

Reconstruyendo la concepción newtoniana de las leyes de la naturaleza

Reconstructing Newton's Conception of the Laws of Nature

Cristián Soto

Departamento de Filosofía, Universidad de Chile, Chile
cssotto@uchile.cl

Newton International Fellow, British Academy / CPNSS, LSE, UK
C.Soto1@lse.ak.uk

<https://orcid.org/0000-0001-5675-8943>

Resumen

Usualmente hablamos de las leyes newtonianas en mecánica clásica sin saber, en rigor, cómo concebía Newton tales leyes. Este artículo esclarece algunos de los supuestos ontológicos, epistemológicos y teológicos que subyacen a su concepción de las leyes de la naturaleza. Tras introducir el trasfondo cartesiano (2), examinaremos la concepción newtoniana de leyes de la naturaleza en tres aspectos, a saber: el carácter de las leyes de la naturaleza en el contexto de las reglas para la filosofía natural (3); la concepción emanantista del espacio y del tiempo en *De Gravitatione* (4); y la interpretación de las leyes de la naturaleza en términos de mecanismos leibnizianos o principios berkeleyanos (5). Nuestro análisis pondrá de relieve aspectos filosóficos cruciales de la concepción newtoniana de leyes de la naturaleza, la cual contribuyó a determinar las direcciones que predominaron en la investigación posterior (6).

Palabras clave: filosofía natural, mecanicismo, principios matemáticos, *De Gravitatione*, reglas para la filosofía natural.



Received: 17/11/2023. Final version: 21/12/2023

eISSN 0719-4242 – © 2023 Instituto de Filosofía, Universidad de Valparaíso

This article is distributed under the terms of the

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 Internacional License



CC BY-NC-ND

Abstract

We routinely speak of Newton's laws in classical mechanics without really knowing how Newton understood such laws. This article clarifies some of the ontological, epistemological, and theological presuppositions underpinning his conception of the laws of nature. After introducing the Cartesian background (2), we examine the Newtonian view of laws of nature in three respects, namely: the character of laws of nature in the context of the rules for natural philosophy (3); the emanative conception of space and time in *De Gravitatione*; (4); and the interpretation of laws of nature in terms of Leibnizian mechanisms or Berkeleyan principles (5). Our analysis highlights crucial philosophical elements of Newton's view of laws of nature, which contributed to shape the directions that predominated in successive investigations (6).

Keywords: natural philosophy, mechanism, mathematical principles, *De Gravitatione*, rules for natural philosophy.

1. Introducción¹

La literatura en torno a la filosofía natural (o experimental) de Newton y a su concepción de las leyes de la naturaleza avanza en diversas direcciones. En filosofía de la mecánica clásica se ha investigado el estatus de las tres leyes del movimiento y de la ley de gravitación universal, así como la justificación para extender su aplicabilidad irrestricta a dominios (Koyré, 1965; Perl, 1966; Earman y Friedman 1973; Cohen 1980). Igualmente, se ha indagado la relevancia de la teología para la concepción newtoniana de leyes de la naturaleza, examinando la relación entre leyes y milagros, así como la relación entre ciencia y religión en la Inglaterra del siglo XVII (Harrison, 1995). En el contexto de estos debates, se ha investigado si Newton articuló sistemáticamente una metafísica (Stein, 2002; Janiak, 2008; Levitin, 2016; Schliesser, 2021), y si sus compromisos filosóficos contribuyeron a dar forma a su concepción de leyes de la naturaleza (Biener & Schliesser, 2017; Brading, 2012).

Las interpretaciones filosóficas son dispares cuando se trata de decidir si Newton sostuvo un sistema metafísico más o menos acabado en vistas de los debates que dominaron en la filosofía natural entre 1630 y 1730. Algunos han negado que los escritos de Newton ofrezcan un sistema metafísico. Sus discusiones se limitarían, según esto, “a cuestiones acerca de la ontología del espacio y del tiempo, las leyes del movimiento y las fuerzas que causan el movimiento, nuestro conocimiento de la materia en física, y la relación de Dios con el mundo físico” (Janiak, 2008, p. 7). Tal interpretación destaca que la empresa newtoniana consiste en la investigación del mundo físico, introduciendo las modificaciones ontológicas exigidas por el mecanicismo de la época, el cual requirió nuevas prácticas epistémicas en el diseño de

¹ La presente investigación contó con el respaldo del programa de Newton International Fellowships, British Academy, Inglaterra (2022-2024); y del FONDECYT Regular 1210570, ANID, Chile. El manuscrito pudo ser finalmente redactado en el Centre for the Philosophy of Natural and Social Sciences, LSE, Inglaterra.



instrumentos, observaciones, mediciones y experimentación, además de la introducción de la geometría para el análisis de problemas relativos al movimiento de los cuerpos.

Con todo, la interpretación que busca dejar a un lado los cimientos metafísicos de la filosofía natural newtoniana enfrenta dificultades al pasar por alto la interacción intelectual entre Newton y figuras tales como Boyle, Locke y Leibniz, sin considerar su recepción de las ideas de Descartes y Spinoza. De hecho, las intervenciones de Newton en materias de especulación filosófica no son aisladas. En sus trabajos se lidia con la ontología aristotélico-escolástica, al igual que con la filosofía natural cartesiana predominante en la época. El *De Gravitatione* y el *Escolio General* de los *Principia Mathematica Philosophia Naturalis* (en adelante, *Principia Mathematica*) dan prueba de ello.²

En lo que sigue mostraremos que Newton sostuvo concepciones filosóficas sustantivas acerca del carácter de las leyes de la naturaleza, abordando los desafíos ontológicos y epistemológicos que suscita la concepción cartesiana de leyes y su difusión en la Royal Society of London en la década de 1660 (Steinle, 2002, p. 207). Descartes introduce la expresión *ley de la naturaleza* en el manuscrito no publicado *El Mundo o Tratado sobre la Luz* (en adelante, *El Mundo*, circa 1630) y en sus *Principios de la Filosofía* (en adelante, *Principios*, de 1644).³ La tradición nómica cartesiana solo parece haber sido acogida fructíferamente por parte de Henry More en Cambridge, en 1664, y luego por Henry Oldenburgh en la Royal Society of London en 1665. Este primer hecho permite entender la transición en la nomenclatura en las dos o tres décadas inmediatamente siguientes. Nótese que Kepler introdujo sus tres proposiciones acerca del movimiento planetario entre 1609 y 1615, y las llamó *proposiciones*, no *leyes*. Pero Newton las llama *leyes del movimiento planetario* en 1686. En 1638, Galileo presenta su análisis de la caída libre de los cuerpos sin hablar de leyes. Pero en 1674 Boyle refiere a la ley de la aceleración de los cuerpos pesados para mentar el análisis galileano. Descartes y Snellius analizan la refracción de la luz sin emplear el epíteto de ley. Con todo, en 1665, Hooke la rebautiza como ley de la refracción. El mismo Hooke es el primero en llamar *ley de la naturaleza* a su teoría que introduce la proporcionalidad entre la distancia y la fuerza restitutiva que observamos en los resortes, que hoy llamamos ley de Hooke.

La relevancia de las concepciones filosóficas de Newton acerca de leyes de la naturaleza no se restringe a la filosofía natural, sino que se extiende a asuntos que han mantenido ocupada a la investigación posterior sobre leyes en ciencias y en filosofía hasta nuestros días. Mostraremos que Newton se compromete con una cierta estructura ontológica de la realidad que permite la introducción de leyes; ofrece argumentos acerca del carácter modal de estas

² Los *Principia Mathematica* tuvieron tres ediciones en las manos de Newton en 1687, 1713 y 1726, las últimas dos con adiciones relevantes. Referiremos a la edición de Cohen y Whitman (Newton, 1999). Tomamos pasajes de otras obras de Newton de la selección de Janiak (Newton, 2004) y de la selección y traducción al español en Torretti (1971).

³ Para la obra de Descartes, empleamos la edición de Cottingham, Stoothoff y Murdoch (en adelante, CSM), volúmenes I-III.

