- Lemke, J. L. (1990). *Aprender a Hablar Ciencia*. Buenos Aires. Paidós
- Lenzi, A., Borzi, S. & Tau, R. (2010). El concepto de desarrollo en psicología: entre la evolución y la emergencia. *Fundamentos en Humanidades*, Vol. XI. No. 22, pp. 139-163
- Martí, E. & Rodríguez, C. (eds.) (2014). *After Piaget*. Londres. Transaction Publishers
- Overton, W. (2014). A Relational and Embodied Perspective on Resolving Psychology's Antinomies. En Carpendale, J. & Mueller, U. *Social Interaction and the Development of Knowledge*, pp. 19-44. New Jersey. Lawrence Erlbaum Associates
- Overton, W. & Ennis, M. D. (2006). Cognitive-Developmental and Behavior-Analytic Theories: Evolving into Complementarity. *Human Development*, 49; 143-172
- Overton, W. (2006). Developmental Psychology: Philosophy, Concepts, Methodology. En Damon, W. & Lerner, R. M. *Handbook of Child Psychology*, 6<sup>th</sup> Edition, New York. Wiley
- Pozo, I. (1999). Más allá del cambio conceptual: el aprendizaje de la ciencia como cambio representacional. *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (3), pp. 503-520
- Prawat, R. S. (1999). Cognitive Theory at the Crossroads: Head Fitting, Head Splitting, or Somewhere in Between? *Human Development*, No. 42, pp. 59-77
- Schoultz, J., Salio, R. & Wyndham, J. (2001). Heavenly Talk: Discourse, Artifacts, and Children's Understanding of Elementary Astronomy. *Human Development*, 44: pp. 103-118
- Spelke, E. (1998). Nativism, Empiricism, and the Origins of Knowledge. *Infant Behavior & Development*, 21 (2): pp. 181-200
- Strike, K. & Posner, G. (1992). A Revisionist Theory of Conceptual Chang. En Duschl, R. & Hamilton, V. (Eds.). *Philosophy of Science, Cognitive Psychology and Education Theory and Practice*. New York. State University of New York Press
- Taylor, Ch. (1995). *Philosophical Arguments*. Cambridge, MA. Harvard University Press

- Valsiner, J. (2012). La dialéctica en el estudio del desarrollo. En Castorina, J. A. & Carretero, M. (Comps.). *Desarrollo Cognitivo y Educación*. Buenos Aires. Paidós
- Valsiner, J. (2006). The Development of the Concept of Development: Historical and Epistemological Perspectives. En Damon, W. & Lerner, R. (Eds.). *Handbook of Child Psychology*. New York. John Wiley
- Valsiner, J. (2000). *Culture and Human Development*. London. Sage
- Vigotsky, L. (1927/1991). El significado histórico de la crisis en psicología. En *Obras Escogidas*. Tomo I, Madrid. Visor
- Vosniadou, S. (2013). Conceptual Change in Learning and Instruction: The Framework Theory Approach. En Vosniadou, S. (Ed.). *International Handbook of Research on Conceptual Change*. New York. Routledge
- Vosniadou, S. (2012). Algunos problemas filosóficos de las teorías psicológicas del cambio conceptual. *Estudios de Psicología*. Vol. 33 (1), pp. 21-38
- Vosniadou, S., Vamvaloussi, X. & Skopeliti, I. (2008). The framework Theory Approach to the Problem of Conceptual Change. En Vosniadou, S. (Ed.). *International Handbook of Research on Conceptual Change*. New York. Routledge
- Vosniadou, S. & Brewer, W. F. (1992). Mental Models of the Earth. *Cognitive Psychology*, 24 (4), pp. 535-538
- Vosniadou, S., Skopeliti, I. & Ikospentaki, K. (2005). Reconsidering the role of artefacts in reasoning: Children's Understanding of the Globe as a Model of the Earth. *Learning and Instruction*, 15 (4), pp. 333-351

# El origen del principio de causalidad exterior en los modelos epistemológicos de Hermann von Helmholtz y Ramón Turró

Daniel López Sanz<sup>1</sup>

Recibido: 31 de julio de 2018  
Aceptado en versión definitiva: 19 de abril de 2019

---

**Resumen.** En este artículo se analiza la crítica de Ramón Turró a la teoría epistemológica de Helmholtz sobre el origen del conocimiento del principio de causalidad exterior. Ambos consideran que los modelos epistemológicos psicologistas no permiten explicar cómo se adquiere el conocimiento del principio de causalidad exterior. Frente a estos modelos, ambos conceden una importancia fundamental al elemento motriz en el origen del conocimiento del principio de causalidad exterior. No obstante, en el modelo epistemológico de Helmholtz la investigación comienza con la exploración sensoriomotora del entorno, y su teoría acerca del origen del principio de causalidad exterior le compromete con algunas premisas idealistas. El modelo de Turró, sin embargo, logra una mayor radicalidad objetivista comenzando la investigación en un estadio más básico del desarrollo del individuo, la experiencia trófica. Por último, se analiza el estatuto epistemológico del principio de causalidad, tanto en la obra de Helmholtz como en la obra de Turró.

**Palabras clave:** Turró – Helmholtz – conocimiento – epistemología – causalidad.

**Title:** The origin of the principle of external causality in Hermann von Helmholtz and Ramón Turró's epistemological model

**Abstract.** This article analyses Ramón Turró's critique of Helmholtz's epistemological theory on the origin of knowledge of the principle of external causality. Both authors believe that psychological epistemological models do not explain how knowledge of the principle of external causality is acquired. In contrast to these models, they attribute fundamental importance to the motor element in the origin of the knowledge of the principle of external causality. However, in Helmholtz's epistemological model, investigation begins with a sensorimotor exploration of the environment, and his theory on the origin of the principle of external causality commits him to certain idealistic premises. The Turró model, however, achieves greater depth in its objectivist analysis by starting investigations from a more basic stage of the development of the individual, the

---

<sup>1</sup> Universidad de Valencia. Universidad Nacional de Educación a Distancia

✉ danlopesa@gmail.com

López Sanz, Daniel (2019). El origen del principio de causalidad exterior en los modelos epistemológicos de Hermann von Helmholtz y Ramón Turró. *Epistemología e Historia de la Ciencia*, 3(2), 70-86. ISSN: 2525-1198

(<https://revistas.unc.edu.ar/index.php/afjor/index>)



trophic experience. Lastly, the article analyses the epistemological statute of the principle of causality in both Helmholtz and Turró's work.

**Keywords:** Turró – Helmholtz – knowledge – epistemology – causality

---

## 1. Introducción

La teoría de la percepción de Hermann von Helmholtz (1821-1894) constituye una referencia continua en las investigaciones epistemológicas que Ramón Turró (1854-1926) llevó a cabo a principios del siglo XX. En una primera etapa, como veremos, la investigación de Turró sobre el origen de la experiencia empírica se mantiene en coordenadas próximas al planteamiento de Helmholtz. Siguiendo el trabajo de Liesbet de Kock, analizaremos la síntesis entre empirismo e idealismo que supone el modelo epistemológico de Helmholtz, y defenderemos que este modelo fue inicialmente aceptado por Turró. Sin embargo, y esto constituye el elemento central de la tesis defendida, mostraremos que la epistemología de Turró, a partir de sus estudios sobre la alimentación, se constituye, en gran medida, como radicalización objetivista del planteamiento de Helmholtz.

En este artículo nos ocuparemos concretamente de la posición de ambos autores respecto al origen del conocimiento del principio de causalidad exterior. Analizaremos, en primer lugar, el modelo de Helmholtz acerca de esta cuestión, y su oposición, compartida por Turró, al psicologismo, tanto asociacionista como innatista. Su propuesta se presenta como una síntesis del empirismo, especialmente en la figura de Stuart Mill, y del idealismo, con la influencia de Kant y Fichte. Se mostrará que el planteamiento inicial de Turró, respecto al origen del principio de causalidad exterior, se mantiene próximo al de Helmholtz.

Posteriormente estudiaremos el modelo epistemológico acerca de esta misma cuestión que Turró desarrolló en una segunda etapa. Vinculado a sus estudios psicofisiológicos sobre el proceso de nutrición, el modelo de Turró supone, como en el caso de Helmholtz, un distanciamiento de las premisas del psicologismo (asociacionista o innatista). En lugar de explicar, como el psicologismo, el origen del conocimiento del principio de causalidad exterior a partir del elemento de receptividad sensorial o de un conjunto de instintos, propone explicarlo, como Helmholtz, a partir de la exploración motriz. Sin embargo, defenderemos que, para evitar ciertos presupuestos idealistas que funcionan en el modelo de Helmholtz, como el carácter a priori del principio causal o la aceptación de una voluntad incondicionada, el análisis de Turró no parte directamente de la experiencia sensoriomotora del individuo, sino que se remonta a un estadio más básico, la experiencia trófica del recién nacido. De este modo explica, a partir de categorías objetivistas, cómo se adquiere el principio causal y el principio de causalidad exterior. Por último, al final de este trabajo, revisaremos qué validez atribuyen al principio de causalidad exterior tanto Helmholtz como Turró.

## 2. La teoría de la percepción de Helmholtz

De la enorme obra de Helmholtz vamos a detenernos en sus estudios sobre la percepción para analizar el papel del principio de causalidad exterior. Desde que fue nombrado, en 1849, profesor de fisiología en Königsberg, Helmholtz, centró sus esfuerzos en la investigación fisiológica y psicológica acerca de la visión. Tras medir la velocidad de las conexiones neuronales, e inventar, en 1850, el oftalmoscopio y el oftalmómetro, que permitían la investigación directa del interior del ojo, publicó una serie de artículos en los que analizó la naturaleza de los colores (Finger y Wade 2001 y 2002b; Meulders 2010). Toda esta investigación se concreta en su célebre *Tratado de Óptica Fisiológica (Handbuch der Physiologischen Optik)* que apareció en tres partes. En la primera, publicada en 1856, tras su traslado a Bonn, estudia el ojo desde un punto de vista fisiológico, aportando toda la información obtenida a partir del uso del oftalmoscopio y del oftalmómetro. La segunda parte, publicada en 1860, se ocupa en gran medida de la naturaleza de las sensaciones de color, y la última, publicada en 1867, constituye fundamentalmente un análisis de la percepción desde un punto de vista psicológico.

El sistema visual, para Helmholtz, opera a través de una síntesis de los distintos estímulos que inciden en un determinado punto retiniano, afectando así, en distinto grado, a fibras nerviosas de tres tipos. De este modo, si bien los rayos luminosos que funcionan como estímulos son físicamente distinguibles por su longitud de onda, el resultado psíquico es una sensación simple en la que no pueden reconocerse elementos diferenciables. No ocurre igual con el sistema auditivo, que estudió, en 1863, en *Sobre la sensación de tono (Tonempfindungen)*. Observó, en este sentido, que el sistema auditivo, a diferencia del sistema visual, no opera a través de síntesis, sino que dos o más estímulos en vez de dar lugar a una sensación simple, como en el caso del sistema visual, generan una sensación compleja en la que cada componente puede ser detectado.

En la teoría de la percepción de Helmholtz, las sensaciones son signos que, por medio de una interpretación, que requiere experiencia, anuncian la presencia de un determinado entorno exterior. De esta forma, como es sabido, la percepción es identificada por Helmholtz con un razonamiento inconsciente que opera sobre la base de las sensaciones recibidas y de las experiencias motrices pasadas. Al afirmar que la percepción supone una inferencia inconsciente, está retomando una idea ya avanzada por Stuart Mill (Boring, 1942; De Kock, 2014a,b), expuesta, por ejemplo, en *Psychological Theory of the Belief in an External World* (1865), y que supuso, en la época de Helmholtz, una referencia continua en la aproximación epistemológica al conocimiento del mundo exterior. De acuerdo con esta teoría, en las sensaciones inmediatas se percibe, sobre la base de experiencias previas, el entorno objetivo como una posibilidad de determinados grupos de sensaciones, lo que implica la expectativa de que esas sensaciones surgirán bajo ciertas condiciones motrices. De este modo, Mill describe cómo se conforma la creencia en el mundo exterior a partir de un conjunto de asociaciones, oponiéndose así a cualquier forma de innatismo. Rechaza, por tanto, cualquier presupuesto más allá de la capacidad psicológica de generar expectativas y las leyes de asociación.

El modelo de Helmholtz presenta, como se ha dicho, muchas semejanzas con lo planteado previamente por Mill, lo que ha llevado a hablar de la teoría Helmholtz-Mill de la percepción (Hochberg, 2007). Sin embargo, mientras en la obra de Mill encontramos

una oposición explícita y activa a la tradición idealista, Helmholtz toma consciencia de algunos presupuestos que, en la teoría de la percepción, resultan irreductibles al asociacionismo, de modo que encontramos, como veremos, un intento de sintetizar el empirismo y el idealismo. En concreto, Helmholtz es consciente de que las leyes de asociación no explican el origen del conocimiento del principio causal y tampoco la libre actividad del sujeto, que subyace, como veremos, al conocimiento del principio de causalidad exterior. En este sentido, como se verá, Helmholtz apela a una estructura a priori del entendimiento por la que los signos sensoriales son referidos a la realidad, y la existencia de una voluntad susceptible de establecer inferencias a partir de la experiencia adquirida, y cuya acción es irreductible a una explicación causal de acuerdo con el procedimiento de las ciencias naturales.

Contrariamente a Mill, cuya Ciencia del Hombre, se fundaba en la doctrina de la necesidad filosófica, enunciando que “la ley de causalidad se aplica en el mismo sentido estricto tanto a la acción humana como a otros fenómenos”, la psicología del objeto de Helmholtz gira sobre la asunción de un impulso de voluntad incondicionado y autónomo, elemento constitutivo del proceso perceptivo (De Kock, 2014a, p. 128, traducción propia).

El modelo de inferencia perceptiva de Helmholtz, en definitiva, tiene una estructura similar a la de Mill, pero con el reconocimiento de ciertos presupuestos no reductibles a las leyes de asociación. Como en un silogismo, la inferencia inconsciente que actúa en la percepción, tal y como Helmholtz la entiende, está formada por una premisa mayor, una premisa menor y una conclusión. En el caso de la percepción visual, la premisa menor (A) está constituida por las impresiones sensoriales, que suponen tanto el efecto de la luz (una sensación de color) como una sensación específica según la zona retiniana estimulada (signo local). Estas sensaciones obedecen a las leyes físicas y fisiológicas. También incluye un determinado grado de inervación de los músculos de los ojos. En definitiva, la premisa menor está constituida principalmente por estos tres tipos de elementos sensoriales: color, signo local y sensaciones musculares.

La premisa mayor ( $A \rightarrow B$ ) remite a la experiencia, al conocimiento de leyes generales acerca del entorno obtenidas a partir de experiencias sensoriomotoras previas. La información sensorial contenida en la premisa menor (A) está vinculada a cierta percepción del entorno (B), lo que es posible sobre la base de previas generalizaciones inductivas y su posterior síntesis (entre sensaciones visuales y movimientos que permiten su localización e identificación). Pero conocer el objeto no es meramente conocer cómo variarán cierto grupo de sensaciones si se dan determinadas condiciones motrices, posición próxima a la de Mill, sino que implica la asunción de que las sensaciones tienen carácter de signos, es decir, refieren a una causa (principio causal), y que algunas de estas causas tienen un carácter externo, están ubicadas en el espacio (principio de causalidad exterior).

Por último, la conclusión constituye la inferencia de un entorno objetivo (existencia, forma y posición de los objetos exteriores) a partir de la sucesión de sensaciones que resultan del movimiento del cuerpo y los ojos (A) y del conocimiento tácito del entorno basado en experiencias sensoriomotoras ( $A \rightarrow B$ ). En esta conclusión, de carácter hipotético, se produce una síntesis entre la experiencia, que se encuentra en

la memoria, y las sensaciones inmediatas, esta síntesis es la apercepción. En la apercepción no se discrimina entre la sensación inmediata y el elemento memorístico, sino que esta se presenta como un todo en el que el objeto es percibido.

Para Helmholtz estas inferencias eran conscientes inicialmente, aunque debido a su repetición se han llegado a automatizar y tornarse inconscientes. No obstante, las inferencias inconscientes, en tanto que resultado de un aprendizaje, no tienen carácter innato e irreversible, por lo que, a pesar de ser casi irresistibles, dejan un espacio para su modificación por nuevas experiencias.

El entorno objetivo tridimensional está, pues, presente continuamente, aunque solo se tenga una perspectiva de este, como término de una inferencia inconsciente. De este modo, podemos anticipar la imagen del objeto que se desplegará bajo nuestra acción y producir nuevas inferencias (que eventualmente pueden corregir inferencias previas) sobre la base de la continua información sensorial que va surgiendo del movimiento voluntario. El planteamiento de Helmholtz no se basa en un individuo pasivo que únicamente establece asociaciones, sino que supone un individuo activo, un elemento voluntarista, que establece hipótesis, basadas en su experiencia, y compara lo previsto en su acción con los resultados para corregir eventualmente la inferencia inconsciente.

En definitiva, según lo indicado, la teoría de la percepción de Helmholtz implica no solo la experiencia sensoriomotora, explicable en términos asociacionistas, como en el caso de Mill, sino también la asunción tanto del principio causal como del conocimiento de la causalidad exterioridad.

### **3. La cuestión del origen del principio de causalidad exterior desde el innatismo psicologista**

Los límites del empirismo para dar cuenta del origen cognoscitivo del principio de causalidad exterior, condujeron, en algunos casos, a soluciones idealistas, pero también abundaron propuestas que, aceptando el psicologismo propio del empirismo, sin embargo, defendían el carácter innato del principio de causalidad exterior. El innatismo fue así aumentando su popularidad, especialmente con el impulso teórico que el darwinismo proporcionaba a estos planteamientos. La teoría funcionalista de la mente posibilitaba enfrentarse al empirismo sin renunciar a una naturalización de la epistemología.

En relación con la explicación sobre el origen de conocimiento del principio de causalidad exterior, nos referiremos brevemente a uno de los primeros defensores del innatismo, a saber, el maestro de Helmholtz, Johannes Müller. Este se había preguntado por el origen del principio de causalidad exterior, a cuenta de su ley de las energías específicas, y su solución había sido una forma de innatismo psicológico, a saber, el principio causal es inmediatamente adquirido con las sensaciones en el útero:

La primera oscura idea excitada no podría ser otra que la de sentiente pasivo “yo” contradistinto de algo actuando sobre él. El útero, el cual compele al niño a asumir determinada posición, y da lugar a la sensación de sí mismo, es también el medio de excitar en el sensorio del niño la conciencia de algo distinto de sí mismo y externo a él. De este modo se adquiere la idea de un

mundo externo como causa de las sensaciones. (Müller [1833/40] 1843, p. 717, traducción propia). Citado por De Kock (2014b, pp. 718-719).

Para Müller no solo es innata la distinción entre las sensaciones y su causa, es decir, el conocimiento del principio causal, sino también el conocimiento de la exterioridad, de la espacialidad de la causa, es decir, el conocimiento del principio de causalidad exterior. El estímulo periférico al transmitirse a las regiones centrales no solo supone una cualidad específica (ley de energías específicas), sino también una referencia a una causa y a la zona del cuerpo en que esta se aplica. La posición de Müller es, por tanto, una forma de psicologismo innatista, y no, como se suele considerar, una suerte de idealismo neokantiano, que él mismo se encargó de rechazar. Por supuesto, Müller todavía no podía defender una teoría funcionalista de la mente, basada en el darwinismo, aunque ese será el camino que tomará buena parte del innatismo a finales del siglo XIX.

En el caso de Müller no hay ninguna apelación a facultades metafísicas o a condiciones trascendentales de la experiencia, sino únicamente una defensa de que el principio causal y el conocimiento de la ubicación de esa causa se transmiten inmediatamente en la reacción nerviosa. Las relaciones espaciales son percibidas de modo innato porque las terminaciones nerviosas mantienen relaciones topológicas iguales a las de las fibras nerviosas, relaciones que son, de este modo, transmitidas a nivel central. No obstante, el conocimiento innato del espacio corporal no supone, para Müller, un conocimiento innato del espacio exterior, de modo que resulta necesario un proceso de aprendizaje motriz para conocer la tercera dimensión del espacio.

Una constante a lo largo de todo el trabajo de Helmholtz, y así ocurre también con Turró, es el rechazo de las soluciones innatistas. Para Turró, el innatismo es una reacción inadecuada, que se remonta al mismo Hume, a los límites del empirismo, y que no puede dar cuenta del origen del principio de causalidad exterior, pues explica este como resultado de un instinto. Sin embargo, el innatismo, al recurrir a un instinto innato, no explica el origen del conocimiento del principio de causalidad exterior a partir de condiciones objetivas, limitándose a recurrir a instintos como hipótesis *ad hoc* que permitan explicar las funciones cognitivas:<sup>2</sup>

Decía Hume, con la lealtad que caracterizaba al gran pensador, que la tendencia que impulsa a referir el fenómeno a su causa (y un fenómeno es siempre lo que se nos exhibe bajo la forma de imágenes) no podía explicarse lógicamente, por ser instintiva. Tenía razón en creerlo así; en la que no lo tenía era en creer que el instinto fuese una fuerza ciega. (Turró, 1921, p. 287)

#### **4. La influencia de Kant y Fichte en la teoría de la percepción de Helmholtz**

Frente a lo que consideran algunos intérpretes, entre ellos el mismo Boring (1942), el planteamiento de Helmholtz, respecto al principio de causalidad exterior, está influido por ciertos planteamientos de la filosofía idealista, más que por el concepto de instinto empleado por el innatismo. En su modelo epistemológico hay una tensión entre el

<sup>2</sup> La obra de Darwin había sido introducida en España fundamentalmente por Peregrín Casanova Ciurana (1849-1919), teniendo una enorme repercusión. Turró conoce y es partidario del modelo darwinista, sin embargo, en su trabajo no se discute la posibilidad de que la teoría darwinista de la evolución por selección natural pueda emplearse como explicación objetivista de los instintos a los que recurre el innatismo.

empirismo y el idealismo, cuestión que ha sido señalada entre muchos otros por Hatfield (1990), Lenoir (1993) o Disalle (2006). No obstante, en los últimos años, se ha destacado que la influencia idealista no proviene únicamente de la filosofía kantiana, como se suele subrayar, sino que también se percibe en su obra el efecto de la filosofía de Fichte, como señalan, por ejemplo: Turner, 1970; Scheerer (1989), Meulders (2010) y Heidelberger (1993), De Kock, (2011, 2014a, b).

En este artículo nos mantendremos próximos al trabajo de Liesbet de Kock, que ha analizado detalladamente la influencia del idealismo en la obra de Helmholtz, a partir de una lectura que no se centra, como es habitual, en su filosofía de la ciencia, sino en su teoría de la objetivación en el campo de la percepción. Comenzaremos exponiendo, de acuerdo con el planteamiento de esta autora, el papel de la filosofía kantiana en el análisis de Helmholtz acerca del origen del principio causal, y más adelante estudiaremos la influencia de Fichte en su análisis del proceso de conformación del principio de causalidad exterior, es decir, el proceso de exteriorización de algunas causas objetivas.

Respecto a la primera cuestión, el principio de causalidad se constituye, para Helmholtz, como una condición de la inteligibilidad de la naturaleza, pues confiere el carácter de signos a los fenómenos sensoriales. Capacita, por tanto, para pasar de las sensaciones a la realidad actual, ya sea interna o externa. Aunque, como veremos, el estatuto epistemológico del principio causal varía a lo largo de la obra de Helmholtz, su posición puede identificarse con un kantismo naturalizado. El principio causal es un principio psicológico a priori, una condición psicológica de la experiencia, sin la cual sería imposible ninguna forma de percepción.

La segunda cuestión que hemos apuntado es la cuestión del origen del conocimiento del principio de causalidad exterior. No se trata en este caso de que las sensaciones adquieran el carácter de signos de una causa, sino que esta llegue a exteriorizarse, de modo que pueda distinguirse entre los objetos en el espacio exterior y las sensaciones internas. En esta cuestión, como señala De Kock, podemos encontrar en la teoría de la percepción de Helmholtz, un esquema similar, en cierto grado, al de Fichte. No obstante, como esta misma autora señala, la deuda de Helmholtz con Fichte no es en relación con su metafísica, sino respecto al proceso de conformación psicológica de la experiencia del objeto exterior.<sup>3</sup>

Helmholtz parte del impulso voluntario del yo, que no obedece a ninguna causa física, y que, como acto de libertad, es directamente perceptible, como esfuerzo distinto de las sensaciones cinestésicas, en el desarrollo de la acción (De Kock, 2014a, pp. 224-226). Para Helmholtz, el movimiento voluntario descansa en un elemento psíquico irreductible, un acto de voluntad (*Willensanstrengung*). La cuestión, para Helmholtz, es determinar cómo se llega a diferenciar entre las sensaciones que refieren a un orden causal impersonal, exterior, que no deriva del sujeto, y las sensaciones que resultan de la voluntad del sujeto, pues sin esta distinción es imposible la experiencia del entorno.

El modelo de Helmholtz parte, por tanto, de una voluntad incondicionada, un yo, que pone en marcha el movimiento, y que puede valorar el resultado de su acción. De este

---

<sup>3</sup> El padre de Helmholtz fue un amigo muy próximo del filósofo Inmanuel Hermann Fichte (hijo de Johann Gottlieb Fichte). En la correspondencia con su padre, Helmholtz señala en varias ocasiones que su trabajo experimental está llevando a conclusiones similares a las mantenidas por Fichte en su análisis de la percepción (De Kock, 2014a, pp. 219-223).

modo, esa voluntad incondicionada, al realizar una acción puede distinguir entre las sensaciones que siguen siempre a esta acción, que son las sensaciones cinestésicas y dependen, pues, de la voluntad, y las sensaciones que surgen al margen de la voluntad (De Kock, 2011). En estas sensaciones, que no obedecen inmediatamente a la acción, se descubre un orden sensorial exterior, que constituye un límite a la acción. Por tanto, el objeto (no-Yo) se establece como resistencia, límite a la actividad pura.<sup>4</sup> De este modo, el principio de causalidad exterior se conforma como límite a la voluntad:

Las sensaciones musculares constituyen, para Helmholtz, una condición fisiológica para la conciencia de una oposición entre lo que “el Ego puede y no puede cambiar”, una precondition para la externalización de aquellas modificaciones sensoriales que no pueden ser interpretadas en términos de producción subjetivas. Más que la mera explicación de la experiencia de la agencia las sensaciones musculares parecen jugar un papel epistemológico más fundamental como el fundamento de la distinción interno-externo en la experiencia. (De Kock, 2011, pp. 7-8, traducción propia).

