

EPISTEMOLOGÍA E HISTORIA DE LA CIENCIA

SELECCIÓN DE TRABAJOS DE LAS XI JORNADAS

VOLUMEN 7 (2001), Nº 7

Ricardo Caracciolo

Diego Letzen

Editores



ÁREA LOGICO-EPISTEMOLÓGICA DE LA ESCUELA DE FILOSOFÍA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE LA FACULTAD DE FILOSOFÍA Y HUMANIDADES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons atribución NoComercial-SinDerivadas 2.5 Argentina



El paradigma de demostración matemática en el siglo XVII y el caso de las demostraciones ópticas de Newton

Norma B. Goethe*

Introducción

En el Escolio General (*Principia*, Libro III) Newton establece las condiciones metodológicas para que una proposición sea admitida como parte de la “filosofía experimental”. En esta filosofía, nos dice, las proposiciones “se deducen de los fenómenos y se convierten en generales por inducción. Es así como las leyes de los movimientos y de la gravedad llegaron a ser establecidas.”¹ En el párrafo anterior Newton había establecido una condición metodológica excluyente aunque igualmente categórica:

Todo lo que no se deduzca de los fenómenos debe ser considerado una hipótesis y las hipótesis, ya sean metafísicas, o físicas, ya sean de cualidades ocultas o mecánicas no tienen lugar en la filosofía experimental.²

Esta propuesta metodológica contiene tres ideas importantes. Por una parte, establece que para poder formar parte de la filosofía experimental y no ser meramente hipotética una teoría debe ser *demostrada* a partir de los fenómenos con el auxilio de generalizaciones inductivas, un proceso inferencial complejo y heterogéneo que Newton simplemente denomina “deducción de los fenómenos”. Por otra parte, contiene una caracterización de “hipótesis” como “aquello que *no* se deduce de los fenómenos”. Finalmente ella establece que las hipótesis deben ser excluidas del cuerpo científico.

La recepción de la metodología newtoniana pasó por diversas fases. Para C. MacLaurin, por ejemplo, la gran virtud de la distinción newtoniana entre “teoría demostrada” e hipótesis y de la exclusión de estas últimas del cuerpo de la ciencia es que aseguró así su filosofía experimental de ser refutada por descubrimientos futuros.³ Con su fuerte énfasis en los aspectos experimentales la metodología newtoniana fue abrazada con entusiasmo en el siglo XVIII, sobre todo a partir de los comentarios de T. Reid, quien asocia Newton con Bacon, y por J.F.W. Herschel.⁴ Pero, a partir del siglo XIX comenzó a destacarse, sin embargo, la ambigüedad existente entre el método efectivamente practicado por Newton y los preceptos metodológicos profesados en sus escritos, aunque fue sobre todo con la creciente sofisticación lógica contemporánea y su impacto sobre las reflexiones metodológicas que los argumentos newtonianos comenzaron a ser evaluados mucho más críticamente. ¿Cuál es el problema más obvio con la idea de *deducir* una teoría genuina de los fenómenos aún recurriendo a generalizaciones inductivas? Desde el punto de vista lógico en toda inferencia deductiva válida la conclusión está ya contenida implícitamente en las premisas. Una teoría “genuina”, por otra parte, característicamente trasciende la observación —no sólo en el sentido trivial de que generaliza universalmente a partir de los casos concretos en consideración (“los fenómenos”) ampliando así el ámbito inicial de la experiencia sino que la trasciende “verticalmente” al introducir “contenidos” teóricos nuevos que trascienden los fenómenos y que permiten justamente su explicación.⁵

* Universidad Nacional de Córdoba.

A pesar de esta tendencia crítica, la interpretación contemporánea más común de la metodología newtoniana siguió siendo la que ya se había propuesto hacia fines del siglo XVIII, es decir que era necesario distinguir entre “buenas” hipótesis, como la de la gravitación universal, de las que se siguen consecuencias testeables y las hipótesis puramente especulativas que deben ser rechazadas siguiendo el célebre “*hypothesis non fingo*” del Escolio General.⁶

Pero esta lectura tenía algunas dificultades obvias, como lo es el hecho de que ignorando simplemente importantes textos newtonianos ignora también el contexto histórico en el que ellos surgen, así como la tradición metodológica a la que pertenecen.⁷ Por ejemplo, Newton insistía en que la teoría de la gravitación universal simplemente *no* es una hipótesis en sus términos, porque él la había deducido de los fenómenos, como concluye en el texto citado del Escolio General (“fue así como las leyes del movimiento y de la gravitación fueron establecidas”).⁸ Aunque en un sentido trivial, la teoría de la gravitación universal obviamente es una hipótesis en tanto que trasciende los fenómenos —en el mejor de los casos nosotros observamos los movimientos de los planetas— y la teoría nos dice que esos movimientos son una consecuencia del hecho de que las partículas en el universo se atraen unas a otras con una fuerza proporcional a su masa e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas.⁹

En el ámbito de la óptica, por otra parte, Newton insistía en que la teoría corpuscular de la luz sí era una mera hipótesis, porque no podía ser deducida a partir de los fenómenos y, en consecuencia, no debía ser admitida como parte fija de la filosofía experimental. A pesar de que se trata de una “buena” hipótesis, ya que de acuerdo con Newton la teoría tenía consecuencias testeables. Por ejemplo, en la *Query 28* de la *Óptica* argumenta que esa teoría explica fenómenos como la propagación rectilínea de la luz y su dispersión prismática que la teoría rival, la teoría ondulatoria de la luz, no lograba explicar.