últimas; y enfrenta el dilema epistemológico que surge al formular leyes universales a partir de generalizaciones inductivas. No ofreceremos un examen acabado de la concepción newtoniana de leyes de la naturaleza. En cambio, nuestro objetivo es más acotado. Tras introducir el trasfondo cartesiano (2), elaboraremos tres ejercicios respecto de la concepción newtoniana de leyes de la naturaleza, a saber: el carácter de las leyes en vistas de las consideraciones metodológicas trazadas por las reglas para la filosofía natural (3); la concepción emanantista del espacio y del tiempo en *De Gravitatione*, la cual busca superar la brecha cartesiana entre *res cogitans* y *res extensa* (4); y la concepción de leyes de la naturaleza en términos de principios o de mecanismos, que jugó un rol decisivo en la recepción de sus ideas en los trabajos de Leibniz y Berkeley (5). Nuestro análisis pondrá de relieve algunas de las consecuencias de la concepción filosófica de Newton sobre leyes de la naturaleza, prefigurando la dirección que posteriormente siguió el debate al respecto (6).

2. El trasfondo cartesiano

Cuando Newton publica la primera edición de los *Principia Mathematica* en 1687, habían transcurrido solo algunas décadas desde que Descartes publicara sus *Principios* en 1644, obra que contribuye al surgimiento y consolidación del imaginario de las leyes.⁴ La siguiente es la formulación de las leyes en los *Principios*:

Primera ley: todas las cosas, en la medida en que pueden, continúan siempre en el mismo estado [de movimiento o reposo]; y así, lo que se encuentra en movimiento siempre continuará moviéndose.

Segunda ley: todo movimiento es en sí mismo rectilíneo; en consecuencia, cualquier cuerpo que se mueve en círculo, siempre tiende a alejarse del centro del círculo que describe.

Tercera ley: si un cuerpo colisiona con otro cuerpo que es más fuerte que sí mismo, no pierde nada de su movimiento; pero si choca con un cuerpo más débil, pierde una cantidad de movimiento igual a la que le imparte al otro cuerpo (Descartes, CSM I, pp. 241-242).

La concepción cartesiana de las leyes de la naturaleza forma parte de su mecanicismo, que sostiene que el mundo físico es una *res extensa* que tiene que ser descrita en términos de su tamaño, forma y movimiento. Para Descartes, la diferencia entre la cantidad numérica y la extensión es meramente conceptual. Donde sea que haya espacio, este está lleno de materia, aun cuando escape a la percepción de los sentidos. Las leyes de la naturaleza gobiernan la *res*

⁴ La historia y filosofía de las leyes de la naturaleza ha crecido sostenidamente en las últimas décadas. En lo que sigue, tengo a la vista las investigaciones de Zilsel (2003[1945]), Milton (1998), Steinle (2002), Ott (2009), Roux (2001), Wootton (2015), Hattab (2018) y Psillos (2018), además de los volúmenes editados por Daston y Stolleis (2008), y Ott y Patton (2018), entre otros.

extensa. Tal concepción evoluciona entre *El Mundo* y los *Principios*, particularmente en vistas del abandono de la ontología de poderes causales del aristotelismo escolástico. En *El Mundo*, Descartes (CSM I, p. 97) expresa ambigüamente su distanciamiento de las concepciones concurrentistas y conservacionistas del escolasticismo tardío, apelando esporádicamente a disposiciones que actúan como causas de las determinaciones contingentes de los fenómenos. En los *Principios* el distanciamiento es más claro, dando lugar al ocasionalismo que sostiene que, al crear la realidad física, Dios imprime movimientos sobre los cuerpos imponiendo las leyes de la naturaleza, sin que tales cuerpos posean poderes causales que determinen la historia del universo (Soto, 2023).

Aunque se asume que las tres leyes de la naturaleza ofrecen generalizaciones que gobiernan los fenómenos naturales sin excepción, el cartesianismo plantea dos preguntas. Primero, ¿cuál es el fundamento del carácter modal de las leyes, que garantiza que estas gobiernan con necesidad irrestricta? Y segundo, ¿cómo se concibe la agencia divina en su interacción con el mundo físico al imponer leyes de la naturaleza? Para responder a la primera pregunta, Descartes (CSM I, p. 240) recurre a fundamentos teológicos. Dios es la causa primera del movimiento y la inmutabilidad de su voluntad garantiza la necesidad de las leyes de la naturaleza. Tal argumento delinea en ciernes un primer principio de conservación en la filosofía natural. La segunda pregunta, por el contrario, queda sin respuesta en la obra cartesiana, que no logra salvar el abismo existente entre *res cogitans* y *res extensa*. En el contexto cartesiano, no sabemos, en breve, de qué manera las leyes de la naturaleza imponen movimiento sobre el mundo físico.

Los *Principia Mathematica* de Newton lidian con el mecanicismo cartesiano. Newton reformula las tres leyes del movimiento incorporando la mecánica terrestre y celeste de Galileo y Kepler, respectivamente. A ellas se suma la ley de la gravitación universal que gobierna los cuerpos celestes y terrestres por igual, ofreciendo generalizaciones físicas cuyo alcance no tiene precedentes. Newton hereda de Descartes la estructura metafísica *top down* para las leyes de la naturaleza, según la cual estas últimas tienen su origen en el Dios del judeocristianismo. No obstante, el mecanicismo newtoniano se distancia del racionalismo nómico cartesiano al enfatizar la metodología inductiva que caracteriza a su filosofía experimental. Las leyes de la naturaleza se formulan a partir de generalizaciones basadas en la observación de los fenómenos, y no a partir de la mera meditación a priori sobre ideas innatas. Con ello, Newton se acerca al empirismo británico que transita entre la tradición de Francis Bacon y la fundación de la Royal Society of London (Steinle, 2002, pp. 203-205).⁵ Aún más, Newton se distancia de Descartes al reflexionar sobre el carácter de las leyes de la naturaleza, que toman la forma de principios matemáticos que nos permiten explicar fenómenos, incluso en escenarios en los que desconocemos los mecanismos. La ley newtoniana de la gravitación universal constituye el ejemplo estándar, generando dificultades que fueron discutidas por Leibniz y Berkeley.

⁵ No se debe confundir el empirismo baconiano de la Royal Society of London con la posterior concepción humeana de las leyes de la naturaleza. Para esta última, véase Soto (2021).

Mientras que el primero sostuvo que la filosofía natural debe remitir a mecanismos causales, el segundo reconoció la centralidad de los principios matemáticos en la filosofía natural. Retomemos cada uno de estos puntos a continuación.

3. Leyes de la naturaleza y metodología en filosofía experimental

Los *Principia Mathematica* abordan asuntos tales como el lugar y rol de Dios en la naturaleza, el movimiento, el abandono de la ontología aristotélico-escolástica, y la investigación del espacio y del tiempo, además de incluir secciones sobre metodología de investigación experimental. La concepción newtoniana de leyes de la naturaleza forma parte de esta trama, introduciéndose en el acápite *Axiomas o Leyes del Movimiento* (Newton, 1999, p. 62).

Primera ley: que todo cuerpo persiste en su estado de reposo o de movimiento uniforme en línea recta, salvo en cuanto es compelido por fuerzas impresas a cambiar su estado. Sobre la primera ley, Newton observa que los proyectiles persisten en su movimiento, a menos que alguna fuerza los detenga y los devuelva a la superficie. En esta formulación, Newton aúna las intuiciones generales de las leyes primera y segunda de los *Principios* de Descartes, recogiendo además el trabajo de Galileo sobre el movimiento rectilíneo uniforme. Newton generaliza su primera ley tanto para los cuerpos sobre la faz de la tierra como para los planetas y cometas.

Segunda ley: el cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa y tiene lugar siguiendo la línea recta en que esta se imprime. Esta ley se encuentra respaldada en observaciones diferentes, estableciendo una correlación constante entre el cambio de movimiento de un cuerpo y la fuerza motriz que se le imparte: “Si una fuerza genera un movimiento cualquiera, una doble generará uno doble, una triple, uno triple, ya sea que se la imprima entera de una vez, o gradual y sucesivamente” (Newton, 1999, p. 62). Si el cuerpo se encuentra de antemano en movimiento, la fuerza impresa le suma movimiento; o modifica su dirección oblicuamente, si la fuerza sigue tal dirección en relación con el cuerpo.

Tercera ley: a toda acción se opone siempre una reacción igual y contraria. Vale decir, las acciones recíprocas que dos cuerpos ejercen el uno sobre el otro son siempre iguales y se dirigen en sentidos contrarios: “lo que empuja o tira a otra cosa, es empujado o tirado otro tanto por esta. Si alguien aprieta una piedra con el dedo, la piedra le aprieta el dedo” (Newton, 1999, p. 63). Si dos cuerpos chocan, las fuerzas que se imparten son las mismas; tales fuerzas se cancelan parcial o totalmente si están orientadas en dirección opuesta. No se trata de que ocurran cambios iguales en las velocidades (piénsese en el cambio de velocidades de la tierra y de una piedra cuando la segunda, de masa ínfima, cae sobre la primera). Por el contrario, “puesto que los cambios en los movimientos son iguales, los cambios de las velocidades, con que se mueven en direcciones contrarias, serán inversamente proporcionales a los cuerpos” (Newton, 1999, p. 63).