El presupuesto del principio de causalidad exterior en la obra de Helmholtz, remite, por tanto, a otro anterior, a la actividad incondicionada de un yo, que descubre una resistencia a su actividad, y asume ese límite como una causa permanente (principio de causalidad exterior). De este modo, para Helmholtz, el principio de causalidad exterior, y la experiencia en general, serían imposibles sin la existencia de la voluntad:

La distinción entre pensamiento y realidad es posible solo cuando sabemos cómo distinguir entre lo que “Yo” puedo cambiar y lo que “Yo” no puedo cambiar...Lo que nosotros entonces alcanzamos es el conocimiento de un orden legal en el reino de la realidad, pero solo en la medida en que es representado en los signos dentro del sistema de impresiones sensoriales. (Helmholtz 1878/1903, p. 242, traducción propia). Citado por Gerald Westheimer (2008, p. 642).

## 5. La influencia de Helmholtz en la teoría de la percepción de Turró

La concepción de la inteligencia perceptiva de Turró, en toda su obra, es similar a la de Helmholtz. La inteligencia natural no es una facultad que opere mediante intuiciones, ni está teleológicamente orientada al objeto. La intelección, afirma Turró, es la conciencia de una relación necesaria entre uno o más antecedentes y su conclusión. Tras el análisis de la inferencia inconsciente en Helmholtz podemos entender ya ese

---

<sup>4</sup> Una exposición de la filosofía de Fichte rebasa el objetivo de este artículo. No obstante, como aproximación esquemática, podemos señalar que Fichte, rechazando el elemento intuitivo del modelo kantiano, parte, como primer principio, de un acto primitivo, incondicionado, libre, la posición del Yo absoluto como agente. Pero esta posición absoluta es inconsciente, pues la consciencia supone un elemento relacional. Sin embargo, el segundo principio nos indica que el Yo absoluto reconoce un elemento de oposición, de receptividad, una resistencia, se trata de la intuición sensorial que constituye su límite, aunque este límite, objeto de conocimiento, sea interno al yo absoluto. De este modo, y este el tercer principio, aunque el Yo absoluto es infinito, al oponer límites objetivos a su actividad, diferencia en sí mismo un Yo finito, limitado por el no-Yo, y emerge así la contraposición entre el sujeto empírico y el mundo, una contraposición que se da en el interior del Yo absoluto. El yo queda limitado por el no-yo en el conocimiento, que en su grado supremo descubre que la actividad que produce el objeto es fruto del yo. El no-yo, por su parte, es superado por el yo en la acción moral.

proceso. Para Turró, la inteligencia natural es la inferencia del entorno objetivo a partir de ciertos signos sensoriales resultantes del movimiento y de cierta experiencia adquirida, operando ambos elementos como antecedentes.

Sin embargo, a diferencia de la inferencia discursiva, la inferencia que se pone en juego en la percepción tiene, para Turró, un carácter fenomenológico irreductible que no puede ser expresada en palabras. En algunos pasajes de su obra Turró recurre al concepto de aperccepción de Wundt, como fruto de la inferencia inconsciente las notas cualitativas son percibidas inmediatamente en el entorno objetivo. Como Helmholtz, también Turró considera que esa inteligencia inferior opera de modo inconsciente, es el resultado del automatismo al que lleva la repetición, de modo que inicialmente tuvo que ser consciente:

Helmholtz llamó a esos juicios razonamientos inconscientes. Si entendemos que es inconsciente aquello cuyo proceso lógico somos incapaces de evocar en la conciencia, todo proceso devenido automático, como la escritura, toca el piano, deambular, etc., se ha de estimar como inconsciente. Mas en su origen, en los tiempos de su formación se ha de convenir en que son plenamente conscientes, ya que absorben la atención que los elabora y son la de toda la vida mental que alborea con esos dificultosos aprendizajes. Indudablemente el acto intelectual que transforma la sensación en intuitiva, es de la misma naturaleza que el que se acusa en procesos lógicos más superiores. (Turró, 2006/1910, p. 39)

Turró acepta, por tanto, a grandes rasgos, el modelo de percepción de Helmholtz como inferencia inconsciente, encontrando también insuficiente el planteamiento empirista para dar cuenta de este proceso. Al comentar la obra de Helmholtz, Turró observa que en ella se fija como presupuesto el principio causal:

Helmholtz, cuyos hábitos de investigador le alejaban del arbitrarismo especulativo, comprendió claramente que de la experiencia motriz se infiere el lugar del espacio que ocupan los objetos; mas en los objetos emplazados en estos lugares percibimos, a más del color, el olor, el timbre, el sabor, cualidades propias del sentido, algo subsistente, algo que es en sí mismo sin color, sin olor, sin sonoridad ni sapidez y sin cuya acción esas cualidades no aparecerían nunca en los sentidos. (Turró, 1921, p. 211)

En sus primeras obras acerca de cuestiones epistemológicas, Turró se mantiene en las coordenadas del planteamiento de Helmholtz tanto respecto a la adquisición del principio causal como al conocimiento de su exterioridad. Así ocurre, por ejemplo, en su obra *Psicología del equilibrio del cuerpo humano*, publicada en 1908, en la que parte de una voluntad incondicionada que sufre la imposición de cierto orden sensorial, de modo que descubre así sus límites, conformándose el conocimiento de la realidad exterior. Incluso encontramos, en su obra de 1910, *La intuición sensible según la doctrina escolástica y la percepción óptica según Helmholtz*, el esquema, basado en el idealismo de Fichte, de este proceso, según el cual, la voluntad (el yo), al toparse con su límite, se bifurca en yo y no-yo, de modo que a partir de entonces la inteligencia puede conocer el orden causal exterior mediante la exploración motriz:

Si la inteligencia no hallase formulados ante sí los efectos del mundo exterior, encerrada en sí misma, no le sería posible descubrir que hay una realidad exterior, ni adquiriría el sentimiento o la conciencia de sí misma de no poder

contrastarlo con el sentimiento o la conciencia de lo otro, oponiendo el yo al no yo; mas los sentidos acusan la presencia del mundo exterior, y entonces es cuando el principio intelectual descubre que estos efectos son debidos a una causa. (Turró, 2006/1910, p. 36)

Sin embargo, sus investigaciones psicofisiológicas sobre el hambre le conducirán a una profundización objetivista en los supuestos de Helmholtz. En su etapa madura, especialmente en *Los orígenes del conocimiento*, rechaza de modo explícito cualquier forma de principio no explicable en términos objetivistas y encontramos un esfuerzo por analizar, en el contexto de la experiencia trófica, el origen objetivo del conocimiento del principio causal y de su exteriorización. Se produce, por tanto, una radicalización en la aplicación del método objetivo, de tal modo que esas condiciones de la experiencia, que Helmholtz toma de la filosofía idealista, ahora serán estudiadas por Turró a partir de las condiciones objetivas que envuelven el proceso inconsciente de alimentación del recién nacido.

## **6. El conocimiento del principio de causalidad exterior en la experiencia trófica**

Hemos visto que el modelo de Helmholtz implica el conocimiento del principio causal, que permite referir las sensaciones, como signos, a la realidad, siendo, por tanto, un principio regulativo del entendimiento que es condición de posibilidad de la percepción. Del mismo modo, el planteamiento de Helmholtz también supone un componente voluntarista, pues es la acción voluntaria, previa a la experiencia, la que permite conocer la exterioridad del entorno, es decir, el principio de causalidad exterior.

Turró, tras una primera etapa, en la que su planteamiento es cercano al de Helmholtz, en sus últimas obras, plantea su descontento con los supuestos tanto del principio causal, sin explicar sus condiciones objetivas, como de una voluntad incondicionada, de la que depende el conocimiento del principio de causalidad exterior. Serán sus análisis psicofisiológicos sobre el proceso de alimentación, lo que permitirá a Turró una radicalización objetivista del modelo de Helmholtz, al comenzar no con la experiencia sensoriomotora, sino con la experiencia trófica. El planteamiento de Turró supone, por tanto, un regreso a las condiciones objetivas que subyacen a la experiencia trófica, una exploración del proceso de alimentación inconsciente del recién nacido, para analizar cómo se adquiere la experiencia de la realidad trófica y de su exterioridad.

Aunque en este artículo nos resulta imposible extendernos en el proceso que, en el modelo de Turró, conduce, en la primera fase de la experiencia trófica, al conocimiento del principio causal, que permite referir ciertas sensaciones a la realidad trófica, nos ocuparemos brevemente de esta cuestión pues constituye una condición previa a la adquisición del conocimiento del principio de causalidad exterior. Hemos visto que la constatación de los límites del asociacionismo, lleva a Helmholtz a suponer el principio causal como un principio psicológico a priori, condición de la experiencia. Turró se halla ante la misma dificultad, pero trata de dar respuesta a ella a partir del análisis de las condiciones objetivas que explican su origen. La función sensorial no comporta por sí misma consciencia, pues la consciencia supone referencia a la realidad y en las sensaciones no está integrada dicha referencia. Turró se encuentra, por tanto, con la

dificultad de explicar cómo la función sensorial adquiere un carácter representacional, es decir, cómo el individuo adquiere el principio causal, y a través de este, la consciencia de la realidad. Se ha de aprender a usar la función sensorial para representar la realidad, teniendo en cuenta que la realidad es entendida no en términos absolutos, sino como causa que provoca un efecto psíquico. Aunque esa causa, como veremos, no es originalmente un objeto.

Aunque nada en las sensaciones exteriores proporciona información de la acción sobre el psiquismo, sin embargo, al analizar el proceso de alimentación, Turró encuentra que la situación es distinta si nos fijamos en las sensaciones gástricas. Estas sensaciones están vinculadas a la saciedad, pues con las sensaciones en el estómago se inhibe el hambre, se produce un tránsito del hambre a su cancelación. De este modo, en las sensaciones gástricas se descubre la acción inhibitoria del hambre, que constituye la presencia más inmediata de la realidad, que hará posible el origen y desarrollo de la consciencia. Nos remitimos a la distinción de Helmholtz, expuesta anteriormente, entre la realidad en sentido absoluto, metafísico, y la realidad, en sentido empírico, como acción sobre el organismo. Lo que se descubre en el proceso de alimentación es una acción sobre el organismo.

La experiencia trófica no será otra cosa que la discriminación de los distintos alimentos por medio de signos sensoriales a través de un proceso asociativo. Los signos sensoriales anticipan la acción trófica, sin que por ello constituyan todavía propiedades del alimento, que inicialmente no es una realidad objetiva. Estos signos, aunque permiten conocer progresivamente los alimentos, no tienen una relación necesaria con el alimento, sino contingente. El sonido de la campana, recordando el experimento de Pávlov, anticipa al alimento, pero esta anticipación está basada en un proceso inductivo que no contiene necesidad. El sonido puede darse sin la posterior presencia del alimento y por eso no es una propiedad objetiva del alimento. En cualquier caso, con este conocimiento de las realidades tróficas por medio de signos sensoriales anticipatorios, se origina el conocimiento del principio causal, y de este modo la consciencia de la realidad trófica. Pero esta consciencia del alimento, que supone la mediación sensorial, todavía no es una consciencia de una realidad objetiva, exterior, sino de una acción trófica sobre el apetito.

El objetivo de este artículo, no obstante, es mostrar cómo Turró explica, en términos objetivistas, el proceso de exteriorización de la causa trófica, es decir, cómo lo explica sin aceptar, como en una etapa anterior, próxima al planteamiento de Helmholtz, la acción de una voluntad incondicionada. Como en su análisis del origen del conocimiento del principio causal, Turró parte de su investigación psicofisiológica sobre el proceso de alimentación en los recién nacidos que todavía no son conscientes de la exterioridad de la realidad. La inervación psicomotriz espontánea de los músculos, de acuerdo con sus observaciones, tiene en muchas ocasiones origen psicotrófico. Se trata de un movimiento inconsciente, provocado por causas orgánicas que, como fruto del tanteo, o del auxilio materno, lleva al contacto con el alimento, y de este modo, a la activación de ciertos reflejos como la succión. Así expone Turró la naturaleza de ese movimiento espontáneo que conduce al alimento, a partir de la observación del nacimiento de becerros y cabritos:

Una vez que librados del claustro materno son lamidos, asidua y cariñosamente, durante unos quince o veinte minutos; durante esta operación se desentumecen y parece como que centran el equilibrio y al final de la misma tantean en el aire con el hocico. No es una imagen visual lo que lo orienta; ese movimiento espontáneo es fijado por la impresión táctil pues en la oscuridad se comportan de la misma manera que a la luz. Si tropiezan con la mama lo hunden en la misma en una dirección rectilínea lo mismo que si tropiezan con el vientre sin que nada nos indique que conocen nativamente el pezón; mas como quiera que el impulso trófico que estimula a estos movimientos no se satisface mientras no se acierta con la fuente nutrimenticia, de ahí una tendencia innata al tanteo, vagando incierto. (Turró, 1921, p. 97)

El movimiento espontaneo, inicialmente inconsciente, según hemos dicho, conduce de forma recurrente al alimento. Repitiéndose este proceso múltiples veces, el individuo asocia la inervación psicomotriz inconsciente que inicia el movimiento espontaneo, originado por el hambre, con la presencia del alimento. De este modo, si en el curso de este tanteo inconsciente se produce el contacto con el alimento, se vuelven a inervar los músculos para procurarse de nuevo el alimento. Recuérdese que Turró ha explicado previamente cómo se conoce el alimento, no como objeto exterior, sino como causa trófica, discriminada, anticipada, a través de sensaciones exteriores. De este modo, si en el proceso de alimentación inconsciente, el movimiento espontaneo conduce a ciertos signos sensoriales del alimento, concretamente a ciertas sensaciones táctiles y gustativas, estas sensaciones ya refieren a una causa trófica. Esto explica que estas sensaciones no sean indiferentes, en la medida en que ya son signos del alimento, y que el individuo ensaye determinada coordinación muscular para que el alimento vuelva a hacerse presente, hasta que el movimiento se torna voluntario.

Surge así el movimiento voluntario, es decir, la búsqueda motriz, ahora consciente, del alimento. Un movimiento en el que la inervación psicomotriz de los músculos anticipa ya un determinado resultado trófico. El movimiento voluntario no responde, como en el caso de Helmholtz, a una voluntad incondicionada, sino que se constituye, a partir de condiciones objetivas, en la experiencia trófica.

De este modo, para Turró, la asociación entre un movimiento voluntario y el alimento permite su exteriorización, su localización. El alimento ocupa ahora un lugar exterior que es definido por ese movimiento. El alimento que previamente carecía de ubicación pasa ahora a ser algo exterior, disponible por vía motriz. De esta forma, para Turró, la exterioridad del alimento se descubre al vincularle un movimiento voluntario y equivale a su localización motriz. “El objeto o el mundo exterior que nos rodea, es para nuestras funciones perceptivas lo mismo que el sentimiento del lugar.” (Turró, 1921, p.334)

En el modelo de Helmholtz también el movimiento juega un papel esencial en la localización de los objetos, pero su planteamiento, según la interpretación expuesta, contiene un componente voluntarista. El descubrimiento de la realidad exterior remite a la acción de una voluntad, previa a la experiencia, que, a través de diversas experiencias motrices, descubre su límite en un orden causal que no depende de ella y que objetiva como no-yo. En el planteamiento de Turró, sin embargo, la exterioridad de la realidad no se conoce como límite a la acción de la voluntad, sino que tanto la intencionalidad motriz

como la exteriorización del alimento se conforman en el curso de un movimiento espontáneo, inconsciente, provocado por el hambre, cuando este, de modo azaroso o bajo el auxilio materno, se topa con el alimento.

Nos falta ahora mostrar cómo considera Turró que se adquiere el conocimiento de la relación necesaria entre el alimento, como objeto exterior, ya localizado por vía motriz, y sus propiedades sensoriales objetivas, es decir, cómo se adquiere el conocimiento del principio de causalidad exterior. Ubicado el pezón, a través del movimiento, el individuo puede desplazarse tantas veces como quiera hacia el alimento y siempre, necesariamente, experimentará ciertas sensaciones de presión y sabor. Estas sensaciones ya no están vinculadas al alimento de modo contingente, como meros signos anticipatorios, sino que se vinculan de un modo necesario, en la medida en que se comprueba de forma activa y recurrente que resulta imposible entrar en contacto con el pezón sin que se produzca cierta presión y sabor.

Las sensaciones-signo inicialmente refieren a una causa trófica carente de ubicación, conocida meramente como acción inhibidora del hambre, y por ello estas sensaciones-signo aparecen de modo imprevisible y tienen una relación contingente con la causa trófica, es decir, el signo sensorial no implica necesariamente la presencia de esta causa trófica. El sonido de la campana pudo ayudar a discriminar y anticipar cierta causa trófica, pero el vínculo entre este sonido y el efecto trófico no es necesario, puede producirse el sonido de la campana sin el efecto trófico.

Sin embargo, tras la ubicación motriz del alimento, algunas sensaciones anticipatorias del alimento ya no son imprevisibles, sino que es posible comprobar de forma activa y recurrente que ciertas sensaciones de presión y gustativas se hacen presentes necesariamente con el alimento. Ahora las sensaciones no son meros signos anticipativos, sino efectos necesarios de una causa conocida. De este modo, estas sensaciones adquieren una relación más estrecha con el alimento, quedando también exteriorizadas. El tacto del pezón en la boca ya no es un signo anticipativo, sino una propiedad objetiva del pezón. Esto permite distinguir en esta etapa entre algunas sensaciones, que permanecen como meros signos anticipativos, como es el caso, de la campana que anticipa al alimento, y otras sensaciones, como la presión del pezón, que están necesariamente vinculados al alimento, y que constituyen sus propiedades objetivas. Por tanto, el proceso anteriormente descrito está en la base del conocimiento del principio de causalidad exterior. “Ahora, por el mero hecho de poder provocarlos de nuevo, posee la conciencia de cuándo los experimentará, por poseer la conciencia de cómo ha de moverse para conseguirlo, y de ahí nace el conocimiento empírico de la causalidad.” (Turró, 1921, p. 289).

En definitiva, Turró explica, a partir de la experiencia trófica, tanto la adquisición del principio causal, como la posterior conformación de la causa objetiva. El primero supone únicamente el proceso de alimentación, el segundo supone además un componente motriz, espontáneo, vinculado al hambre. Por tanto, si las sensaciones-signo del alimento se presentaran siempre sin mediar el movimiento, el individuo conocería el alimento, por la adquisición del principio causal en la experiencia trófica, pero no sabría que es exterior:

Un animal que careciera de movimiento voluntario e ignorase, por ende, cómo debe inervar los músculos de su boca para provocar el contacto del pezón en sus labios y una cierta sapidez e impresión térmica que le anuncia la presencia de la cosa que calma su hambre, puede conocer esa cosa, pero no puede darse cuenta de que es exterior, por faltarle el elemento reversivo de esa experiencia interna (Turró, 1921, p. 290).

De este modo, supuesto un individuo, como la estatua de Condillac, capaz de sentir, pero no de comer (necesario para reconocer que hay algo real por su efectividad trófica) e incapaz también de moverse (necesario para reconocer que lo real es exterior) este carecería de todo conocimiento de su medio:

Mientras la estatua no deje de serlo no tendrá la capacidad de mover la boca y con ello la consciencia del lugar que ocupa; los nervios gustativos podrán reaccionar siempre que el cuerpo sávido los impresione; pero esta reacción sensorial, ni podrá ser atribuida al objeto que la determina, ni podrá ser sentida en la boca. (Turró, 2006/1913, p.138, traducción propia)

## 7. Validez del principio de causalidad exterior en la obra de Turró y Helmholtz

En este último apartado vamos a analizar la validez del principio de causalidad exterior tanto en la obra de Helmholtz como en la de Turró. En el caso de Helmholtz, su posición va cambiando a lo largo del tiempo. En 1847, en la introducción a su obra *Sobre la conservación de la fuerza*, acepta una posición cercana a un kantismo naturalizado, señalando que el principio de causalidad es un principio psicológico a priori, una condición psicológica de la experiencia y de esta condición deduce, siendo poco fiel al planteamiento kantiano, que podemos obtener conocimientos de validez absoluta. Helmholtz defenderá en un primer momento que el orden causal remite a un orden metafísico. De este modo, nuestra experiencia científica del mundo se corresponde con un mundo de objetos en interacción que afectan a los órganos sensoriales. Como señala Gary Hatfield (1990, p. 210), Helmholtz consideraba en el último tramo de la década de los cuarenta y en la década de los cincuenta que la física nos da una imagen real del mundo cuando lo describe en términos de fuerzas entre partículas.

Posteriormente, aun manteniendo que el principio de causalidad permite afirmar la existencia de un mundo exterior, rechazará que el orden causal establecido por la experiencia pueda ser proyectadas a una realidad absoluta. En la tercera parte de su *Tratado de óptica fisiológica* (1867) negará explícitamente que las representaciones espaciales de los objetos se correspondan con las causas en sí mismas, afirmando que el acuerdo solo se da respecto a la secuencia temporal de los fenómenos. De este modo, en esta etapa, Helmholtz considera que ni siquiera nuestra representación espacial de la realidad puede ser proyectada a una realidad absoluta, aunque todavía no pone en duda la existencia de una realidad exterior independiente.

Con los años destacará todavía más el carácter contingente del conocimiento causal, señalando su validez pragmática, la confianza, basada en el pasado, de que la hipótesis de un orden causal seguirá funcionando en el futuro. En *Los Hechos de la Percepción* (1879), la crítica al realismo metafísico es todavía más profunda que en las

obras anteriores. Se plantea que ni siquiera es posible determinar más que como hipótesis, que nuestra experiencia verse sobre una realidad independiente. Ahora afirmará Helmholtz que la hipótesis idealista, pese a ser improbable e insatisfactoria, es imposible de refutar, por lo que el realismo debe tener también un carácter hipotético.

En el apéndice *a Sobre la conservación de la fuerza* (1881), abandona definitivamente la defensa de la universalidad del principio de causalidad exterior. En esta obra el principio de causalidad ya no será un principio de validez universal, sino que forma parte de la estructura del entendimiento y, por tanto, aunque constituye una condición de cualquier forma de relación cognitiva con el entorno, sin embargo, tiene un carácter epistemológicamente contingente (De Kock, 2014a, p. 169). Sin embargo, como señala De Kock, el reconocimiento de la contingencia epistemológica, no implica que Helmholtz renuncie al carácter psicológico a priori del principio causal y, de este modo, a su necesidad psicológica.

El planteamiento de Turró respecto a la validez del principio de causalidad exterior es, en términos generales bastante similar al de Helmholtz. En este sentido, es necesario tener en cuenta que la filosofía de Turró no es fundamentalista, sino que parte *in media res* de determinadas realidades para establecer filosóficamente las condiciones objetivas que las originan. De este modo, en el caso de la epistemología, Turró parte de la experiencia empírica, universal y necesaria, y realiza una exploración de su origen objetivo. No trata, por tanto, de fundamentar la experiencia para demostrar su carácter universal y necesario, sino de mostrar cómo el individuo llega a adquirir esa experiencia, cuya universalidad y necesidad es patente.

El principio de causalidad exterior determina que existen ciertos objetos exteriores que se definen por determinada localización y por ciertas propiedades observables objetivas. El árbol no puede pasar espontáneamente a ser una vaca, o a tener otra ubicación, pues eso violaría la experiencia del principio de causalidad exterior. De este modo, el principio de causalidad exterior, como elemento básico de la experiencia empírica, no requiere un fundamento metafísico para tener un carácter universal y necesario, pues este ya nos es dado en la experiencia.

Pero esta relación necesaria entre los objetos y sus propiedades objetivas no ha de entenderse en términos metafísicos. El objeto se define por sus potencialidades para provocar determinados efectos sobre la sensibilidad externa desde una ubicación, de modo que esos efectos determinan sus propiedades objetivas. El problema epistemológico de Turró, en este caso, es determinar cómo el individuo llega a conocer el principio de causalidad exterior y no juzgar sobre la naturaleza metafísica de la realidad exterior. En la medida en que la experiencia empírica se define, para Turró, por una relación necesaria entre ciertas causas y ciertos efectos sensoriales, no tiene sentido preguntarse, partiendo de la experiencia, por la naturaleza de esas causas al margen de su potencialidad para provocar efectos sensoriales. La posición de Turró es, por tanto, similar a la de Helmholtz, la validez universal y necesaria del principio de causalidad exterior, remite a la experiencia, pero no puede ser extendido al ámbito de la metafísica.

## 8. Conclusiones

La cuestión del conocimiento del principio de causalidad exterior supuso un elemento fundamental de confrontación entre las principales corrientes epistemológicas de la segunda mitad del siglo XIX y el principio del siglo XX. En este artículo hemos analizado la teoría de Turró como una rectificación, en un sentido objetivista, del planteamiento de Helmholtz sobre el origen del conocimiento del principio de causalidad exterior.

Hemos defendido, apoyándonos en la interpretación de varios autores, que la teoría de Helmholtz constituye una síntesis entre el planteamiento empirista e idealista. Se ha mostrado que en una primera etapa el trabajo epistemológico de Turró se mueve en las coordenadas del planteamiento de Helmholtz, pero más adelante, a partir de sus investigaciones psicofisiológicas sobre el proceso de alimentación, propone una mayor radicalización objetivista en su investigación epistemológica. Regresando al proceso de conformación de la experiencia trófica, Turró muestra las condiciones objetivas de constitución de ciertos elementos que, en la obra de Helmholtz, se mantenían próximos a la tradición idealista, a saber, el conocimiento del principio causal y su exteriorización a partir de la acción libre. De este modo, hemos expuesto cómo Turró elabora una teoría original acerca del conocimiento del principio de causalidad exterior, planteada en términos puramente objetivistas. Por último, hemos apuntado brevemente algunas cuestiones acerca de la validez del principio de causalidad exterior tanto en la obra de Turró como en la obra de Helmholtz.

## 9. Bibliografía

- Boring, E. G. (1942). *Sensation and Perception in the History of Experimental Psychology* (Sensación y percepción en la historia de la psicología experimental). D. Appleton-Century Company.
- De Kock, L. (2011). Some Preliminary Considerations on Helmholtz's Fichte: Towards a Naturalized Epistemology of Constraint? *Revista de estudios sobre Fichte*, pp. 1-15.
- De Kock, L. (2014a). *Historical and Systematic Analysis of Hermann von Helmholtz's Psychology of the Object* (tesis doctoral). Universidad de Gante.
- De Kock, L. (2014b). Hermann Von Helmholtz's Empirico-Trascendentalism Reconsidered: Construction and Constitution in Helmholtz's Psychology of the Object. *Science in Context*, pp. 709-744.
- Disalle, R. (2006). Kant, Helmholtz, and the Meaning of Empiricism. En *In The Kantian Legacy in Nineteenth-Century Science* (pp. 123-140). Cambridge: MIT Press.
- Finger, S., & Wade, N. (2001). The Eye as an Optical Instrument: From Camera Obscura to Helmholtz's Perspective. *Perception*, pp. 1157-77.
- Finger, S., & Wade, N. (2002). The Neuroscience of Helmholtz and the theories of Johannes Müller. Part 1. Nerve cell structure, vitalism, and the nerve impulse. *J. Hist Neuroscience*, pp. 136-155.

