

De las causas a las leyes de la naturaleza: Aristóteles, Descartes y Newton

From Causes to Laws of Nature: Aristotle, Descartes, and Newton

Germán Guerrero Pinoⁱ  

ⁱ Departamento de Filosofía; Universidad del Valle; Cali; Colombia

Correspondencia: Germán Guerrero Pino. Correo electrónico: german.guerrero@correounivalle.edu.co

Recibido: 26/03/2024

Revisado: 29/04/2024

Aceptado: 20/06/2024

Citar así: Guerrero Pino, Germán. (2024). De las causas a las leyes de la naturaleza: Aristóteles, Descartes y Newton. *Revista Guillermo de Ockham*, 22(2), pp. 55-73. <https://doi.org/10.21500/22563202.7003>

Editor en jefe: Norman Darío Moreno Carmona, Ph. D., <https://orcid.org/0000-0002-8216-2569>

Editor invitado: Evandro Agazzi, Ph. D., <https://orcid.org/0000-0002-5131-7281>

Copyright: © 2024. Universidad de San Buenaventura Cali. La *Revista Guillermo de Ockham* proporciona acceso abierto a todo su contenido bajo los términos de la licencia *Creative Commons* Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

Declaración de intereses: el autor ha declarado que no existe ningún conflicto de intereses.

Disponibilidad de los datos: todos los datos relevantes se encuentran en el artículo. Para más información, póngase en contacto con el autor de la correspondencia.

Investigación: resultado de la investigación *Causalidad: entre metafísica y ciencia*, apoyada por el Departamento de Filosofía de la Universidad del Valle, bajo la modalidad de presentación interna. Además, el artículo recoge los elementos centrales de la conferencia del autor en el IV Encuentro de Estudios Históricos para la Enseñanza de las Ciencias y el VI Encuentro sobre la Enseñanza de la Mecánica, en la Uni-

Resumen

En este trabajo se expone el proceso que llevó del concepto de causa, introducido sistemáticamente por Aristóteles, al de ley de la naturaleza. Este proceso de cambio, como el de cualquier otra noción central en la ciencia, no es solo de interés histórico, sino también epistemológico y para la enseñanza de las ciencias naturales. En ese sentido, se muestra que en esta transformación fueron clave los aportes de Descartes y de Newton, pues el primero estableció el vínculo entre los conceptos de causa y ley de la naturaleza; mientras que el segundo consolidó y generalizó dicho vínculo formulando las leyes del movimiento, acompañadas de la introducción de la fuerza de gravedad.

Palabras clave: causas, leyes de la naturaleza, Aristóteles, Descartes, Newton.

Abstract

This paper describes the process that led from the concept of cause, systematically introduced by Aristotle, to the concept of the law of nature. This process of change, like any other central notion in science, is not only of historical interest but also epistemological and for the teaching of natural sciences. In this sense, it is shown that the contributions of Descartes and Newton were key in this transformation since the former established the link between the concepts of cause and the law of nature; while the second consolidated and generalized this link with the formulation of the laws of motion, accompanied by the introduction of the force of gravity.

Keywords: causes, laws of nature, Aristotle, Descartes, Newton.

Introducción

En general, la relación entre las nociones de causa y ley de la naturaleza no es inmediata; aunque ambos conceptos son predominantes en las reflexiones sobre el conocimiento científico del mundo natural, el primero lo fue en el pensamiento griego antiguo y el segundo, en el surgimiento de la ciencia moderna, cuando se introdujo. Como el título lo indica, en este trabajo se presenta el proceso general que llevó del concepto de causa, introducido sistemáticamente por Aristóteles, al de ley de la naturaleza. Este proceso de cambio, como el de cualquier otra noción central en la ciencia, no es solo de interés histórico, sino también epistemológico y para la enseñanza de las ciencias naturales. En ese sentido, se muestra que en esta transformación fueron clave los aportes de René Descartes (1596-1650), en

versidad Pedagógica Nacional, del 2 al 4 de agosto de 2023.

Financiación: Universidad del Valle [CI. 4410].

Descargo de responsabilidad: el contenido de este artículo es responsabilidad exclusiva del autor y no representa una opinión oficial de su institución ni de la *Revista Guillermo de Ockham*.

Agradecimientos: a los profesores Ángel Enrique Romero Chacón, Universidad de Antioquia, y Hernán Severgnini, Universidad Nacional de Córdoba, por sus comentarios.

Los principios de la filosofía (1644/2002), y los de Isaac Newton, en *Principios matemáticos de la filosofía natural* (1687/1982). El primero estableció el vínculo entre ambos conceptos, mientras que el segundo consolidó y generalizó dicha relación formulando las leyes del movimiento, acompañadas de la introducción de la fuerza de gravedad.

Asimismo, se hace patente que este proceso reformula la perspectiva aristotélica sobre las causas y la explicación científica a través de estas. Se argumenta, entonces, que el rechazo de las causas aristotélicas tiene dos niveles, descritos en términos generales enseguida. Por una parte, la oposición a cómo la concepción aristotélica entendía las causas, de ahí que los modernos las calificaran de cualidades ocultas y específicas que conducen a explicaciones vacías, circulares o tautológicas. Por la otra, se mantiene el ideal aristotélico de explicación con base en las causas, pero con dos particularidades: en el caso de Descartes, es de las causas a los efectos (como en Aristóteles) y el tipo de causa paradigmático es la eficiente o motriz (que es una especie de poder, fuerza o energía), que además puede tratarse matemáticamente por medio de leyes de la naturaleza; y, en el caso de Newton, la explicación es de los efectos a las causas y, aparte de la fuerza por contacto, se admiten otros tipos como la gravedad, que remiten a cualidades reales del mundo natural y son susceptibles de tratarse matemáticamente mediante las leyes de la naturaleza.

Cabe resaltar que analizar este proceso de transformación también tiene interés en el contexto de los debates actuales en filosofía de la ciencia sobre la explicación científica, en el que la explicación y la causal vuelven a recobrar interés. Esta discusión se dejó de lado en la primera mitad del siglo XX por la perspectiva empirista escéptica dominante en la filosofía de la ciencia, de acuerdo con la cual, el conocimiento científico no busca explicaciones a partir supuestamente de un mundo subyacente a los fenómenos naturales, sino que se limita a construir teorías empíricamente adecuadas y predictivamente exitosas.

Con esto en mente, en el apartado “Aristóteles: causas y explicación científica”, se plantea la teoría de las causas de Aristóteles, para después, en “Negación de las causas aristotélicas”, enunciar las principales objeciones que se le hicieron. En “Descartes: extensión, causa eficiente y leyes de la naturaleza”, se presentan con detalle y precisión los principales elementos de su visión mecanicista del mundo, puntualizando en la importancia que tiene en esta la causalidad y la forma como se introduce la conexión entre causas y leyes de la naturaleza. Por último, en “Newton: de los efectos a las causas y consolidación del concepto de ley” se exponen los planteamientos de Newton sobre las causas y las leyes de la naturaleza estableciendo un paralelo con Descartes.

Aristóteles: causas y explicación científica

Los antiguos debates griegos sobre las causas y la noción misma de causa surgen en el contexto epistemológico de responder qué se entiende por conocimiento científico o por ciencia, lo que está intrínsecamente relacionado con el concepto de explicación científica. En particular, para Aristóteles (384 a. C.-322 a. C.), el ser humano busca conocer el mundo natural caracterizado por la diversidad de transformaciones que se dan en él; idea que se podría ampliar al pensamiento griego antiguo. En los términos de *Aristóteles* (1995a, 194b20), el individuo requiere conocer acerca de la generación y la destrucción y, en general, de todo cambio natural. De manera sintética, para el griego la ciencia es referente a lo necesario, por completo cierto y susceptible de explicarse con base en sus causas. Enseguida se trabajan estos elementos y cómo se integran.