Omitamos el análisis físico y matemático de las leyes de Newton, análisis que encontramos en textos estándares de física en las secciones dedicadas a mecánica clásica (véase Susskind & Hrabovsky, 2014). Desde una perspectiva filosófica, cabe destacar que estas tres leyes representan un paso crucial en la historia de la filosofía natural. Ellas reemplazan la formulación cartesiana de las leyes y establecen la dirección que seguirá posteriormente la investigación de la naturaleza.

Pero Newton va más allá, ofreciendo una formulación de la ley de gravitación universal, que sostiene que todo cuerpo atrae a otro cuerpo en el universo con una fuerza que es directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre sus centros. Esta fuerza de atracción la experimentan dos cuerpos, sean estos la tierra y el sol, la luna y las marejadas del mar, o un proyectil y la faz de la tierra sobre la que cae. La ley de gravitación universal es usualmente formulada como sigue:

$$F_{\text{grav}} = Gm_1m_2/r^2$$

en donde F_{grav} representa la magnitud de la fuerza de gravedad que se quiere conocer, G es la constante gravitacional, m_1 y m_2 representan la magnitud de las masas de dos cuerpos sujetos a la fuerza gravitacional, y r^2 representa el cuadrado de la distancia entre sus centros ideales. En el *Escolio General*, Newton describe en lenguaje natural la ley de gravitación universal:

Hasta aquí he explicado los fenómenos de los cielos y de nuestro mar por la fuerza de gravedad; pero aún no he señalado la causa de la gravedad. Esta fuerza procede ciertamente de alguna causa que penetra hasta los centros del sol y de los planetas, sin que disminuya su fuerza, la cual actúa no en razón de las superficies de las partículas sobre las cuales actúa (como suelen hacerlo las causas mecánicas), sino en razón de la cantidad de materia sólida; y cuya acción se extiende a inmensas distancias en toda dirección, decreciendo siempre en proporción al cuadrado de la distancia. (Newton, 1999, p. 589)

Salta a la vista una diferencia entre las tres leyes dinámicas y la ley de gravitación universal, a saber, las primeras son concebidas en términos de causas mecánicas, mientras que esta última no responde a una causalidad por contacto, sino a una relación simultánea que se establece entre las masas de dos cuerpos y las distancias entre los centros ideales de los mismos. Volveremos sobre este asunto en 5.

Pues bien, una primera pregunta es la siguiente: ¿de qué manera la metodología de la filosofía natural permite justificar la formulación de leyes universales? Las formulaciones de las tres leyes dinámicas y de la ley de gravitación universal tienen lugar dentro del contexto de las transformaciones metodológicas que introdujo la nueva filosofía natural de la época, la cual, en la tradición baconiana de Newton en Inglaterra, enfatizó la relevancia de la observación y la experimentación en la formulación de principios explicativos a partir de generalizaciones inductivas. La tensión entre leyes universales, por un lado, y la metodología inductiva, por otro, nos sitúa frente al problema de la inducción, el cual ciertamente no es solo un problema para Newton, sino que es un problema con rostro humano que cruza nuestras prácticas

epistémicas, y que se encuentra presente sin excepción en cualquier teoría de leyes de la naturaleza.

En una carta de marzo de 1713, Newton le escribe a Cotes:

Estoy de acuerdo con su propuesta de decir algo más particularmente acerca de la manera que se emplea para hacer filosofía en los *Principia*, manera que difiere del método de otros, a saber, se deducen cosas matemáticamente a partir de principios derivados de los fenómenos por inducción. Estos principios son las tres leyes del movimiento [y la ley de gravitación universal]. (Newton, 2004, pp. 119-120, mi traducción)

Newton sostiene que las leyes de la naturaleza se obtienen a partir de inferencias inductivas que descansan en la observación de los fenómenos. Ello permite que las leyes cuenten con respaldo empírico, aunque siempre relativo a rangos observacionales limitados. Además, a partir de tales leyes, se derivan proposiciones que nos permiten explicar los fenómenos. Las interpretaciones ante esta tensión son diversas. En su estudio clásico sobre el origen de las leyes de Newton, Ellis (1965) argumenta que estas leyes no fueron establecidas por inducción a partir de observaciones y experimentos, sino que su elaboración descansó en el razonamiento geométrico. Esto coincidiría con el objetivo de los *Principia Mathematica*, que se inserta en el desarrollo de la mecánica racional que procede rigurosamente a través de demostraciones geométricas (Newton, 1999, p. 27). No obstante, tal interpretación no le hace justicia al experimentalismo newtoniano. Darrigol (2014) nota este punto, argumentando que la teorización newtoniana acerca de leyes se nutre de la observación y la experimentación, y no tan solo del análisis geométrico de la mecánica racional.

En la misma carta antes referida, Newton afirma: “estas leyes, siendo deducidas de los fenómenos por inducción y respaldadas por la razón y las tres reglas generales del filosofar, son diferentes a las hipótesis y se las considera axiomas” (Newton, 2004, pp. 119-120).⁶ La literatura sobre el significado de la expresión *hipótesis* en la obra de Newton constituye un campo de investigación independiente, en parte debido al trabajo de Cohen (1969). Para Newton, *hipótesis* corresponde a conjeturas que no se fundan en la observación o en la razón que atiende a las reglas metodológicas para la filosofía natural. Tales reglas juegan un rol clave para comprender el carácter de las leyes newtonianas:

Regla 1. No deben admitirse más causas de las cosas naturales que las que sean verdaderas y basten para explicar sus fenómenos.

Regla 2. Por esto, hasta donde sea posible, hay que asignar las mismas causas a los efectos naturales del mismo género.

⁶ Nótese que en este pasaje citado Newton habla de las tres reglas del filosofar, mientras que en la tercera edición de los *Principia Mathematica* contamos cuatro reglas. En la primera edición de los *Principia Mathematica* las reglas 1 y 2 fueron llamadas *hipótesis 1 y 2*, que aparecen junto a otras nueve hipótesis (Newton, 1999, p. 440, nota *aa*). La regla 3 fue añadida en la edición de 1716, mientras que la regla 4 en la edición de 1726). Ducheyne (2012) ofrece un análisis del desarrollo de las reglas newtonianas para la filosofía natural.

Regla 3. Las cualidades de los cuerpos que no pueden intensificarse ni disminuir y que pertenecen a todos los cuerpos con los que cabe hacer experimentos deben considerarse como cualidades de todos los cuerpos.

Regla 4. En la filosofía experimental deben considerarse verdaderas exactamente o muy aproximadamente las proposiciones colegidas por inducción de los fenómenos, a pesar de las hipótesis contrarias, hasta que ocurran otros fenómenos que las hagan más exactas o introduzcan excepciones (Newton, 2004, pp. 87-88).

Los supuestos de estas reglas son varios. La primera ofrece una versión moderna de la llamada navaja de Ockham, apelando a la parsimonia ontológica. No debieran postularse más entidades que las que sean necesarias para una explicación, dado que se asume que la naturaleza es simple y no da lugar a las causas superfluas. Esta añoranza metafísica de simplicidad, que es un resabio del aristotelismo-escolástico y del cartesianismo que comulgan con la creencia en el orden de la naturaleza, apunta a un trasfondo inequívoco que permite la emergencia de leyes de la naturaleza que expliquen con universalidad y necesidad la dinámica regular de los fenómenos.

La parsimonia ontológica y la simplicidad de la regla 1 se robustecen en las reglas 2 y 3. La regla 2 postula un orden en las clases naturales o géneros de cosas de las que se compone la realidad. Este orden permite justificar parcialmente las inferencias inductivas que conducen a la formulación de leyes de la naturaleza. Tenemos que atribuir las mismas causas a los efectos naturales del mismo género, asumiendo que la naturaleza permanece en su ser de manera continua sin interrupciones. La fuerza que está detrás de la caída de las piedras en Europa y América sería la misma que actúa sobre la caída constante de la luna en torno a la tierra, y de la tierra en torno al sol. Igualmente, la regla 3 introduce supuestos ontológicos y epistemológicos acerca de las cualidades que comparten todos los cuerpos, que son aquellas que investiga la filosofía natural: los cuerpos se mantienen en movimiento o en reposo, y su estado cambia debido a las fuerzas que se ejercen sobre ellos; las cosas en la naturaleza comparten cualidades universales de extensión, dureza, impenetrabilidad, movilidad e inercia; y si escudriñamos las partes de estas cosas, encontraremos otras tantas manifestaciones que resultan de estas cualidades. Por ende, el supuesto de las cualidades universales de las cosas “es el fundamento de toda la filosofía” (Newton, 2004, p. 88). Tal fundamento ofrece un cimiento para la formulación de leyes de la naturaleza.