- Finger, S., & Wade, N. (2002). The Neuroscience of Helmholtz and the theories of Johannes Müller. Part 2: Sensation and Perception. *J Hist Neuroscience*, pp. 234-254.
- Hatfield, G. (1990). *The Natural and the Normative: Theories of Spatial Perception from Kant to Helmholtz*. MIT Press.
- Heidelberger, M. (1993). Force, Law and Experiment. The Evolution of Helmholtz's Philosophy. En *In Hermann von Helmholtz and the Foundations of Nineteenth-Century Science*, (pp. 461-497). Berkeley: University of California Press.
- Helmholtz, H. v. (1853 [1847]). *On the Conservation of Force*. London: Scientific Memoirs.
- Helmholtz, H. v. (1856, 1860, 1867). *Handbuch der physiologischen Optik* 1,2, 3 (Tratado de óptica fisiológica 1,2,3). Leipzig: Leopold Voss.
- Helmholtz, H. v. (1971 [1878]). The Facts of Perception. En *Selected Writings of Hermann von Helmholtz*. Middletown, Connecticut: Wesleyan University Press.
- Hochberg, J. (2007). *In the Mind's Eye*. Edited by Mary Peterson et al. Oxford: Oxford University.
- Lenoir, T. (1993). The Eye as a Mathematician. En *In Hermann von Helmholtz and the Foundations of* (pp. 109-153). Berkeley: University of California Press.
- Meulders, M. (2010). *Helmholtz: From Enlightenment to Neuroscience*. MIT Press.
- Mill, J. (1865). The psychological theory of the belief in an external world. En *In J. S. Mill, An examination of Sir William Hamilton's philosophy and of the principal philosophical questions discussed in his writings*. London: Longman, Green, Longman and Roberts.
- Turró, R. (1921). *Orígenes del conocimiento: el hambre*. Madrid: Atenea.
- Turró, R. (2006 [1908]). Psychologie de l'équilibre du corps humain (Psicología del equilibrio del cuerpo humano). En J. Roca Balasch, & C. Ventura Vall-Llovera, *Textos psicològics/psicològics* (pp. 6-25). Gerona: Documenta Universitaria.
- Turró, R. (2006 [1910]). La intuición sensible según la doctrina escolástica y la percepción óptica según Helmholtz. En J. Roca Balasch, & C. Ventura Vall-llovera, *Textos psicològics/psicològics* (pp. 26-47). Gerona: Documenta Universitaria.
- Turró, R. (2006 [1913]). Orígen de les representacions de l'espai tàctil. En *Textos psicològics/psicològics* (pp. 84-146). Gerona: Documenta Universitaria.
- Westheimer, G. (2008). Was Helmholtz a Bayesian? *Perception*, 37(5), pp. 642-650.

# Las leyes de la naturaleza como determinación matemática del movimiento en la física cartesiana

Luciano Nicolás Astor<sup>1</sup>

Recibido: 14 de agosto de 2018

Aceptado en versión definitiva: 14 de mayo de 2019

---

**Resumen.** Descartes, en los *Principios de la filosofía*, afirma que las leyes de la naturaleza que allí postula son causa segunda del movimiento de los cuerpos. Se trata de una afirmación problemática y diferentes intentos se han hecho por dar una explicación satisfactoria acerca del estrecho vínculo que esto supone entre las leyes de la naturaleza y la noción de causa. En este trabajo defenderé la hipótesis de que dichas leyes son determinaciones matemáticas a las que las partes, los modos, de la substancia extensa responden por el solo hecho de ser la substancia material matemática, o más bien, geométrica. Y es en este sentido, sostendré, hay que entenderlas como causas segundas. Expondré brevemente el modo en el que el concepto moderno de causa comienza a diferenciarse de la cuádruple causalidad aristotélica y de la de forma substancial escolástica, luego brindaré algunos elementos generales sobre la noción cartesiana de causa y que habré de considerar al presentar, a continuación, la hipótesis que sostengo.

**Palabras clave:** Descartes – leyes de la naturaleza – leyes del movimiento – causas segundas.

**Title:** The laws of nature as mathematical determination of movement in the Cartesian physics

**Abstract.** Descartes, in his *Principles of Philosophy*, claims that the laws of nature there postulated are the secondary causes of the movement of the bodies. It is a problematic statement and different attempts have been made to provide a satisfactory explanation about the implicated close link between the laws of nature and the notion of cause. In this paper I will defend the hypothesis according to which these laws are mathematical determinations to which the parts, the modes, of the extended substance respond by the mere fact of being the material substance mathematical, or rather, geometrical. In this sense, I will sustain, we must understand that laws as secondary causes. First, I will briefly explain how the modern concept of cause begins to differentiate from the fourfold Aristotelian causation model and from the scholastic substantial form, then I will give some general elements about the Cartesian notion of cause that I will consider, next, when presenting the hypothesis that I sustain.

**Keywords:** Descartes – laws of nature – laws of movement – secondary causes.

---

---

<sup>1</sup> Facultad de Humanidades y Artes. Universidad Nacional de Rosario.

✉ luciano.astor@gmail.com

Astor, Luciano Nicolás (2019). Las leyes de la naturaleza como determinación matemática del movimiento en la física cartesiana. *Epistemología e Historia de la Ciencia*, 3(2), 87-111. ISSN: 2525-1198

(<https://revistas.unc.edu.ar/index.php/afjor/index>)



## 1. Introducción

En una carta a Marin Mersenne en octubre de 1638, Descartes comenta varios pasajes de los *Discorsi e dimostrazioni matematiche, intorno a due nuove scienze* de Galileo Galilei. Allí elogia al italiano expresando que “filosofa mucho más hábilmente que lo habitual, pues ha logrado dejar atrás los errores de las Escuelas e intenta utilizar métodos matemáticos [*raisons mathématiques*] en la investigación de cuestiones físicas”. Afirma estar de acuerdo en ese punto ya que “no hay otro camino para llegar a la verdad”. Sin embargo, y sin desmerecer el elogio anterior, a continuación expresa a Mersenne su reproche a Galileo por no haber desarrollado el tema en profundidad ya que “solo ha buscado explicaciones para algunos efectos particulares sin ir hacia las primeras causas de la naturaleza [*les premières causes de la nature*], careciendo su edificio de cimientos” (*Carta a Mersenne, 11 de octubre de 1638*; AT II, 380; CMSK, 124).<sup>2</sup>

Galileo y Descartes se encuentran, sin lugar a dudas, entre quienes en la primera mitad del siglo XVII más empeño pusieron en comprender ese “grandísimo libro”, al decir de Galileo, “siempre abierto ante nuestros ojos, el universo, y que no se puede comprender si no se comprende la lengua y se conocen los caracteres en el que está escrito. Y está escrito en lengua matemática y sus caracteres son triángulos, círculos y otras figuras geométricas” (*Le opere di Galileo Galilei* VI, 232).<sup>3</sup> En la mención al uso de razones matemáticas que encontramos en la citada carta de Descartes a Mersenne es posible reconocer su acuerdo con la creciente matematización de la naturaleza que enuncia la conocida cita de Galileo. Será necesario, entonces, para dar cuenta de la noción de causalidad y el papel de las leyes de la naturaleza en la filosofía natural cartesiana, considerar ese acuerdo y hacer hincapié en la estrecha relación entre las matemáticas y la naturaleza que supone el mecanicismo cartesiano.

En cuanto al reproche a Galileo por no indagar sobre las primeras causas de la naturaleza, esto es, sobre los principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza, podemos pensar que Descartes no hace sino expresar lo que desde Aristóteles y hasta entrada la modernidad se constituye como el verdadero conocimiento de los fenómenos de la naturaleza. En términos de causas entienden el conocimiento, por ejemplo, Spinoza, que en el cuarto axioma de la *Ética* afirma que “el conocimiento del efecto depende del conocimiento de la causa” (*Ética* I, axioma IV). Más clara aún encontramos esta concepción en Hobbes, que en el *De corpore* define a la Filosofía como “el conocimiento, adquirido mediante un razonamiento correcto, de los efectos o fenómenos a partir de sus causas o generaciones, y, a la inversa, de las generaciones posibles a partir de los efectos ya conocidos” (*De corpore* I, 2). Y el propio Descartes expresa en los *Principios de la filosofía* que su propósito es “explicar los efectos por sus causas y no las causas por sus efectos” (*Principios* III, §4; AT VIII, 81; AT IX-2, 105; también en *Principios* I, §24). Por supuesto que aquí uno y otro subscriben a la concepción aristotélica acerca de qué es el conocimiento científico, la episteme antigua, la *scientia* medieval. Tal como Aristóteles lo

<sup>2</sup> En todas las citas de cartas de Descartes he realizado la traducción desde la edición en inglés que se encuentra en *The Philosophical Writings of Descartes* editado por John Cottingham et al. Siempre he tenido el texto en francés o en latín a la vista. En todos estos casos he indicado no solo la paginación habitual de la edición de Adam y Tannery (AT) sino también la de la mencionada edición inglesa (CMSK).

<sup>3</sup> Traducción propia. El pasaje se encuentra en *Il Saggiatore* [*El Ensayador*] publicado por Galileo en 1623.

menciona en varios lugares, conocer es conocer las causas. Así lo leemos, por ejemplo, al comienzo de la *Física*, “puesto que en toda investigación sobre cosas que tienen principios, causas o elementos, el saber y la ciencia resultan del conocimiento de éstos” (*Phys. A*, 184a10), o en los *Segundos analíticos*, donde el estagirita afirma que “creemos que sabemos cada cosa sin más, pero no del modo sofístico, accidental, cuando creemos conocer la causa por la que es la cosa, que es la causa de aquella cosa y que no cabe que sea de otra manera” (*APo. A*, 71b9). Lo mismo podemos encontrar en filósofos escolásticos como Tomás de Aquino y Francisco Suárez y en la tradición de orientación empirista de Oxford (Cfr. Wallace 1972, vol. I; Clatterbaugh 1999, p. 12 y ss.). Si bien esta concepción del conocimiento científico tiene su origen en Aristóteles, en cada época, y seguramente en cada autor, se muestra con diferentes matices y variantes, tal como es de esperarse, dando mayor importancia a uno u otro aspecto de la doctrina original de las cuatro causas.<sup>4</sup>

A partir de lo anterior es posible advertir que todo intento por comprender el desarrollo del pensamiento filosófico y científico en la modernidad temprana, implica contar con una explicación acerca de qué entienden por *causa* quienes en la época tratan de interpretar matemáticamente los fenómenos de la naturaleza; y, lo que hace a la cuestión por demás relevante para la historia de la filosofía y de la ciencia, cómo se presenta dicha noción en relación a la creciente importancia del concepto de *ley de la naturaleza* que adquiere un papel fundamental para explicar el mundo en el marco epistemológico de la naciente ciencia moderna.

En este trabajo me propongo exponer una interpretación de la noción de causa segunda en Descartes. Según entiendo, si dicha interpretación ha de ser satisfactoria, deberá dar cuenta de cómo tenemos que entender lo afirmado por Descartes acerca de que la causa del movimiento de los cuerpos en la substancia extensa son las leyes del movimiento, esto es, las leyes de la naturaleza enunciadas primero en *El mundo* (1630-1633, publicado póstumamente) y luego en *Los principios de la filosofía* (1644 en latín, 1647 en francés).<sup>5</sup> Defenderé la hipótesis de que dichas leyes son determinaciones

---

<sup>4</sup> Wallace (1972) hace un extenso repaso; se trata de una obra en dos tomos, acerca de la relación entre causalidad y conocimiento científico en diferentes autores y teorías desde la antigüedad hasta la Relatividad y la Mecánica Cuántica. Tanto en el caso mencionado de los oxonienses como en el de Tomás de Aquino y otros filósofos identificados con la Universidad de París, el foco es puesto en el modo en el que todos estos autores relacionaron la posibilidad de explicar matemáticamente los fenómenos y la causalidad aristotélica, a la sazón, las causas formal y eficiente.

<sup>5</sup> Stephen Gaukroger en su biografía intelectual de Descartes sostiene que en *El mundo* la filosofía de la naturaleza de Descartes está ya consolidada y que a partir de allí su ocupación es legitimar su teoría física y su filosofía de la naturaleza. Aunque, aclara Gaukroger, esa necesidad de legitimación no obedece a cuestiones internas de la teoría sino a una amenaza externa y es así que debe exponer los principios de su sistema “en términos de un vocabulario y una presentación derivados de la filosofía natural y la metafísica escolásticas que eran la antítesis de su propia filosofía de la naturaleza”. Agrega que cuando Descartes “trata sus nociones físicas fundamentales en términos de substancia, accidentes y modos, lo que pretende es demostrar ortodoxia, no brindar una genuina elucidación de su teoría física y sus consecuencias” (1995, p. 12). Coincido con Gaukroger en cuanto a que en la historia de la filosofía se ha puesto demasiado énfasis en los principios gnoseológicos y metafísicos cartesianos, en desmedro de la filosofía de la naturaleza que esos mismos principios tratan de fundamentar. No acuerdo, de todas formas, en que el uso de palabras tales como *substancia*, *accidente*, *modo* y *causa* por parte de Descartes obedezca a una mera conveniencia terminológica y asumo, por el contrario, que se trata de un intento genuino por brindar los principios metafísicos de su sistema.

matemáticas a las que las partes, los modos,<sup>6</sup> de la substancia extensa responden por el solo hecho de ser la substancia extensa matemática, o más bien, geométrica.

Solo trataré la cuestión de la causalidad segunda en la substancia extensa e intentaré, de acuerdo a lo que he planteado como hipótesis, poner esa causalidad en relación a la filosofía de la naturaleza cartesiana, ubicando a la vez a esta última en el contexto del nacimiento de la física moderna. No me abocaré a tratar el tema, por demás complejo, de la relación mente-cuerpo y solo en cuanto sea necesario para tratar la causalidad en la substancia extensa, entraré en detalles acerca del modo en que debe entenderse la intervención causal de Dios en el mundo.

En primer lugar brindaré algunas consideraciones generales acerca de la noción de causa, ampliando de alguna manera lo dicho en los párrafos anteriores de esta introducción. Me referiré luego al abandono de la cuádruple causalidad aristotélica por parte de los autores modernos, en particular Descartes. En este sentido trataré de mostrar cómo en la escolástica adquiere preminencia la causa eficiente a la vez que queda incluida en la noción más amplia de *forma substancial*. El rechazo moderno a dicha noción es lo que obliga a los filósofos de la naturaleza a buscar un nuevo modo de entender la causa eficiente, que en gran medida es el problema que deben resolver los autores del siglo XVII.

A continuación, en el tercer apartado, expondré algunos elementos que se desprenden de los textos cartesianos y que es necesario considerar si se pretende dar una interpretación acertada sobre el tema aquí desarrollado. Sobre el final de este apartado rechazaré, basándome en las consideraciones realizadas, dos modelos de interpretación posibles sobre la causalidad segunda en Descartes.

El cuarto apartado se presenta como el núcleo de este trabajo. Allí intentaré fundamentar la hipótesis propuesta. Para ello adoptaré las conclusiones de Helen Hattab (2000), aunque me enfocaré, sin embargo, en brindar algunos elementos no abordados por esta autora en cuanto a la manera en que habremos de entender cómo actúan las leyes del movimiento. El punto de partida será distinguir el origen del movimiento, la causa primera, de la determinación del movimiento, que será identificada con la causa segunda. A continuación expondré las leyes del movimiento de Descartes y, con mayor detalle, algunas de las reglas que en los *Principios* complementan a la tercera ley. Una interpretación de dichas reglas me permitirá arribar a la hipótesis que aquí sostengo.

---

<sup>6</sup> Asumo en este trabajo una lectura monista de la substancia extensa. Sigo de esta manera, en cuanto las nociones de substancia y modo, la interpretación de Cottingham que afirma que “hay un claro contraste con la concepción aristotélica tradicional del mundo, como compuesta de un gran número de individuos, cada uno de los cuales se considera como una substancia particular (para Aristóteles un caballo individual, un árbol o una silla se considera una substancia), en lugar de ello, Descartes ofrece un punto de vista radicalmente monista de la sustancia corpórea. El universo físico es una cosa única e indefinidamente extensa (...) ejemplos individuales –planetas, caballos, árboles– se construyen entonces como modificaciones locales de la única sustancia extensa. Tal como la investigación de la cera mostró que esta podía tomar indefinidamente muchas formas, pero estas formas eran todas ellas modificaciones o ‘modos’ del único atributo de la extensión, así la sustancia corpórea en general, definida por el atributo de la extensión, puede modificarse indefinidamente en muchas formas” (1986, p. 133). Esta interpretación no deja de ser discutida y son posibles otras lecturas, algunas más recientes como la que presenta Zerbudis (2017), según las cuales para Descartes cada cosa del mundo puede ser considerada también una substancia.

## 2.

El rol epistemológico central del concepto de causa, en tanto paradigma explicativo de los fenómenos de la naturaleza, tiene su origen, como ya he mencionado, en la doctrina aristotélica de las cuatro causas. Sería redundante explayarse aquí sobre dicha teoría; la exposición que el propio Aristóteles desarrolla en el segundo libro de la *Física* es por demás conocida (Cfr. *Phys. B*, 194b16 y ss.). Si bien la noción de causa sigue siendo fundamental en las explicaciones a las que aspira la ciencia moderna en sus inicios, como se lee en la carta de Descartes citada más arriba, sí es preciso remarcar que no posee las mismas características con las que la entendía Aristóteles o con las que la entendieron los escolásticos. Cualquier aproximación a la concepción de causa que adoptan los autores de la modernidad temprana deberá realizarse en el marco de la crítica o el rechazo al que son sometidos durante el siglo XVII gran parte de los conceptos heredados de la tradición aristotélico-escolástica. Crítica o rechazo que, por supuesto, no son absolutos ni inmediatos, sino que en buena medida se dan en el mismo lenguaje filosófico del que esos conceptos forman parte e implica nociones que continúan presentes a lo largo del tiempo, con mayor o menor fuerza pero sin desaparecer completamente del nuevo paradigma en formación.

Kenneth Clatterbaugh (1999, p. 15) considera diez aspectos constitutivos del concepto aristotélico original de causa que la modernidad progresivamente va rechazando. Si bien no parece ser su intención sostener que a partir de Hume haya desaparecido el problema de la causalidad en las ciencias naturales, establece 1739, año de publicación de *A Treatise of Human Nature*, como momento en el que esos aspectos son finalmente dejados de lado.<sup>7</sup> Lo cierto, y lo que aquí interesa, es que, en el momento en el que escribe, Descartes maneja cierta noción de causa que si bien no es la misma que han sostenido sus predecesores, muestra tanto elementos en común como diferencias con aquella. En particular, se verá que aspectos tales como el requerimiento de que *algo* sea comunicado de la causa al efecto, que la forma preexista en la causa (o al menos, como en Descartes, que la causa posea tanta o mayor realidad efectiva que el efecto), que causa y efecto estén necesariamente vinculados, que sean posibles deducciones causales y que Dios sea la primera causa eficiente del todo son rasgos de la causalidad que se mantienen en la concepción cartesiana.

De los elementos considerados por Clatterbaugh y que en tiempos de Descartes ya han perdido valor explicativo, al menos en el ámbito de la filosofía natural, el que se presenta como fundamental y a la vez más notorio es el del cuádruple modelo causal aristotélico, que es simplificado en favor de otorgarle mayor relevancia a la causa eficiente. No se trata, por supuesto, de un abandono total de las otras tres causas; de hecho, parece más bien que solo entra en debate la posibilidad de conocerlas. De lo que se trata, en todo caso, es de la convicción de que para comprender los fenómenos de la naturaleza en el marco del creciente mecanicismo lo que interesa realmente es la causa eficiente.

---

<sup>7</sup> Wallace (1972, p. 244-245) muestra que una o varias de las cuatro causas aristotélicas pueden encontrarse en los ejemplos de explicación científica expuestos por Nagel (2006, p. 35 y ss.) a mediados del siglo XX.

En los párrafos siguientes intentaré realizar un mínimo esbozo de esta transformación que sufre la doctrina de las cuatro causas para, de este modo, llegar a lo que podemos considerar es el punto de partida del modelo causal de Descartes.

A propósito de la causa final, la posición que encontramos en Descartes es clara a la luz del intercambio que entabla con Pierre Gassendi a raíz de las objeciones que este realiza a las *Meditaciones Metafísicas*. En la cuarta meditación, en la que trata el tema de la falsedad y el error, Descartes expresa

Sabiendo bien que mi naturaleza es débil y limitada en extremo, y que, por el contrario, la de Dios es inmensa, incomprendible e infinita, nada me cuesta reconocer que Dios puede hacer infinidad de cosas cuyas causas sobrepasan el alcance de mi espíritu. Y basta esta razón sola para persuadirme de que *todas esas causas, que suelen postularse en virtud de los fines, de nada valen en el dominio de las cosas físicas; pues no me parece que se pueda, sin temeridad, investigar los impenetrables fines de Dios* (Cuarta meditación, p. 47; AT VII, 55; AT IX-1, 44; el subrayado es mío).

Gassendi objeta a Descartes que

Tratándose de Dios, es de temer que así rechacéis el principal argumento que, por razón natural, puede probar la sabiduría de Dios, su potencia, su providencia y hasta su existencia misma. Pues, por no hablar de la muy convincente prueba que puede tomarse de la consideración del universo, los cielos y sus otras partes principales, ¿de dónde sacaréis mejores argumentos para probar a Dios, que de la consideración del buen orden, proporción y economía de las partes en cada género de criaturas, ya sean animales, ya hombres, ya esa parte de vos mismo que lleva impresa la imagen de Dios, y hasta vuestro mismo cuerpo? (*Quintas objeciones*, p. 247; AT VII, 309).

Y en la respuesta leemos

Todo lo que decís luego acerca de la causa final debe ser referido a la causa eficiente. Así, por la admirable disposición de las partes en las plantas, los animales, etc., es justo admirar la mano de Dios que así las ha dispuesto, y por *el examen de la obra es justo conocer y glorificar al obrero, pero no tratar de adivinar con qué fin ha creado cada cosa* (*Respuestas a las quintas objeciones*, p. 295; AT VII, 374; el subrayado es mío).

Queda claro que lejos de rechazar la existencia de algo como una causa final, Descartes niega la posibilidad de investigarla, ya que tal cosa es incognoscible para el limitado entendimiento humano, incapaz de comprender los impenetrables fines del creador.<sup>8</sup> De todas formas, en el marco del mecanicismo cartesiano, parece necesario que dicha causa final lo sea del mecanismo como un todo y no de los objetos individuales.

En cuanto a la causa material, Clattergaugh sostiene que Descartes no dijo mucho y se limitó a reconocer que la causa material de algo es la materia de la que está compuesto (Cfr. 1999, p. 19). No es obvio de todas maneras que haya que entender, tal como señala este autor, a la materia cartesiana como causa material en el sentido

---

<sup>8</sup> Vale aquí recordar la distinción que hace Descartes en *Principios* I, §19 acerca de que, si bien es posible concebir y conocer las perfecciones de Dios, no es posible comprenderlo en su totalidad.

aristotélico-escolástico, cosa que supondría la necesidad de una causa formal que permita la constitución de un compuesto.

En *El mundo* Descartes presenta su concepción de la materia como pura extensión. Allí expone que tanto los elementos como las cualidades como todas las formas imaginables de los cuerpos pueden ser explicadas “sin que sea preciso a tal efecto suponer en su materia ninguna otra cosa más que el movimiento, el tamaño, la figura y la disposición de sus partes” (*El mundo*, V; AT XI, 26). En el mismo sentido en *Principios II* afirma que “la naturaleza de la materia o del cuerpo tomado en general, en modo alguno consiste en que sea una cosa dura, o pesada, o con un color, o de cualquier otro modo que afecte nuestros sentidos, sino que la naturaleza del cuerpo solamente reside en ser una substancia extensa en longitud, anchura y profundidad” (*Principios II*, §4; AT VIII, 42; AT IX-2, 65). En este mundo enteramente material que postula Descartes la extensión constituye la naturaleza y la esencia del cuerpo, la cualidad principal, presentando de este modo una noción, por así decirlo, más cercana a la de forma (Cfr. *Principios I*, §53; AT VIII, 25; AT IX-2, 48).

Vale, entonces, notar que más interesados en la causa material parecen haber estado los filósofos adscriptos al atomismo como el ya mencionado Gassendi. En sus objeciones, Gassendi pretende atribuir a la causa material el “axioma” según el cual “nada hay en el efecto que antes no se encuentre en la causa”. Descartes rechaza tal pretensión afirmando que “es imposible concebir que la perfección de la forma preexista en la causa material, más bien que en la eficiente” (*Respuesta a las quintas objeciones*, p. 290; AT VII, 366). Más aún, algo que bien podemos suponer acerca del rechazo de Descartes a la noción de causa material sostenida por un atomista como Gassendi, es que el atomismo haría de las causas materiales algo tan imposible de conocer como las causas finales ya que es imposible concebir una porción de materia indivisible. La noción cartesiana de materia como pura extensión parece más plausible de sostener en este sentido, aunque, tal como es descrita en *Meteoros*, su pretensión no es mucho menos conjetural que la de los atomistas (Cfr. *Meteoros*, p. 180; AT VI, 233). En cualquier caso queda claro que la causalidad eficiente es para Descartes la de mayor importancia; tal es así que, como se lee en la citada respuesta a Gassendi, posee incluso la mayor perfección que necesariamente preexiste en la causa.

En esta progresiva simplificación del modelo causal aristotélico, al considerar ahora las causas formal y eficiente, es necesario tener en cuenta la crítica que, en especial Descartes, realiza a los conceptos filosóficos de la escolástica; en particular el rechazo de la noción de forma substancial.