En los últimos años algunos filósofos de la ciencia se han aproximado a la obra de Newton en el afán de comprender mejor este aspecto central de su metodología, esto es, la condición restrictiva de que una teoría “científica” debe ser propiamente “deducida de los fenómenos.”¹⁰ De acuerdo con este esfuerzo de “revalorización” Newton habría revolucionado no sólo la ciencia sino también la metodología de la ciencia de su época.¹¹ Pero el hecho es que la propuesta metodológica de Newton de “deducir una teoría a partir de los fenómenos” se halla sólidamente enmarcada en la tradición metodológica iniciada por Bacon y Descartes.¹² De acuerdo a Descartes “el método que muestra el camino” por el que se llega al descubrimiento conlleva su validación, de suerte que desaparece la escisión tradicional entre método de demostración y método de descubrimiento.¹³

Me propongo examinar aquí la idea newtoniana de una “deducción de los fenómenos” en óptica. A fin de elucidar la noción de “deducción” involucrada en los argumentos propuestos, consideraré el caso de la segunda proposición óptica que, según Newton, no sólo *demuestra* las propiedades de la luz sino que *demuestra* al mismo tiempo cómo esas propiedades fueron descubiertas. Después de examinar la demostración, sus premisas y la estructura argumentativa, concluiré con algunas observaciones acerca de la relación entre método de *demostración* y *descubrimiento*.

La demostración newtoniana de las propiedades de la luz por “la razón y el experimento”

Siguiendo la propuesta de J. Worrall voy a considerar aquí una de las “deducciones” newtonianas de la *Óptica*. Por tratarse de “demostraciones” de menor complejidad que las de la mecánica y astronomía, sus aspectos metodológicos resultan más accesibles que las *deducciones* de *Principia* y a pesar de las diferencias obvias existentes entre los dos ámbitos de investigación —los trabajos en óptica de la época están basados en experimentos, son menos matemáticos que los de mecánica y astronomía y deductivamente menos complejos— no se sigue que sus modos de justificación sean diferentes.¹⁴

En la *Óptica* las demostraciones que establecen las proposiciones ópticas a partir de los fenómenos se llaman “pruebas por experimentación”. En las “demostraciones ópticas”, las premisas explícitas de los argumentos contienen los resultados experimentales, mientras que en las “deducciones de los fenómenos” de *Principia* las premisas contienen los resultados de observación. Se podría objetar que las nociones de “demostración”, “deducción de los fenómenos” y “prueba experimental” no tienen el mismo uso en Newton y que por ende los requisitos metodológicos del Escolio General no se aplican a sus resultados teóricos en óptica.¹⁵ Sin embargo, es un hecho que en ambos casos Newton insistió en distinguir explícitamente entre una conjetura o mera hipótesis y lo que es “doctrina establecida” y que una proposición pasa a formar parte del cuerpo fijo de la ciencia sólo cuando ha sido “deducida de los fenómenos”. Y, como destaca Worrall, el caso de la óptica es particularmente interesante porque Newton disponía de una “buena” hipótesis y a pesar de ello insistía en probar las propiedades de la luz “por medio de la razón y los experimentos.”¹⁶

En la primera parte del Libro I de la *Óptica* Newton presenta su primer resultado importante en óptica, la Proposición II que aparece formalmente como la conclusión de un argumento bajo el rótulo Teorema II. Seguidamente se describe la “prueba experimental” en la que se “demuestra” la segunda proposición, esto es, el resultado de que “la luz del sol se compone de rayos diferentemente refrangibles,” en otros términos, que la luz del sol es “una mezcla heterogénea de rayos unos constantemente más refrangibles que otros.”

Se trata del primer resultado que está a la base de su filosofía experimental de la luz que Newton había dado a conocer a la Royal Society en su “First Paper on Light and Colours”. Este trabajo de 1672 en el que Newton afirma haber *descubierto* y *demostrado* las propiedades de la luz a partir de los fenómenos contenía cuatro experimentos con diversos prismas, aunque para la demostración bastan dos de ellos. Ese mismo año le comunica sus resultados acerca de las propiedades de la luz a Oldenbourg en los siguientes términos:

Lo que voy a decir no es una mera hipótesis sino una *consecuencia estricta*, es decir, no simplemente una *conjetura* que satisfaga todos los fenómenos, sino que es establecida por medio de experimentos que se siguen directamente y *sin dejar lugar a ningún tipo de duda*. (*Correspondencia* I, pp. 96-97.)¹⁷

Los supuestos “teóricos” y la estructura del argumento que según Newton demuestran que “la luz del sol se compone de rayos diferentemente refrangibles”

En sus demostraciones ópticas Newton parte de algunas premisas o supuestos *teóricos*, sin los cuales las pruebas no se sostendrían y que se presentan como definiciones y axiomas.