Los supuestos que introducen las reglas 1-3 ofrecen herramientas para responder al desafío que presenta la formulación de leyes de la naturaleza a partir de generalizaciones inductivas basadas en la observación y en la experimentación. La regla 4 retoma este punto, imponiendo un constreñimiento metodológico: en filosofía experimental solo se consideren verdaderas las proposiciones derivadas por inducción a partir de la observación de los fenómenos. Tales proposiciones se mantienen en pie hasta que tengan lugar otros fenómenos que permitan corregirlas, que manifiesten excepciones o que nos fueren a abandonarlas. Pero solo los fenómenos podrían derribar una ley obtenida por inducción a partir de observaciones, y en

ningún caso bastaría con la sugerencia de meras hipótesis. La cuarta regla es relevante “para que el argumento inductivo no sea anulado apelando a hipótesis” (Newton, 1999, p. 492).

Newton manifiesta su convicción con respecto al alcance de las leyes de la naturaleza en una observación a la tercera regla:

si consta universalmente por experimentos y observaciones astronómicas que todos los cuerpos en el ámbito de la tierra gravitan hacia la tierra, en proporción a la cantidad de materia de cada uno, y que la luna gravita hacia la tierra en proporción a la cantidad de materia, y nuestro mar gravita a su vez hacia la luna, y los planetas gravitan el uno hacia el otro y que hay una gravitación similar de los cometas hacia el sol, habrá que decir, en virtud de esta regla, que todos los cuerpos gravitan los unos hacia los otros. (Newton, 1999, p. 442)

La evidencia observacional en los dominios celestes y terrestres se ajusta a lo que nos informa la ley de gravitación universal. Si sumamos a esto el supuesto ontológico de que la naturaleza refleja un cierto orden y es continua en su existencia, podemos concluir que todos los cuerpos estarán afectos a la influencia de la fuerza gravitacional. Ello conjuga las tradiciones experimentalistas y metafísico-teológicas presentes en la obra de Newton. La evidencia observacional a favor de la fuerza gravitacional parece ubicua. Y la naturaleza persevera en su orden y existencia dada la inmutabilidad de la voluntad divina.

Con todo, Newton reconoce que la evidencia observacional tiene límites:

Hasta aquí he explicado los fenómenos de los cielos y de nuestro mar por la fuerza de gravedad; pero aún no he señalado la causa de la gravedad. [...] todavía no he podido deducir de los fenómenos la razón de estas propiedades de la gravedad, y no forjo hipótesis. Pues todo lo que no se deduce de los fenómenos debe llamarse hipótesis y las hipótesis, ya sean de metafísica, o de física, o de cualidades ocultas, o de mecánica, no tienen lugar en la filosofía experimental. En esta filosofía, las proposiciones se deducen de los fenómenos y se generalizan por inducción. (Newton, 1999, 589)

Tres consideraciones se desprenden de nuestro análisis. Primero, el desarrollo de las reglas de la filosofía natural entre 1687 y 1726 previenen a Newton de embarcarse en la especulación que se desentiende de la evidencia observacional. Ello lo distancia de sus predecesores aristotélico-escolásticos, así como también de los cartesianos que sostenían la realidad del éter para modelar y explicar los fenómenos astronómicos. Newton adhiere a la tradición baconiana del experimentalismo que cultivó la Royal Society of London desde sus primeros años. La evidencia observacional permite constatar la existencia de una fuerza gravitacional, pero no esclarece la causa de la gravedad. “La gravitación tiene que ser causada por un agente que actúa constantemente de acuerdo con ciertas leyes; pero que este agente sea material o inmaterial es algo que he dejado a la consideración de mis lectores” (Newton, 2004, p. 103).

Segundo, la articulación de leyes en la obra de Newton descansa sobre un trasfondo de supuestos relativos al orden y a la simplicidad de la naturaleza. Hay un orden de géneros de

causas y efectos; constatamos universalidad en aquellas cualidades de las cosas que se capturan por medio de la experimentación y del razonamiento geométrico; y la inmutabilidad de la voluntad divina gobierna las cosas y las preserva en su existencia por medio de un acto continuo. El estatus nómico de los principios matemáticos de la filosofía natural es posible gracias a este trasfondo metafísico-teológico, que otorga confiabilidad a la generalización inductiva que conduce a la formulación de leyes.

Y tercero, a pesar de los esfuerzos por distinguir entre las leyes de la naturaleza y las hipótesis, en donde las primeras ostentan el estatus de axiomas en el sistema de la filosofía natural, sigue siendo problemático aceptar leyes universales y necesarias que se funden en la observación y en la inducción. El carácter axiomático de las leyes en los *Principia Mathematica* se reviste del rigor analítico y la fuerza deductiva de los axiomas en los *Elementos* de Euclides. Sin embargo, resulta evidente que los contextos teóricos son diferentes. En el caso de las leyes de la naturaleza tiene lugar un salto inductivo desde la observación de los fenómenos a las generalizaciones de axiomas que se dice que rigen con universalidad y necesidad. El salto inductivo requiere un fundamento que en una primera instancia encontramos en las reglas para la filosofía natural, así como en sus supuestos. En la sección siguiente, exploraremos algunas ideas tempranas de Newton acerca del espacio y del tiempo como efectos emanantes de Dios, que esclarecen un aspecto más de su concepción filosófica de leyes de la naturaleza.

4. Teoría emanantista del espacio y del tiempo en *De Gravitatione*

Recordemos las dos preguntas planteadas en la sección 2: ¿cuál es el fundamento de las leyes de la naturaleza? ¿Y cómo tales leyes imprimen movimiento sobre el mundo mecánico? En general, Newton coincide con Descartes en la respuesta a la primera pregunta, afirmando que el fundamento de las leyes se encuentra en Dios. Según Newton (1999, p. 586), la estructura del universo “no pudo surgir sino del pensamiento y el señorío de un ente inteligente y poderoso”. Esta afirmación sorprende si nos aproximamos a los textos de la filosofía natural con los criterios empleados en nuestras prácticas epistémicas seculares. Pero tal interpretación de los textos de Newton es errónea, puesto que pasa por alto dos cosas. Primero, la teología es fuente de información aceptada por la comunidad epistémica en la filosofía natural. Ella va de la mano con la aplicación creciente de las matemáticas y la preponderancia de la observación y la experimentación. Y segundo, la relación de Dios con el mundo difiere en las versiones de Descartes y Newton: para el racionalismo nómico cartesiano, el origen y el carácter de las leyes de la naturaleza derivan de la inmutabilidad de la voluntad divina, mientras que para Newton la estrategia es otra: “aunque nuestro conocimiento de Dios es explícitamente mencionado en los *Principia* –por ejemplo, en el Escolio General–, este ciertamente no juega ningún rol en la derivación de alguna proposición dentro del texto, incluyendo las leyes del movimiento” (Janiak, 2008, pp. 48-49). En la filosofía experimental newtoniana, la derivación de leyes de la naturaleza se obtiene a partir de la investigación experimental, y no del solo

conocimiento teológico de la naturaleza divina. Las observaciones y experimentos, además del análisis geométrico, son indispensables en la formulación de leyes de la naturaleza.

Con respecto a la segunda pregunta, hemos mencionado que el problema acerca de cómo las leyes de la naturaleza impuestas por la voluntad divina imprimen movimientos en los cuerpos físicos es particularmente agudo para el racionalismo nómico cartesiano que descansa en la distinción entre *res cogitans*, en la que se encuentra Dios, y *res extensa*, en la que encontramos a la naturaleza física. La interacción causal entre *res cogitans* y *res extensa* impone un problema infranqueable. Piénsese en el carácter de las leyes de la naturaleza: no resulta evidente en cuál dominio corresponde posicionarlas, puesto que ellas tendrían que mediar entre ambos, incluso si cabe suponer que se acercan más a la naturaleza de la *res cogitans* en tanto que son actos de la voluntad divina. Pero si ese es el caso, ¿cómo podrían entonces las leyes de la naturaleza interactuar con el mundo mecánico? El racionalismo nómico cartesiano no responde a esta pregunta.