Si seguimos a Robert Pasnau (2004) encontramos que ya desde Tomás de Aquino la forma substancial no se agota en aquello que hace que la cosa sea lo que es, en el  $\tau\acute{o}\nu\ \epsilon\acute{\iota}\nu\alpha\iota$  aristotélico (Cfr. *Phys. B*, 194b25), sino que además de la forma, le es inherente cierto poder causal que queda asociado a la causa eficiente. Pasnau afirma que “los filósofos escolásticos transformaron la noción de lo que una forma es, reemplazando lo que para Aristóteles era un modo de explicación funcional con algo mucho más parecido a una causa eficiente interna” (2004, p. 32). No es extraña esta interpretación ya que cuadra muy bien, por ejemplo, con la física del estagirita, la idea de que el movimiento de cuerpos viene dado por su propia naturaleza. Para avalar lo que afirma, este autor cita a

Tomás de Aquino, a Jean Buridan, a Guillermo de Ockham y especialmente a Francisco Suárez. De este último alude a un pasaje de las *Disputationes Metaphysicae* en el que el jesuita español sostiene que

la agregación de múltiples facultades o formas accidentales en un sujeto substancial simple no basta para la constitución de una cosa natural... se requiere una forma [la forma substancial] que sea como la que preside a todas aquellas facultades y accidentes, y la fuente de todas las acciones y movimientos naturales de dicho ente, y en la que tenga su razón y cierta unidad toda esa variedad de accidentes y potencias (DM 15.1.7).

Pasajes como el citado le permiten a Pasnau dar cuenta de dos aspectos de la forma substancial: el que denomina *concreto*, asociado a la causa eficiente y al que he hecho referencia en el párrafo anterior, y el que denomina *metafísico*, asociado a la función y que no es otra cosa que la original forma aristotélica. Al considerar estos dos aspectos le es posible explicar cómo los escolásticos lograron explicar la substancia en su totalidad: por un lado indicando aquello que hace que la cosa sea tal o cual cosa individual y con tales características esenciales, y por el otro dando cuenta de aquello que es causa de sus propiedades accidentales (Cfr. 2004, p. 34 y ss.).

Los modernos raramente se detuvieron a hacer un análisis explícito o un intento de refutar la noción de forma substancial. Parece más bien que dicho concepto simplemente fue dejando de usarse, al entenderse que en el contexto de la nueva ciencia que se estaba formando, no lograba explicar lo que pretendía, sino que por el contrario, representaba un elemento totalmente incognoscible, en un momento en el que, por una parte, las matemáticas se constituían como modelo de conocimiento verdadero y, por otra parte, a partir de la observación y la experimentación se llegaba a mejores resultados para comprender la naturaleza.

De todas formas, Descartes en una extensa carta a su discípulo Henricus Regius, en la que lo reprende por algún exceso en su defensa del cartesianismo y le da una serie de indicaciones acerca de cómo manejarse en sus críticas a los escolásticos, aborda la cuestión de la forma substancial.<sup>9</sup> En un principio afirma, como ya lo ha hecho en *Meteoros* (p. 184; AT VI, 239), y esta es una de las recomendaciones a Regius, que

las llamadas formas substanciales y cualidades reales no deben ser molestadas en sus antiguos territorios. Hasta ahora, ciertamente, no las hemos rechazado absolutamente, solamente hemos afirmado que no las necesitamos para explicar las causas de las cosas naturales. Pensamos que nuestros argumentos serán comentados sobre la base de que no dependen de esta clase de supuestos oscuros e inciertos (*Carta a Regius, enero de 1642*; AT III, 500; CMSK, 207).<sup>10</sup>

<sup>9</sup> En Hattab (2009) puede encontrarse un desarrollo mucho más amplio de la crítica de Descartes a la forma substancial escolástica. El punto de partida de la autora es la misma carta a Regius que expongo aquí. En general en los textos de Hattab (2000, 2007, 2009) y en Schmaltz (2008) se encuentra desarrollada la influencia de los escolásticos, las continuidades y rupturas con ellos, en el pensamiento de Descartes.

<sup>10</sup> Al igual que en las siguientes citas de esta carta, la traducción la he realizado del inglés con el texto en latín a la vista.

Sin embargo unas páginas más adelante, Descartes agrega dos argumentos para rechazar la noción bajo crítica. En el primero se dirige al aspecto formal de la forma substancial, considerándola como una substancia<sup>11</sup> sostiene que

Es inconcebible que una substancia venga a la existencia sin ser creada *de novo* por Dios (...) Esto es confirmado por el ejemplo del alma, la cual es la verdadera forma substancial del hombre. Por la única razón de ser una substancia, se piensa que el alma es instantáneamente creada por Dios. Pero desde que las otras *formas* no se piensa que sean creadas de esta manera, sino que emergen de la potencialidad de la materia, no deben ser vistas como substancias (ídem; AT III, 505; CMSK, 208).

Descartes considera el alma humana como forma substancial del hombre, pero se niega a que haya formas substanciales en el mundo material. A juzgar por el comentario anterior, es claro que considera que no hay formas substanciales de las diversas formas o modos en los que se diversifica la substancia corpórea.<sup>12</sup> Puesto en otros términos, hay aquí un rechazo a la noción aristotélica de forma como algo diferente de la materialidad de las cosas, esto es, del movimiento, la figura y el tamaño de sus partes. En cualquier caso, la crítica de Descartes aquí parece adolecer del inconveniente de estar formulada desde lo que él entiende por substancia, y no advirtiéndolo que para los escolásticos las diversas cosas del mundo, los individuos, son identificadas como substancias creadas.

El segundo argumento se dirige al aspecto causal de la forma substancial y es el que resulta más relevante para este trabajo. Alega Descartes que las formas substanciales

fueron introducidas por los filósofos solamente para dar cuenta de las acciones propias de las cosas naturales, de las cuales se suponía eran principios y fundamentos (...) Pero *ninguna acción natural puede ser explicada por estas formas substanciales*, todos sus defensores admiten que están ocultas y que no las entendemos a ellas en sí misma. *Si ellos dicen que alguna acción procede de una forma substancial, es como si dijeran que procede de algo que no entienden*; lo cual no explica nada. Es así que estas formas no son introducidas para explicar las causas de las acciones naturales (ídem; AT III, 506; CMSK, 209; el subrayado es mío).

Descartes entiende el sentido causal de la forma substancial, pero como es de esperarse, señala el evidente defecto que cometen quienes hacen uso de dicha noción: intentan explicar algo a partir de lo que realmente no conocen. Las formas substanciales escolásticas no están ni cerca de ser aquellos principios claros y distintos en los que debe fundarse el conocimiento, por el contrario, están más cerca de ser una vaga conjetura acerca de algo que podría dar cuenta de las acciones propias de las cosas materiales. Su conocimiento falla no solo ante cualquier intento de deducción, cosa quizás obvia, sino también ante la intuición, que Descartes define como “una concepción del puro y atento

<sup>11</sup> Pasnau afirma que es errónea la interpretación de Descartes de la forma substancial escolástica como una substancia; de todas formas en la *Disputación XV* de Suárez se encuentra que se refiere a la forma substancial como una *substancia parcial* (DM XV.1.6).

<sup>12</sup> La ontología cartesiana es compleja y a veces se hace difícil comprender de qué manera cobran identidad los objetos individuales en la substancia extensa (Cfr. *Principios I* §§48-64; Chappell, 997).

espíritu, tan fácil y distinta, que no quede en absoluto duda alguna respecto de aquello que entendemos” (*Reglas III*; AT X, 368).<sup>13</sup>

### 3.

A partir de lo expuesto en el apartado anterior es posible formular con más precisión el problema al que Descartes, o en buena medida todo autor moderno que rechaza la noción de forma substancial, debe dar una respuesta: si junto al abandono de la forma substancial cae también el agente de la causa eficiente, cómo habrá de entenderse la relación causa-efecto entre los cuerpos que, como he señalado más arriba, continúa siendo fundamento del conocimiento científico.

En lo que sigue, al tratar de dar una interpretación convincente de la respuesta cartesiana al problema planteado, esto es, la noción cartesiana de causa segunda, será necesario tener siempre presente el párrafo 36 de la segunda parte de los *Principios*, en el que Descartes indica las dos maneras en que hay que entender la noción de causa a la vez que señala varios aspectos que serán cruciales a la hora de dar una respuesta al problema. Sostiene en dicho párrafo

Después de haber examinado la naturaleza del movimiento es preciso que consideremos su causa. Puesto que puede ser considerada en dos formas, iniciaremos su estudio por la primera y más universal de ellas, esto es, por la causa general de todos los movimientos que son en el mundo. Consideraremos, a continuación, la otra, esto es, la razón de que cada parte de la materia adquiera un movimiento que antes no tenía. En relación con la primera causa del movimiento, me parece que es evidente que no es otra que Dios, quien en razón de su omnipotencia ha creado la materia con el movimiento y con el reposo y que ahora conserva en el universo, mediante su concurso ordinario [*conours ordinaire; concursum ordinarium*], tanto movimiento y reposo como el producido al crearlo (...).

También conocemos que hay perfección en Dios no solo en razón de la inmutabilidad de su naturaleza, sino también porque obra de una forma que nunca cambia. De tal modo que no debemos suponer otros cambios en sus obras, si no se le desea atribuir inconstancia, que los cambios que nosotros apreciamos en el mundo (...). De donde se sigue que Dios conserva en la materia la misma cantidad de movimiento, puesto que ha movido de formas diversas las distintas partes de la materia, cuando las ha creado, y puesto que las mantiene a todas ellas de igual manera y siguiendo incesantemente las mismas leyes que ha hecho observar en su creación (*Principios II*, §36; AT VIII 61; AT IX, 83).

A partir del pasaje citado tenemos, entonces, que para Descartes el concepto de causa se presenta abarcando dos aspectos diferentes de la realidad: como causa primera, o general, y como causa secundaria, o particular tal como la llama en otros lugares adoptando terminología escolástica. Además de esta distinción es necesario, en el intento de aprehender la noción de causa eficiente que sostiene Descartes, tener en cuenta otros

---

<sup>13</sup> Cabría preguntarse si este rechazo a la noción de forma substancial por tratarse de algo oculto e incognoscible no choca con lo señalado antes acerca de que para Descartes el alma es forma substancial del hombre.

elementos que se encuentran en los textos cartesianos. Ciertas afirmaciones que habrá que considerar y con las que cualquier interpretación consistente deberá ser compatible, o al menos explicar de modo apropiado.

1. Al igual que en el texto citado, también en la primera parte de los *Principios de la filosofía* encontramos que “Dios es la verdadera causa<sup>14</sup> de todo lo que es o de todo lo que puede ser” (*Principios* I, §24; AT VIII, 14; AT IX-2, 34). Ya mucho tiempo antes de la publicación de los *Principios*, en una carta a Mersenne, ante la pregunta por el tipo de causa por la que Dios había establecido las verdades eternas,<sup>15</sup> Descartes respondía que “por la misma clase de causalidad que ha creado todas las cosas, es decir, como causa eficiente y total” (*Carta a Mersenne, 27 de mayo de 1630*; AT I, 151; CMSK, 25).<sup>16</sup>
2. Descartes deja en claro que Dios es inmutable, incluso en su obrar. La naturaleza no queda librada a un devenir caótico sino que por el contrario, la voluntad divina es sinónimo de orden. Y, debemos entender, esa voluntad se manifestó al momento de la creación, disponiendo de una vez y para siempre las leyes que habrá de obedecer lo creado. Concebir la posibilidad de que existan cambios azarosos implica atribuirle inconstancia a Dios.
3. Como he señalado al tratar el rechazo de Descartes a la cuádruple causalidad aristotélica, en la concepción cartesiana la materia es no es más que pura extensión. Y tal como es descrita en *Meteoros*, las cualidades de los cuerpos, lejos de pertenecer a algo tal como una forma substancial de los particulares, dependen del tamaño, la figura y el movimiento de las partes *materiales* de esos cuerpos. Esta concepción de la materia como partículas extensas se encuentra desarrollada tanto en *Meteoros* I (AT VI, 231) como en *El mundo* V (AT XI, 24) y en *Principios* II, §§22-23 (AT VIII, 52; AT IX-2, 75). En este marco no es posible pensar que en los individuos haya tal cosa como poderes causales ocultos. Es justamente el rechazo a la dimensión causal de la forma substancial escolástica lo que no deja lugar a la posibilidad de postular la existencia de dichos poderes.
4. Sin pretender igualar la tradicional forma aristotélica con el concepto de realidad efectiva,<sup>17</sup> podemos entender que para Descartes en la causa debe encontrarse en igual o mayor medida lo que luego se encontrará en el efecto, siguiendo así en este punto el antiguo modelo causal. En las *Meditaciones* sostiene que “es cosa manifiesta, en virtud de la luz natural, que debe haber por lo menos tanta realidad en la causa eficiente y total como en su efecto: pues ¿de dónde puede sacar el efecto su realidad si no es de la causa? ¿Y cómo podría esa causa comunicársela, si no la tuviera ella misma?” (*Tercera meditación*, p. 35; AT VII, 40; AT IX-1, 32). Este principio causal se constituye,

<sup>14</sup> En la edición en francés de los *Principios* en lugar de *causa verdadera* [*vera est causa*] dice autor [*est l'auteur*].

<sup>15</sup> Vale recordar que en *Principios* I, §48 afirma que las cosas creadas son o cosas o verdades eternas.

<sup>16</sup> La traducción la he realizado del inglés con el texto en latín a la vista.

<sup>17</sup> Clatterbaugh, por ejemplo, sostiene que no hay una marcada distinción entre los términos *realidad*, *perfección*, *forma* y *causa formal* para Descartes, aunque prefiere los dos primeros para evitar connotaciones aristotélicas o escolásticas (1999, p. 20).

entonces, como condición necesaria para que pueda establecerse una relación causa-efecto (Clatterbaugh 1999, p. 21).

5. En la misma carta a Regius en la que rechaza las formas substanciales, Descartes expresa que “las formas esenciales tal como las explicamos nosotros, dan razones manifiestas y matemáticas de las acciones naturales” (*Carta a Regius, enero de 1642*; AT III, 500; CMSK, 207). A continuación remite a la exposición que hace en *Meteoros* (III, p. 239; AT VI, 249) acerca de cómo las cualidades propias de la sal pueden ser explicadas a partir de considerar a la materia como partículas de diferentes formas y tamaños.

En una carta a Vopiscus Plempius, un médico holandés que le había hecho llegar algunas objeciones a lo expuesto en los *Meteoros*, Descartes manifiesta que “las cosas que digo en el primer capítulo respecto a la naturaleza de la luz, la figura de las partículas de sal y la frescura del agua, no son mis principios, como parece objetar. Son más bien conclusiones probadas por todo lo que viene después (...) Los principios o premisas desde las cuales derivo esas conclusiones son solamente los axiomas de los cuales dependen las demostraciones de los geómetras”. Y agrega, a modo de ejemplo, que “del hecho que las partículas de sal sean oblongas e inflexibles, deduzco la figura cuadrada de sus granos y otras cosas obvias a los sentidos; quería explicar lo último por lo primero, como los efectos por sus causas” (*Carta a Plempius, 20 de diciembre de 1637*; AT I, 476; CMSK, 77). Más allá de la ambigüedad que se puede encontrar aquí a propósito de si los principios de la deducción son los axiomas de la geometría o la figura de las partículas de sal, tal como señala Helen Hattab (2009, p. 127 y ss.) inclinándose por los primeros, lo que nos interesa es que para Descartes existe en la filosofía de la naturaleza la posibilidad de realizar deducciones causales expresadas matemáticamente.<sup>18</sup>

6. Descartes identifica explícitamente las causas segundas con las leyes de la naturaleza. Así podemos leer en los *Principios* donde afirma que “a partir de que Dios siempre actúa de la misma forma, podemos llegar al conocimiento de ciertas reglas, a las que denomino leyes de la naturaleza, y que son las causas segundas [*causes secondes; causae secundariae ac particulares*] de los diversos movimientos que nosotros observamos en todos los cuerpos” (*Principios* II, §37; AT VIII, 62; AT IX-2, 84).

A primera vista se nos presentan ciertos inconvenientes al considerar los puntos (2) y (3), esto es, la inmutabilidad de Dios y la pasividad de la materia, en relación con la existencia de una segunda instancia causal en los modos de la substancia extensa. En principio, al tener en cuenta dichos puntos parece que deberíamos concluir que no hay tal cosa como una causa segunda y que la causa total y única es Dios. Pero, tanto del párrafo de los *Principios* citado más arriba como del punto (6), se infiere que para Descartes existe este género de causas en la substancia extensa con lo que se hace

---

<sup>18</sup> Aunque sin entrar a discutir, tal como lo hace Hattab, si los principios en los que se fundan pueden expresarse matemáticamente o no, la existencia de deducciones causales para Descartes es abordada con mayor extensión por Clatterbaugh (1999, cap. 3).

necesario brindar una interpretación que permita salvar la aparente aporía ante la que nos encontramos.

Habiendo llegado hasta aquí y antes exponer la posición que voy a tratar de defender, conviene, aunque sin entrar en mayores detalles, rechazar dos interpretaciones que fueran ya propuestas en el siglo XVII por continuadores del racionalismo cartesiano y que aún son consideradas por los especialistas.<sup>19</sup> Se trata, a decir verdad, de dos modelos interpretativos diferentes y que fracasan, según entiendo, en su pretensión de salvar uno u otro de los puntos (2) y (3) considerados más arriba, al ponerlos en relación con la existencia de causas segundas en la naturaleza.

El primero de estos modelos es el que hace de Descartes un ocasionalista, entendiendo esta doctrina como aquella que niega la existencia de poderes causales particulares en la substancia finita y postula que es Dios la causa inmediata de las alteraciones que se dan en dicha substancia. Malebranche, por ejemplo, se cuenta entre quienes han tomado a Descartes como un ocasionalista. Entre los comentaristas actuales, aunque con variantes, se encuentra esta interpretación en los trabajos de Garber (1992 y 2000), Des Chene (1996) y Ott (2009).

Daniel Garber<sup>20</sup> fundamenta su interpretación tomando como punto de partida la doctrina cartesiana de la creación o conservación continua. En los *Principios* manifiesta Descartes que “a partir de que ahora existimos, no se sigue necesariamente que seamos un momento después, si alguna causa, es decir, la misma que nos ha producido, no continúa produciéndonos, es decir, si no nos conserva” (*Principios* I, §21; AT VIII, 13; AT XI-2, 34; también en *Meditación Tercera* p. 41; AT VII, 49; AT IX-1, 36). Pero Garber va más allá de lo que leemos en la cita anterior y de lo expresado por Descartes en el párrafo 36 citado más arriba, y entiende que la tarea del Dios cartesiano es doble: no solo realiza la tarea de conservar el mundo en existencia sino que también, y lo postula como una segunda acción divina, conserva la cantidad de movimiento constante implicándose en la configuración que adoptan los modos de la substancia extensa en el tiempo. Esto último significa que es por su concurso que se mantiene constante la sumatoria de los movimientos de los modos que afectan a la substancia extensa. En este sentido Garber se pregunta cómo entiende Descartes que Dios (re)crea el movimiento de las cosas a fin de conservar dicha sumatoria. Y su respuesta es que lo hace “usando la misma noción primitiva que usamos para entender cómo movemos nuestros cuerpos. Esto es, mediante un impulso que mueve la materia a la manera en que nosotros podemos comprenderlo por medio de nuestra experiencia inmediata” (Garber 2000, p. 200). De aquí que este autor postule la intervención divina como causa segunda de los movimientos particulares.

Para afirmar lo anterior, Garber se basa en una carta de Descartes a Henry More de 1649 en la que manifiesta, precisamente, que no se le ocurre un modo en el que Dios o un ángel pueda mover la materia y que sea diferente del modo en el que somos

<sup>19</sup> Garber (1992), Clatterbaugh (1999), Hattab (2000 y 2007), Schmaltz (2008) y Ott (2009) hacen un exhaustivo repaso y crítica de diferentes intentos por dar una respuesta al problema de la causa segunda en Descartes, entre dichos intentos se cuentan los que aquí voy a tratar.

<sup>20</sup> Sigo aquí, para resumir la propuesta de este autor, lo expuesto en Garber (2000), que no difiere en lo substancial de lo que el mismo autor desarrolla en el capítulo nueve de su libro *Descartes' Metaphysical Physics* (1992).

conscientes de que movemos nuestro cuerpo (Cfr. AT V, 347; CMSK, 375). Dicho de otro modo, es la voluntad divina la que, por un lado, conserva el mundo en su existencia y, por el otro, conserva la cantidad de movimiento dotando de cierto impulso a las cosas.

Algo que es necesario considerar es si la conservación de la existencia y de la cantidad de movimiento se da en un mismo acto de la voluntad de Dios o si son actos diferentes de esa voluntad. Garber afirma que “parece haber una distinción entre Dios como sustentador [*sustainer*] del mundo, una causa substancial manteniendo las cosas en existencia, y Dios como causa del movimiento, una causa modal causando que los cuerpos tengan el movimiento particular que poseen, determinando, al menos en parte, sus modos” (2000, p. 200). De esto se sigue, como el mismo Garber menciona a continuación de lo citado, que los cuerpos son conservados en su existencia con o sin el impulso divino, siendo este segundo caso el reposo.

No obstante su lectura es compatible con la causalidad mente-cuerpo; de hecho, al exponer su interpretación, traza una analogía entre la concepción cartesiana de la causalidad mente-cuerpo y la causalidad entre cuerpos, que entra en conflicto con el postulado de la inmutabilidad de Dios, que sí bien no puede ser acusado de inconsistencia ya que lo que llamamos leyes no sería otra cosa que la manifestación siempre constante de su acción, debe intervenir mediante su voluntad para sostener el movimiento de las cosas. Choca así de lleno con lo expuesto por Descartes en *El Mundo*, donde afirma expresamente que del hecho de que Dios conserve la materia del mismo modo en el que la ha creado, se desprende que hay numerosos cambios en sus partes que no pueden ser atribuidos a la acción divina (Cfr. *El Mundo* VII; AT XI, 37).

Walter Ott (2009), por su parte, si bien coincide con Garber en cuanto al ocasionalismo de Descartes, rechaza la interpretación que realiza este autor haciendo notar que no concuerda con lo que leemos acerca de que lo que se conserva es la cantidad total de movimiento, “tanto movimiento y reposo como el producido al momento de crearlo” (*Principios* II, §36). Para Ott no hay dos tareas diferentes, cosa postulada por Garber, sino que mediante una sola acción Dios conserva tanto la existencia de la substancia como la cantidad total de movimiento. Esta acción es una (re)creación del mundo. Ott compara esta intervención de Dios creando el mundo continuamente con los cuadros [*frames*] de una película (Cfr. Ott 2009, p. 71 y ss.).

Al postular que debemos entender literalmente la afirmación cartesiana de que dejaríamos de existir si la causa que nos ha producido no sigue produciéndonos, es decir, como un reiterado acto de creación en la que las cosas en las sucesivas creaciones se encuentran en lugares diferentes pero contiguos, puede prescindir de la necesidad de postular la existencia de una cosa tal como un impulso divino que haga las veces de causa segunda. Ott evita de este modo ese doble acto de la voluntad divina que plantea Garber. Sin embargo, y esto es lo que aquí más nos interesa, no logra dar cuenta de lo afirmado por Descartes sobre las leyes de la naturaleza como causa segunda. De hecho, en este esquema la causalidad segunda no sería más que una mera apariencia producto de los límites del conocimiento humano; serían un engaño de la mente al igual que la percepción de movimiento continuo que se da al pasar velozmente los cuadros de una película. En lo que atañe a Descartes, habría que concluir que no advirtió que es superfluo hablar de causas segundas ya que hay una única causa eficiente que es Dios.

La propuesta de Des Chene (1996) se encuentra en línea con la de Garber al considerar a voluntad de Dios como causa del movimiento de los modos de la substancia extensa, aunque su eje es la noción de *fuerza* y lo que él llama el *problema de la fuerza*. Cita una nueva carta de Descartes a More en la que leemos que Dios está en todas partes “en virtud de su poder, porque ese poder se manifiesta a sí mismo, o puede manifestarse a sí mismo, en las cosas extensas” (AT V, 403; CMSK, 381). Luego de asociar el poder divino a la noción de fuerza, pasa a comparar la acción de Dios al sostener el mundo en existencia con las fuerzas que en estática sostienen un peso, fuerzas diferentes de las que, según refiere, para Descartes se dan entre los cuerpos en movimiento. Ya que, siguiendo a Garber, la acción divina por la que se sostienen las cosas en existencia es diferente de la acción que da lugar al movimiento, habrá que identificar esa fuerza con una *fuerza* de reposo, esto es, con una suerte de inercia. Y es lo que hace Des Chene cuando afirma que “[esta] fuerza de reposo comprende dos elementos: la inercia natural, presente en cada cuerpo esté moviéndose o no [...] y un elemento adicional presente en un cuerpo en reposo que resiste la acción de un cuerpo en movimiento” (1996, p. 335).

Si esta fuerza de reposo, estática, está asociada a la acción conservadora de Dios, según afirma Des Chene, las causas del movimiento habrán de ser postuladas como una acción divina diferente en la substancia extensa. Las fuerzas que dan lugar al movimiento, en tanto causas segundas, se presentan así como producto de una acción de Dios concurrente con su propia acción conservadora (1996, p. 335). Y ya que, como el propio autor lo menciona en la cita anterior, la fuerza de reposo es también una fuerza que resiste el movimiento, pareciera que nos vemos obligados a concluir que la acción divina por la que se mantiene el mundo en existencia se opone, resiste, a la acción divina por la que las cosas del mundo se mueven. Más allá de que de lo que se trata es de justificar la conservación de la cantidad total de movimiento, no parece razonable pensar la inercia como una restricción a la voluntad divina; pensarlo de ese modo parece suponer que la conservación del movimiento no es la propia voluntad de Dios sino una imposición ajena al Dios que mueve al mundo.

Además de lo señalado, el problema con la lectura de Des Chene es que, como bien hace notar Hattab, “no parece haber ninguna evidencia textual para indicar que Descartes dio mucha importancia a la distinción entre la concurrencia de Dios [en el mundo] y su conservación, mucho menos que haya relacionado esta distinción a una distinción paralela entre fuerzas” (2000, p. 105).

La segunda clase de interpretaciones que aquí rechazo es la que sostiene que Descartes postula que hay tal cosa como poderes causales o un principio de movimiento inherente a los modos de la substancia extensa, en particular asociada a la noción de fuerza. Es una interpretación que parece difícil de sostener ya que en el sistema cartesiano es claro que los particulares ya no son explicados a partir de nociones tales como la de *forma substancial* sino que se explican en base al tamaño, forma y movimiento de sus partes (Cfr. *Principios* II, §§23-27; AT VIII, 52-55; AT IX-2, 75-78).