En los *Analíticos segundos*, *Aristóteles* (1995b) define el conocimiento en los siguientes términos:

Creemos que sabemos cada cosa sin más, pero no del modo sofisticado, accidental, cuando creemos *conocer la causa por la que es la cosa* [énfasis añadido], que es la causa de aquella cosa y que *no cabe que sea de otra manera* [énfasis añadido]... aquello de lo que hay ciencia sin más *es imposible que se comporte de otra manera* [énfasis añadido]. (71b10)

Según esto, la ciencia tiene dos peculiaridades: trata de las causas de las cosas y estas causas han de ser necesarias, no pueden ser de otra forma. La ciencia estudia lo que es necesario de las cosas, pues no tiene sentido que haya ciencia de lo contingente, de lo que puede ser de otra manera. Pero esta forma de describir la necesidad en las cosas y su estudio por la ciencia puede leerse también como el compromiso del conocimiento científico con la verdad, con el conocimiento por completo cierto, con lo que no puede ser de otro modo. **Aristóteles (1985)** explica, en la *Ética*, este carácter necesario así:

Qué es la ciencia... aquello de que tenemos ciencia no puede ser de otra manera; de lo que puede ser de otra manera, cuando tiene lugar fuera del alcance de nuestra observación, no sabemos si es o no. Por consiguiente, lo que es objeto de ciencia es necesario. (1139b13)

En resumen, la ciencia tiene que ver con las causas necesarias y verdaderas. Ahora bien, otra forma de aproximarse a estas características de la ciencia es afirmar que esta es explicativa, pues responde al porqué de las cosas en términos de sus causas.¹ Es decir, una explicación se pide en relación con el porqué de las cosas y se tiene una explicación cuando se presenta la causa de estas o, como plantea **Aristóteles en los *Analíticos segundos* (1995b)**: “el que no tiene explicación del *porqué*, aun siendo posible la demostración, no tiene ciencia” (74b28). Más aún, la explicación científica es demostrativa en sentido lógico, debido a que corresponde a un razonamiento demostrativo, en el que se necesitan la conclusión y el término medio, porque ahí se enuncia la causa de lo que se desea explicar; dicho de otro modo, la explicación científica para Aristóteles.

Pasando al tema central –la teoría de las causas de Aristóteles–, es de precisar su concepto de causa. Para ello, se debe tomar el sentido de causa (*aitia*, en griego) en su acepción más amplia, que se asocia con la responsabilidad (ser responsable de algo) y se aplica a cuestiones morales, naturales y legales, en la medida que se refiere a autoría, razón, motivo y acusación (**Hankinson, 2009, p. 213**). Aún más, el término *aitia* se utilizaba tanto para aludir a causa como a explicación (**Broadie, 2009, p. 36**). De este modo, no se restringe solo al ámbito natural y menos a la causa natural entendida a manera de causa eficiente o mecánica, como se suele entender hoy. En este contexto, ¿tiene sentido la acusación de hacer un uso antropomórfico de la noción causa, esto es, de adjudicarle propiedades humanas a la naturaleza? Parece que tal afirmación es injustificada, puesto que la concepción griega del mundo –y de causa (*aitia*)– no parte de establecer una distinción entre mundo natural y naturaleza humana en tales términos. Ahora, una vez la modernidad busque reducir las explicaciones naturales a solo causas eficientes, tal acusación cobra más sentido.

Es sabido que la teoría de las causas de Aristóteles se caracteriza por contener cuatro tipos: la causa material, la formal, la eficiente (mecánica) y la final. Pero esta no era la idea dominante para la época. Así, por ejemplo, los primeros presocráticos intentaron explicar razonablemente todos los cambios en términos materiales, basados en uno o más de los cuatro elementos primarios: tierra, agua, aire y fuego. Platón amplía este principio explicativo del cambio con la causa formal, pues, igual que Aristóteles, considera que la materia no puede ser causa de sí misma (**Hankinson, 2009, p. 215**). No obstante, Aristóteles argumenta que estos dos tipos de causa también son insuficientes y que se deben tener en cuenta las causas eficiente y final; de ese modo, se tiende una variedad de

1. “Es evidente que hay causas y que son tantas como hemos indicado, pues tantos son los modos en que podemos entender el ‘porqué’ de las cosas” (**Aristóteles, 1995a, 198a15**).

causas y de explicaciones al abordar los fenómenos del cambio de las cosas en general. Las preguntas referentes al porqué, que piden una explicación, pueden resolverse de distintas formas, a través de una o más de las cuatro causas. En consecuencia, conocer algo, sea una cosa o un proceso, puede orientarse a saber cómo está constituido (materia), qué es (forma, esencia o definición), de dónde viene (eficiente o motriz) y el para qué existe o cuál es su propósito (finalidad).²

La causa material es “aquel constitutivo interno de lo que algo está hecho” (Aristóteles, 1995a, 194b23), se da “en el caso de las cosas que llegan a ser” (198a21) y responde a “que si esto ha de ser entonces tendrá que ser aquello” (198b8). Verbigracia, el bronce de la estatua y las letras de las palabras. Por su parte, la causa formal es la esencia de la cosa. En este caso, Aristóteles recurre a ilustraciones de las matemáticas, donde es más clara la esencia de los objetos matemáticos o musicales, porque se expresa en su definición, como la de línea recta, la conmensurabilidad de dos segmentos de recta, la causa de la octava, que es la relación dos a uno o, en general, el número.

La causa eficiente es “lo que primeramente hace mover” (198a19) o responde a “que esto se sigue necesariamente de aquello” (198b5). Verbigracia, quien quiere algo es causa de lo querido; el padre, del hijo; el que hace algo, de lo hecho; la semilla, del fruto; el ejercicio, de un cuerpo sano; el arte del escultor, de la estatua; y el ser atacado, de ir a la guerra; en palabras de Aristóteles (1995a): “¿por qué lucharon? Porque fueron atacados” (198a20). Cabe mencionar que el primer ejemplo es de responsabilidad moral y no una causa del mundo natural. De hecho, para Aristóteles la causa eficiente actúa por contacto y debe permanecer mientras se mantenga el efecto. En el caso del escultor, su arte se hace eficiente a través de cómo moldea la escultura; el padre actúa de manera eficiente por medio del esperma depositado y de los procesos desencadenados, algo semejante al desarrollo de la semilla a la flor o al fruto; en el ejemplo de ir a la guerra, aunque no es biológico como los anteriores, el que hayan sido atacados fue el primer motor que causó todos los subsiguientes movimientos hasta el campo de batalla.

Por último, la causa final es el para qué, el “por qué es mejor así” (198b10), todo lo que es medio respecto a un fin; equivale a la búsqueda del bien relativo a la cosa. La causa final de pasear es tener buena salud: se pasea para tener buena salud y se adelgaza para estar sano. Con el ejemplo de la guerra: lucharon para someter al enemigo (finalidad), pese a ser impulsados por el ataque del contrario. En el caso de la reciprocidad causal entre buen estado de salud y hacer ejercicio no hay contradicción ni un círculo vicioso, porque la buena salud es causa final del ejercicio y la buena salud procura un cuerpo sano. Para Aristóteles (1995a), en general, la causa final prima sobre las otras:

Las tres últimas se reducen en muchos casos a una, pues la esencia y el fin son una misma cosa, y aquello de lo que primeramente proviene el movimiento es específicamente lo mismo que estas, pues el hombre engendra al hombre. (198a25)

Un ejemplo que muestra con claridad que Aristóteles (1995a) también está pensando la causa (*aitia*) en un sentido moral o de responsabilidad, con el mismo estatus que la causa natural, es cuando la cosa está ausente: que no haya venido el piloto ocasionó el naufragio y que haya venido permitió el éxito del viaje.

Por otra parte, Aristóteles (1995a) establece una analogía entre cómo operan las causas en el mundo natural y en las artes, que utiliza en ambos sentidos: para reforzar la aplicación de los conceptos causales al arte o para acudir a las causas del arte y mostrar

2.. En palabras de Aristóteles (1995b), “creemos tener ciencia cuando sabemos la causa, y puesto que las causas son cuatro, a saber, una el *qué es ser*, otra el que *tal cosa sea necesariamente al ser ciertas cosas*, otra la de *qué movió primero* <tal cosa>, y cuarta el para qué” (94a20).

que actúan de manera análoga en el mundo natural. De este modo, le otorga al mundo natural y a las artes un estatuto ontológico causal: “si una casa hubiese sido generada por la naturaleza, habría sido generada tal como lo está ahora por el arte” (199a15). Aquí, la analogía le permite a *Aristóteles* (1995a) justificar que, si en el arte hay una finalidad, de la misma forma la debe haber en el mundo natural: “si las cosas producidas por el arte están hechas con vistas a un fin, es evidente que también lo están las producidas por la naturaleza” (199a18). La similitud es extrema, el propósito de la casa, relacionado con su belleza, estructura y orden, tiene estos mismos elementos en la naturaleza.

Otro elemento importante es cómo *Aristóteles* explica la acción constante y por contacto de la causa del movimiento de proyectiles. El caso más sencillo de la caída libre de una piedra, verbigracia, lo explica la tendencia natural de los cuerpos a ocupar los lugares acordes con su naturaleza, que para la piedra es la superficie terrestre. Como se observa, esta tendencia natural actúa como causa final, así como causa eficiente en cada instante de la caída de la piedra. Esta tendencia igualmente se encuentra cuando la piedra se lanza como un proyectil, la cual hace que regrese a Tierra. Empero, aún queda por explicar por qué la piedra sigue moviéndose mientras describe la trayectoria parabólica. De acuerdo con *Aristóteles*, el aire tiene un movimiento en forma de remolino o círculo desde delante de la piedra y hacia atrás de esta, porque el espacio que deja la piedra tiende a ser ocupado por el aire vecino hasta incluir el aire que es empujado por el frente de la piedra. Como otro principio de la física de *Aristóteles* es la imposibilidad del vacío, el aire que llega por detrás del proyectil es el que lo mueve. La combinación de esta causa eficiente del aire con la tendencia natural de la piedra a caer produce el movimiento de proyectil de la piedra.