Newton enfrenta nuestra segunda pregunta introduciendo su emanatismo acerca del espacio y del tiempo en *De Gravitatione*. La divinidad, dice Newton (1999, p. 587), “dura siempre y está presente en todas partes; y existiendo siempre y en todas partes constituye la duración y el espacio”. Para Newton, el mundo físico se encuentra en el espacio y el tiempo, a la vez que estos últimos emanan de la naturaleza divina:

El espacio es una afección del ente en cuanto ente. Ningún ente existe o puede existir si no está referido de algún modo al espacio. [...] Se sigue de esto que el espacio es un efecto emanante del ente existente primario, pues una vez que existe un ente cualquiera existe un espacio. De la duración puede aseverarse otro tanto. Ambas son, pues, afecciones o atributos del ente según las cuales se designa la cantidad de existencia de cualquier individuo con respecto a la amplitud de su presencia y a la perseverancia en su ser. (Newton, 2004, 25)

Aunque se trata de un argumento especulativo en metafísica y teología, la concepción newtoniana diluye la distancia cartesiana infranqueable entre *res cogitans* y *res extensa*. Para Newton, las leyes de la naturaleza no se sitúan ambiguamente en un limbo ontológico entre los dos dominios cartesianos, sino que ellas gobiernan el mundo físico que se encuentra en el espacio y en el tiempo que son efectos emanantes de Dios. Los argumentos de Newton en *De Gravitatione* son consistentes con las ideas sobre gravitación y espacio y tiempo que encontramos en *Principia Mathematica*.⁷ Contra Descartes, Newton define la extensión como el espacio sin referencia a la materia, sosteniendo que esta

⁷ Torretti (1971, p. 125) señala que la fecha de publicación de *De Gravitatione* es 1668, siguiendo a A. R. Hall y M. B. Hall (1962). No obstante, A. R. Hall (2002) corrige la conjetura del año de publicación atendiendo a hallazgos recientes en los estudios newtonianos. En esta línea, Janiak (Newton, 2004, p. 12) sugiere que *De Gravitatione* es “probablemente anterior a 1685”.

posee un cierto modo propio de existir que no conviene a las sustancias ni a los accidentes. Desde luego, no es una sustancia, porque no subsiste absolutamente por sí misma, sino como un efecto emanante de Dios y una cierta afección de todos los entes (Newton, 2004, p. 21).

A diferencia de la concepción cartesiana, para la cual Dios está fuera del espacio que es idéntico a la materia, Newton asume la presencia ubicua de la divinidad en el espacio y en el tiempo. Newton afirma que podemos concebir un espacio y un tiempo vacíos, pero solamente podemos concebir la existencia de cosas en el espacio y en el tiempo.

¿Cómo concibe Newton la acción de las leyes de la naturaleza sobre el mundo mecánico inerte? La respuesta a este problema es parcial, porque queda todavía por determinar cuál es el carácter (la naturaleza) de las leyes de la naturaleza. El punto no es claro en los escritos de Newton. Conceptualmente contamos con al menos tres opciones:

CARACTERIZACIÓN 1. Las leyes de la naturaleza son voliciones de la voluntad del pantocrátor newtoniano: así como el espacio y el tiempo son efectos emanantes de Dios, así también las leyes de la naturaleza son voliciones de la voluntad divina; y todo lo que existe en el mundo mecánico existe sin más gracias al acto volitivo divino original (o existe en la mente de Dios, sea como fuere que se conciba esta última).

CARACTERIZACIÓN 2. Las leyes de la naturaleza son axiomas o principios formulados matemáticamente que se obtienen a partir de la generalización inductiva basada en la observación de fenómenos. Según esto, las leyes no son un ítem más en el inventario ontológico, sino enunciados que expresan nuestros mejores principios que permiten explicar los fenómenos. Sin embargo, esta segunda alternativa parece ser insuficiente para la propuesta de Newton, quien concibe las leyes de la naturaleza como mandatos impuestos por la voluntad de un agente divino que gobierna todas las cosas.

CARACTERIZACIÓN 3. Las leyes de la naturaleza son ítems en el inventario ontológico: las cosas en el mundo físico se encuentran en el espacio y tiempo newtonianos, y así también encontramos las leyes de la naturaleza que lo gobiernan. Aunque atractiva para la filosofía natural, Newton no ofrece luces al respecto, como salta a la vista en sus reflexiones sobre la ley de gravitación universal, para la cual cuenta con el análisis geométrico demostrativo (en línea con la CARACTERIZACIÓN 2) sin acceder a los mecanismos causales correspondientes.

Volveremos sobre estos puntos en las secciones siguientes.

5. La recepción crítica temprana: mecanismos o principios

La recepción inmediata de la concepción newtoniana sobre leyes de la naturaleza dio lugar a interpretaciones diversas, principalmente enfatizando su carácter de mecanismos o principios. Favoreciendo la CARACTERIZACIÓN 3, Leibniz sostuvo que las leyes de la naturale-

za tienen que descansar últimamente en mecanismos. En una dirección opuesta, Berkeley se inclina a interpretar las leyes de Newton según nuestra CARACTERIZACIÓN 2, argumentando que ellas corresponden a principios formulados matemáticamente. Revisemos este punto en más detalle a continuación.

Leibniz asumió algunos de los aspectos centrales de las leyes de la naturaleza. En línea con Descartes y Newton, Leibniz sostiene que, al crear el mundo, Dios da lugar a una realidad regular y ordenada. Leibniz (1989, pp. 211, 306) comparte con sus predecesores el supuesto de la simplicidad tanto en la acción de Dios como en su efecto: la filosofía natural anda a la búsqueda de leyes simples.

La correspondencia entre Leibniz y Clarke, este último defensor de las ideas de Newton, deja a la vista la exigencia leibniziana que demanda la referencia a mecanismos en la explicación de los fenómenos. En 1712, Newton cita el siguiente argumento de Leibniz que enuncia uno de los problemas que persistirá en los siglos venideros:

Pero el Sr. Leibniz continúa: ‘Así, los antiguos y los modernos, que creen que la gravedad es una cualidad oculta, están en lo correcto si con ello quieren decir que hay un cierto mecanismo que les es desconocido, a partir del cual todos los cuerpos tienden hacia el centro de la tierra. Pero si ellos quieren decir que la cosa se lleva a cabo sin mecanismo alguno por una simple cualidad primitiva o por una ley de Dios que produce este efecto sin usar medios inteligibles, se trata de una cualidad oculta e incomprensible, y es tan oculta que es imposible que llegue a ser clara’ (Leibniz, según Newton, 2004, p. 116, mi traducción)

Con respecto a los fenómenos gravitacionales, la ontología aristotélica le permite a Tomás de Aquino explicar la gravedad en términos de poderes causales que son esenciales a las sustancias: el cuerpo grave cae porque posee la capacidad de gravitar. Sin embargo, para Leibniz, Aquino está en lo correcto si con ello quiere decir que desconoce el mecanismo que opera tras la caída de los cuerpos graves. Según Leibniz, el caso de Newton es similar, en tanto que remite a una ley que permite explicar los fenómenos gravitacionales, pero admite desconocer el mecanismo que opera en tales fenómenos. Aunque la ley de gravitación universal rige para fenómenos gravitacionales observados y observables tanto en los cuerpos celestes como en los terrestres, su límite se encuentra en que no se indica cuál sea el mecanismo que opera en cada caso. Leibniz pone en una encrucijada a la ontología del mecanicismo naciente. Si la filosofía natural pretende progresar en la investigación al dejar atrás las cualidades ocultas del aristotelismo escolástico, tiene que ofrecer una explicación de los fenómenos relevantes, tales como el de la gravitación, pero indicando mecanismos a los que tenemos acceso, esto es, que no permanecen ocultos. No basta con haber dejado atrás los poderes causales solamente para reemplazarlos por la formulación de principios matemáticos cuyos referentes mecánicos son igualmente inescrutables.