Gueroult afirma que “fuerza, duración y existencia son una y la misma cosa (*conatus*) bajo tres diferentes aspectos, y las tres nociones son identificadas en la acción instantánea mediante la cual la substancia corpórea existe y dura, esto es, posee la fuerza que la puso en existencia y duración” (1981, p. 197). Al poner a la fuerza como otro aspecto de la substancia al igual que la existencia y la duración, Gueroult dota a la materia del

poder causal del movimiento de sus modos sin chocar con la doctrina cartesiana según la cual la substancia extensa es solo tamaño, forma y movimiento.

Similar es la propuesta de Gabbey (1981); este autor parte de la distinción que hace Descartes entre modo y atributo (*Principios* I, §§52-57) entendiendo que la diferencia entre unos y otros es que los modos están sujetos a variación mientras que los atributos no. Afirma que “movimiento y reposo, por ejemplo, son modos de un cuerpo desde este puede adquirir diferentes grados de movimiento o permanecer en reposo” y agrega que “[la] duración es un atributo ya que un cuerpo no puede tener ‘más o menos’ duración: existe o no existe” (Gabbey 1981, p. 237). De lo anterior concluye que la fuerza es un atributo de los cuerpos implicada por la duración de estos y postula dos diferentes aspectos de la causa segunda: *causa secundum esse*, como atributo de los cuerpos, y *causa secundum fieri*, como modo de los cuerpos.<sup>21</sup>

Con la distinción entre aspectos de la causa segunda, Gabbey evita la objeción más importante a lo sostenido por Gueroult: aceptar que la fuerza es un aspecto de la duración y la extensión implica que esta no puede ser variable. De todas formas, tal como señalan Garber (1992, p. 297) y Hattab (2000, p. 100), en el esquema de Gabbey no queda claro cómo es posible considerar dentro de la ontología cartesiana a la fuerza como un modo de la substancia extensa diferente de sus partes, que como ya he mencionado, son solo partículas materiales dotadas de tamaño, forma y movimiento.

#### 4.

En lo que sigue, al desarrollar la hipótesis que sostengo, me apoyaré en la interpretación de Helen Hattab (2000) en cuanto a que para Descartes el movimiento es causado de modo concurrente por la acción de Dios, en tanto causa primera, y como consecuencia de la existencia de leyes de la naturaleza en la materia, en tanto causa segunda. Adoptaré, de todas formas, una interpretación que va más allá de la de esta autora en cuanto a la manera en que debemos interpretar la *acción* de las leyes de la naturaleza; intentaré fundamentar de modo convincente mi posición en un análisis de la tercera ley del movimiento dada por Descartes y, sobre todo, de las reglas que la complementan.

Hattab sostiene que las leyes de la naturaleza que Descartes describe en la segunda parte de los *Principios*, al existir en la substancia material, y en principio por su sola existencia, determinan el movimiento de las partes de la materia. Su argumento comienza por separar la noción de fuerza, necesaria a las interpretaciones que he rechazado sobre el final del apartado anterior, del problema de la causalidad segunda. Justifica esta decisión señalando, nuevamente, que Descartes no designa a los cuerpos dotados, sea de manera permanente o temporal, de algún poder oculto como causa segunda sino a las leyes. En su apoyo hace notar que para los autores de la época las causas segundas no necesitan ser la última fuente de las fuerzas que causan un efecto.<sup>22</sup>

---

<sup>21</sup> El origen de esta distinción entre *causa secundum esse* y *causa secundum fieri*, según el autor, se encuentra en Tomás de Aquino.

<sup>22</sup> Hattab fundamenta su afirmación señalando que tanto para Francisco Suárez como para otros autores jesuitas de la época la fuente de toda acción es Dios, que imprime su poder de acción en las substancias, pero no dejando por ello de considerar a las substancias como causas segundas (2000, p. 108).

A partir de considerar lo anterior, Hattab puede explicar la noción cartesiana de concurrencia entre la acción de Dios como causa primera y de las leyes como causa segunda retomando lo señalado por Descartes en una carta a Hobbes. En dicha carta podemos leer que “no es verdad que la causa eficiente del movimiento sea también la causa eficiente de la determinación del movimiento” (*Carta a Mersenne para Hobbes, 21 de abril de 1641*; AT III, 355; CMSK, 178). En el mismo sentido podemos leer también el parágrafo 41 de *Principios II* en el que afirma que “la diferencia que existe entre el movimiento de una cosa y su determinación hacia un lado más bien que hacia otro lado... es la causa de que esta determinación pueda variar sin que algo hubiera cambiado en el movimiento” (*Principios II*, §41; AT VIII, 65; AT IX-2, 87).<sup>23</sup> De estos pasajes es posible inferir que Dios podrá ser causa eficiente del movimiento originario y total de la substancia extensa o de la cantidad total del movimiento, el punto (1) mencionado en el apartado anterior, mientras que las leyes de la naturaleza determinarán las cantidades de movimiento particulares de los modos de esa substancia y su dirección. Adoptando esta lectura se hace posible atribuir a Dios todo el impulso *inicial* capaz de poner en movimiento las partes de la materia y evitar comprometerse con la necesidad de encontrar fuerzas que den origen a los movimientos particulares de las cosas; tan solo es necesario postular *algo* que determine las características de estos movimientos, siempre que ese *algo* cumpla con el punto (4) de los señalados más arriba.

Ya que el origen del movimiento es Dios, la acción de la causa segunda solo consistirá en *modificar* cierta determinación interna de los modos o partes de la substancia material. Y considerando que esos modos no son más que extensión, forma y movimiento de una única materia, la acción de la causa segunda será, justamente, la que determine la cantidad de movimiento de esas partes de la substancia. Es decir, se evita el inconveniente de tener que apelar a la intervención divina como origen y causa de los movimientos particulares a la vez que se hace innecesario contar con una segunda fuente que les dé inicio. La aporía entre los puntos (2) y (3) mencionados en el apartado anterior queda en principio salvada y se hace compatible con el punto (6) allí expuesto.

Las tres leyes del movimiento de Descartes, en este sentido, concuerdan muy bien con esta lectura que realiza Hattab.

La primera ley postula que “cada cosa permanece en el estado en el que está mientras nada modifique ese estado” (*Principios II*, §37). La segunda que “todo cuerpo que se mueve tiende a continuar su movimiento en línea recta” (*Principios II*, §39). La tercera ley establece que “si un cuerpo en movimiento choca con otro más fuerte que él, no pierde nada de su movimiento; ahora bien, si encuentra otro más débil y que puede mover, pierde tanto movimiento como comunica al otro” (*Principios II*, §40).<sup>24</sup> Estas leyes fundamentales muy bien pueden ser leídas como expresión de la inmutabilidad de Dios

<sup>23</sup> Es decir, un cuerpo puede cambiar su dirección hacia uno u otro lado sin cambiar su cantidad de movimiento.

<sup>24</sup> Si bien en algunos aspectos la redacción de los enunciados de estas leyes presenta diferencias entre las ediciones latina y francesa de los *Principios*, no hay diferencias en lo conceptual. En *El mundo* también Descartes presenta estas leyes del movimiento, aunque invertido el orden entre las segunda y tercera ley, no hay diferencias conceptuales con lo expuesto en *Principios* (Cfr. *El Mundo VII*; AT XI, 37 y ss.). Un análisis más extenso de estas leyes del movimiento y su relación con la cosmología y otros elementos de la física cartesiana puede encontrarse en Gaukroger (2003, p. 114 y ss.).

postulada por Descartes en *Principios* II, §36, o más aún, cosa que hace Hattab, como derivadas necesariamente de dicha inmutabilidad (2000, p. 109).<sup>25</sup>

La propuesta de Hattab, según entiendo, si bien logra dar cuenta acertadamente del rol de las leyes de la naturaleza como causa segunda, no deja en claro cuál es el estatus ontológico de dichas leyes, a mi entender pasa por alto el carácter matemático de estas; ni explica cómo operan al *interior* de la substancia en la que, hay que suponer, se encuentran inscriptas.<sup>26</sup> Esta autora se limita a señalar que dichas leyes dependen tanto de la inmutabilidad de Dios como de la existencia de un mundo material (Cfr. 2000, p. 113) y agrega que no es la mera existencia de la materia la causa segunda sino que el mundo material, a través de las leyes del movimiento, logra capturar la naturaleza y la acción divinas (Cfr. *Ibíd.*, p. 115). No parece una respuesta del todo completa; queda tratar de dar una respuesta al problema de cómo hay que figurarse que actúan estas leyes. Si no es Dios interviniendo voluntariamente, si no son fuerzas ocultas esenciales en los cuerpos, ¿qué hace que estas leyes *funcionen*?

Una simple mirada al enunciado de las leyes postuladas por Descartes nos permite notar que se trata de leyes de conservación. Ya que para Descartes la materia tal como la concibe no puede agregar o quitar movimiento al total del movimiento con el que el creador ha dotado al mundo al momento de la creación, aquello que hace a un mundo ordenado debe garantizar que dicha cantidad se conserve. Es así que se hace necesario que los cuerpos no puedan variar arbitrariamente ni su propio movimiento ni el de otros cuerpos con los que interactúan.<sup>27</sup>

Las leyes primera y segunda prefiguran la que luego Newton presentará como su primera ley del movimiento; de hecho, para Alexandre Koyre se trata de la primera formulación “clara y distinta” del principio de inercia (2009, p. 149). Estas leyes establecen la permanencia de los cuerpos en reposo o en movimiento rectilíneo si no hay nada que los obligue a cambiar ese estado; digámoslo de este modo, si no hay una causa segunda que les haga cambiar la cantidad o dirección del movimiento que poseen. Para dar cuenta de la manera en que se presentan dichos cambios, Descartes postula la tercera ley con la que, de algún modo, trata de dar un parámetro que permita cuantificar la modificación en la cantidad de movimiento de cada cuerpo de los que interactúan.<sup>28</sup> Esa norma general que rige el choque entre cuerpos establece que, cuando uno más *fuerte* se encuentra con otro más *débil* provoca que este último cambie su estado; se produce una transferencia de cantidad de movimiento en la que el cuerpo más débil gana lo que el más fuerte pierde.<sup>29</sup>

---

<sup>25</sup> Cfr. *El Mundo* VII (AT XI, 43).

<sup>26</sup> Si no fueran inherentes al mundo, y fueran leyes meramente descriptivas, mal podrían ser consideradas causa segunda como hace Descartes.

<sup>27</sup> En principio cabría pensar que queda excluida de esta restricción la acción de la voluntad del ser humano sobre su cuerpo y de este modo su intervención en el mundo, es decir, solo afecta a la substancia extensa.

<sup>28</sup> La interacción se da siempre entre partes de la materia extensa entre las que hay contacto. Es así necesario tener en cuenta que el choque es la única interacción posible entre dos cuerpos, ya que para Descartes es impensada la acción a distancia, tal como aparecerá en la formulación de la ley de gravitación universal de Newton.

<sup>29</sup> El uso aquí de los términos *débil* y *fuerte* es por demás vago; qué quiere decir Descartes en uno y otro caso queda más o menos ilustrado a partir de leer los diferentes casos de choque entre dos cuerpos que postula en las reglas que trataré a continuación. En cualquier caso, puede decirse que se trata de la relación

A esta tercera ley no debemos tratar de entenderla solo en virtud de su enunciado general, del que a decir verdad poco se puede inferir, sino que debemos tener en cuenta también una serie de reglas que expone Descartes y que de alguna manera la complementan. Se trata de siete reglas en las que se describe el modo en que habrá de darse el choque entre dos cuerpos perfectamente rígidos, de la misma o de diferentes dimensiones y dotados de determinada cantidad de movimiento. A partir de postular diferentes casos de choque en los que cambian las dimensiones y las velocidades de los dos cuerpos que interactúan, tratándose de casos ideales de dos cuerpos aislados, Descartes detalla cómo variarán la dirección y la cantidad de movimiento de uno y otro.

En la primera regla trata el caso de dos cuerpos B y C de las mismas dimensiones y que se dirigen uno a otro con la misma velocidad y siguiendo direcciones opuestas. Según esta regla, ambos cuerpos rebotan en dirección opuesta a la que tenían originalmente, sin cambiar la cantidad de movimiento de ninguno de los dos. Descartes lo expresa señalando que “cada uno de ellos volverá hacia el lado de donde hubiera procedido sin perder nada de su velocidad y agrega que es así, pues no hay causa en razón de la que pudiera [cada uno de ellos] perder velocidad” (*Principios II*, §46; AT XIII, 68; AT IX-2, 89).

Movimiento y cantidad de movimiento se presentan como términos intercambiables y dependientes de la velocidad y de las dimensiones del cuerpo. Es posible deducir que esta relación es lineal, ya que “cuando una parte de la materia se mueve a doble velocidad que otra y esta segunda es de doble tamaño que la primera, debemos pensar que hay igual cantidad de movimiento en la más pequeña y en la mayor” (*Principios II*, §36; AT VIII 61; AT IX, 83). Como se hace manifiesto en el resto de las reglas, en el choque entre las *partes* de la materia solo pueden suceder una transferencia de velocidad, un cambio en la dirección de movimiento de uno o los dos cuerpos o ambas cosas. En cuanto al cambio de dirección, no es mayormente tematizado por Descartes; apenas menciona, según el caso, si los cuerpos en cuestión continúan con la dirección original, adquieren la dirección opuesta a la que traían o se mantienen en reposo. A lo sumo podemos inferir que el cambio de dirección es instantáneo y sin cambiar la velocidad de los móviles; no supone un instante en el que ambos cuerpos tengan velocidad cero. Lo central de estas reglas, por lo tanto, recae en la cantidad de movimiento y en cuanto movimiento es trasferido de un cuerpo a otro.

En la segunda regla se presenta el caso del choque de dos cuerpos, B y C, dotados de la misma velocidad, que se mueven en direcciones opuestas, siendo B de mayores dimensiones que C. Descartes postula que luego del choque, por tener B más fuerza que C,<sup>30</sup> B no podrá ser rechazado por C y ambos continuarán moviéndose en la misma dirección, la que tenía B originalmente. Ninguno de los cuerpos, vale recordar que se trata de cuerpos ideales, cambiará su velocidad, con lo que no hay transferencia movimiento (*Principios II*, §47; AT XIII, 68; AT IX-2, 89).

---

entre las dimensiones y las velocidades de dos cuerpos en la que uno, el más fuerte, tiene capacidad para afectar el estado del otro, el más débil, es decir, tiene más cantidad de movimiento.

<sup>30</sup> Aquí la noción de fuerza aparece como equivalente a la cantidad de movimiento. Vale destacar que por la misma concepción cartesiana de materia como pura extensión es imposible hacer depender la fuerza o el movimiento de la masa de los cuerpos, como en el caso de la segunda ley de Newton.

En la tercera, se presenta el caso similar a los anteriores, el choque de dos cuerpos B y C, pero aquí ambos son de igual dimensión, aunque B se desplaza a mayor velocidad que C. Al igual que en el caso anterior, B no podrá ser rechazado por C y ambos continuarán moviéndose en la misma dirección, la que tenía B originalmente. Pero aquí sí habrá transferencia de cantidad de movimiento. Descartes afirma que “sería necesario que B transfiera a C la mitad de velocidad en la que B excede a C, puesto que, desplazándose C ante él [es decir, delante de B], no podría desplazarse más rápidamente que él [es decir, B no podría desplazarse más rápidamente que C, que iría adelante]” (*Principios* II, §48; AT XIII, 68; AT IX-2, 89). Lo que esta regla indica es que ambos cuerpos adquirirán la misma velocidad. La cantidad de movimiento que pierde B y suma C es justo la necesaria para igualar el movimiento de ambos.

En la cuarta tenemos el caso en el que C se encuentra en reposo y es de mayores dimensiones que B. Descartes afirma que “puesto que B no podría impulsar a C sin moverle con igual velocidad que la que B tendría con posterioridad al choque, es cierto que C ofrecerá tanta resistencia cuanta mayor sea la velocidad con que B se dirige hacia C; por otra parte la resistencia de C ha de prevalecer a la acción de B, puesto que posee mayor tamaño que B”. A continuación expone Descartes, a modo de ejemplo, el caso en el que las dimensiones de C doblan a las de B, deduciendo que si “B tiene tres grados de movimiento, B no puede impulsar a C, que se encuentra en reposo, sino transfiere a C dos grados, a saber, uno por cada uno por cada una de sus mitades”. De allí concluye “que puesto que cada una de las mitades de C tiene tanta fuerza para permanecer en reposo como B tiene para impulsarlo, y las dos le oponen resistencia a la vez, es evidente que deben prevalecer para obligarle a retroceder” (*Principios* II, §48; AT XIII, 68; AT IX-2, 89).<sup>31</sup>

La séptima regla es, si se quiere, más compleja que las anteriores,<sup>32</sup> los cuerpos B y C se mueven en la misma dirección, encontrándose C delante de B y con una velocidad menor.

Se presentan tres casos posibles. Aquí los expongo utilizando simbología matemática, cosa que Descartes no hace, y que quizás permite apreciar mejor los tres diferentes casos que abarca:

$$\text{a) } \frac{C_D}{B_D} < \frac{B_V}{C_V} \quad \text{b) } \frac{C_D}{B_D} > \frac{B_V}{C_V} \quad \text{c) } \frac{C_D}{B_D} = \frac{B_V}{C_V}$$

en donde el subíndice <sub>D</sub> indica la dimensión del cuerpo y el subíndice <sub>V</sub> la velocidad. Siempre  $B_V / C_V$  es mayor que 1 indicando que la velocidad de B es mayor que la de C en los tres casos considerados en esta regla. Para el caso a) por ser la razón entre las dimensiones de C y B menor a la razón entre las velocidades de B y C, habrá transferencia de movimiento según Descartes. Para el caso b), por el contrario, al ser la primera razón mayor a la segunda, no habrá transferencia de movimiento aunque B rebotará en dirección opuesta la que tenía antes del choque. En el caso c) no solo hay transferencia de velocidad sino también un cambio en la dirección del movimiento de B. A decir verdad,

<sup>31</sup> Gaukroger brinda una extensa explicación de esta regla y la considera un antecedente que le permitirá a Newton sostener la equivalencia entre el reposo y el movimiento como estados de los cuerpos (2003, p. 126 y ss.).

<sup>32</sup> Las reglas quinta y sexta postulan casos similares a los de las tres primeras y no aportan conceptualmente ningún elemento que no esté ya contenido en estas.

en la exposición de esta regla, Descartes en un principio relaciona “aquello en lo que las dimensiones de B sobrepasen a las de C con aquello en lo que la velocidad de B sobrepase a la de C” con lo que pareciera que no habla de razones sino de diferencias entre las dimensiones y entre las velocidades. De todas formas, en los ejemplos que da a continuación cambia el modo de relacionar esas dimensiones y velocidades; ahora sí utiliza razones, cosa que parece tener más sentido, expresando que

si C es justamente dos veces mayor que B [esto es:  $C_D / B_D = 2$ ] y, por otra parte, la velocidad de B no es [más de] el doble de la de C [esto es:  $B_V / C_V < 2$ ], sino que es menor, B deberá retroceder sin aumentar el movimiento de C [caso b]; y si B tiene una velocidad superior en más del doble a la de C [esto es:  $B_V / C_V > 2$ ], no deberá retroceder, sino transferir tanto movimiento a C como el que fuera requerido para lograr que ambos se desplazaran con una misma velocidad después de producirse el encuentro entre B y C [caso a] (*Principios II*, §52; AT XIII, 69; AT IX-2, 92).

Para el caso en el que las razones entre las dimensiones y las velocidades de B y C son iguales, Descartes solo afirma que B transferirá movimiento a C y rebotará en dirección opuesta a la que venía; no menciona cuánta cantidad de movimiento habrá de transferirse, aunque es razonable suponer que, al igual que en el caso a), será lo suficiente para que ambos cuerpos adquieran la misma velocidad.

A partir de estas reglas es posible sacar algunas conclusiones parciales que nos permitirán comprender de qué manera las leyes de la naturaleza se constituyen como causas segundas en el sistema cartesiano. Esas conclusiones que, según entiendo, vale la pena destacar son:

1. De las reglas uno y dos se desprende que a igual velocidad de los móviles no hay transferencia de movimiento, sin importar las dimensiones de uno y otro, aunque uno o ambos pueden cambiar de dirección.
2. De la regla cuatro tenemos que para cuerpos de diferentes tamaños, la transferencia de movimiento no es posible de un cuerpo más pequeño a uno mayor que está en reposo. Lo mismo se cumple para el segundo caso de la séptima regla. Esto se presenta en consonancia con el enunciado de la primera parte de la tercera ley.
3. Considerando las reglas tres y siete concluimos que la transferencia de cantidad de movimiento será proporcional a la diferencia de velocidad entre los cuerpos. Esto es:  $M_T = (B_V - C_V) / 2$ . Donde  $M_T$  es la cantidad de movimiento transferida. Esto concuerda con el punto 1, ya que en el caso de iguales velocidades  $B_V - C_V = 0$ . A decir verdad, siguiendo lo expuesto por Descartes pareciera que siempre los dos cuerpos, cuando hay transferencia de movimiento, adquieren, luego del choque, igual velocidad.
4. El término *fuerza* aparece tanto asociado al reposo como al movimiento (Cfr. *Principios II*, §43; AT XIII, 66; AT IX-2, 88). En el reposo la fuerza parece ser proporcional a las dimensiones de los cuerpos; en el movimiento parece ser proporcional tanto a la velocidad como a las dimensiones de los cuerpos. En el primer caso podemos entender la noción de fuerza como un parámetro asociado a las dimensiones de un cuerpo y que establece la proporción del movimiento que otro moviéndose deberá transferirle para sacarlo de su

estado. En el segundo, tratándose la física cartesiana de una cinemática y no de una dinámica, como una manera más de referir a la cantidad de movimiento.

De estos puntos que he mencionado como conclusiones parciales es posible obtener algunas conclusiones más generales y más cercanas la pretensión de comprender el concepto de causa segunda en el mundo cartesiano. Del punto 2) se deduce que la relación entre las dimensiones de dos cuerpos es la que determina si habrá o no transferencia de movimiento, es decir, si un cuerpo al ser chocado por otro adquiere cierta cantidad de movimiento, que el que lo choca pierde, y cambia así su estado de movimiento o su velocidad. En la cuarta regla aparecen incluso proporciones según las cuales se trata de demostrar la imposibilidad de que un cuerpo mueva a otro de mayor tamaño. Es posible pensar aquí cierto intento de cuantificar las dos primeras leyes; poner al menos un parámetro *cuantificable*, las dimensiones del cuerpo, a partir del cual puede darse una transferencia de movimiento. A partir de lo mencionado en el punto 3) es posible contar ya con una medida de la cantidad de movimiento a ser transferida y concluir que esa cantidad solo depende de las velocidades de los cuerpos.

Es posible apreciar, entonces, que de las reglas formuladas por Descartes se desprende una posibilidad de cuantificar el movimiento transferido de un cuerpo a otro. Es decir, las interacciones posibles entre cuerpos pueden ser, al menos en principio, descriptas matemáticamente.

Que estas reglas en nada coinciden con la experiencia es algo de lo que Descartes es consciente y se excusa afirmando más de una vez que está tratando con cuerpos aislados, cosa inconcebible en la realidad física en la cual no es posible el vacío y la materia abarca la totalidad. En tal situación no se dan choques de dos cuerpos como en los casos ideales expuestos sino que la interacción se da entre infinidad de cuerpos (Cfr. *Principios* II, §53; AT XIII, 70; AT IX-2, 93). De todas formas, gracias a esta simplificación es que Descartes puede conjeturar una descripción de cómo funcionan las leyes de la naturaleza.

## 5. Conclusión

El universo cartesiano es, como señala Koyre, “la geometría realizada” (2009, p. 306). Y en tanto el universo es geométrico, en tanto la materia es pura extensión, también el movimiento debe ser entendido matemática o geoméricamente. Las reglas expuestas, reglas que vienen a aclarar de alguna manera la tercera ley del movimiento, no hacen sino establecer determinaciones matemáticas según las cuales habrán de darse las interacciones, choques, entre cuerpos. Esas interacciones estarán determinadas así por las leyes de la naturaleza que son, y así se hacen manifiestas, matemáticas. Es decir, las causas segundas no son para Descartes sino las razones matemáticas que la naturaleza, la substancia extensa, cumple inevitablemente.

A partir de lo expuesto me he permitido sostener que la *acción* de las leyes de la naturaleza en tanto causas segundas es una determinación o una restricción matemática del movimiento de las partes de la substancia extensa. Al comienzo del apartado anterior he expuesto, siguiendo a Helen Hattab, que las causas segundas actúan determinando la cantidad y la dirección del movimiento de las partes de la substancia extensa. En lo siguiente no he tratado sino de especificar el modo en que se da esa determinación. El

análisis de las reglas mediante las que Descartes complementa lo postulado en la tercera ley del movimiento hace plausible la afirmación de que el modo de acción de las leyes de la naturaleza, el modo en el que determinan el movimiento de los cuerpos, es fundamentalmente matemático.

Lo desarrollado concuerda con el requisito (5) que, según he planteado en el apartado tres de este trabajo, debe cumplir una interpretación satisfactoria del problema de la causalidad entre cuerpos. Esta interpretación admite la posibilidad de explicaciones causales y la posibilidad de expresarlas, al menos en principio, matemáticamente. Esta no es una cuestión menor ya que permitiría explicar el hecho de que Descartes, en textos como la *Dióptrica* o *Meteoros* o incluso en *Principios*, se permite apelar a la formulación de hipótesis a partir de las cuales considera posible llegar a conclusiones verdaderas y mensurables (Cfr. Wallace 1972, vol II, p. 11 y ss.; Clarke 1992, p. 260 y ss.).

La interpretación que he esbozado permite darle un sentido más fuerte tanto al reconocimiento de Descartes a Galileo por haber utilizado razones matemáticas en la investigación de la naturaleza como a su reproche por no haber buscado las causas del movimiento; no se reducen así dichas apreciaciones a meras cuestiones metodológicas. De aquí que sea posible además darle mayor relevancia a la física cartesiana expuesta en los *Principios* en la formación del nuevo paradigma filosófico-científico de la modernidad y la concepción del mundo que este paradigma supone.