A partir del anterior análisis, se sintetiza la teoría de las causas de *Aristóteles* en términos de las categorías que son corrientes actualmente en los debates sobre la causalidad:

- a. Los términos del vínculo causal son las cosas, no las propiedades, ni los estados de cosas, ni procesos, etc.; y las causas de las cosas tienen que ver con su naturaleza.
- b. Las causas son poderes que implican la producción y relación agente-paciente. El poder de una causa se presenta en una cosa que actúa (agente, activo) sobre otra (paciente, pasivo), de modo que genera un cambio sobre el paciente. Los poderes de las cosas se derivan de su forma sustancial, de su naturaleza: el ejercicio (agente activo) tiene el poder de producir la salud en el cuerpo enfermo (agente pasivo) y la semilla (agente activo) tiene el poder de producir la flor o el fruto.
- c. Hay unidireccionalidad, asimetría, en la causalidad. Los poderes de las causas implican que hay una dirección en que se dan: el ejercicio causa la buena salud en el cuerpo y nada más. No hay una relación recíproca, por ejemplo, como la que se da entre el choque de las bolas de billar, una en reposo y la otra en movimiento. Si bien, por cuestiones pragmáticas, se acostumbra a decir que la bola en movimiento causó el movimiento de la bola en reposo; no es incorrecto decir que la bola en reposo frenó la bola en movimiento, puesto que se tiene una interacción, una acción recíproca, entre ambas.
- d. El efecto es resultado de la suma de los poderes. Para *Aristóteles*, el mundo natural aparece como una red de poderes (naturalezas) causales, cuya combinación decide el resultado de cualquier evento. Como se explicó en el movimiento de un proyectil, están presentes la tendencia natural a caer del cuerpo y el empuje producido sobre este por el aire; donde la primera causa domina al final.

- e. La causa es necesaria, se encuentra donde hay uniformidad en las cosas. No es posible tener conocimiento (ciencia) sobre las cosas que se dan por casualidad o contingencia, sino de aquellas que se presentan siempre o en la mayoría de los casos.
- f. En la reflexión referente a las causas, Aristóteles no distingue los niveles epistemológico y ontológico: las causas están en la naturaleza y no hay duda de que los seres humanos tienen la capacidad (las condiciones) de conocerlas.

Negación de las causas aristotélicas

En la historia, se presentaron pocas críticas a las causas, que corresponden al periodo conocido como revolución de la ciencia moderna. Para el desarrollo del artículo, es apropiado citar en extenso el siguiente pasaje de [Roger Cotes \(1982\)](#), de su prefacio a *Principios (1687)* de Newton, pues contiene las principales críticas que se hacían en la época a la concepción escolástica de las causas, en la que influyó el pensamiento aristotélico:

Algunos han atribuido a las diversas especies de cosas cualidades ocultas y específicas, de acuerdo con lo cual se supone que los fenómenos de cuerpos particulares proceden de alguna manera desconocida. El conjunto de la doctrina escolástica, derivada de Aristóteles y los peripatéticos, se apoya en este principio. Estos autores afirman que los diversos efectos de los cuerpos surgen de las naturalezas particulares de esos cuerpos. Pero no nos dicen de dónde provienen esas naturalezas y, por consiguiente, no nos dicen nada. Como toda su preocupación se centra en dar nombres a las cosas, en vez de buscar en las cosas mismas, podemos decir que han inventado un modo filosófico de hablar, pero no que nos hayan dado a conocer una verdadera filosofía. (p. 9)

En ese sentido, las causas son cualidades ocultas de las cosas y también son específicas de cada una de estas; constituyen las naturalezas particulares de los cuerpos; son las formas sustanciales de Aristóteles. Estas cualidades ocultas y específicas producen supuestamente los efectos, pero en realidad se desconoce cómo lo hacen, cómo actúan. De acuerdo con esta crítica, las explicaciones en términos de naturalezas o poderes tienen forma de tautología, pues son vacías y sus definiciones son circulares.

Por ejemplo, cuando se afirma que los cuerpos caen, porque tienden a su lugar natural, no se dice nada más allá de que los cuerpos caen, aunque se utilizan otras palabras; no se explica en qué consiste esa tendencia natural ni se dice algo al respecto. La explicación es vacía, debido a que no dice nada nuevo, aunque se corresponde con descripciones que pueden ser útiles. Ahora, la explicación en términos de poderes igualmente es vacía en un sentido más profundo: se esperaría que fuera fundamental, que se dirigiera a lo básico y que no hubiese algo adicional a ella, pero no es así. De igual modo, es circular: un cuerpo cae por su tendencia natural a ocupar la Tierra y esta tendencia natural se da por la sustancia o la naturaleza misma del cuerpo.

En esta dirección apunta la crítica a atribuir poderes o naturalezas a los objetos, pues es pura antropomorfización, en la medida que, para ello, dichos objetos deben ser seres con intenciones, como el ser humano. Los poderes tienen la característica de orientarse hacia algo, “ser-hacia”; tienen una finalidad que puede darse y, por tanto, no pueden ser propiedades de las cosas ([Bacon, 1620/1949, p. 178](#)).

Un tercer tipo de crítica ataca el estatus ontológico de las naturalezas o los poderes. Si los poderes son rasgos irreductibles del mundo, parece que flotan con libertad sobre las propiedades categóricas de los cuerpos que las tienen. Este tipo de ontología sería diferente a las diez categorías de la ontología aristotélica, que son la sustancia y los nueve accidentes constitutivos de todo cuerpo: cantidad, cualidad, relación, lugar, tiempo, posición, posesión, acción y pasión. En ese sentido, verbigracia, los poderes del ejercicio

de sanar, de la semilla de volverse fruto, de la piedra de caer y del Sol de orbitar la Tierra existen al margen de sus accidentes.

Descartes: extensión, causa eficiente y leyes de la naturaleza

En este apartado se sustenta la tesis que defiende el historiador y filósofo de la ciencia **John Henry (2004)**, de la Universidad de Edimburgo, sobre los orígenes de las leyes de la naturaleza:

El concepto moderno de leyes de la naturaleza tiene su origen en la obra de René Descartes... [quien] tomó su concepto de las leyes de la naturaleza de la tradición matemática, pero reconoció que no podía exportarlo al dominio físico-matemático, para jugar un papel causal, a menos que pudiera demostrar que estas leyes fueron aprobadas [*underwritten*] por Dios. (p. 73)

De esta cita se destacan tres tesis. Una, el origen de las leyes de la naturaleza obedeció a una feliz convergencia entre la tradición geométrico-matemática y la fundamentación metafísica-teológica, acorde con la teología natural de la época; donde el trabajo científico de Descartes se inscribe en ambas tradiciones. Dos, Descartes retoma el concepto de ley de la primera tradición para aplicarlo al mundo natural. Tres, Descartes encuentra la fundamentación de que se aplique al mundo natural en la metafísica de las causas *eficientes*, cuyo origen y regularidad matemática tienen que ver con Dios.

Henry contrasta su tesis con las siguientes tres tesis contrarias sobre los orígenes de las leyes *científicas* de la naturaleza. Una es la de Zinsel, según la cual las leyes de la naturaleza surgieron en el siglo XVII, con la obra de Descartes, debido a las condiciones políticas y sociales de la monarquía absoluta, el incipiente capitalismo y el trabajo artesanal. La segunda es la de Crombie, Funkenstein, Milton y Oakley, quienes –contrario a Zinsel– plantean que estas tienen un punto de partida teológico, más que sociopolítico, puesto que se originaron en la Edad Media, en el marco de las discusiones sobre la providencia; además, muestran la continuidad existente “entre la teología providencial de varios escritores medievales y las discusiones teológicas suscitadas en relación con las leyes de la naturaleza por Descartes, Hobbes, Boyle, Newton, Leibniz y otros” (Henry, 2004, p. 95).

La tercera tesis en disputa es la de Ruby, quien propone que el surgimiento está en la tradición geométrico-matemática, pues en efecto aparece en “la Edad Media, pero no en discusiones sobre ‘legislación divina’ (que, como Zinsel, encuentra irrelevante), sino en el uso de un método axiomático euclidiano en las ciencias matemáticas subordinadas que posteriormente se traduce a la filosofía natural” (p. 95).