En la misma carta de 1713 antes referida, Newton intenta conducir el argumento de Leibniz a un absurdo:

Lo mismo [que Leibniz sostiene acerca de la gravedad] debe decirse acerca de la dureza. Así entonces la gravedad y la dureza debieran ser consideradas cualidades ocultas incomprensibles a menos que ellas puedan ser explicadas mecánicamente. Y por qué no decir lo mismo de la *vis inertiae* y la extensión, de la duración y la movilidad de los cuerpos” (2004, 116). Para Newton, estas son “cualidades manifiestas, reales y comprensibles de todos los cuerpos, puestas en ellos por voluntad de Dios desde el comienzo de la creación. (Newton, 2004, p. 116, mi traducción)

Los fundamentos teológicos de la física newtoniana ocupan un lugar central en este argumento. Para la filosofía experimental newtoniana, la apelación a Dios ofrece una explicación legítima de las cualidades manifiestas que observamos en los fenómenos, sean la gravedad, la dureza, la duración, u otras. Referir a tales cualidades no involucra la introducción de “milagros y cualidades ocultas y ficciones en el mundo” (Newton, 2004, 116).

El desafío leibniziano resulta pertinente, esbozando un problema que ha perdurado en la historia y filosofía de las leyes de la naturaleza. Leibniz, al igual que Newton, cree que Dios es causa genuina de los fenómenos de la naturaleza, pero considera que la consecución del objetivo de la filosofía natural naciente depende del descubrimiento de los mecanismos que producen las cualidades manifiestas que observamos, y no en la formulación de principios matemáticos. Los textos de Newton conducen a la filosofía natural a esta bifurcación de caminos según la cual las leyes de la naturaleza pueden ostentar el carácter de principios matemáticos o de mecanismos. Newton demuestra con creces que la caracterización de las leyes en términos de principios matemáticos es una alternativa viva, pero no cierra la puerta a la búsqueda de mecanismos que sean causalmente responsables de las regularidades que observamos.

Sin embargo, la lectura de Leibniz no ofrece la única alternativa posible. Berkeley ofrece una segunda estrategia que se adecua más claramente a la crecientemente dominante tradición matemática de la filosofía natural. Recuérdense las palabras de Newton en su “Esquema para el Establecimiento de la Royal Society”:

La Filosofía Natural consiste en el descubrimiento de la estructura y operaciones de la Naturaleza, y en reducirlos tanto como sea posible a Reglas o Leyes generales –estableciendo estas reglas por observaciones y experimentos, y luego deduciendo las causas y efectos de las cosas. (Newton, en Westfall, 1983, p. 632; mayúsculas en el original)

La búsqueda de leyes define el objetivo de la filosofía natural. Berkeley presta especial atención a este punto en sus investigaciones newtonianas sobre el movimiento en *De Motu* de 1720. Berkeley caracteriza el rol de las leyes así: “la explicación solo consiste en mostrar la manera en la cual cualquier fenómeno particular se conforma a las leyes generales de la naturaleza o, lo que es lo mismo, en descubrir la universalidad que hay en la producción de efectos naturales” (2008, p. 107). Esto presenta un primer atisbo acerca de la concepción de leyes en tanto principios matemáticos.

En un pasaje que responde directamente a la inquietud de Leibniz en torno a los mecanismos, Berkeley sostiene:

algunos injustamente repudian los principios matemáticos de la física, claramente bajo el pretexto de que ellos no asignan las causas eficientes verdaderas de las cosas. Cuando de hecho la preocupación del físico o del mecánico consiste en considerar solamente las reglas, no las causas eficientes, del impulso o la atracción y, en breve, presentar las leyes del movimiento: y a partir de las leyes establecidas, encontrar la solución de un fenómeno particular, pero no una causa eficiente. (Berkeley, 1992, 89)

La interpretación berkeleyana redefine los objetivos del mecanicismo de la filosofía natural, así como también la caracterización de las leyes de la naturaleza. Con respecto a lo primero, el objetivo de la filosofía natural no consiste en la búsqueda de los mecanismos específicos que se encuentran tras el impulso, la atracción y otras fuerzas, sino en investigar los principios matemáticos que explican tales fenómenos. En cuanto a lo segundo, las leyes de la naturaleza se conciben como principios matemáticos de la física que funcionan como reglas que nos permiten explicar los fenómenos. Ello mitiga la frustración leibniziana, a saber, la filosofía natural cumple exitosamente su cometido articulando principios matemáticos.

Las leyes de la naturaleza del mecanicismo “tienen que ser llamados principios: estas leyes primarias del movimiento que son comprobadas por experimentos, refinadas por la razón, y universalizadas” (Berkeley, 1992, p. 89). Se trata de principios puesto que a partir de ellos se derivan teoremas que ofrecen explicaciones particulares de los fenómenos: “algo puede explicarse mecánicamente cuando es reducido a aquellos principios más simples y universales, y se muestra su armonía y conexión con ellos a través del razonamiento acucioso” (Berkeley, 1992, 89-90). Una vez más: “en esto consiste explicar y resolver los fenómenos y asignarles sus causas, esto es, la razón de por qué ocurren” (Berkeley, 1992, p. 90; véase Ott, 2019).

Berkeley da un paso más allá de la disputa entre Leibniz y los newtonianos en torno al carácter de las leyes de la naturaleza, sugiriendo una alternativa para interpretar el proyecto de la filosofía natural. Berkeley posiciona las leyes del mecanicismo en un contexto diferente, entendiéndolas como principios expresados matemáticamente, que son simples y universales, y que permiten explicar los fenómenos.⁸ Volviendo al caso de la ley de gravitación universal, cuyo mecanismo parece oculto a la observación, Berkeley nos insta a otorgarle su estatus nómico en la medida en que logra explicar los fenómenos relevantes. Se querrá argumentar que Descartes anticipa la interpretación de leyes en términos de principios matemáticos. En carta de Descartes a Mersenne, el primero afirma: “Las verdades matemáticas que llamas eternas han sido impuestas por Dios y, al igual que el resto de sus criaturas, dependen enteramente de él” (Descartes, CSM III, p. 23). Sin embargo, no queda claro si Descartes refiere en este pasaje temprano (1630) a las leyes de la naturaleza o si piensa exclusivamente en las leyes de la ma-

⁸ Para un análisis de la contribución de las matemáticas a la formulación de leyes de la naturaleza, vase Soto y Bueno (2019), Soto (2020a) y Soto (2020b).

temática. Además, Descartes no formula sus leyes del movimiento en términos matemáticos. Garber (1992; 2016) ha destacado recientemente el carácter secundario de la matematización en los escritos cartesianos de filosofía natural. La propuesta de Berkeley sigue, pues, siendo pertinente.

6. La senda newtoniana en cuatro consideraciones filosóficas

En las secciones anteriores hemos abordado la concepción newtoniana de leyes de la naturaleza en relación con sus ideas sobre (3) la metodología inductiva de la filosofía natural, (4) la concepción emanantista del espacio y del tiempo en *De Gravitatione*, y (5) la distinción entre mecanismos y principios. Nuestros análisis han dilucidado una serie de supuestos sobre los que descansa la elaboración newtoniana de leyes de la naturaleza. En lo que sigue nos interesa sistematizar las consecuencias de la propuesta de Newton, trazando las direcciones que tomó el debate posterior sobre leyes de la naturaleza en cuatro sentidos: (i) la estructura metafísica *top down*, (ii) la fuente de modalidad nómica, (iii) la inducción en la filosofía experimental, y (iv) la distinción entre mecanismos y principios.

(i) *Estructura metafísica*. En oposición a la ontología aristotélico-escolástica y en línea con la ontología cartesiana, Newton postula una estructura metafísica *top down* que permite introducir las leyes de la naturaleza en ontología. La llamamos *top down* porque Dios impone las tres leyes dinámicas y la ley de gravitación universal sobre la naturaleza mecánica, vale decir, desde arriba hacia abajo (o siguiendo el imaginario judeocristiano que le fue familiar a Newton, desde el cielo a la tierra). No obstante, la estructura metafísica *top down* se encuentra sujeta a matices en el trabajo de Newton: dada la concepción emanantista del espacio y del tiempo, la estructura metafísica *top down* parece no satisfacer a cabalidad la concepción de mundo newtoniana. Ello se debe a que una de las consecuencias del emanantismo consiste en que el espacio y el tiempo constituyen por primera vez la estructura ontológica fundamental que posibilita la realidad de (o la concepción de) los objetos físicos (Friedman, 2009). Con ello, las leyes de la naturaleza se tornan inmanentes a los fenómenos, inmanencia que le era inasequible al racionalismo nómico cartesiano. Aunque el conflicto entre la estructura ontológica *top down* y el emanantismo del espacio y del tiempo en *De Gravitatione* no encuentra respuesta en los trabajos de Newton, cabe destacar que su planteamiento se ha convertido en una fuente fructífera para concepciones posteriores de leyes de la naturaleza.