Quedan, sin embargo, cuestiones que sería necesario ampliar en un trabajo posterior y más extenso sobre el tema. En primer lugar, si lo aquí expuesto, tal como creo, supone que las matemáticas son inherentes al mundo, en el caso de Descartes a la substancia extensa, entonces nos encontramos ante un realismo/platonismo matemático; resta por lo tanto indagar si lo expuesto concuerda con lo expresado por el propio Descartes en textos que aquí no he trabajado o si, por el contrario, entra en contradicción con el pensamiento cartesiano acerca de la realidad de las matemáticas. Las leyes de la naturaleza en la lectura que he expuesto parecen ser las matemáticas mismas, el status ontológico estará así ligado al status ontológico con el que Descartes considere a las matemáticas. En segundo lugar, considerar si lo tratado es compatible con las lecturas pluralistas de la substancia extensa (Cfr. nota 6 supra), es decir, si considerar a las partes materiales como substancias llega a invalidar o no la hipótesis que sostengo. Un tercer tema no analizado aquí es la incompatibilidad que se presenta entre los análisis del movimiento expuestos y la relatividad del movimiento que se desprende de la definición dada en *Principios* II, §25. Problema, a decir verdad, que parece inevitable para cualquier lectura no ocasionalista de la causa segunda. Un trabajo más amplio debería dar cuenta de estas cuestiones.

## 6. Fuentes primarias

Adam, Ch. y Tannery, P. (eds.) (1897-1910). *Œuvres de Descartes*. 12 v. Paris: Leopold Cerf.

Aristóteles (2015). *Física*. Introducción, traducción y notas de Guillermo R. de Echandía. Madrid: Gredos.

Aristóteles (2015). *Tratados de lógica*. Introducción, traducciones y notas de Miguel Candel Sanmartín. Madrid: Gredos.

- Descartes, R. (1977). *Meditaciones metafísicas con objeciones y respuestas*. Introducción, traducción y notas de Vidal Peña. Madrid: Alfaguara.
- Descartes, R. (1987). *Discurso del método, Dióptrica, Meteoros y Geometría*. Prólogo, traducción y notas de Guillermo Quintás Alonso. Madrid: Alfaguara.
- Descartes, R. (1989). *El mundo. Tratado de la luz*. Edición, introducción, traducción y notas de Salvio Turró. Barcelona: Anthropos.
- Descartes, R. (1991). *The Philosophical Writings of Descartes*. Vol. III. Translated by Cottingham, J., Stoothoff, R., Murdoch, D. and Kenny, A. Cambridge: Cambridge University Press.
- Descartes, R. (2002). *Los principios de la filosofía*. Traducción de Guillermo Quintás. Barcelona: RBA Coleccionables.
- Descartes, R. (2014). *Reglas para la dirección del espíritu. Investigación de la verdad por la luz natural. Discurso del método. Las pasiones del alma. Tratado del hombre*. Madrid: Gredos.
- Favaro, A. (ed.) (1896). *Le Opere di Galileo Galilei*. Vol. VI. Firenze: Tipografia di G. Barbera.
- Hobbes, T. (2010). *El cuerpo. Primera sección de los elementos de filosofía*. Edición y traducción de Bartomeu Forteza. Valencia: Pre-Textos.
- Spinoza, B. (2011). *Ética demostrada según el orden geométrico*. Introducción, traducción y notas de Vidal Peña. Madrid: Alianza.
- Suárez, F. (1960). *Disputaciones metafísicas*. Vol. II. Madrid: Gredos.

## 7. Bibliografía

- Chappell, V. (1997). "Descartes's ontology". En: *Topoi*, vol. 16, n° 2, pp. 111-127.
- Clarke, D. (1992). "Descartes' philosophy of science and the scientific revolution". En: John Cottingham (ed). *The Cambridge Companion to Descartes*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Clatterbaugh, K. (1999). *The causation debate in modern philosophy, 1637-1739*. New York: Routledge.
- Cottingham, J. (1995). *Descartes*. México: UNAM.
- Gabbey, A. (1981). "Force and inertia in the seventeenth century: Descartes and Newton". En: Stephen Gaukroger (ed.). *Descartes. Philosophy, Mathematics and Physics*. Sussex: The Harvester Press.
- Garber, D. (1992). *Descartes' metaphysical physics*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Garber, D. (2001). "How God causes motion". En: Daniel Garber. *Descartes Embodied. Reading Cartesian philosophy through Cartesian science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Gaukroger, S. (1995). *Descartes. An intellectual biography*. Oxford: Oxford University Press.

- Gaukroger, S. (2003). *Descartes' system of natural philosophy*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Gueroult, M. (1981). "The metaphysics and physics of force in Descartes". En: Stephen Gaukroger (ed.). *Descartes. Philosophy, Mathematics and Physics*. Sussex: The Harvester Press.
- Hattab, H. (2000). "The problem of secondary causation in Descartes: a response to Des Chene". En *Perspectives on Science*, vol. 8, n° 2, pp. 93-118.
- Hattab, H. (2007). "Concurrence or divergence? Reconciling Descartes's physics with his metaphysics". En *Journal of the History of Philosophy*, vol. 45, n° 1, pp. 49-78.
- Hattab, H. (2009). *Descartes on forms and mechanisms*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Koyre, A. (2009). *Estudios galileanos*. México: Siglo XXI.
- Nagel, E. (2006). *La estructura de la ciencia. Problemas de la lógica de la investigación científica*. Barcelona: Paidós.
- Ott, W. (2009). *Causation and laws of nature in early modern philosophy*. New York: Oxford University Press.
- Pasnau, R. (2004). "Form, substance, and mechanism". En *The Philosophical Review*, vol. 113, n° 1, pp. 31-88.
- Schmaltz, T. (2008). *Descartes on causation*. New York: Oxford University Press.
- Wallace, W. (1972). *Causality and scientific explanation*. 2 vol. Ann Arbor: The University of Michigan Press.
- Zerbudis, E. (2017). "Descartes sobre las substancias corpóreas". En: Ezequiel Zerbudis (comp.). *Poderees causales, tropos y otras criaturas extrañas. Ensayos de metafísica analítica*. Buenos Aires: Título.

# Reducción y emergencia

Paul Hoyningen-Huene<sup>1</sup>

Recibido: 27 de abril de 2018

Aceptado en versión definitiva: 20 de mayo de 2019

## 1. Introducción

Por reducción se entiende reconducir un área determinada del conocimiento a otra área específica del conocimiento. El área del conocimiento a la que se reduce es normalmente más elemental, y por lo tanto más simple, que el área que es reducida. La pregunta por la reducción suele ser formulada con respecto a las teorías o disciplinas científicas especializadas. De esta manera, el problema de si los seres vivos son en última instancia máquinas, que fue muy discutido durante la modernidad, también puede formularse con respecto a las disciplinas, esto es, en términos de si la biología es reducible a la física y a la química.

El concepto de emergencia se volvió importante en la década de 1920 en conexión con una problemática particular de la reducibilidad de la teoría de la evolución. El mecanicismo sostenía la reducibilidad completa de los fenómenos biológicos a la física, mientras que el vitalismo suponía fuerzas vitales específicas para los organismos vivientes, fuerzas que no estaban presentes en la naturaleza inanimada. Ahora bien, el mecanicismo no tuvo éxito en tanto no estaba claro cómo podía dar precisa cuenta de los fenómenos de la vida. El vitalismo tampoco tuvo éxito porque sus defensores no lograban esgrimir evidencia empírica convincente acerca de la diferencia postulada de la materia orgánica. En esta situación se buscó una posición que estuviera ubicada entre estos dos polos, una que mantenga el materialismo científicamente irrefutable pero que permitiría dar cuenta desde la posibilidad del desarrollo de la vida hasta la conciencia y la mente. Precisamente esto es lo que debía lograr el concepto de emergencia. También debía indicar el potencial de la materia para generar propiedades radicalmente novedosas a través de nuevas combinaciones que no pudieran ser predichas desde el conocimiento de las combinaciones anteriores. Este mismo problema ocurrió en la década de 1970 en filosofía de la mente: por un lado, la materialidad del cerebro parecía inevitable, pero, por otro lado, los fenómenos de la conciencia producidos por el cerebro parecían ser inmatrimales. Nuevamente el concepto de emergencia debía resolver la tensión.

---

<sup>1</sup> Leibniz Universität Hannover, Institute of Philosophy, Professor emeritus, Universität Zürich, Department of Economics, Lecturer.

Originalmente publicado como Hoyningen-Huene, Paul (2007). "Reduktion und Emergenz" en Bartels, Andreas; Manfred, Stöckler (eds), *Wissenschaftstheorie: ein Studienbuch*, Paderborn: mentis 2007, pp. 177-197. Traducido por Andrés A. Ilcic (ailcic@ffyh.unc.edu.ar).

✉ hoyningen@ww.uni-hannover.de

Hoyningen-Huene, Paul (2019). Reducción y emergencia. *Epistemología e Historia de la Ciencia*, 3(2), 112-132. ISSN: 2525-1198

(<https://revistas.unc.edu.ar/index.php/afjor/index>)



En las secciones que siguen discutiré primero las múltiples variedades de conceptos de reducción y de emergencia en las ciencias empíricas. Luego analizaré también los argumentos que son relevantes para los enunciados específicos de reducción o de emergencia.

## 2. Reducción

### 2.1 La idea de reducción

El concepto de reducción se utiliza, según el sentido en el que se lo entiende aquí, cuando se tienen dos áreas del conocimiento, teorías o disciplinas que aparentan ser diferentes y de las cuales una puede ser reducida o reconducida a la otra (del latín *reducere*: “reconducir”, “llevar de vuelta”). Ahora bien, no está claro qué significa este “reconducir” ya que es metafórico. Reconducir un burro al establo es más bien claro, mientras que, por ejemplo, reconducir la biología a la física y a la química no lo es. En la literatura se puede encontrar que el concepto de reducción es utilizado con diferentes acepciones. Para la discusión que sigue designaré como “A” al área *hacia* la que se reduce y como “B” el área *que es* reducida. Llamaré *reduccionismo* a una posición que mantenga la reducción de B a A. A la posición que considera imposible la reducción de B a A la llamo *antireduccionismo*. Los defensores de estas posiciones son *reduccionistas* y *antireduccionistas*, respectivamente. Utilizo todos estos términos como neutrales (en la literatura “reduccionista” y “reduccionismo” a veces llegan a tener el valor de insultos).

La pregunta es, entonces, qué significa que B sea reducida a A. En 2.2 distinguiré entre dos géneros de reducción fundamentalmente diferentes. En 2.3 distinguiré entre distintas clases de reducción, en especial de uno de los géneros. Allí trataré sobre los distintos contenidos que pueden tener los enunciados de reducción. En cambio, las distinciones de 2.4 aportan distintas cualificaciones del tema que pueden hacer referencia a contenidos particulares de los enunciados de reducción. Finalmente, en la sección 2.5 me ocuparé de los argumentos que son relevantes para la defensa de distintos reduccionismos y antireduccionismos.

### 2.2 Géneros fundamentales de reducción: reducciones sucesivas vs. internivel

La distinción entre reducciones sucesivas e internivel fue introducida en la filosofía de la ciencia a comienzos de los años 1970 (Cfr. Nickles, 1973). El primer caso trata de las reducciones que típicamente conciernen a la relación entre teorías *históricamente consecutivas*, que básicamente tienen el mismo universo de objetos, es decir, que se ocupan en esencia del mismo conjunto de entidades o fenómenos. Correspondientemente se las denomina reducciones *sucesivas* o *diacrónicas*. Ejemplos típicos son la reducción de la teoría de la relatividad especial a la mecánica clásica en el límite  $v \rightarrow 0$ , la reducción de la mecánica cuántica a la mecánica clásica en el límite de elevados números cuánticos o la reducción de la óptica física a la óptica geométrica en el

límite de grandes amplitudes de onda.<sup>2</sup> El concepto de reducción abarca en este caso tanto el significado de “reconducir” como el de “disminuir” en el sentido de una disminución y una simplificación. Por ejemplo, en la transición de la teoría de la relatividad a la mecánica clásica, el contenido de la primera disminuye masivamente ya que en la transición se pierden sus características particulares y novedosas. Claro que esto es intencional en tanto lo que se busca es determinar si las expresiones cuantitativas de la teoría de la relatividad especial efectivamente se acercan a las de la mecánica clásica para las velocidades que tienden a cero.

Las reducciones sucesivas pertenecen más al ámbito de trabajo de la física teórica, especialmente al de la física matemática, que al de la filosofía de la ciencia. Esto se debe a que la pregunta por si los enunciados cuantitativos de una teoría posterior, normalmente más compleja que la anterior, se transforman cuantitativamente al pasar la frontera hacia la teoría anterior, es una pregunta fundamentalmente matemática, de profundo interés para los científicos mismos. Los pasos fronterizos relevantes son, en parte, matemáticamente muy delicados y su tratamiento matemático riguroso corresponde a áreas especiales de la física matemática (Cfr., por ejemplo, Scheibe 1996; Scheibe, 1999; Primas, 1998). La mayoría de los físicos, incluidos los teóricos, suelen quedar satisfechos con consideraciones no muy rigurosas que, si bien hacen posible a la relación de límite, no la demuestran realmente.

En el segundo caso se trata de reducciones que conciernen a la relación entre *distintos ámbitos de objetos* y son las que más le interesan a la filosofía de la ciencia. Se la conoce como reducción *interárea, internivel o sincrónica*. Ejemplos típicos son los intentos de reducir la biología a la química y a la física, la química a la física, la óptica al electromagnetismo, la sociología a la psicología o lo mental a lo físico. La idea fundamental es que los elementos o los fenómenos de un campo B más complejo pueden ser producidos por los elementos o fenómenos del campo A relativamente más simple, de tal manera que B depende de A. Esta dependencia es la base para la pretendida reconducción de B hacia A y se la identifica con el concepto de *superveniencia*. Con este concepto se hace referencia a que solo puede haber una diferencia entre fenómenos B a causa de diferencias entre fenómenos A, esto es, que los fenómenos de B no tienen ninguna posibilidad propia de cambio independiente de A.<sup>3</sup>

¿Cómo es que surge la dependencia de los fenómenos B de los fenómenos A? En la mayoría de los casos, los objetos de B están formados por objetos de A. Los elementos de A y B están en una relación de partes y todo. Se suele hablar de *microreducción* (Cfr.

---

<sup>2</sup> Lamentablemente el lenguaje concerniente a la dirección de la reducción no está unificado. Los físicos tienden a decir que, en un cierto límite, la teoría más compleja se reduce a la menos compleja en el sentido de encogerse o achicarse. Así, la teoría de la relatividad *se reduce* a la mecánica clásica. Los filósofos de las ciencias tienden a pensar en términos de una relación de deducción y cambian la dirección de la reducción. Para ellos la mecánica clásica *puede ser reducida* a la teoría de la relatividad en el sentido de que la mecánica clásica puede ser derivada de la teoría de la relatividad.

<sup>3</sup> El concepto de superveniencia por lo tanto contiene dos elementos conceptualmente heterogéneos: uno es el de *covariación*, en tanto un cambio en B siempre está acompañado por un cambio en A (aunque no necesariamente en la otra dirección) y, por el otro, el de *determinación*, ya que los fenómenos de B están fijados por los fenómenos de A. Hay una extensa discusión acerca de las explicaciones formales de la superveniencia. En dichas explicaciones normalmente no se considera el elemento de la determinación sino que se explicita solamente el concepto de covariación (Cfr., por ejemplo, Hoyningen-Huene, 1996).

especialmente Hüttemann, 2004). En este caso pueden ocurrir múltiples niveles (de complejidad) jerárquicamente organizados como, por ejemplo, la secuencia de partículas elementales - átomos - moléculas - células - organismos multicelulares - poblaciones (por ejemplo, Oppenheim & Putnam, 1958). Claro que una diferencia entre, por ejemplo, moléculas solo puede darse en tanto haya una diferencia en su composición por parte de átomos diferentes o iguales. Las moléculas son, por lo tanto, supervenientes a los átomos. Sin embargo, la relación de determinación puede fundamentarse de otras maneras además de la relación parte-todo. Así, en la filosofía de la mente se discuten distintas posibilidades de reducción entre los reinos de lo físico y de lo mental que atribuyen la producción y la determinación de lo mental a lo físico sin necesidad de que se trate de una relación parte-todo.

La distinción (analítica) llevada a cabo aquí entre reducción sucesiva e internivel no debe dar la impresión de que las dos clases de reducción están estrictamente separadas en la realidad. De hecho, hay casos en los que las dos clases se encuentran entrelazadas y en los que, al menos a primera vista, la distinción lleva a que aparezcan contradicciones. Por ejemplo, el intento de llevar a cabo una reducción internivel de B a A puede indicar que la teoría de A debe ser desarrollada todavía más o que la teoría de B aceptada hasta el momento necesita correcciones. En este caso puede existir una influencia mutua del desarrollo de la teoría que reduce y de la reducida. Un claro ejemplo es el desarrollo de influencia recíproca entre la termodinámica y la mecánica estadística (Cfr., por ejemplo, Hooker, 1981, pp. 48-49).

### ***2.3 Clases de reducción internivel***

#### ***a) Reducción ontológica***

La reducción ontológica atañe a la pregunta por si la sustancialidad de los fenómenos B los distingue de los fenómenos A. Por ejemplo, la posición del reduccionismo ontológico de la biología a la física y a la química sostiene que los fenómenos biológicos son producto de los fenómenos físicos y químicos (ésta es la posición que toma la gran mayoría de los biólogos hoy en día). Una posición contraria, por ejemplo, es el antireduccionismo ontológico de la lógica a la psicología, que sostiene que las propiedades y las relaciones lógicas son producto de algo más que de relaciones y de propiedades psicológicas (esto es aceptado por prácticamente todos los lógicos contemporáneos). En relación al problema mente-cuerpo, las posiciones “dualistas” suelen hacer referencia a un dualismo ontológico, que no es otra cosa que una posición antireduccionista que sostiene que en esencia los fenómenos psíquicos son algo más que meramente físicos, que están “hechos” de algo más que de fenómenos físicos (solo una pequeña minoría de neurocientíficos, psicólogos y filósofos mantiene esta posición hoy en día). Claramente, la relación de reducción ontológica de B a A se da cuando los elementos de B están compuestos por los mismos elementos que los de A mientras que en la composición no entre en juego ninguna interacción que no esté ya en A, lo que se conoce como microreducción. De esta manera, según el conocimiento actual, la química es ontológicamente reducible a la física, en tanto las moléculas están compuestas de

átomos y las fuerzas relevantes para su composición son fuerzas físicas, lo que significa que no existen interacciones químicas específicas.

### ***b) Reducción epistemológica***

La reducción epistemológica atañe a la pregunta por si el conocimiento de los fenómenos de B se puede reconducir al conocimiento sobre los fenómenos de A. Normalmente en la discusión sobre la reducción ontológica se acepta la premisa de que el conocimiento sobre los fenómenos de B está contenido en las *leyes* (naturales) que rigen en B. De esta manera, por ejemplo, el reduccionismo epistemológico de la biología a la física y a la química sostiene que las leyes biológicas son redirigibles a las leyes de la química y de la física. A efectos de que esta reconducción se dé, se deben satisfacer dos condiciones que fueron llamadas condición de conectividad y de derivabilidad en un influyente trabajo de Ernest Nagel (Cfr. Nagel, 1961, p. 354). La *condición de conectividad* es necesaria, puesto que el vocabulario de B contiene conceptos que no ocurren en A. Por ejemplo, en la biología existe el concepto de hemoglobina, que no es ningún concepto físico ni químico. Cuando las leyes de B apelan a tales conceptos característicos de B, éstos deben poder ser reconducidos a las leyes de A, por lo que estos conceptos de B deben poder ser expresados en términos de conceptos de A. Se requieren también enunciados que señalen qué conceptos de A corresponden al concepto de B, por lo que esos enunciados se denominan *enunciados de correspondencia*. La condición de conectividad requiere la especificación de dichos enunciados.

Para lograrlo es necesario encontrar una expresión  $A^*$  lógicamente equivalente para un concepto  $B^*$  de B, expresión que solo puede ser compuesta de conceptos de A. Por ejemplo, el concepto de hemoglobina se puede expresar por medio de conceptos químicos, dando la fórmula estructural de la hemoglobina. La equivalencia lógica de  $B^*$  con  $A^*$  se puede expresar con el bicondicional de la lógica de predicados, esto es,  $B^* \leftrightarrow A^*$ . Con una expresión semejante se puede satisfacer la condición de conectividad. En la literatura se suele denominar a estos bicondicionales como “leyes puente bicondicionales”. Esto es un tanto engañoso ya que el estatus de los bicondicionales para expresar leyes no es nada claro. Por ejemplo, ¿es una ley de la naturaleza la identificación de la luz con las ondas electromagnéticas mediante la cual se satisface la condición de conectividad en la reducción de la óptica a la electrodinámica? Las leyes naturales no suelen involucrar expresiones de identificación sino que dicen algo sobre la conexión (legaliforme) de *diferentes* cantidades. Sea cual sea su estatus, las leyes de B pueden ser reformuladas por medio de conceptos de A a través de las oraciones de correspondencia bicondicionales, eliminando los conceptos de B en favor de los conceptos de A.

Que las leyes de B así reformuladas puedan ser llevadas a leyes de A no significa otra cosa que aquellas leyes están contenidas en las leyes de A. Este “estar contenidas” significa que las leyes de B son lógicamente deducibles de las leyes de A, exactamente lo que exige la *condición de deducibilidad*. Ahora bien, esta condición debe ser formulada con mayor precisión. Esto se puede ver en el hecho de que la reducción epistemológica debería mostrar que las leyes de B son *casos especiales* de las leyes de A. Por ejemplo, si las leyes de la herencia fueran en última instancia deducibles de la mecánica cuántica, entonces dichas leyes serían casos especiales de la mecánica cuántica, es decir que serían

expresiones que la mecánica cuántica involucra cuando se la aplica a una clase particular de sistemas que se autoreproducen. Para esto se necesitan como premisas de esta deducción no solo las leyes de la mecánica cuántica y los enunciados de correspondencia para los conceptos particulares de la genética, sino también la especificación del sistema sobre el que se pretende aplicar la mecánica cuántica.<sup>4</sup> En general la reducción epistemológica de las leyes de B a A se puede caracterizar de la siguiente manera:

De:

Leyes-A & enunciados de correspondencia bicondicionales para conceptos-B  
& especificaciones del sistema

se siguen lógicamente:

Leyes-B.

Tres puntos se pueden observar aquí. Primero, la adición de las especificaciones del sistema a las premisas de la derivación es esencial, de otro modo la derivación se vuelve trivialmente imposible. Obviamente, una ley no puede hacer afirmaciones sobre un sistema particular cuando no provee la información sobre qué sistema se trata. De hecho, muchos autores argumentan en base a esto en contra de la posibilidad de la reducción, aunque la posición antireduccionista que se justifica de esta manera no ilustra nada puesto que se mantiene trivialmente.

El segundo punto es que en la reducción epistemológica se trata de un caso de reducción de tipo (lo que en la literatura de habla inglesa se denomina como reducción “*type-type*”). Con esto se quiere decir que en los enunciados de correspondencia bicondicionales se identifican *propiedades-B* con *propiedades-A*. Las propiedades son generales, es decir que les corresponden a objetos (en el sentido más amplio de la palabra) de un *tipo* particular. Así, los enunciados de correspondencia asignan un tipo de objetos-B (a los que corresponde B\*) a un tipo de objetos-A (a los que corresponde A\*). El concepto opuesto (en inglés) a *type-type* es “*token-token*” (“*token*” designa a un ejemplar particular) y significa la correspondencia de un objeto *individual* de B a un objeto *individual* de A.

Tercero, en la literatura se suele asociar a la reducción epistemológica con una exigencia de explicación, esto es, la afirmación de que la derivación presentada arriba provee una *explicación* de las leyes de B. Esto suele suceder, pero de ninguna manera se da siempre así. Especialmente no es ese el caso cuando en un contexto determinado una parte del conjunto de premisas de la derivación no se consideran con *fuerza* explicativa sino que se las ve a ellas mismas como *necesitando* una explicación. Por ejemplo, puede ser el caso de que los enunciados de correspondencia bicondicionales, en caso de que se disponga de ellos, parezcan tan enigmáticos al punto que ellos mismos requieran una explicación. Esto puede ocurrir, por ejemplo, en el problema mente-cuerpo (Cfr., por ejemplo, Kim, 1998, pp. 95-96). Para la reducción epistemológica de los procesos

---

<sup>4</sup> En Hoyningen-Huene (1985, pp. 274-277), al igual que Nagel (1961, p. 434), identifiqué a las especificaciones del sistema como condiciones de contorno, lo que no es correcto. La especificación de una ecuación diferencial para una aplicación particular no se identifica con la consideración de las condiciones de contorno. Las condiciones iniciales y las de contorno brindan información que disminuye el conjunto de soluciones para una ecuación diferencial *dada*.

psíquicos a los neuronales se necesitan bicondicionales que aten a los estados psíquicos con sus correlatos neuronales. Ahora bien, *por qué* una configuración neuronal se correlaciona, por ejemplo, con una sensación de rojo, una sensación de azul o una sensación de cosquilleo, puede ser un misterio. Una reducción epistemológica que apele a esta clase de enunciados de correspondencia bicondicionales tan poco comprendidos no provee explicación alguna para los fenómenos-B.

### **c) Reducción explicativa**

La reducción explicativa (también denominada “explicación reductiva”) atañe a la pregunta por si los fenómenos-B pueden ser explicados por medio de los recursos de A. Como ejemplo, la posición de reducción explicativa de la biología a la física y a la química sostiene que los fenómenos biológicos pueden ser explicados físico-químicamente. La correcta aclaración del concepto de reducción explicativa claramente depende de qué es lo que se entiende por explicación. Si uno sigue el esquema de Hempel y Oppenheim de manera incondicional, de acuerdo con el cual una explicación consiste en una deducción desde leyes y las denominadas condiciones antecedentes (Cfr. Hempel, 1977, p. 6), el concepto de reducción explicativa colapsa con el de reducción epistemológica recién tratado. Ahora bien, el esquema de explicación de Hempel-Oppenheim no es válido para todos los tipos de explicación, por lo que el concepto de reducción explicativa se distingue del de reducción epistemológica. Por ejemplo, en las ciencias de la vida, muchas de las explicaciones que se consideran satisfactorias no poseen el grado de explicitud que exige el esquema Hempel-Oppenheim (Cfr., por ejemplo, Wimsatt, 1976, pp. 488-489). Tales explicaciones suelen estar basadas en un entendimiento a grandes rasgos de los factores causales, razón por la que les falta la diferenciación entre condiciones antecedentes y enunciados legales que es exigida por el esquema Hempel-Oppenheim. Una caracterización general de la reducción explicativa debe permanecer vaga o imprecisa puesto que tiene que dejar espacio para distintos tipos de explicaciones. En general se puede decir que la reducción explicativa implica encontrar un proceso, un mecanismo, una estructura o algo semejante en el nivel A que explique adecuadamente el fenómeno-B.