Uno de los principales argumentos de Henry (2004, p. 94) a favor de su tesis es que el desarrollo de las leyes de la naturaleza surge en los siglos XVI y XVII, por filósofos de la naturaleza y matemáticos interesados en aplicar la matemática abstracta en sentido estricto o instrumental al mundo físico, sin una explicación o fundamentación física o natural. De este modo, por ejemplo, aunque el enunciado más antiguo de la ley de refracción proviene de Robert Grosseteste (1235), este es solo una descripción geométrica, bajo la explicación del principio de economía, pero no es una explicación en términos de causas físicas. Igualmente, a principios del siglo XVII, Thomas Harriot y Johannes Kepler trataron de desarrollar explicaciones físicas adecuadas para el análisis geométrico de la refracción de la luz, sin ningún éxito.

En tanto, la exposición que hizo Descartes, entre 1626 y 1629, sobre la ley de la refracción, contenía explicaciones de tipo físico del comportamiento geométrico de la luz, por analogía con una pelota de tenis rompiendo una tela delgada, que hacía reducir la velocidad del rayo de luz en uno de sus componentes, produciendo así su desviación o

refracción. Por tanto, como subraya Henry (2004), “el proceso [que interesa] no consiste en convertir una ley geométrica en una ley física, sino en buscar explicaciones físicas para dar sentido a una ley geométrica” (p. 94).³

Un segundo argumento que presenta Henry (2004), citando directamente la tesis de Funkenstein, es que en efecto para esta época surgió una teología secular, “en el sentido que fue concebida por laicos para laicos. Galileo y Descartes, Leibniz y Newton, Hobbes y Vico... su teología era secular también en el sentido de que estaba orientada hacia el mundo, *ad seculum*” (p. 96). Pero este fenómeno de secularización no lleva apareado, como pretende Funkenstein, una fundamentación estrictamente teológica de las leyes de la naturaleza. De acuerdo con Henry (2004), esta se encuentra en “la necesidad de justificar el concepto de leyes de la naturaleza, con su incómoda implicación inherente de que los cuerpos inanimados son de alguna manera capaces de ‘obedecer’ tales leyes” (p. 96). Así, concluye Henry (2004):

Descartes se da cuenta de que ahora está jugando un juego algo diferente [en el momento de pensar en leyes de la naturaleza]. Mientras que las leyes putativas en el sistema abstracto de las matemáticas no necesitaban justificación más allá de su definición, las nuevas leyes físicas que proponía necesitaban una base metafísica. En la búsqueda de esta nueva metafísica, Descartes tuvo que considerar la naturaleza de las interacciones de Dios con el mundo y, en consecuencia, recurrió a la teología providencialista tradicional. (p. 97)

Siguiendo a Henry (2004, p. 103), Descartes piensa los temas de la filosofía natural en términos de *leyes de la naturaleza* para la época en que escribe *Le monde*, entre 1629 y 1633. Esta obra estaba lista para salir al público en 1633, pero Descartes se abstuvo de hacerlo por la condena de Galileo por la Inquisición en ese año. *Le monde* se publicó póstumamente en 1664. De manera más precisa, Henry plantea que, para octubre de 1629, en la comunicación con Mersenne, Descartes ya refería que las leyes físicas de la naturaleza eran el modo adecuado de explicar los fenómenos físicos naturales. Además, para este periodo, Descartes está activo tanto en los trabajos de tipo científico como en las reflexiones filosóficas o metafísicas, lo que le permitió la doble fundamentación complementaria de las leyes desde la axiomatización geométrico-matemática y su metafísica-teológica.

En lo que sigue, se toma como base la exposición de Descartes (1644/2002) en *Los principios*, de los temas de interés, sabiendo que esta obra se puede interpretar como una reformulación sistemática de su filosofía natural de *Le monde*, combinada con su metafísica, que desarrolla más adelante (Henry, 2004, p. 100).

En la primera parte de *Los Principios*, titulada “Sobre los principios del conocimiento humano”, Descartes (1644/2002) presenta y sustenta los principios de su epistemología como parte de su filosofía. Estos se relacionan con cómo el ser humano conoce todo lo existente en el mundo y qué es con lo que él existe, tema ontológico por excelencia. El § 75, “Resumen de todo lo que se debe observar para filosofar correctamente”, esboza de manera sintética ambos temas. Sobre el método, enuncia sus tres etapas principales. La primera es la duda: “debemos liberarnos, en primer lugar, de nuestros prejuicios y debemos rechazar todas las opiniones que hemos recibido a lo largo de otra época de nuestra vida en nuestra creencia hasta que las hayamos examinado de nuevo” (p. 69). En segundo lugar, la determinación de los principios y las causas: “revisión de todas las

3. ¿Qué se puede decir respecto a la ley de caída libre de los cuerpos de Galileo y las leyes de Kepler de los movimientos de los planetas? Henry (2004, p. 104) subraya que estas leyes, como muchas asociadas con la revolución científica, se designaron así, retrospectivamente, después de que Descartes introdujera la expresión. Asimismo, aunque estas manifiestan relaciones matemáticas, no se proporciona una explicación física de ellas, pues son descripciones cinemáticas (matemáticas) observables de los respectivos fenómenos.

nociones que poseemos y solo recibimos como verdaderas aquellas que se presenten clara y distintamente a nuestro entendimiento” (p. 69). Finalmente, la deducción o derivación, condición que deben cumplir los principios, adicional a su claridad y distinción: “el conocimiento de todas las otras cosas ha de depender de estos principios, de modo que pudieran ser conocidos sin que las otras cosas nos fueran conocidas, pero no a la inversa, esto es, estas sin aquellos” (p. 8).

Una vez precisados estos elementos del método, [Descartes \(1644/2002\)](#) enumera las primeras verdades a las que llega, las cuales son de carácter ontológico y se asocian con las sustancias que existen: *res cogitans*, *res infinita* y *res extensa*. La primera: “de esta forma [siguiendo el método] y, en primer lugar, conoceremos que somos, en tanto que nuestra naturaleza consiste en pensar” (p. 69). La segunda: “que existe un Dios del que nosotros dependemos” (p. 69). La tercera, la sustancia extensa: “una naturaleza extensa o corporal que puede ser movida, dividida, etc...” (p. 69). Sin embargo, antes de enunciar esta última, Descartes hace un interesante rodeo sobre la noción de la nada, pues los dos conceptos guardan una estrecha relación conceptual. [Descartes \(1644/2002\)](#) dice: “además de las nociones que tenemos de Dios y de nuestro pensamiento, también hallamos en nosotros el conocimiento de muchas proposiciones que son *perpetuamente* verdaderas como, por ejemplo, que la nada no puede ser el autor de algo” (p. 69). En síntesis, la nada no existe y no puede ser causa de nada. Este punto tiene que ver con la negación del vacío por parte de Descartes y con su idea de entender la sustancia extensa en términos estrictamente geométricos o matemáticos, como se sustenta a continuación.

Siguiendo a [Hamou \(2019\)](#), quien explica con precisión el concepto de cuerpo como extensión en Descartes y en relación con su rechazo del vacío, el punto de partida de Descartes es que se debe reconocer que “la nada no tiene ninguna propiedad” (p. 694), mientras que el espacio es algo, porque tiene características geométricas, tiene partes con cierto tamaño y forma; por lo tanto, el espacio no equivale a la nada. Así, el espacio “tiene que ser una cosa real, y como esta cosa existe sin ninguna cosa creada que la sostenga, tiene que ser atribuida a una sustancia” (p. 694). Pero aún hay otro elemento que lleva a que Descartes concluya que esa sustancia es el mismo espacio, la misma extensión, la *res extensa*, que es una propiedad geométrica. Este elemento adicional, que acompaña la extensión, es la propiedad de impenetrabilidad o solidez (que no equivale a la dureza), una propiedad que en apariencia no es geométrica. Este es el punto esclarecedor en [Hamou \(2019\)](#):

Las diversas partes de esta sustancia extensa hay que considerarlas como impenetrables, porque dos partes cualesquiera de la extensión no pueden superponerse ni penetrar la una en la otra. Para Descartes, esto no es una *petitio principii*, sino una consecuencia directa del contenido mismo de nuestra idea de espacio o extensión.⁴ (p. 695)

A partir de estos dos puntos, Descartes concluye que la materia de los cuerpos no es más que la extensión, cuyas partes son impenetrables entre sí; en definitiva, la materia de los cuerpos no es más que su extensión impenetrable. En síntesis, en palabras de [Descartes \(1644/2002\)](#),

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 a nuestros sentidos, sino que la naturaleza del cuerpo solamente reside en ser una sustancia extensa en longitud, anchura y profundidad. (p. 73)

4. Según [Hamou \(2019\)](#), en una comunicación de Descartes a Henry More, “este declara de manera explícita que la impenetrabilidad o solidez es una propiedad intrínseca de la extensión” (p. 695) o, por lo menos, una propiedad que puede deducirse de esta.