Efectivamente, algunas elaboraciones filosóficas recientes sostienen estructuras ontológicas *top down*, en línea con la estructura ontológica cartesiano-newtoniana, como la teoría de la necesidad natural contingente que concibe las leyes de la naturaleza como relaciones de segundo orden entre universales que infunden modalidad sobre los particulares y sus propiedades desde arriba hacia abajo, por así decirlo mientras que otras concepciones adoptan el primitivismo nómico, que sostiene que las leyes son propiedades modales inmanentes a los fenómenos y que no requieren un sustrato explicativo ulterior. Esta última propuesta se acerca al emanantismo espacial y temporal newtoniano que encontramos en *De Gravitatione*,

aunque con diferencias en sus destalles que escapan a nuestra presente investigación. Por ahora, basta con indicar que la ontología newtoniana que permite la introducción de leyes de la naturaleza en su filosofía experimental ha sido usualmente interpretada en términos de una estructura *top down*, según la cual las leyes son impuestas por un agente divino que gobierna los movimientos regulares que observamos en los fenómenos.

(ii) *Fuente de modalidad.* Una vez postuladas las leyes de la naturaleza, la filosofía natural se pregunta por su fuente de modalidad. Después de todo, la necesidad es una categoría modal (junto con la posibilidad) que describe modos del ser. ¿Cuál es el fundamento que garantiza la fuerza modal de las leyes, que permite que ellas gobiernen, como cree Newton, con necesidad? Al igual que el racionalismo nómico cartesiano, Newton asume que Dios gobierna los fenómenos imponiendo las leyes del movimiento y la ley de gravitación universal. En este punto, la concepción filosófica de Newton acerca de leyes de la naturaleza se distancia de la concepción cartesiana en tanto que, para Newton, no basta con el postulado teológico, sino que se requiere todavía mostrar, primero, de qué manera ello se acomoda a la metodología inductiva de la filosofía experimental (sobre la que volveremos en la observación iii abajo); y segundo, cuál es el carácter que se le atribuye a tales leyes en ontología (punto sobre el que volveremos en la observación iv abajo). Este tipo de consideraciones ha conducido a intérpretes a sostener que, para Newton, las leyes de la naturaleza en los *Principia Mathematica* son, en definitiva, contingentes, y que solo la existencia divina es necesaria (Janiak, 2008, p. 49). Tal contingencia podría tomar al menos dos formas. Primero, aunque el pantocrátor newtoniano existe necesariamente, nada impide que éste haya contado con la posibilidad de escoger leyes diferentes para el mundo mecánico. Según esto, el voluntarismo teológico cobra su plenitud. Según Descartes, la necesidad de las leyes descansa en la inmutabilidad de Dios. En cambio, según Newton, la omnipotencia de la voluntad divina nos permite asumir que las leyes del mundo mecánico pudieron haber sido otras, si así lo hubiera determinado el pantocrátor. Y segundo, la contingencia refiere a la falibilidad epistémica de nuestro conocimiento de las leyes de la naturaleza, que encuentra su madurez en la metodología inductiva de la filosofía natural newtoniana. Una vez más, mientras que para Descartes era posible concebir las leyes de la naturaleza por medio del razonamiento a priori, para Newton esta alternativa no se encuentra disponible, puesto que accedemos a las leyes por medios experimentales y razonamiento inductivo. Aunque Dios haya impuesto un conjunto de leyes determinado, nuestro acceso a las mismas es falible y podríamos concebirlas equívocamente, dados los límites epistémicos de nuestra investigación. Estos asuntos aparecen con fuerza en los textos newtonianos sin que se resuelvan en ellos (ni en la literatura interpretativa), marcando una de las direcciones que sigue la discusión posterior.

(iii) *Inducción y filosofía experimental.* Newton se distancia del racionalismo nómico cartesiano al afirmar que las leyes del movimiento y la ley de gravitación universal se obtienen a partir de generalizaciones inductivas basadas en la observación de fenómenos. El énfasis newtoniano es claro: la investigación de las leyes de la naturaleza en filosofía natural requiere de la observación y la experimentación, incluso si la derivación de enunciados que cuantifican

universalmente sobre sus dominios no se obtiene a partir de meras observaciones e inferencias inductivas. La proposición que sostiene que los cuerpos celestes y terrestres se ajustan a lo que nos informa la ley de gravitación universal descansa en la observación cuidadosa, en la recopilación de datos y en el análisis geométrico que permite abstraer las relaciones que instancian universalmente los cuerpos. Nuestra situación no difiere sustancialmente de la de Newton: nuestras prácticas epistémicas siguen reconociendo los límites de la metodología inductiva en la generación de explicaciones de los fenómenos, consolidando con ello el experimentalismo que prevalece en el proyecto newtoniano.

(v) *Principios o mecanismos*. Descartes sostiene que las leyes de la naturaleza son actos de la voluntad divina que gobiernan el mundo mecánico inerte. Sin embargo, dada la distinción categórica entre *res extensa* y *res cogitans*, el racionalismo nómico cartesiano enfrenta un abismo infranqueable si se pregunta cómo tales leyes gobiernan el mundo físico. Newton intenta superar el abismo cartesiano sosteniendo que el espacio y el tiempo son efectos que emanan de Dios, y que la naturaleza física existe en el espacio y en el tiempo; y que, por ende, todo existe en Dios. Ello diluye la distancia ontológica: las leyes de la naturaleza gozan de una inmanencia inasequible para el dualismo cartesiano, encontrándose arraigadas en el espacio-tiempo. Ahora bien, aún si aceptamos la inmanencia nómica, las preguntas por el carácter de las leyes de la naturaleza y por la manera en la que ellas gobiernan el mundo físico siguen siendo pertinentes. Desde la perspectiva newtoniana, la introducción de leyes de la naturaleza genera una serie de incomodidades ontológicas: si atendemos a la CARACTERIZACIÓN 3, no resulta claro que las leyes de la naturaleza sean otros tantos ítems en el inventario ontológico que, bajo la forma de mecanismos, impriman movimiento sobre los cuerpos. Más aún, la ambigüedad de la expresión *mecánico* cuando se ofrecen o exigen explicaciones mecánicas es evidente:

Es obvio que el término “mecánico” significa muchas cosas diferentes para los varios pensadores del siglo diecisiete: la naturaleza está gobernada por leyes geométricas inmutables; la acción con contacto es el único modo de cambio; los primeros principios tienen que integrarse en la investigación experimental; las regularidades tienen que ser explicadas matemáticamente; que todos los fenómenos son materia *en* movimiento, o materia y movimiento [y así sucesivamente]. (McGuire, 1972, p. 523).

Pero la CARACTERIZACIÓN 2 resulta insuficiente, sugiriendo que los enunciados de leyes son meros principios matemáticos obtenidos a partir de generalizaciones inductivas basadas en la observación. No es suficiente por una razón evidente: para Newton, las leyes gobiernan el mundo físico. Una vez más aparece la CARACTERIZACIÓN 1, la cual, asumiendo que el espacio y el tiempo son efectos que emanan de Dios, sostiene que las leyes de la naturaleza existen exclusivamente como mandatos de la voluntad divina (o pensamientos en la mente de Dios, sea como fuere que se entienda esto último). No juzgamos el valor filosófico de los textos de Newton por resolver estos problemas, sino por plantearlos con suma claridad, llevando el tejido conceptual de la nueva concepción de mundo a sus límites, y trazando así los problemas que posteriormente guiaron la investigación al respecto. El caso de la ley de gravitación

universal deja al descubierto la relevancia de la matematización de la naturaleza en la filosofía experimental: se nos ofrece la generalización que describe la correlación entre cantidades físicas que se encuentran sujetas a la fuerza gravitacional, pero se reconoce que no se tiene acceso a las causas de esta. Este dilema plantea la pregunta por el carácter de las leyes de la naturaleza en la frontera de la investigación newtoniana, pregunta que sigue ocupando nuestra atención.