Desde un punto de vista abstracto, puede parecer plausible que solo se acepten explicaciones-A para fenómenos-B, tan pronto como éstas estén disponibles o puedan ser elaboradas. En realidad, esto no ocurre. El filósofo estadounidense Hilary Putnam propuso un ejemplo convincente de la vida cotidiana sobre este punto (Cfr. Putnam, 1975, pp. 295-296): se nos da una tabla de madera con dos orificios, uno de forma cuadrada de 2 cm de lado y uno de forma circular con 2 cm de diámetro, y una barra de madera con un perfil transversal cuadrado con caras de 1.9 cm. Lo que se pretende explicar es por qué la barra de madera no se puede hacer pasar por el orificio circular mientras que sí se lo logra hacer a través del orificio cuadrado. Para esto se recurre a la proporción geométrica de las figuras (la diagonal del corte transversal de la barra mide aproximadamente 2,69 cm, por lo que no puede pasar a través del agujero de 2 cm de diámetro) y la dureza conocida de la madera. En este contexto, la razón por la que la madera tiene esa dureza en virtud de su estructura molecular no es relevante ya que incluso otra realización de la dureza, si por ejemplo la barra fuera de metal o de vidrio,

llevaría al mismo resultado. El ejemplo señala que hay casos en los que, si bien la explicación reductiva es posible en principio, sería completamente inadecuada: recurrir a propiedades-B y a proporciones-B alcanza para completar la explicación buscada.

#### ***d) Reducción metodológica***

Conectada, aunque no idéntica, con la reducción explicativa está la reducción metodológica (o “procedimental”).<sup>5</sup> Le concierne la pregunta por si la investigación de los fenómenos-B debe realizarse por los métodos de investigación específicos para los fenómenos-A. Por ejemplo, la posición de reduccionismo metodológico de la biología a la física y a la química sostiene que los fenómenos biológicos solo pueden ser investigados por medio de métodos físicos y químicos.

Bajo esta forma fuerte y categórica, las exigencias para la reducción metodológica suelen ser inalcanzables. La razón está, en particular, en que las otras formas de reducción presuponen que un conocimiento específico del nivel B está disponible, sobre el que tiene lugar la reducción ontológica, epistémica o explicativa. La exigencia de la reducción metodológica impediría la creación de dicho conocimiento. De hecho, las exigencias para la reducción metodológica no suelen ser propuestas por los defensores de la reducción, más bien les es atribuida por quienes se oponen a la reducción.

#### ***e) Reducción funcional***

La reducción funcional concierne a la pregunta por si los fenómenos-B pueden ser identificados con ciertos fenómenos-A que tienen las mismas funciones que dichos fenómenos-B. En este caso, el concepto de función tiene un sentido amplio: se refiere en general a las condiciones que llevan a la aparición de fenómenos-B y a los efectos que surgen de ellos. Por ejemplo, la posición de la reducción funcional de la biología a la física y a la química sostiene que las sustancias definidas biológicamente, por caso un producto particular de una clase animal o vegetal, pueden ser identificadas con sustancias caracterizadas físico-químicamente que tienen en particular los mismos efectos que las sustancias definidas por medios biológicos. La relación entre reducción funcional y explicativa no se aclara en la literatura. Al parecer son idénticas en muchos casos, pero no en todos.

### ***2.4 Distinciones cualificativas***

Cada una de las posiciones de reducción discutidas en las secciones anteriores puede ser refinada todavía al tomar en consideración ciertos aspectos que hacen a distinciones que son relevantes en la práctica científica.

---

<sup>5</sup> En Hoyningen-Huene (1985, p. 272) todavía no había hecho una distinción entre reducción metodológica y explicativa, lo que ahora me parece un error.

### **a) Reducción eliminativa vs. retentiva**

La distinción entre reducción eliminativa y retentiva concierne a la pregunta acerca de lo que sucede con el integrante menos significativo de la reducción. En el caso de la reducción sucesiva se trata de la teoría antecesora, en tanto en algún sentido está contenida en la teoría sucesora. En el caso de la reducción internivel es el nivel superior B, ya que ahora queda reducido a A. ¿Se vuelve prescindible la teoría precursora (o el nivel superior B) después de una reducción exitosa y por lo tanto puede ser eliminada (reducción *eliminativa*)? ¿O la teoría precursora (o el nivel superior B) sigue jugando un papel en la ciencia (reducción *retentiva*)? Ambos casos ocurren de hecho. En general se puede decir que la parte menos significativa de la reducción puede continuar jugando un papel en la ciencia cuando sus descripciones para el campo correspondiente son lo suficientemente correctas y más económicas que las descripciones que puede aportar la parte más sustantiva de la reducción.

Consideremos ahora las reducciones sucesivas. La mecánica clásica constituye un ejemplo de reducción retentiva, en tanto la teoría de la relatividad especial es una teoría sucesora para grandes velocidades. Si bien desde la perspectiva de esta teoría sucesora la mecánica clásica es estrictamente falsa, continúa siendo utilizada en aquellos campos en los que las velocidades no son tan elevadas ya que para dichos casos provee enunciados cuantitativos lo suficientemente precisos.

Las reducciones internivel suelen ser retentivas debido a la razón ya mencionada de la economía. Incluso si por ejemplo la química pudiera reducirse completamente a la física, los conceptos y leyes químicos usuales seguirían siendo usados porque permiten enunciados más simples acerca de los hechos químicos relevantes que sus traducciones al vocabulario físico. Por esta razón, la preocupación de los representantes de una ciencia B, de la que se dice que puede ser reducida a una ciencia A por los representantes de ésta última, de que su área de trabajo B sería eliminada no tienen buen fundamento en su mayoría. Desde un punto de vista práctico, tales intentos de reducción suelen tener pocas consecuencias directas.

### **b) Reducción factible o posible en principio o (meramente) heurística**

La distinción entre reducción factible de hecho, posible en principio y meramente heurística caracteriza diferentes grados de exigencias con los que se pueden realizar los enunciados de (anti)reducción. En el caso más fuerte se sostiene la factibilidad de hecho de una reducción particular, por ejemplo, la elucidación completa de la estructura química de una sustancia biológicamente relevante. Una atenuación es la afirmación de que una reducción particular es posible en principio, pero por dificultades prácticas (presentes o hasta nuevo aviso) no es factible. Ambos son enunciados *categoricos* de reducción. En contraste, existen enunciados que se pueden calificar como una (mera) afirmación de reducción *heurística*. Con esta afirmación se pretende señalar que, en un campo determinado, una estrategia de investigación reduccionista es heurísticamente fértil. Es importante señalar que un reduccionismo heurístico en un campo determinado puede ser compatible con el antireduccionismo categorico correspondiente (y viceversa). Así, por ejemplo, el físico y biólogo Max Dellbrück sostenía que la biología no era

reducible en principio a la física, pero seguía un programa de investigación reduccionista, puesto que creía que era la única forma de poder hallar las leyes específicamente biológicas (Cfr., por ejemplo, Kay, 1992).

### **2.5 Argumentos a favor y en contra de la reducción**

Lo primero que se tiene que considerar en los argumentos a favor o en contra de la reducción es qué clase particular de enunciado de reducción se está afirmando o negando. ¿Se trata de un enunciado categórico o de una mera aserción de reducción heurística? Los enunciados de reducción no son muy disputados en las ciencias mismas: los programas de investigación compiten entre sí y su fertilidad aparece tarde o temprano a medida que se llevan a cabo dichos programas.

Con respecto a las afirmaciones categóricas de reducción, se debe considerar una asimetría argumentativa fundamental que concierne tanto a la justificación de las posiciones reduccionistas como de las antireduccionistas (Cfr. Hoyningen-Huene, 1992). Un enunciado reduccionista es una afirmación de existencia, a saber, la de que la relación de reducción correspondiente existe de hecho. Las afirmaciones de existencia se justifican mediante la exhibición o la construcción de aquello cuya existencia se afirma, en este caso, llevando a cabo la reducción postulada. De esta manera, queda totalmente claro cómo se debe argumentar a favor de un enunciado reducción concreto: la reducción sostenida debe ser llevada a cabo. Esto es lo que ha ocurrido en innumerables casos de reducción internivel en economía, lingüística, geología, biología, farmacéutica, química y física, campos en los que se llevan a cabo reducciones ontológicas, explicativas y funcionales al mismo tiempo. Efectos macroeconómicos, oraciones lingüísticas, la corteza terrestre, sólidos, líquidos, gases, moléculas, átomos y núcleos atómicos son analizados como sistemas de unidades más pequeñas, y luego las propiedades y funciones de los sistemas son explicados en base a sus partes y su configuración (los antireduccionistas no suelen negar estos casos exitosos, aunque sí niegan que puedan continuarse sin límites). Incluso hay ejemplos claros para el caso de las reducciones sucesivas, como el de la reducción de la teoría de la relatividad especial a la mecánica newtoniana.

La estrategia argumentativa que debe ser empleada para las reducciones que solo deberían ser posibles en principio, es decir, para aquellas que no pueden ser de hecho demostradas, es algo menos clara. En este caso se tiene que hacer plausible que la reducción pretendida *sería* factible con recursos suficientes. En el caso de la reducción internivel se hace referencia al éxito ya alcanzado por determinados programas de investigación. Por ejemplo, esta posición es dominante en las ciencias biomédicas, en donde existe la convicción de que las sustancias relevantes pueden ser completamente caracterizadas químicamente y de que todos los procesos de la vida tienen una base enteramente material que puede ser reducida a procesos físico-químicos. Esta convicción incluye al menos la reducción ontológica, explicativa y funcional a la física y a la química de las partes correspondientes de la biomedicina. Claro que solo una pequeña parte de estas reducciones son realizables de hecho. Pero la falta de cualquier alternativa con cierto grado de corroboración empírica y el éxito, hasta ahora continuo, de estos programas reduccionistas hacen que la mayoría de los investigadores no reconozca en

ellos ningún límite. Incluso muchas reducciones sucesivas se explican como posibles en principio pese a que su realización práctica todavía está pendiente. Así, por ejemplo, la reducción de la mecánica cuántica a la mecánica clásica, la de la teoría general de la relatividad a la teoría newtoniana de la gravitación o la de la electrodinámica a la óptica geométrica todavía no han sido ejecutadas rigurosamente. En estos casos hay problemas matemáticos muy complejos que siguen sin ser resueltos pero cuya solución se considera posible. La razón para este optimismo es el alto grado de validación empírica que estos pares de teorías tienen en sus respectivos campos. Debido a esto, no hay razón para suponer que las teorías más complejas no puedan ser reducidas a las menos complejas, si solo la región de transición pudiera ser tratada de una manera matemáticamente adecuada.

Los antireduccionistas suelen argumentar destructivamente, intentando mostrar que el establecimiento de las distintas afirmaciones de reducción no se sostiene. Para esto existen distintas estrategias, que en parte se superponen:

a) Se pueden atacar las condiciones sobre las cuales se basa la afirmación de reducción. Por ejemplo, una reducción epistemológica internivel parte del supuesto de que el conocimiento de B tiene forma de ley. En realidad, para muchas disciplinas fuera de la física, el conocimiento relevante no está en forma de ley y es cuestionable que pueda ser llevado a dicha forma. De manera similar, para una reducción funcional internivel se debe asumir que los fenómenos de B se pueden caracterizar adecuadamente por medio de sus funciones (en el sentido amplio del término). Este presupuesto es bastante problemático, por ejemplo, en el caso del problema mente-cuerpo. ¿Se puede diferenciar *funcionalmente* una sensación elemental, tal como una sensación de rojo, de una sensación de verde? Para los casos mencionados, los antireduccionistas consideran que los esfuerzos de reducción están desacertados desde el punto de partida ya que no se satisfacen los requisitos que impone la pregunta por la reducción.

b) Es posible atacar un *enunciado* de reducción, declarando que es irrelevante ya que pasa por alto rasgos fundamentalmente antireduccionistas del fenómeno en consideración. Con respecto a la biología, los reduccionistas suelen argumentar que los procesos biológicos son procesos netamente físico-químicos por lo que la biología es reducible a la física y a la química. De acuerdo a los antireduccionistas, esto pasa por alto el problema real de la reducción en biología, ya que los conceptos biológicos específicos no se pueden entender a través de conceptos físico-químicos, lo que lleva a que las explicaciones funcionales no puedan darse en la física y en la química. En este caso, el enunciado de reduccionismo ontológico se contraataca sosteniendo que las preguntas de reducción relevantes conciernen a la existencia de equivalentes físico-químicos para los conceptos biológicos y que el modo de explicación concierne a explicaciones funcionales, por lo que aquí no habría ninguna chance de reducción (Cfr., por ejemplo, Mayr, 1991, p. 30).

c) Se pueden atacar los *argumentos* que se aducen para una afirmación reduccionista particular. Para esto hay dos opciones básicas: es posible rechazar ciertas *premisas* de los argumentos correspondientes, considerándolas como imprecisas o insatisfacibles, o bien se puede negar en términos generales que la afirmación formulada pueda ser *justificada* en absoluto. El “argumento de la realizabilidad múltiple” es un ejemplo importante de la primera estrategia, ya que está orientado en contra de la

posibilidad de reducción epistemológica, más precisamente en contra de la existencia de las oraciones de correspondencia que se demandan (Cfr. Fodor, 1992). De acuerdo con este argumento, suele darse el caso de que cierta propiedad  $B^*$  de B puede ser realizada por diferentes propiedades  $A^*$  de A. Así, con respecto a la reducción de la psicología a las neurociencias, es relevante que un cierto estado psicológico  $B^*$  (por ejemplo “X ve verde”) puede ser realizado por diferentes estados neurológicos  $A_1^*$ ,  $A_2^*$ , ...,  $A_n^*$ . Si el conjunto de los  $A_i^*$  es finito y realmente especificable, entonces se puede todavía tomar en consideración la oración de correspondencia

$$B^* \leftrightarrow (A_1^* \text{ o } A_2^* \text{ o } \dots \text{ o } A_n^*).$$

Si el conjunto de los  $A_i^*$  posibles no puede ser abarcado, por ejemplo, porque un estado neurológico  $B^*$  puede también ser realizado por medio de diferentes materiales, entonces ya no se puede establecer ninguna oración de reducción manejable para  $B^*$ . En este caso la reducción fracasa necesariamente puesto que la realizabilidad múltiple de  $B^*$  vuelve imposible la formulación de las oraciones de reducción que son indispensables para la reducción.

Una estrategia muy usada en contra de la posibilidad de reducción internivel, según la cual las entidades-B están compuestas por entidades-A (microreducciones), es recurrir a la “emergencia” o a la expresión “el todo es más que la suma de sus partes”. Con esto se pretende expresar que los intentos de reducción de tales “todos” están condenados al fracaso desde el principio porque las respectivas entidades-B tienen propiedades que no pueden entenderse desde el nivel A. Como se añade algunas veces, la aparición de dichas propiedades “holísticas” es una propiedad básica de la materia. Esta objeción global a la posibilidad de la reducción suele ser fundamentalmente rechazada por los reduccionistas. Me ocuparé de esta objeción en conexión con la discusión sobre emergencia en la sección 3.

d) En las ciencias, el argumento más fuerte en contra de las reducciones consideradas es el desarrollo de una teoría convincente que explique los fenómenos-B y al mismo tiempo haga entendible por qué el nivel B no es reducible al nivel A (en todos los sentidos). Esta es una estrategia científicamente fértil: no se queda con la estéril negación última de la posibilidad de reducción –sin importar qué tan convincente sea. Más bien, las entidades o interacciones que no existen en el nivel A son introducidas en el nivel B. La credibilidad de las entidades nuevas del nivel B por sobre las entidades del nivel A depende de la eficiencia de la teoría en la cual se introdujeron estas entidades. Un ejemplo puede ser la física, en donde la creencia en la irreducibilidad de los fenómenos gravitatorios y eléctricos a los fenómenos mecánicos prevaleció a la hora de introducir teorías que pudieran explicar dichos fenómenos en base a interacciones no-mecánicas. El motivo para la introducción de dichas teorías fue el fracaso de los intentos anteriores de encontrar una explicación mecánica para cada uno de estos fenómenos –lo que claramente no demuestra la imposibilidad de tales explicaciones reductivas.

Hasta aquí las estrategias de argumentación usuales en contra del reduccionismo. Es importante señalar que los antireduccionistas suelen pasar por alto lo exigente que es su situación argumentativa puesto que un enunciado antireduccionista es una *afirmación de imposibilidad*. No se trata de justificar que tal o cual intento de reducción falla sino, más bien, de que construir la relación de reducción correspondiente es *fundamentalmente*

imposible. Un objetivo de argumentación semejante no se puede lograr de manera constructiva en las ciencias empíricas ya que requeriría mostrar que todos los intentos imaginables de justificar la reducción sostenida deben fallar.

Muchas veces la discusión entre reduccionistas y antireduccionistas es muy poco productiva. Muchos malentendidos surgen a causa de conceptos no muy bien diferenciados, y los orígenes técnicos diferentes hacen que la fuerza de algunos argumentos sea valorada de manera muy dispar. A su vez, ambos bandos suelen tener fuertes prejuicios que hacen que cualquier contraargumento parezca casi imposible. Uno de los prejuicios más extendidos entre los reduccionistas es la *intuición reduccionista fundamental*, incluso cuando no se la formula de manera explícita (Cfr. Hoyningen-Huene, 1989, p. 30). Esta intuición significa que, en el caso de la microreducción, las reducciones epistemológicas, explicativas y funcionales pueden ser inferidas de la reducción ontológica. La razón está en que en la información sobre las partes de un sistema y su configuración está contenida *toda* la información acerca del sistema mismo, por lo que en principio todo el conocimiento acerca del nivel B puede ser extraído del nivel A.

Los antireduccionistas se suelen oponer a este prejuicio con uno de fuerza semejante que puede ser llamado la “intuición emergentista fundamental”. Me ocupo de esta intuición en la sección siguiente.

### 3. Emergencia

#### 3.1 La idea de emergencia

La idea esencial de emergencia sostiene que cuando se combinan elementos (nivel A) para conformar un sistema (nivel B), este sistema puede mostrar propiedades nuevas e inesperadas, propiedades que son fundamentalmente incomprensibles, impredecibles e inderivables desde el nivel de los componentes. Obviamente, esta idea está en completa oposición a la intuición reduccionista fundamental y puede ser llamada la *intuición emergentista fundamental*. Ambas intuiciones presuponen el reduccionismo ontológico: el sistema B está compuesto por componentes-A. Sin embargo, difieren sobre las consecuencias de este hecho, es decir, sobre si es posible o no inferir el reduccionismo epistemológico, explicativo y funcional a partir de él. Una discusión más detallada de la intuición emergentista fundamental requiere, antes que nada, una clarificación del concepto de emergencia ya que dicho concepto se utiliza en una multiplicidad de variantes. Al menos se pueden distinguir cinco dimensiones que necesitan ser iluminadas.<sup>6</sup>

#### 3.2 Características de la emergencia

La primera pregunta concierne a las características que le corresponden al emergente –más allá de qué es, véase punto 3.3. Aquí hay dos posibilidades principales:

---

<sup>6</sup> Para una discusión detallada, véase Hoyningen-Huene (1994b) o, en una perspectiva algo diferente, Stephan (1999, capítulos 3 y 4).

a) Lo emergente en el nivel B es *impredecible en principio* partiendo del conocimiento del nivel A. Algunas veces se habla también de *inderivabilidad en principio* o de *inexplicabilidad en principio*. Al conocimiento del nivel A le pertenecen las propiedades de los componentes del sistema, las leyes que los rigen y la especificación del sistema –de manera de excluir una forma trivial de no-reducibilidad (véase 2.3.b más arriba). La impredecibilidad fundamental mencionada puede pensarse de dos maneras. Por un lado, la impredecibilidad puede resultar del hecho de que los fenómenos del nivel B no están determinados por el nivel A, esto quiere decir que no hay relación de superveniencia entre B y A. Por otro lado, la impredecibilidad puede resultar del hecho de que, pese a la superveniencia de B sobre A, una predicción de los fenómenos-B sea imposible dado el conocimiento que se tiene del nivel A. Este caso se da, por ejemplo, cuando los fenómenos emergentes se estudian fundamentalmente de manera empírica y no pueden ser anticipados teóricamente, es decir, que no se puede tener conocimiento de ellos antes de su aparición. Ésta es la posición que más prevalece con respecto a la impredecibilidad de lo emergente (véase en particular Broad, 1925, p. 61-69).

b) La segunda variante principal de los rasgos característicos de la emergencia sostiene que lo emergente realiza una *macrodeterminación*. Con esto se quiere decir que el todo ejerce una influencia causal sobre los componentes, es decir, que los componentes tienen propiedades nuevas y diferentes a causa de su integración en un todo, propiedades que no tienen cuando están aislados. Por ejemplo, muchos fisiólogos aceptan esta idea cuando consideran que la conciencia es una propiedad emergente del cerebro y que tiene influencia causal y determinante sobre el nivel fisiológico (Cfr., por ejemplo, Sperry, 1986). De esta forma, la dirección causal queda invertida con respecto a la posición reduccionista. Por esta razón, muchas veces se habla de “causalidad hacia abajo” (*downward causation*). Lo que resulta problemático para esta idea es cómo esta influencia causal sobre los componentes se relaciona con las leyes que rigen en el nivel A. Si el comportamiento de los componentes ya está completamente determinado por las leyes del nivel A, no se podría comprender cómo un factor causal adicional puede afectar a dichos componentes (factor que, además, debe estar basado en el todo, el cual está formado por los componentes).

### 3.3 ¿Qué es emergente?

En la literatura se pueden encontrar varias concepciones con respecto a las entidades emergentes, esto es, aquellas que son en principio impredecibles o tienen macrodeterminación.

a) La idea más común es que son las *propiedades* las que son emergentes. Estas propiedades pueden ser propiedades del sistema o de sus partes. Como un ejemplo del primer caso se puede mencionar el olor del amoníaco, que parece ser sorprendente e impredecible en relación al nitrógeno y al oxígeno que lo componen, ya que son inodoros. Como ejemplo del segundo caso se pueden mencionar a los animales sociales, en tanto muestran diferentes características dependiendo de si están o no integrados a un grupo social de sus congéneres (Cfr., por ejemplo, Wilson, 1975, p. 7).

b) Otra noción bastante extendida es la que sugiere que en el nivel B rigen *leyes* novedosas, leyes que no rigen en el nivel A y a cuyas leyes tampoco se pueden reducir.

Se suele decir que las “leyes de la vida” son emergentes respecto del nivel de la química y de la física. Igual que en el caso de la macrodeterminación, en este caso la relación entre estas leyes nuevas del nivel B y las del nivel A sigue siendo problemática.

c) Muchas de las variantes discutidas en la literatura se pueden resumir mediante el concepto de *macrocondiciones* que significa que las configuraciones específicas de los elementos de A llevan a una nueva clase de conformación de unidades: las partes de los organismos ingresan en una configuración que organiza varios procesos-A para la supervivencia del organismo y conforma la identidad del ser vivo, puesto que el organismo cambia su base material constantemente.

### **3.4 Emergencia fuerte y débil**

El concepto de emergencia se puede entender como antítesis del concepto de reducción ya que explícitamente excluye la reducibilidad de B a A. Cuando esto ocurre se trata del concepto *fuerte* de emergencia. En los otros casos se hace referencia a un concepto *débil* de emergencia que no pretende excluir la reducibilidad y que es de poco interés teórico.

### **3.5 ¿Entre qué niveles ocurre la emergencia?**

No hay consenso entre los defensores de la emergencia sobre cómo responder a la pregunta por entre qué niveles debería darse la emergencia. La mayoría de los autores asumen la emergencia entre los niveles de lo inorgánico, lo viviente y lo psíquico (Cfr., por ejemplo, Stephan, 1999, pp. 23-25). Ahora bien, todavía hay muchas posiciones en la literatura con respecto a una mayor cantidad de niveles y a su localización precisa.

### **3.6 Emergencia: ¿relativa a una teoría o absoluta?**

La emergencia se puede entender epistemológicamente, esto es, como resultado de una situación epistémica particular, o sea como consecuencia del conocimiento teórico insuficiente sobre el nivel A. Por ejemplo, la posible superfluidez de algunos fluidos (nivel B) no puede derivarse en principio desde teorías clásicas (es decir, no cuánticas) de los átomos y las moléculas (nivel A) porque se trata de un fenómeno estrictamente cuántico. En cambio, una descripción de las partículas líquidas basada en la mecánica cuántica permite derivar el estado super fluido posible. En este caso, la superfluidez es una propiedad emergente *relativa a una teoría*. La emergencia relativa a una teoría es más bien poco interesante porque es trivial que los fenómenos del nivel B no se puedan entender desde el nivel A si no se ha puesto a disposición la información suficiente en dicho nivel.

Los teóricos de la emergencia siempre pretendieron una comprensión *absoluta*, y por lo tanto ontológica, de esta noción. Esto significa que los fenómenos-B no pueden inferirse incluso desde un conocimiento completo del nivel A. En este caso, la emergencia se vuelve ontológica porque es consecuencia de las propiedades de la materia y no epistémica en tanto no es una consecuencia de una situación particular de conocimiento. Las afirmaciones de emergencia que utilizan esta versión fuerte de emergencia se

enfrentan a la dificultad de que, estrictamente hablando, no pueden ser verificadas: el anti-emergentista (es decir, el reduccionista) siempre puede echarle la culpa de la impredecibilidad de ciertos fenómenos-B al (todavía) deficiente estado de la teoría en el nivel A. Claramente esta estrategia reduccionista no tiene por qué ser creíble pero sí indica un problema argumentativo para los emergentistas, el mismo que ya encontramos al discutir los argumentos a favor y en contra de la reducción en la sección 2.5: un enunciado de emergencia formula una posición antireduccionista y es, por lo tanto, una afirmación de imposibilidad, con todas las dificultades que esto trae para su fundamentación.

### ***3.7 Argumentos a favor y en contra de la emergencia***

Un problema que afecta negativamente al debate sobre emergencia es el hecho de que incluso científicos de muy alto nivel que simpatizan con la emergencia presentan casos de fenómenos emergentes que, tras una inspección más pormenorizada, no pueden sostenerse o resultan ser casos más bien poco interesantes de emergencia relativa a una teoría. Aquí hay cuatro casos (Stephan, 1999, capítulos 17 y 18, presenta casos adicionales):

El científico del comportamiento Konrad Lorenz (premio Nobel en 1973) menciona como ejemplo de un fenómeno emergente a un circuito eléctrico en el que pueden producirse vibraciones. Este ejemplo ilustra que, en comparación con circuitos más sencillos, “[... surgen] propiedades sistémicas completamente nuevas que no estaban presentes antes ni insinuadas” (Lorenz, 1973, p. 48). Si bien todo esto es correcto, no es ningún argumento en contra de la posibilidad de la reducción. De hecho, la capacidad vibratoria de un circuito puede ser inferida matemáticamente desde los componentes y el diagrama del circuito por lo que es más un triunfo del reduccionismo que otra cosa.