Esto en un sentido geométrico absoluto. El color de un cuerpo no puede ser parte de su naturaleza, pues este cambia si se está en un espacio con mayor o menor luz o con luz de otro color. El peso de un cuerpo se altera si está entre el agua, por ejemplo; así que no puede formar parte de su naturaleza. Por último, la dureza de un cuerpo también es relativa: si un cuerpo, que se percibe duro al tacto, se mueve en la dirección en que es alcanzado, se percibirá menos duro. De modo que esta propiedad tampoco es esencial a los cuerpos. No obstante, como se ha visto, todos los cuerpos han de ser extensos y la diversidad de propiedades (como dureza, peso y color) que se encuentra en estos debe explicarse con base en su extensión y movimientos relativos.

Así, una última idea importante del § 75 es la propiedad que tiene un cuerpo o naturaleza extensa: “puede ser movida, dividida, etc.”. De manera más precisa, como aparece en *Los principios* (Descartes, 1644/2002), en la segunda parte, § 23 “*Cuantas variedades se dan en la materia dependen del movimiento de sus partes*”. Con esta característica se completa la imagen mecanicista del mundo natural desplegada por Descartes (1644/2002) y que muy bien describe, en forma condensada en la segunda parte de *Los principios*, § 64:

No acepto principios en física que no sean aceptados en matemáticas con el fin de poder probar mediante demostración todo lo que de ellos deduciré; estos principios bastan en tanto que todos los fenómenos de la naturaleza pueden ser explicados por medio de ellos.

Estos principios, respecto a los cuerpos o las cosas corpóreas, no son más que “sus movimientos, sus figuras y sus divisiones” (Descartes, 1644/2002, p. 119), que son susceptibles de ser tratados en forma matemática y que de ellos se deducen matemáticamente los efectos o fenómenos de interés. De esta descripción del mecanicismo cartesiano puede concluirse que también se caracteriza por aceptar solo la interacción por contacto entre los cuerpos, una herencia de la causa eficiente de Aristóteles, y la negación del vacío, la idea de que el mundo es un *plenum*, está lleno por completo.

Ahora, se debe pasar a analizar cómo los § 36-40 de *Los principios* (Descartes, 1644/2002) justifican la tesis mencionada en un comienzo: Descartes encuentra la fundamentación metafísico-teológica de la aplicación al mundo natural de leyes de la naturaleza en la metafísica de las causas *eficientes*, cuyo origen y regularidad matemática se relaciona con Dios.

La introducción de la terminología de *ley de la naturaleza* aparece cuando Descartes (1644/2002) se pregunta por la causa del movimiento, en sus palabras: “después de haber examinado la naturaleza del movimiento, es preciso que consideremos su causa” (p. 96). Enseguida, Descartes aclara que hay dos tipos de movimientos que requieren explicación, cuyas causas deben determinarse. Una de las formas de movimiento es “la primera y más universal de ellas, esto es, por la causa general de todos los movimientos que son en el mundo” (p. 96) y la otra es “la razón de que cada parte de la materia adquiera un movimiento que antes no tenía” (p. 96), es decir, las causas de los movimientos particulares que adquieren los cuerpos al interactuar con otros.

Ahora bien, respecto a *la causa primera*, la causa del movimiento general que hay en el mundo, la respuesta de Descartes (1644/2002) es sorprendente:

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, tanto movimiento y reposo como el producido al crearlo. (p. 96)

Aquí se enuncia el principio de conservación de la cantidad de movimiento (aunque no en forma vectorial), representada por el producto de la masa y la velocidad, como bien lo reconoce el mismo Descartes (1644/2002, p. 97). Con todo, que Dios sea la causa del

movimiento y su conservación en el mundo natural puede entenderse de dos maneras: por una parte, en un comienzo Dios impuso el movimiento al mundo natural y desde entonces se conserva, sin necesidad de su intervención; por la otra, en un inicio Dios estableció un movimiento al mundo natural y, debido a que este se pierde, Dios restituye dicha pérdida constantemente. ¿Cuál es la interpretación adecuada? Parece ser que la primera, por lo que dice luego: “pues, aunque el movimiento no sea sino una forma de la materia que es movida, tiene una cierta cantidad que ni aumenta ni disminuye jamás, aun cuando exista más o menos movimiento en alguna de sus partes” (p. 96).

Como se observa, esta fundamentación del principio de conservación de la cantidad de movimiento no se encuentra propiamente en términos naturales; por lo tanto, se puede calificar de metafísica o teológica. Sin embargo, Descartes no equipara este principio con una ley de la naturaleza, pues se podría decir que estas últimas tienen un rango inferior por relacionarse con *las causas segundas*, con las causas de los movimientos particulares de los cuerpos y no con el movimiento general del mundo. Las leyes de la naturaleza gobiernan cómo se mueven los cuerpos individualmente y cómo se transmite el movimiento entre ellos al interactuar. Descartes (1644/2002) introduce así, por primera vez en *Los principios*, el término *ley*, al finalizar el § 36:

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* [énfasis añadido]. (p. 97)

Dios creó la materia con cierta cantidad de movimiento y reposo; asimismo, de manera particular, con ciertas leyes que regulan cómo se da el movimiento y sus cambios en los procesos de interacción entre cuerpos.

Así, las leyes de la naturaleza, las causas segundas, son leyes de los movimientos específicos del mundo natural, pero no del movimiento en general, pues el principio de este es Dios y su conservación. Ahora bien, como este es un mundo mecánico, conformado por solo movimientos, sus leyes también son de la naturaleza en sentido general, puesto que no hay nada más que movimientos. Descartes enuncia tres leyes de la naturaleza: las dos primeras conforman la conocida ley de la inercia formulada por Newton y la tercera pretende enunciar las reglas que gobiernan los choques de los cuerpos.

En el § 37 formula la primera ley: “*Cada cosa persevera siempre en el mismo estado en cuanto depende de ella; de modo que lo que se mueve una vez, tiende a moverse siempre*”, de forma que equipara el movimiento con el reposo, los cuales no necesitan causa. Este punto rechaza el principio de la física aristotélica referente a que el movimiento debe ser causado, mientras que el reposo no. En el § 39 expresa la segunda ley como complemento de la primera: “*Todo movimiento es recto de suyo. Por eso, las cosas que se mueven circularmente tienden siempre a separarse del centro del círculo que describen*”. Esto es, el movimiento que se mantiene, equivalente al reposo, es en línea recta y ningún otro, ni siquiera el circular como proponía el geocentrismo.

Por último, en el § 40 enuncia la tercera ley: “*Cuando un cuerpo choca con otro más fuerte, no pierde nada de su movimiento; pero cuando choca con uno menos fuerte, pierde tanto como transmite a este*”. La tercera ley busca describir las regularidades con las que se presentan los choques, pero —como se observa— no tiene la precisión de las otras dos, dado el uso de nociones imprecisas como “más fuerte” y “menos fuerte”; por lo que no pasó a la posteridad. Actualmente, los choques se explican en términos de las leyes de la conservación del movimiento y de la energía cinética.

Como se aprecia en lo que sigue, Newton consolida el paso de las causas a las leyes de la naturaleza o el vínculo entre causas y leyes naturales. Este último concepto no solo será fructífero en la forma de comprender el mundo, sino que presupone, desde Descartes y Newton, una perspectiva metafísica particular sobre el mundo natural: las leyes de la naturaleza fueron impuestas por Dios al mundo natural y se cumplen de manera rigurosamente matemática.

Newton: de los efectos a las causas y consolidación del concepto de ley

La mejor manera de presentar los planteamientos de Isaac Newton (1642-1727) sobre la causalidad es estableciendo un contraste con las ideas centrales de Descartes expuestas. Esto no solo vale metodológicamente, sino también desde el contenido, porque las tesis de Descartes son un elemento importante del contexto en el que surgen y se consolidan el trabajo de Newton y sus aportes en el campo de la filosofía natural (física). Como muestra de ello vale mencionar que el título que Newton puso a su obra representativa, *Principios matemáticos de la filosofía natural* (1687/1982), busca establecer un claro contraste, en cuanto a contenido y método, con *Los principios de la filosofía* de Descartes. Como señala Andrew Janiak (2019):

Fueron *Los principios* de Descartes sobre todo los que influyeron en el pensamiento de Newton cuando era joven... El manuscrito, ahora conocido como *De Gravitatione* después de su primera línea, ilustra el asombroso cuidado con el que Newton leyó *Los principios*... De hecho, el mismo título de la última obra representa tanto un homenaje como un golpe al trabajo de Descartes: Newton ofrecería principios matemáticos de la filosofía natural para reemplazar a Descartes.⁵ (p. 804)

Los principales tres temas de contraste que se analizan a continuación son: el metodológico (de los fenómenos a las causas y no de las causas a los efectos), el ontológico (la extensión es insuficiente, por lo que se deben ampliar las cualidades primarias y es necesario considerar los principios pasivos y los activos) y, por último, los principios activos y su relación con las leyes de la naturaleza.