7. Conclusión

Las leyes de la naturaleza han llegado a ocupar un lugar canónico en diversas prácticas epistémicas, involucrando supuestos ontológicos y epistemológicos que solamente es posible desentrañar entendiendo las motivaciones que las originaron en primer lugar. El supuesto ontológico acerca del orden imperante que observamos en el movimiento de los cuerpos predomina en el mundo occidental, encontrando expresión fehaciente en las leyes newtonianas cuyo desarrollo y refinamiento continúan hasta nuestros días. Los supuestos epistemológicos parecen haber hecho otro tanto, reafirmando la convicción newtoniana en la metodología inductiva de la filosofía natural. Las obras *De Gravitatione* y *Principia Mathematica* desbordan su trasfondo cartesiano. Su formulación de las tres leyes dinámicas y de la ley de gravitación universal ofrece una concepción unificada del mundo físico cuyo poder explicativo no tiene precedentes. Aunque las leyes de la naturaleza encuentran su fundamento en la teología judeocristiana de su época, la concepción newtoniana reformula la estructura ontológica con su doctrina emanantista acerca del espacio y del tiempo; se otorga prioridad a la formulación de leyes a partir de generalizaciones inductivas basadas en la observación y en la experimentación; y se examina el carácter de tales leyes. La concepción filosófica de leyes de la naturaleza que sostuvo Newton logró determinar parte de la senda que siguió la investigación de la naturaleza en los siglos posteriores.

Referencias bibliográficas

- Berkeley, G. (1992). *De Motu and The Analyst*. Springer.
- Berkeley, G. (2008). *Philosophical Writings*, Cambridge University Press.
- Biener, Z., & Schliesser, E. (2017). The Certainty, Modality, and Grounding of Newton's Laws. *The Monist*, 100(3), 311-325. <https://doi.org/10.1093/monist/onx012>
- Brading, K. (2012). Newton's Law-Constitutive Approach to Bodies: A Response to Descartes. In A. Janiak & E. Schliesser (Eds.), *Interpreting Newton: Critical Essays* (pp. 13-32). Cambridge University Press.
- Cohen, I. B. (1969). Hypotheses in Newton's Philosophy. *Boston Studies in the Philosophy of Science*, 5, 304-326. https://doi.org/10.1007/978-94-010-3381-7_8
- Cohen, I. B. (1980). *The Newtonian Revolution, with Illustrations of the Transformation of Scientific Ideas*. Cambridge University Press.



- Darrigol, O. (2014). *Physics and Necessity. Rationalist Pursuits from the Cartesian Past to the Quantum Present*. Oxford University Press.
- Daston, L., & Stolleis, M. (Eds.) (2008). *Natural Law and Laws of Nature in Early modern Europe: Jurisprudence, Theology, Moral and Natural Philosophy*. Ashgate Publishing Limited.
- Descartes, R. (CSM/1991). *The Philosophical Writings of Descartes* (vols. I-III). Cambridge University Press.
- Ducheyne, S. (2012). *The Main Business of Natural Philosophy. Isaac Newton's Natural Philosophical Methodology*. Springer.
- Earman, J., & Friedman, M. (1973). The Meaning and Status of Newton's Law of Inertia and the Nature of Gravitational Forces. *Philosophy of Science*, 40(3), 329-359. <https://doi.org/10.1086/288536>
- Ellis, B. (1965). The Origin and Nature of Newton's Laws of Motion. In R. G. Colodny (Ed.), *Beyond the Edge of Science. Essays in Contemporary Science and Philosophy* (pp. 29-68). Prentice-Hall.
- Friedman, M. (2009). Newton and Kant on Absolute Space: From Theology to Transcendental Philosophy. In A. Janiak & E. Schliesser (Eds.), *Interpreting Newton: Critical Essays* (pp. 342-359). Cambridge University Press.
- Garber, D. (1992). *Descartes' Metaphysical Physics*. Chicago University Press.
- Garber, D. (2016). Laws of Nature and the Mathematics of Motion. In G. Gorham, B. Hill, E. Slowik, & C. Kenneth Waters (Eds.), *The Language of Nature: Reassessing the Mathematization of Natural Philosophy in Seventeenth Century* (pp. 134-159). University of Minnesota Press.
- Hall, R. (2002). Pitfalls in the Editing of Newton's Papers. *History of Science*, 40(4), 407-424. <https://doi.org/10.1177%2F007327530204000402>
- Hall, R., & Boas Hall, M. (1962). *Unpublished Scientific Papers of Isaac Newton*. Cambridge University Press.
- Harrison, P. (1995). Newtonian Science, Miracles, and the Laws of Nature. *Journal of the History of Ideas*, 56(4), 531-553. <https://doi.org/10.2307/2709991>
- Hattab, H. (2018). Early Modern Roots of the Philosophical Concept of a Law of Nature. In W. Ott & L. Patton (Eds.), *Laws of Nature* (pp. 18-41). Oxford University Press.
- Janiak, A. (2008). *Newton as Philosopher*. Cambridge University Press.
- Koyré, A. (1965). *Newtonian Studies*. Harvard University Press.
- Leibniz, G. W. (1989). *Philosophical Papers and Letters*. Kluwer Academic Publishers.
- McGuire, J. (1972). Boyle's Conception of Nature. *Journal of the History of Ideas*, 33(4), 523-542. <https://doi.org/10.2307/2708855>
- Milton, J. R. (1998). Laws of Nature. In D. Garber & M. Ayers (Eds.), *The Cambridge History of Seventeenth-Century Philosophy* (pp. 680-701). Cambridge University Press.
- Newton, I. (1999). *The Principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy*. The University of California Press.

- Newton, I. (2004). *Philosophical Writings*. Cambridge University Press.
- Ott, W. (2009). *Causation and Laws of Nature in Early Modern Philosophy*. Oxford University Press.
- Ott, W. (2019). Berkeley's Best System: An Alternative Approach to Laws of Nature. *Journal of Modern Philosophy*, 1(1), 1-13. <https://doi.org/10.32881/jomp.10>
- Ott, W. & L. Patton (Eds.) (2018). *Laws of Nature*. Oxford University Press.
- Perl, M. (1966). Newton's Justification of the Laws of Motion. *Journal of the History of Ideas*, 27(4), 585-592. <https://doi.org/10.2307/2708342>
- Psillos, S. (2018). Laws and Powers in the Frame of Nature. In W. Ott & L. Patton (Eds.), *Laws of Nature* (pp. 80-107). Oxford University Press.
- Roux, S. (2001). Le lois de la nature à l'âge classique: la question terminologique. *Revue de Synthèse*, 122, 531-576. <https://doi.org/10.1007/BF02969544>
- Schliesser, E. (2021). *Newton's Metaphysics: Essays*. Oxford University Press.
- Stein, H. (2002). Newton's Metaphysics. In I. B. Cohen & G. E. Smith (Eds.), *The Cambridge Companion to Newton* (pp. 256-307). Cambridge University Press.
- Soto, C. (2020a). Wigner, las leyes físicas y la efectividad de las matemáticas. *Revista Colombiana de Filosofía de las Ciencias*, 20(40), 93-127. <https://doi.org/10.18270/rcfc.v20i40.3233>
- Soto, C. (2020b). Some Morals from the Physico-Mathematical Account of Scientific Laws. *Trans-FromAcao: Revista de Filosofia*, 43(4), 65-88. <http://dx.doi.org/10.1590/0101-3173.2020.v43n4.04.p65>
- Soto, C. (2021). Humeanismo y leyes de la naturaleza. *Revista de Humanidades de Valparaíso*, (17), 145-167. <https://doi.org/10.22370/rhv2021iss17pp145-167>
- Soto, C. (2023). Descartes y las leyes de la naturaleza: una carta de viaje para el debate actual. *Disputatio: Philosophical Research Bulletin*, 12(24), 53-81. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8098176>
- Soto, C. & Bueno, O. (2019). A Framework for an Inferential Conception of Physical Laws. *Principia: An International Journal of Epistemology*, 23(3), 423-444. <https://doi.org/10.5007/1808-1711.2019v23n3p423>
- Steinle, F. (2002). Negotiating Experiment, Reason, and Theology: The Concept of Law of Nature in the Early Royal Society. In W. Detel y C. Zittel (Ed.s), *Wissensideale und Wissenskulturen in der frühen Neuzeit* (pp. 197-2012). Akademie Verlag.
- Susskind, L. & Hrabovsky, G. (2014). *Classical Mechanics: The Theoretical Minimum*. Penguins.
- Torretti, R. (1971). *Filosofía de la Naturaleza*. Editorial Universitaria.
- Westfall, R. (1983). *Never at Rest. A Biography of Newton*. Cambridge University Press.
- Wootton, D. (2015). *The Invention of Science: A New History of the Scientific Revolution*. Harper Collins Publishers.
- Zilsel, E. (2003). *The Social Origins of Modern Science*. Kluwer Academic Publishers.