En varias ocasiones, el neurofisiólogo Roger Sperry (premio Nobel en 1981) menciona como ejemplo de un fenómeno emergente en el que ocurre “causalidad hacia abajo” a una rueda que cae por una colina. El movimiento de los átomos y las moléculas que conforman la rueda queda “determinado por las propiedades sistémicas globales de la rueda como un todo, independientemente de la inclinación de los átomos y las moléculas individuales” (Sperry, 1980, p. 201). Si bien esta descripción del fenómeno no es falsa, cuanto menos es engañosa. De hecho, existe una descripción completamente reduccionista del fenómeno. Cada átomo de la rueda está bajo la influencia de la gravedad y de las interacciones con sus vecinos (con los que está unido de manera rígida). Las propiedades globales de la rueda que se mencionan pueden ser descritas completamente en términos microfísicos y caracterizan al sistema en consideración, actuando como condiciones de contorno en una explicación reduccionista.

El prestigioso científico del comportamiento Edward Wilson menciona como un ejemplo de emergencia al hecho de que los animales sociales se comportan de modo diferente cuando están en un grupo que cuando están en pareja o solos; comportamiento social que no puede predecirse desde el individual (Cfr. Wilson, 1975, p. 7). El holismo que aquí se señala parece estar en oposición al reduccionismo. Sin embargo, no está para nada claro que el comportamiento colectivo no pueda ser rastreado hasta las disposiciones

comportamentales de los individuales que no se encuentran activas en el individuo aislado o en interacción diádica y, por lo tanto, no son observables en esas situaciones.<sup>7</sup>

Un ejemplo bastante usado en la literatura sobre emergencia es el de los olores de los compuestos químicos, ya que no se los puede deducir de los olores de los componentes ni de sus otras propiedades, razón por la cual serían emergentes. Un caso muy ilustrativo es el olor penetrante del amoníaco que difiere drásticamente del olor inexistente del nitrógeno y del hidrógeno que lo componen. De hecho, el olor de un compuesto químico pareciera no poderse inferir en absoluto desde todo el conocimiento imaginable sobre los componentes por lo que estaríamos frente a un ejemplo bastante sólido de emergencia. Un análisis más detallado, sin embargo, le quita un poco de esplendor al ejemplo. Los olores de las sustancias son propiedades secundarias, es decir que no solo dependen de las propiedades de la sustancia sino también de la fisiología perceptiva del organismo que los siente, más específicamente de sus receptores olfativos. Las sustancias a las que ningún receptor responde son inodoras para ese organismo particular. Pero entonces queda claro por qué del conocimiento de todas las propiedades de los elementos químicos, incluyendo sus propiedades secundarias, nunca se pueden extraer conclusiones acerca del olor de un compuesto o la ausencia del mismo. En el conocimiento disponible no se encuentra la información sobre si cada individuo posee o no *algún* receptor olfativo que responde al compuesto (mucho menos a qué sensación llevaría una respuesta, en caso de existir). Por lo tanto, la presencia del olor de un compuesto o su ausencia parece ser emergente debido a información incompleta. Otra pregunta es la de cómo es que surge una cualidad particular de olor cuando un receptor responde (sin importar si son los componentes o el compuesto los que la provocan). Acerca de esta relación entre lo físico y lo mental no está claro todavía si es posible una reducción y en qué sentido lo sería, o si en este caso realmente hay irreducibilidad y emergencia.

¿Cuáles son los requisitos que se deben cumplir para una concepción sostenible de la emergencia? Un buen punto de partida es la posición de C.D. Broad. Broad ilustra su concepto de emergencia usando a los compuestos químicos como ejemplo, ya que, según él, sus propiedades no pueden ser deducidas en principio desde el conocimiento de los reactantes originales (Broad, 1925, p. 64-65). Su idea es que, pese a que la conexión entre los reactantes es una ley natural, esta ley solo se puede entender de manera empírica, es decir que solo es accesible *después* de que la reacción ha sido observada por primera vez. El resultado de una reacción química que se realiza por primera vez es fundamentalmente impredecible y, por lo tanto, hay emergencia.

Hay dos puntos para comentar sobre este argumento. Primero, Broad asume que las leyes que unen a los reactantes con los compuestos resultantes son leyes empíricas aisladas que no están sistemáticamente relacionadas entre sí o con una teoría más amplia. Esto se corresponde adecuadamente con el estado del conocimiento de las ciencias naturales en 1925. Sin embargo, en el mismo año, el desarrollo de la mecánica cuántica llevó a una conclusión preliminar sobre la cual en poco tiempo se basaría la química cuántica, con la cual, de hecho, se pueden predecir las propiedades de los

---

<sup>7</sup> Sobre las fallas de este argumento reduccionista, véase Hoyningen-Huene (1994a).

compuestos químicos. Este ejemplo inicialmente convincente queda históricamente obsoleto.

Segundo, pese a lo anterior, el concepto de emergencia de Broad realmente parece abrir un horizonte de posibilidad porque fija las condiciones bajo las cuales se puede hablar de emergencia en al menos un sentido claro. Estas son las condiciones bajo las que el concepto de emergencia de Broad puede ser aplicado:

- 1) Hay entidades-A que se pueden conectar a través de leyes deterministas (o probabilistas) con ciertas entidades-B.
- 2) Al menos algunas de estas leyes que rigen la conexión que lleva de una  $A_i$  y una  $A_j$  a una  $B_{ij}$  están epistémicamente aisladas de las otras, es decir, que no se pueden derivar de ningún otro conocimiento. Se deben descubrir una por una de manera empírica.

En este sentido, los enunciados de emergencia son nuevamente afirmaciones de imposibilidad y, por lo tanto, sufren de un serio problema argumentativo (compárese con la sección 2.5). Hay que demostrar que las leyes aisladas que (en los casos más simples) regulan la formación de cierta entidad  $B_{ij}$  desde entidades  $A_i$  y  $A_j$  no pueden, en principio, ser incluidas en un contexto teórico desde el cual puedan ser predichas. Ya Broad había subestimado para su ejemplo de los compuestos químicos lo que la teoría general de la mecánica cuántica podía hacer para dichos compuestos. Es difícil ver cómo se puede justificar de manera convincente la imposibilidad fundamental de una teoría general en casos análogos.

Parecieran existir tres caminos para desarrollar otros conceptos de emergencia. El primero es considerar situaciones en la que si bien los fenómenos-B estén de hecho determinados por los fenómenos-A, aquellos no se puedan predecir debido a la presencia de caos determinista. Se habla de “caos determinista” cuando incluso la más pequeña diferencia en las condiciones iniciales en la evolución de un sistema puede llevar a estados consecutivos drásticamente diferentes. Las predicciones se tornan imposibles debido a que las condiciones iniciales no pueden determinarse con la suficiente precisión. En este caso, la afirmación de emergencia puede justificarse mediante evidencia de que entre los niveles A y B existe caos determinista.

Segundo, se pueden considerar situaciones en las que los fenómenos-B son de hecho producidos por los fenómenos-A aunque no estén determinados por éstos, ni siquiera de manera probabilística. En otras palabras: cuando no hay superveniencia (véase sección 2.2). En este caso, no se sigue ninguna regularidad de la constitución de los fenómenos-B por parte de los fenómenos-A y, por consiguiente, no se pueden deducir del conocimiento de los fenómenos-A. Es cuestionable que de hecho existan situaciones semejantes.

Tercero, se puede intentar desarrollar todavía más la segunda variante principal de emergencia mencionada en la sección 3.2.a, la cual se apoya en la macrodeterminación como rasgo característico de la emergencia. Aquí, sin embargo, hay que exigir que la relación de macrodeterminación sobre las relaciones de determinación del nivel A sean explicadas de manera clara y convincente. Hasta ahora no parece haberse llevado a cabo (Cfr., por ejemplo, Kim 1993; Stephan, 1999, capítulo 16).

Como resultado de esta discusión se puede decir que el concepto de emergencia es una noción delicada. Por un lado, es necesario dejar en claro exactamente lo que se entiende por dicho término y, por el otro, que la justificación de que en un caso concreto hay, de hecho, emergencia en el sentido que se explicita no está en lo absoluto libre de problemas.

#### 4. Sugerencias bibliográficas

Para una introducción a las distinciones básicas del concepto de reducción, véase Hoyningen-Huene (1985). Específicamente sobre la pregunta por la microreducción, véase Hüttemann (2004). Varias dificultades argumentativas en el debate por la reducción se llevan a cabo en un debate ficticio en Hoyningen-Huene (1993). Para una introducción a las distinciones básicas del concepto de emergencia, véase Hoyningen-Huene (1994b). Específicamente sobre la relación entre microdeterminación y emergencia, véase Klee (1984). Una descripción exhaustiva del problema de la emergencia se puede encontrar en Stephan (1999).

#### 5. Referencias

- Broad, C.D. (1925). *The Mind and its Place in Nature*, London: Routledge & Kegan Paul.
- Fodor, J.A. (1992). Einzelwissenschaften. Oder: Eine Alternative zur Einheitswissenschaft als Arbeitshypothese. In: *Kognitionswissenschaft: Grundlagen, Probleme, Perspektiven*, hg. von Dieter Münch. Frankfurt: Suhrkamp, pp. 134-158.
- Hempel, C.G. (1977). *Aspekte wissenschaftlicher Erklärung*, Berlin: de Gruyter.
- Hooker, C.A. (1981). Towards a General Theory of Reduction, Part 1: Historical and Scientific Setting. *Dialogue* 20, pp. 38-59.
- Hoyningen-Huene, P. (1985). Zu Problemen des Reduktionismus der Biologie. *Philosophia Naturalis* 22, pp. 271-286.
- Hoyningen-Huene, P. (1989). Epistemological Reductionism in Biology: Intuitions, Explications and Objections. En: *Reductionism and Systems Theory in the Life Sciences*, P. Hoyningen-Huene & F.M. Wuketits (eds.). Dordrecht: Kluwer Academic, pp. 29-44.
- Hoyningen-Huene, P. (1992). On the Way to a Theory of Antireductionist Arguments. En *Emergence or Reduction? Essays on the Prospects of Nonreductive Physicalism*, A. Beckermann, H. Flohr. & J. J.Kim (eds.). Berlin: de Gruyter, pp. 289-301.
- Hoyningen-Huene, P. (1993). Zankapfel Reduktionismus. *Merkur* 47, pp. 399-409.
- Hoyningen-Huene, P. (1994a). Emergenz versus Reduktion. *Analyomen 1. Proceedings of the 1st Conference "Perspectives in Analytical Philosophy"*, G. Meggle & U. Wessels (eds.). Berlin: de Gruyter, S. 324-332.
- Hoyningen-Huene, P. (1994b). Zu Emergenz, Mikro- und Makrodetermination. En *Kausalität und Zurechnung. Über Verantwortung in komplexen kulturellen Prozessen*, W. Lübbe (ed.). Berlin: de Gruyter, S. 165-195.

- Hoyningen-Huene, P. (1996). Supervenienz. En *Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie*, Band 4, J. Mittelstraß (ed.). Stuttgart: Metzler, 1996, S.144-145.
- Hüttemann, A. (2004). *What's Wrong With Microphysicalism?*, London: Routledge.
- Kay, L.E. (1992). Quanta of Life: Atomic Physics and the Reincarnation of Phage. *History and Philosophy of the Life Sciences* 14, pp. 3-21.
- Kim, J. (1993). The Non-Reductivist's Troubles with Mental Causation. En: *Mental Causation*, J. Heil & A. Mele (eds.). Oxford: Clarendon, pp. 189-210.
- Kim, J. (1998). *Mind in a Physical World: An Essay on the Mind-Body Problem and Mental Causation*, Cambridge (Mass.): MIT Press.
- Klee, R. (1984). Micro-Determinism and Concepts of Emergence. *Philosophy of Science* 51, pp. 44-63.
- Lorenz, K. (1973). *Die Rückseite des Spiegels. Versuch einer Naturgeschichte menschlichen Erkennens*, München: Piper.
- Mayr, E. (1991). Ist die Biologie eine autonome Wissenschaft? En *Eine neue Philosophie der Biologie*, E. Mayr (ed.). Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, pp. 16-35.
- Nagel, E. (1961). *The Structure of Science: Problems in the Logic of Scientific Explanation*, London: Routledge & Kegan Paul.
- Nickles, T. (1973). Two Concepts of Intertheoretic Reduction. *Journal of Philosophy* 70, 1973, pp. 181-201.
- Oppenheim, P. & Putnam, H. (1958). The Unity of Science as a Working Hypothesis. En *Minnesota Studies in the Philosophy of Science* 2, Minneapolis: University of Minnesota Press, pp. 3-36.
- Primas, H. (1998). Emergence in Exact Natural Sciences. *Acta Polytechnica Scandinavica* 91, 1998, pp. 83-98.
- Putnam, H. (1975). Philosophy and Our Mental Life. En *Mind, Language, and Reality*. Philosophical Papers, Vol. 2, H. Putnam (ed.). Cambridge: Cambridge University Press, pp. 291-303.
- Scheibe, E. (1996). *Die Reduktion physikalischer Theorien. Ein Beitrag zur Einheit der Physik. Teil I: Grundlagen und elementare Theorie*, Berlin: Springer.
- Scheibe, E. (1999). *Die Reduktion physikalischer Theorien. Ein Beitrag zur Einheit der Physik. Teil II: Inkommensurabilität und Grenzfallreduktion*, Berlin: Springer.
- Sperry, R.W. (1980). Mind-Brain Interaction: Mentalism, Yes; Dualism, No. *Neuroscience* 5, 1980, pp. 195-206.
- Sperry, R.W. (1986). Discussion: Macro-versus Micro-Determinism. *Philosophy of Science* 53, pp. 265-270.
- Stephan, A. (1999). *Emergenz. Von der Unvorhersagbarkeit zur Selbstorganisation*, Dresden: Dresden University Press.
- Wilson, E.O. (1975). *Sociobiology. The New Synthesis*, Cambridge: Belnap.

- Wimsatt, W.C. (1976). Reductive Explanation: A Functional Account. En *PSA 1974 (Proceedings of the 1974 Biennial Meeting, Philosophy of Science Association)*, R.S. Cohen, C.A. Hooker, A.C. Michalos & J.W. van Evra (eds.). Dordrecht/Boston: Reidel, 1976, pp. 671-710.

# Reseña: The physicist & the philosopher: Einstein, Bergson, and the debate that changed our understanding of time

Alan Heiblum Robles<sup>1</sup>

Recibido: 2 de febrero de 2018

Aceptado en versión definitiva: 10 de noviembre de 2018

---

CANALES, JIMENA

The physicist & the philosopher: Einstein, Bergson, and the debate that changed our understanding of time. Princeton University, 2015. 480 páginas.

---

El 6 de abril de 1922 tuvo momento un gran temblor que recorrió el siglo XX. El epicentro, la *Sociedad francesa de Filosofía*. Bergson (1859–1941), el filósofo más reconocido de la primera mitad del siglo XX, debatió con Einstein (1879–1955), la celebridad científica más grande de la historia, sobre la naturaleza del tiempo. El filósofo felicitó al científico por el éxito de su teoría pero afirmó que respecto a la naturaleza del tiempo el caso seguía abierto. El científico, cuya reciente e insólita fama era propia de las emergentes estrellas de cine, replicó lacónicamente que, puesto que los aspectos subjetivos del tiempo se reservaban a la psicología y los aspectos objetivos a la física, no había algo así como un tiempo de los filósofos.

Mientras que para Einstein el tiempo era medido por los relojes, para Bergson la realidad nunca se reducía a su medición. Desde el punto de vista del primero, los hombres no somos sino relojes. Desde el punto de vista del segundo, los hombres somos creadores de relojes. Para el alemán, el paso y dirección del tiempo no eran más que una ilusión de la conciencia. Para el francés, la irreversibilidad y la duración eran los aspectos esenciales del tiempo. Para el héroe de Russell, la ciencia podía zanjar definitivamente la respuesta sobre el tiempo. Para el héroe de Whitehead, aun si la ciencia pudiera desembarazarse de la filosofía esto no le traería ninguna ventaja; hay preguntas pertinentes que la ciencia no puede responder. Para el científico, los resultados de la relatividad seguirían siendo los mismos en presencia o ausencia de observadores humanos. Para el filósofo, la total ausencia de observadores humanos constituía en sí un acertijo filosófico. Einstein y Bergson, nos muestra Canales, no solo diferían en la lectura de cada uno de los términos en juego, también diferían en la manera en que deberían ser evaluadas dichas diferencias.

Las nociones de Bergson encontraban cierto respaldo en Poincaré, Lorentz y Michelson, mentes científicas maestras de la época que habían adelantado parte de la

---

<sup>1</sup> ✉ [mulbieh@gmail.com](mailto:mulbieh@gmail.com)

Heiblum Robles, Alan (2019). Reseña: The physicist & the philosopher: Einstein, Bergson, and the debate that changed our understanding of time. *Epistemología e Historia de la Ciencia*, 3(2), 133-136. ISSN: 2525-1198

(<https://revistas.unc.edu.ar/index.php/afjor/index>)



teoría de la relatividad. Aun así, y sin importar que Bergson mismo repitiera *ad nauseam* que sus objeciones no atentaban contra la validez empírica y lógica de la teoría, la principal lectura que Einstein hiciera de todo el evento, fue la de que Bergson no había terminado de comprender la física involucrada. Para muchos la interpretación no fue distinta, Bergson simplemente se había equivocado. Como resultado, *Parménides* había vencido a *Heráclito*. El libro permite constatar que esta lectura no fue, por lejos, la única. También hubo científicos que se sumaron al bando de Bergson y los filósofos que se unieron a las filas de Einstein, sin contar a aquellos que se desligaron de las dicotomías impuestas. Por supuesto, semejante sismo no podía sino tener importantes réplicas: se trata de las discusiones en torno a “las dos culturas”, “las guerras de la ciencia”, las etiquetas “analítico-continental”, etc., con sus consiguientes encuentros y desencuentros.

Ya se ha dicho que la historia es el laboratorio del pensamiento. Este libro es una clara confirmación. Difícilmente se encontrará una posible lectura sobre el tema que algún personaje histórico no haya defendido y que Canales no haya rigurosamente comentado. Compuesto por un prefacio, cuatro apartados y un postfacio, se trata de un libro no demasiado extenso cuya lectura resulta muy amena debido a la educada pluma con que está escrito y su ordenada estructura en 29 capítulos breves. Para mayor comodidad, los capítulos están divididos, además, en secciones. A su vez, cada uno de estos subcapítulos lleva por título alguna frase sugestiva que termina siendo parte del núcleo argumentativo. Así por ejemplo, dentro del capítulo 21 encontramos el subtítulo ‘The first automatic device to be used for practical purposes’ pues en él se cita a Marx (“The clock was the first automatic device to be used for practical purposes, and from it the whole theory of the production of regular motion evolved” (p. 260)), como parte de un recuento histórico de las comparaciones entre hombres y relojes.

La primera parte del libro revisa detalladamente el famoso debate. La segunda se adentra en sus efectos y antecedentes (así por ejemplo, Canales examina cómo esta discusión repercutió en diferentes sectores de la iglesia católica. Recordemos que las obras de Bergson ingresaron al índice de libros prohibidos en 1914). Considerando que Einstein y Bergson fueron dos figuras políticas claves que discutieron en la ante sala de la segunda guerra mundial un tema con sendas implicaciones políticas, como lo son los problemas de estandarización internacional de unidades y medidas, en esta sección la autora nos lleva de viaje por Francia, Inglaterra, Alemania y EEUU a visitar una multitud de autores (Husserl, Cassirer, Koyré, Carnap, entre muchos otros).

Si la segunda parte está dedicada a las principales personas involucradas en el debate, la tercera parte está dedicada a *las cosas*. Como es bien sabido, la relatividad esposó tiempo, espacio y luz. Así la pregunta por la naturaleza del tiempo se volvió más sensible que nunca a los desarrollos tecnológicos en materia de emisión y propagación de señales luminosas. En un momento histórico de gigantescos cambios tecnológicos, las discusiones sobre la realidad del tiempo y sus efectos relativistas se desarrollaron utilizando como ejemplos: relojes de cadena y pulsera, telégrafos, teléfonos, radios, cámaras cinematográficas, microbios, gigantes y fantasmas. Canales nos muestra que, parte de lo que estaba en juego, era la ubicación de la delgada y cambiante línea entre experimentos prácticos, experimentos pensados y ficciones descartables.

Antes del postfacio donde la autora comenta, entre otras, la postura de Deluze y Latour, la cuarta parte del libro regresa a *las palabras*, en especial, a las últimas reflexiones ofrecidas por los protagonistas del debate de 1922, poco antes de su muerte.

El libro contiene, además, diversas ventajas inesperadas, entre ellas los apartados en los que se aclara la pertinencia del giro hacia la tecnología de la filosofía de Heidegger (pp. 140-150) y aquellos en los que se muestra la impertinente ausencia de una línea tecnológica en el pensamiento filosófico de Reichenbach (pp. 155-160). A lo largo de su libro, Canales despliega un enorme catálogo de autores e introduce nombres poco vistos en la literatura corriente de la filosofía e historia de la ciencia. Tal es el caso del pragmatista americano George Herbert Mead, quien defendió una visión matizada de Bergson en la que la investigación física del tiempo no tendría por qué realizarse a expensas de nuestra experiencia del tiempo (pp. 196-199). Otro de estos personajes menos comunes en la literatura es André Metz, científico, soldado y discípulo de Émile Meyerson, quien no vaciló en tomar una actitud netamente combativa a favor de Einstein (pp. 166-169).

Un libro como el presente conquista la difícil tarea de discurrir sobre los famosos entre los famosos y salir ileso. Más aún, se puede afirmar que el tratamiento de los múltiples personajes que asisten a sus páginas es tan riguroso como interesante. Dos casos podrían ser la excepción: Percy W. Bridgman y Gastón Bachelard.

El recuento que Canales hace de Bridgman (pp. 200-202) no es tan afortunado ni erudito como el que hace con los otros autores involucrados en la disputa por la naturaleza del tiempo. El retrato de Malisoff en el que se basa, donde Bridgman esconde a Bergson en su tintero, no es único y no es el que mejor permite salir de los malentendidos positivistas y conductistas en que Bridgman se ha visto largamente envuelto. En otras palabras, aunque ese es su título, poco aprendemos sobre el operacionalismo y sus avatares en este subcapítulo. Las dos obras citadas por Canales no son, de lejos, la totalidad de escritos que Bridgman dedicó a la relatividad. En un libro interesado en abandonar los callejones sin salida históricos, quizá hubiera resultado más generoso presentar los aspectos del pensamiento de Bridgman que se prestan para abrir nuevos senderos: la cautela antes de trasladar nociones a nuevos dominios de manera irreflexiva; el giro hacia la práctica científica; la insistencia en que, de cara a un mundo tan complejo que resulta imposible capturar en una estructura verbal, nos lleva más lejos el análisis en términos de acontecimientos que el análisis en términos de objetos (ver Chang 2009).

El caso de Gastón Bachelard, hermosamente motivado, sufre luego una descompostura. Llama la atención el insuficiente número de referencias originales y de sus comentadores (en especial, la ausencia de Bachelard (1987), que hace alusión al debate Einstein-Bergson, y Chimisso (2001), donde se aclara magistralmente la separación que existe en la filosofía de Bachelard entre el lugar de la ciencia y el lugar de la imaginación). Tomemos un ejemplo de la exposición de Canales.

Bachelard responded to the Einstein-Bergson impasse by using all his *insight and instinct against separating science from other areas of culture*, by reincorporating in it the role of material culture, literature, and even poetry. For this reason, he would be remembered equally for his contributions to the philosophy of science, for his poetry, and for his theories of poetry. *He not*

*only asked us to think of science poetically, but to consider poetry scientifically, both approaches were equally important and complementary in many ways. Science had a poetic force and poetry an eerie connection to a truth (p. 251, mis cursivas).*

Cité en extenso el previo párrafo porque puede resultar especialmente confuso. La filosofía de Bachelard incluye tanto ciencia como poesía porque busca explicar ambas, pero nada más lejos de su afán psicoanalizante que la habilitación de una *poesía científica* o una *ciencia poética*.

“Los ejes de la poesía y de la ciencia son inversos en principio. Todo lo más que puede esperar la filosofía es llegar a hacer complementarias la poesía y la ciencia, unir las como a dos contrarios bien hechos. Es preciso, pues, oponer, al espíritu poético expansivo, el espíritu científico taciturno para el cual la antipatía previa es una sana precaución” (Bachelard 1985, p. 141).

Se trata de ejes opuestos porque, de acuerdo con Bachelard, mientras que la poesía expresa en la intimidad de la soledad el ensueño de una naturaleza dada, la ciencia rectifica el conocimiento de una naturaleza artificial en lo colectivo. El cuestionamiento por parte de Bachelard respecto a “los cuentos de trenes”, al que Canales hace referencia durante el capítulo 20, debe entenderse justamente dentro de su crítica a la imaginación, como parte de un psicoanálisis del pensamiento objetivo. “Quiérase o no, las metáforas seducen a la razón. Son imágenes particulares y lejanas que insensiblemente se convierten en esquemas generales. Un psicoanálisis del conocimiento objetivo debe pues aplicarse a decolorar, si no a borrar, estas imágenes ingenuas” (Bachelard 1991, p. 93).

Durante la lectura de este libro, algunas veces implícito, otras veces explícito, por ejemplo en voz de Herbert Dingle (p. 200), o imputado contra Reichenbach (p. 160), se escucha un llamado constante: *en lugar de cultivar una filosofía científica debemos apuntar hacia una ciencia filosófica*. La propuesta del libro es clara: podemos seguir tomando parte proactiva por alguno de los protagonistas del debate, seguir atacando o defendiendo con más o menos matices o giros algunas de sus posturas, o podemos, mejor, dar un paso atrás, aprovechar la distancia histórica para entender las distintas posturas, e intentar transitar nuevos caminos.

## 1. Referencias

- Bachelard, G. (1987). *La intuición del instante*. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Bachelard, G. (1991). *La formación del espíritu científico. Contribución a un psicoanálisis del conocimiento objetivo*. 17ª edición. México, D.F.: Siglo XXI.
- Bachelard, G. (1985). *Lautréamont*. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Chang, H. (2009). *Operationalism*, The Stanford Encyclopedia of Philosophy (2009 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <<https://plato.stanford.edu/archives/fall2009/entries/operationalism>>.
- Chimisso, C. (2001). *Gaston Bachelard: Critic of Science and the Imagination*. London: Routledge.