Vale la pena retomar el prefacio de Cotes (1982), porque es bastante preciso a la hora de comparar las metodologías escolástica, cartesiana y newtoniana en relación con el estudio de las causas. Si bien las tres se interesan en el conocimiento de las causas, sus procedimientos son distintos. El punto de partida de las dos primeras es ir de las causas a los efectos, mientras que en Newton es inverso: se debe comenzar con el estudio de los fenómenos para después llegar a sus respectivas causas. De modo particular, la crítica que hace Cotes (1982) a la perspectiva cartesiana consiste en descalificar su método hipotético de determinar de forma clara y distinta las primeras causas o principios a partir de un examen riguroso y juicioso de la razón, desde los cuales se derivan en sentido estricto la diversidad de fenómenos observados en el mundo natural y humano, tal y como procedió en *Los principios* de Descartes. Este método lo describe Cotes (1982) de manera crítica en los siguientes términos:

Se toman la libertad de imaginar arbitrariamente figuras, magnitudes desconocidas, situaciones inciertas y movimientos de las partes, suponiendo además fluidos ocultos capaces de penetrar libremente por los poros de los cuerpos, dotados de una sutileza omnipotente y agitados por movimientos ocultos... Los que parten de hipótesis como primeros principios de sus especulaciones... pueden desde luego componer una fábula ingeniosa, pero no dejará de ser una fábula. (p. 206)

5. Como refuerzo, vale la pena recoger las palabras de Henry (2004): "Newton tuvo suerte de haber seguido a Descartes y de haber podido, como él mismo habría dicho, apoyarse en los hombros de Descartes" (p. 114).

La referencia a “una fábula ingeniosa” no es gratuita, pues de seguro Cotes (1982) tiene en mente el retrato de Descartes, elaborado por J. B. Weenix hacia 1647, en el que aparece el filósofo sosteniendo un gran libro abierto con la frase “*mundus est fabula*” en una de sus páginas. Esta frase se acordó con Descartes para entenderse como síntesis de su perspectiva filosófica sobre el conocimiento del mundo natural. El reclamo de Cotes es que sí es posible conocer la naturaleza, en la medida en que se cambie el método cartesiano de construir una fábula del mundo desde principios o causas claros y distintos a la luz de la razón.

Cotes llama *filosofía (método) experimental* al nuevo método introducido por Newton; en una primera descripción, este equivale a proceder partiendo de los efectos para llegar a las causas. En palabras de Newton (1977), de la *Óptica*: “el objetivo básico de la filosofía natural es argumentar a partir de los fenómenos, sin imaginar hipótesis, y deducir las causas a partir de los efectos” (p. 319). Esta idea la reitera desde un comienzo Cotes (1982): “siguiendo causas probadas por los fenómenos, en vez de causas solo imaginadas y sin probar todavía” (p. 214); lo contrario a las metodologías de Aristóteles y Descartes. Sin embargo, la máxima del método experimental va más allá de indicar la orientación causal a seguir, pues esta incluye el precepto inductivo de asignar a los mismos efectos las mismas causas; es decir, “efectos de la misma especie, cuyas propiedades conocidas son idénticas, surgen de las mismas causas y tienen también las mismas propiedades desconocidas” (p. 212).

Ambas tesis metodológicas se recogen en las dos primeras *Reglas para filosofar* de Newton, que explica al inicio del tercer libro, en el que expone el *sistema del mundo*; en otras palabras, aplica las leyes y los principios matemáticos presentados y demostrados en los anteriores libros para derivar *la constitución del sistema del mundo*, de acuerdo con los datos observacionales con los que cuenta. Estas son las dos reglas, respectivamente: “no debemos para las cosas naturales admitir más causas que las verdaderas y suficientes para explicar sus fenómenos” (Newton, 1687/1982, p. 657) y “por consiguiente debemos asignar tanto como sea posible a los mismos efectos las mismas causas” (p. 657).

En este contexto aparece la famosa afirmación de Cotes (1982), aprobada igualmente por Newton, de que en este método se

Deducen las causas de todas las cosas de los principios más simples posibles; pero no asumen como principio nada que no esté probado por los fenómenos. *No inventan hipótesis* [énfasis añadido], ni las admiten en filosofía, sino como cuestiones cuya verdad puede ser disputada. (p. 206)

Aquí es claro el tono anticartesiano, el cual se opone a las hipótesis especulativas que no se derivan ni sustentan en experiencias o experimentos cuidadosos. El caso de la explicación del sistema solar permite ilustrar los procedimientos opuestos de Descartes y Newton. El primero lo hace con base en su visión mecanicista del mundo, dominada por cuerpos en movimiento que interactúan mediante fuerzas por contacto y en donde no existe el vacío, todo es un *plenum*. Esta perspectiva se deriva de su hipótesis de que la naturaleza de los cuerpos naturales es solamente su extensión geométrica y nada más, la cual tiene como modos los movimientos, las formas y las divisiones de los cuerpos. De manera particular, en los cielos hay cuerpos celestes como las estrellas, el Sol, los planetas y la Luna; además, una materia sutil llena los grandes espacios entre estos, cuyos movimientos y choques son los responsables de las órbitas regulares de los planetas alrededor del Sol y de la caída de los cuerpos a la Tierra.

¿En qué términos Newton explica el orden presente en el sistema solar? Para el físico, su configuración se debe a la fuerza gravitacional entre los cuerpos celestes. En otras

palabras, la caída de estos sobre la Tierra, el movimiento de la Luna alrededor de la Tierra y el de esta últimas y los demás planetas en torno al Sol son consecuencias de la fuerza gravitacional entre estos cuerpos, sumado a las otras leyes del movimiento y de las fuerzas que él descubrió y recogió en sus tres axiomas o leyes del movimiento. Por tanto, la interacción gravitacional universal entre los cuerpos no es un principio puesto como hipótesis, a la manera de Descartes, sino una propiedad que se observa con claridad en los casos anteriores y que puede extrapolarse a otros sucesos semejantes, como el de las estrellas fijas. En específico, Cotes (1982) resalta:

Pues si la gravedad es la causa de la caída de una piedra en Europa, ¿quién duda de que será la causa de la misma caída en América? Si hay mutua gravitación entre una piedra y la Tierra en Europa ¿quién negará que lo mismo sea mutuo en América? Si en Europa la atracción de la Tierra se propagara a todo tipo de cuerpos y a todas las distancias, ¿por qué no podremos decir que se propaga de modo análogo en América? (p. 212)

Estas ilustraciones aluden explícita o implícitamente al método inductivo; por ello, se emplean para exponer una precisión importante sobre esta, a partir de cómo Newton la enuncia, lo que coincide con su formulación estándar. La “regla III” aclara de qué se trata la inducción con varios ejemplos. En tanto, la “regla IV” indica que este método tiene limitaciones que se deben señalar cuando se conozcan. Sin embargo, hasta la *Óptica*, al final de la “Cuestión 31”, Newton (1977) esboza sus métodos de análisis y síntesis, expresando de manera sintética qué es la inducción: “este análisis consiste en realizar experimentos y observaciones, en sacar de ellos conclusiones generales por inducción” (p. 349).

De acuerdo con Newton, así procedió para concluir el carácter universal de la interacción gravitacional entre los cuerpos, pues no hay duda de que los objetos que caen en Inglaterra, Europa y América están sometidos a la gravedad. Pero también la Luna lo está, porque la trayectoria circular que describe resulta de la combinación de su movimiento rectilíneo (tangencial) por su inercia y la atracción radial de la Tierra sobre ella, de modo que la Luna está cayendo sobre la Tierra. De igual forma, el movimiento elíptico de los planetas indica que estos son atraídos por el Sol o están cayendo sobre él. En las estrellas fijas no se observa la propiedad de la interacción gravitacional, como sí en los casos anteriores, pero si las estrellas son semejantes al Sol, se concluye que tienen esta propiedad.

Aquí, el proceso de inducción consiste en que, partiendo de observaciones cuidadosas, se llega poco a poco a la conclusión general: “admitir universalmente que todos los cuerpos sin excepción están dotados de un principio de gravitación mutua” (Newton, 1687/1982, p. 659). Descrito de esta forma, el método es bastante sencillo: hacer observaciones cuidadosas y después generalizar. La pregunta pertinente ahora es ¿por qué hombres tan agudos en sus observaciones y análisis como Galileo, Kepler, Copérnico y Aristóteles no lograron describir esta propiedad tan *evidente*? Para responder, se puede considerar el caso de Aristóteles por ser el más extremo y esclarecedor, lo que permite sentar la tesis de que la observación no se hace con base en el vacío, sino que en muchos casos la determina un contexto teórico; en otras palabras, los hechos se consideran semejantes, no por serlo por sí mismos, sino que se interpretan de tal forma desde cierta perspectiva.

Las observaciones de Newton y Aristóteles están separadas por casi veinte siglos. El principio de inducción del inglés funciona desde el contexto en el que se tiene establecido, como *principio de semejanza*, que la naturaleza de los cielos es la misma que la de la Tierra. Pero para llegar a este, que es sobre el que se construye el heliocentrismo y se derrumba el geocentrismo, transcurrieron casi veinte siglos. Para Aristóteles y el mundo griego antiguo, no hay tal similitud; la estructura del universo está dividida en dos naturalezas distintas: el mundo sublunar, referido a la Tierra, y el mundo supralunar, referente a los cielos. A la luz de la observación, no hay afinidad entre estos dos mundos; los cuerpos encima de

la Tierra son graves o livianos y los cuerpos celestes se mueven sobre trayectorias fijas y eternas, acordes con su naturaleza.

La inducción –incluso siendo precisa y con limitaciones, como enuncia Newton– es insuficiente para declararla *el método científico*, pues se establece con base en presupuestos de semejanza que se asumen como incuestionables o dados. En cuanto que, en realidad, la proximidad entre hechos observados obedece a una perspectiva particular desde la que se analizan. En este punto cabe recordar la insistencia argumentada de Popper (1963/2002, p. 59)⁶ en contra de las leyes de la naturaleza, cuando señala que son generalizaciones inductivas de experiencias observacionales y que son libres invenciones de la mente humana, expresión que retoma de Einstein. En síntesis, la semejanza observacional sobre la que descansa la inducción no es independiente por completo, no se hace desde un vacío conceptual o teórico, sino que, por lo general, está inscrita en un contexto teórico.

Esta idea de que la inducción presupone la semejanza también puede expresarse, aunque no es del todo equivalente a la anterior, en términos de lo que Michael Polanyi (1891-1976) llamó *conocimiento tácito*. El descubrimiento de Newton sobre la interacción gravitacional, bajo el principio de semejanza de que esta se extiende más allá de la Tierra, es un conocimiento explícito del conocimiento tácito de los copernicanos anteriores a él. En las palabras de Polanyi (1966/2009):

Podemos tener un conocimiento previo tácito de cosas aún no descubiertas. Este es, en efecto, el tipo de conocimiento previo que los copernicanos debieron haber querido afirmar cuando sostuvieron apasionadamente, contra una fuerte presión, durante ciento cuarenta años antes de que Newton demostrara su punto, que la teoría heliocéntrica no era simplemente una manera conveniente de calcular las trayectorias de los planetas, sino que realmente era cierta. (p. 23)

Como se colige de lo dicho, Newton no solo introduce la fuerza de atracción gravitacional entre los cuerpos, sino que rechaza el punto arquimédico del sistema mecanicista de Descartes de que la extensión de los cuerpos es la única propiedad fundamental o propiedad primaria. La extensión (la extensión impenetrable, como se planteó antes) es insuficiente para dar cuenta de la diversidad de fenómenos que se aprecian en el mundo natural, por lo que se deben incluir como propiedades primarias, por lo menos, la impenetrabilidad, la movilidad y la gravedad: “la extensión, la movilidad y la impenetrabilidad de los cuerpos solo se nos hacen conocidas mediante experimentos, y de idéntico modo se nos hace conocida su gravedad” (Cotes, 1982, p. 213). Incluso, muy en línea con los argumentos de Newton, Cotes (1982) refuerza la idea de que la gravedad existe, aunque no se había reconocido hasta al momento, ubicándola en el mismo estatus que la extensión, la movilidad y la impenetrabilidad, pues concluye:

O bien la gravedad ha de tener un lugar entre las cualidades primarias de todos los cuerpos, o bien la extensión, la movilidad y la impenetrabilidad no deben tenerlo. Y si la naturaleza de las cosas no se explica correctamente mediante la gravedad de los cuerpos, tampoco será explicada correctamente por su extensión, movilidad e impenetrabilidad. (p. 213)

Inclusive, esta perspectiva ontológica sobre la constitución básica de los cuerpos naturales encuentra una mejor estructura, por parte de Newton, por medio de la distinción que establece entre *principios pasivos* y *principios activos* del mundo natural, y no de los cuerpos específicamente, puesto que los primeros están asociados a la materia y los segundos, a las fuerzas. Como se ha visto, la impenetrabilidad, una propiedad física y no geométrica, es una cualidad primaria adicional a la extensión; asimismo, la materia tiene la propiedad de ser inerte, de resistirse a modificar su estado de reposo o movimiento

6. Sobre el tema de la inducción en Popper, véase Guerrero y Racines (en prensa).

rectilíneo uniforme, tal como lo enuncia la primera ley del movimiento. Como explica Newton (1977),

La *vis inertiae* [fuerza inerte o inercia] es un principio pasivo [de la materia]... Con este principio solo, nunca habría movimiento en el mundo. Se requiere otro principio que ponga los cuerpos en movimiento y, una vez en movimiento, otro principio es necesario para conservar el movimiento. (p. 343)

Con estas propiedades de la materia (extensión, movilidad, impenetrabilidad e inercia), aunque el movimiento puede intercambiarse, perderse en unas partes y ganarse en otras, habría una pérdida de movimiento. Por ello, se necesitan principios que restauren dichas pérdidas; Newton (1977) los califica de “principios activos, tales como el de la gravedad y los que causan la fermentación y cohesión de los cuerpos” (p. 346). Como se aprecia, hay más elementos básicos del mundo en la perspectiva de Newton que en la de Descartes. En ese sentido, si es posible calificar la perspectiva de Newton de *mecanicista*, no hay duda de que la propuesta cartesiana, con cuerpos extensos y fuerzas por contacto, es un mecanicismo más radical que el de Newton, con cuerpos extensos, impenetrables, pesados y con fuerzas adicionales a las fuerzas por contacto.

¿Los principios activos de Newton son un retorno a las cualidades (poderes) ocultas de Aristóteles? Sí, pero en un contexto diferente al aristotélico. Estos principios se pueden pensar como equivalentes a las distintas fuerzas descubiertas después de que Newton formulara la mecánica. Fuerzas relacionadas con la gravedad, la electricidad, el magnetismo y demás; asimismo, parece claro que estas fuerzas se presentan como cualidades o poderes de la naturaleza. En ese sentido, ¿este es un proceso de antropomorfización, tal y como se les criticaba a los aristotélicos? Sí, pero con otras características.

Primero, estos poderes, cualidades o fuerzas no son ocultos, sino que son susceptibles a evidenciarse a través de observaciones o experimentos. Newton (1977) se esfuerza con reiteración en mostrar que, por ejemplo, la atracción gravitacional entre los cuerpos es una propiedad manifiesta y no oculta como las causas aristotélicas:

No considero que estos principios sean cualidades ocultas, supuestamente derivadas de las formas específicas de las cosas, sino que son leyes generales de la naturaleza, por la que se forman las cosas mismas y cuya verdad se nos aparece por los fenómenos, aun cuando sus causas aún no hayan sido descubiertas. Estas cualidades son manifiestas y solo sus causas son ocultas. Los *aristotélicos* dieron el nombre de cualidades ocultas no a las manifiestas, sino solo a aquellas que suponían ocultas en los cuerpos, siendo causas desconocidas de fenómenos manifiestos. (p. 346)

Como se ha visto, la fuerza de gravedad –como una propiedad de atracción entre los objetos– es patente en la caída de los cuerpos sobre la Tierra, el movimiento de la Luna alrededor de esta, el de los planetas en torno al Sol, entre otros. Esta propiedad es evidente, lo que se desconoce es su origen. Newton (1687/1982) es consciente y consecuente con tal situación, de modo que no arriesga ningún tipo de hipótesis (especulativa) al respecto, a la manera de Descartes:

Pero hasta el presente no he logrado descubrir la causa de esas propiedades de gravedad a partir de los fenómenos, y *no finjo hipótesis* [énfasis añadido]. Pues todo lo no deducido a partir de los fenómenos ha de llamarse una hipótesis, y las hipótesis metafísicas o físicas, ya sean de cualidades ocultas o mecánicas, carecen de lugar en la filosofía experimental. (p. 817)

En segundo lugar, una fuerza (un poder) no se corresponde con la naturaleza de un cuerpo ni se origina en ella. Las fuerzas no remiten a poderes de las cosas; son principios activos de la naturaleza que se expresan en la interacción entre los cuerpos. En este punto, vale la pena retomar la tesis de Andrew Janiak (2019) que contrasta el concepto de fuerza de Descartes con el de Newton:

Si cualquier cartesiano pensara en fuerzas, querría pensar en ellas como lo que llamaré *poder*⁷ en este sentido específico: un poder es una propiedad o un modo de alguna sustancia, que puede activarse en determinadas circunstancias. La noción de Newton de fuerza impresa, al parecer, no se ajusta a este modelo: como él dice, la fuerza no es una potencia en el sentido de ser una propiedad o modo de alguna sustancia; es una acción que no permanece en ninguna parte después de que cesa la acción. Mientras que las fuerzas cartesianas son *poderes*, las fuerzas newtonianas son *acciones*. (p. 813)

Es claro que las fuerzas por contacto de Descartes son modos de la materia extensa y, en este sentido, son poderes de la materia; por lo tanto, son semejantes a las cualidades ocultas aristotélicas. En concordancia con Janiak (2019), esta no es la forma como Newton piensa las fuerzas. Las fuerzas, referidas a los cuerpos, deben verse como acciones, tal y como propone Janiak (2019); termina la interacción entre los cuerpos y cesa la acción del uno sobre el otro, no queda nada en los cuerpos y mucho menos poder alguno. Ahora bien, el asunto es diferente si se repara en el origen de la fuerza, por ejemplo, gravitacional. De tal manera, no hay que ver la acción de un cuerpo sobre el otro, sino el origen de la interacción o, en la terminología de Newton, la presencia de un principio activo de la naturaleza y no específicamente de un cuerpo. En este último sentido, es posible asociar el principio activo de la naturaleza o la presencia de la interacción gravitacional entre los cuerpos con un *poder* de la naturaleza, que es contrario a la *pasividad* de un principio pasivo como la inercia.

En síntesis, la idea que se quiere reforzar es que la introducción de las fuerzas en la naturaleza puede calificarse como un proceso de antropomorfización, de otorgarle cualidades semejantes a las del ser humano a la naturaleza. Si se quiere, puede verse como la introducción de nuevos conceptos que refieren a propiedades del mundo por analogía a su utilización para describir propiedades humanas. Con todo, lo relevante es que este procedimiento se acompaña de objetivación, debido a que el concepto introducido refiere a propiedades objetivas del mundo natural. Como se ha mencionado, un primer elemento característico de esa objetivación es que la gravedad (la fuerza) refiere a una propiedad manifiesta, y no oculta, de los fenómenos. En tanto, un segundo elemento de la objetivación de las fuerzas por parte de Newton es que son nociones matemáticas susceptibles de medirse y tratarse así.

En términos generales, Cartwright y Pemberton (2013) defienden esta tesis:

Los científicos de la revolución de la ciencia moderna se burlaron de este tipo de aristotelismo [los poderes de las cosas]: parece hacer de la explicación científica una farsa. ¿Qué hace que los cuerpos pesados caigan? La gravedad. ¿Qué es la gravedad? Lo que hace caer a los cuerpos pesados. Nosotros, por el contrario, aceptamos la proliferación de poderes [*powers*] y argumentamos que ni socava la explicación científica ni resta valor a los logros de la ciencia. La gravedad explica por qué caen los cuerpos pesados y la gravedad es el poder [*power*] para hacer que caigan los cuerpos pesados. El logro de la ciencia newtoniana fue primero establecer el hecho empírico de que tener una masa confiere a un cuerpo el poder [*power*] de atracción gravitacional y luego encontrar la fuerza exacta y la forma funcional del efecto canónico: GMm/r^2 . (p. 94)

Una importante novedad de los *Principios* de Newton es su proceder axiomático a la manera de los *Elementos* de Euclides, la forma axiomático-matemática en que presenta su teoría de la mecánica. De ahí que su título sea muy apropiado: *Principios matemáticos*. Si bien esta obra representa grandes rupturas con el proceder cartesiano, también simboliza una continuidad con su trabajo. Respecto a lo último, Newton sigue a Descartes en su concepto de ley de la naturaleza y, en líneas generales, en su perspectiva de matematización del mundo, pero a su modo. Newton introduce sus conocidas leyes bajo el título de *axiomas*

7. Se traduce *power* como *poder*.

o *leyes del movimiento*, por ejemplo, y califica la interacción gravitacional entre los cuerpos como ley de la naturaleza. Además, no hay duda de que las fuerzas se comportan como causas, produciendo efectos sobre los cuerpos; en tal sentido, se puede hablar de leyes causales de la naturaleza. Asimismo, los conceptos introducidos (masa, inercia, fuerza en general, fuerza gravitacional, entre otras), así como las relaciones que guardan, expresadas en las leyes de la naturaleza, son susceptibles de medición y tratamiento matemático.

En síntesis, hay cierta continuidad entre Descartes y Newton en el principio referente a que las leyes naturales gobiernan el mundo y poseen un carácter matemático. Estas ideas también se complementan con la tesis compartida por ambos de que el mundo natural es obra de Dios,⁸ quien representa la primera causa del mundo e impuso las leyes que gobiernan la naturaleza:

Toda esta diversidad de cosas naturales, que hallamos adecuada a tiempos y lugares diferentes, solo puede surgir de las ideas y la voluntad de un ente que existe por necesidad... Y esto por lo que concierne a Dios, de quien procede ciertamente hablar en filosofía natural partiendo de los fenómenos. (Newton, 1977, p. 816)

Como se observa, Newton (1977) es claro a la hora de rechazar la idea de que el mundo natural proviene solo de leyes naturales –sin intervención divina– y por causa de una necesidad natural, que califica de metafísica: “habiéndolo hecho así, no es filosófico buscar otro origen al mundo o pretender que podría haber surgido del caos por meras leyes de la naturaleza, y que, una vez formado, podría continuar durante muchas eras gracias a esas leyes” (p. 347).

Hay que tener presente que esta perspectiva no teológica, naturalista, de las leyes de la naturaleza, que considera y rechaza Newton, será la dominante en los siglos venideros. En los términos del apartado anterior, cuando se analizó la introducción de las leyes de la naturaleza por parte de Descartes, se planteó que esta se originó por la feliz convergencia entre la perspectiva axiomático-geométrica y la fundamentación metafísico-teológica propias de su forma de pensar; en esta perspectiva naturalista, no metafísico-teológica, el argumento proveniente de la axiomatización matemática será el dominante, por no decir que el único: la naturaleza está gobernada por leyes matemáticas y nada más. Un principio que también pasa por metafísico.

Referencias

- Aristóteles. (1985). *Ética nicomáquea*. Gredos.
- Aristóteles. (1995b). Analíticos segundos. En *Tratados de lógica (Órganon)* (t. 2, pp. 301-440). Gredos.
- Aristóteles. (1995a). *Física*. Gredos.
- Bacon, F. (1620/1949). *Novum organum*. Losada.
- Broadie, S. (2009). The ancient Greeks. En H. Beebe, C. Hitchcock y P. Menzies (Eds.), *The Oxford handbook of causation* (pp. 21-39). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199279739.003.0002>
- Cartwright, N., y Pemberton, J. (2013). Aristotelian powers: Without them, what would modern science do? En R. Groff y J. Greco (Eds.), *Powers and capacities in philosophy: The new Aristotelianism* (pp. 93-112). Routledge.

8. Es interesante el contraste entre los planteamientos de Descartes y Newton sobre la función de Dios (la teología natural) en la construcción de sus respectivos sistemas del mundo, pero esto desborda el marco del presente trabajo. Al respecto, véase Guerrero (2013).

- Cotes, R. (1982). *Prefacio*. En I. Newton, *Principios matemáticos de la filosofía natural y su sistema del mundo* (2.^a ed., pp. 9-25). Editora Nacional.
- Descartes, R. (1644/2002). *Los principios de la filosofía*. Alianza.
- Guerrero, G. (2013). El lugar de Dios en la filosofía natural de Newton. En L. M. Duque y L. M. Estrada (Eds.), *Ciencia y religión: reflexiones en torno a una racionalidad incluyente* (pp. 73-86). Programa Editorial Universidad del Valle.
- Guerrero, G., y Racines, J. I. (en prensa). *Ciencia y pseudociencia: Popper y nuevos enfoques*.
- Hamou, P. (2019). Locke on cartesian bodies and cartesian souls. En S. Nadler, T. M. Schmalz y D. Antoine-Mahut (Eds.), *The Oxford handbook of Descartes and Cartesianism* (pp. 691-706). The University of Chicago Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780198796909.013.43>
- Hankinson, R. J. (2009). Causes. En G. Anagnostopoulos (Ed.), *A companion to Aristotle* (pp. 213-229). Blackwell Publishing.
- Henry, J. (2004). Metaphysics and the origins of modern science: Descartes and the importance of laws of nature. *Early Science and Medicine*, 9(2), 73-114. <https://doi.org/10.1163/1573382041154051>
- Janiak, A. (2019). Physics and metaphysics in Descartes and Newton. En S. Nadler, T. M. Schmalz y D. Antoine-Mahut (Eds.), *The Oxford handbook of Descartes and Cartesianism* (pp. 804-815). The University of Chicago Press.
- Newton, I. (1687/1982). *Principios matemáticos de la filosofía natural y su sistema del mundo*. Editora Nacional.
- Newton, I. (1977). *Óptica*. Alfaguara.
- Polanyi, M. (1966/2009). *The tacit dimension*. The University of Chicago Press.
- Popper, K. (1963/2002). *Conjectures and refutations*. Routledge Classics.