Por ejemplo, ¿qué son los “rayos de luz” de los que se habla en la segunda proposición de la Óptica? Newton introduce los supuestos teóricos en que se basa la noción de “rayo de luz” como “parte mínima” de luz a través de una definición. Esos supuestos son (a) la luz viene en elementos discretos separables experimentalmente unos de otros tanto espacial como temporalmente y (b) esos elementos discretos, las “partes mínimas” de luz se propagan en líneas rectas siempre que no sean desviadas o detenidas. Destaquemos que la definición en cuestión pretende establecer el sentido de esa noción teórica y no hace afirmaciones respecto a la existencia de tales “elementos” discretos.

Definición I:

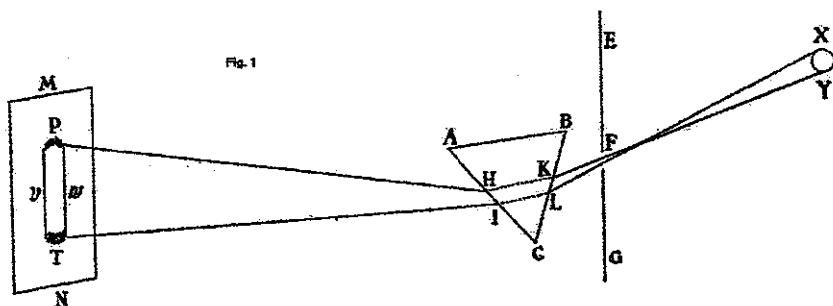
Por rayos de luz entiendo las mínimas partes de ésta, y tantos las sucesivas en la misma línea como simultáneas en líneas distintas. En efecto, es manifiesto que la luz consta de partes sucesivas y partes simultáneas; porque, en el mismo lugar, puede uno detener la que llega en un instante y dejar paso a la que llega inmediatamente después, y del mismo modo puede uno detenerla en un lugar y dejar que pase en otro. La parte de luz que es detenida no puede ser la misma que la que se deja pasar. A la luz mínima o parte de luz que puede ser detenida sola, sin el resto de la luz, o propagada sola, o que puede hacer o sufrir algo que no haga o sufra el resto de la luz, la llamo Rayo de Luz.¹⁸

La noción así definida de “rayos de luz” como “partes mínimas” aparece en los Axiomas de la Óptica que son los principios de la óptica geométrica con sus leyes de reflexión y refracción y, en este sentido, lo que Newton expresa en términos de “rayos de luz” bien podría entenderse como entidades discretas que se mueven en las líneas rectas de la óptica geométrica a menos que sean desviadas. Las definiciones y ocho axiomas constituyen así las premisas teóricas y es gracias a estos supuestos “sustanciales” que Newton puede hablar de la “misma luz” que atraviesa los diversos prismas empleados en los experimentos, identificándola a través de su trayectoria.

Además de estos supuestos teóricos debemos considerar, en cuanto a la estructura misma del argumento, las *inferencias* que constituyen sus diversos pasos. Aunque Newton es explícito acerca del uso de generalizaciones inductivas en su método de demostración, sin embargo, está lejos de *explicitar* todos los pasos involucrados en las demostraciones. Las tres etapas principales del argumento que demuestran la segunda proposición óptica pueden reconstruirse haciendo referencia solamente a dos experimentos con prismas que bastan para establecer el caso:¹⁹

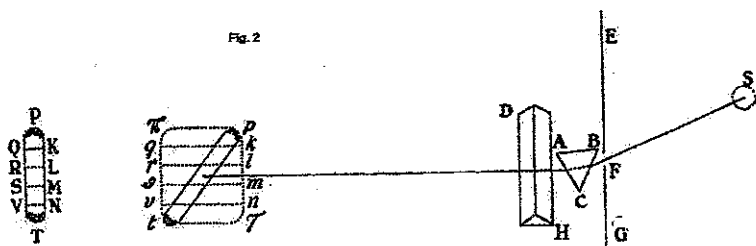
(1) El primer experimento con un único prisma produce “partes de luz” que *a incidencias iguales se refractan en forma desigual*. Esto se manifiesta por el hecho de que la imagen de la fuente de luz que se proyecta sobre la pared en el primer experimento no es circular como sería de esperar de acuerdo a los principios de la óptica geométrica, sino alargada (véase Fig. 1). En esta primera etapa del experimento se produce experimentalmente el fenómeno a explicar, pero queda una pregunta sin responder, como destaca Newton:

*Pero de qué provenga esta desigualdad, si se debe a que algunos rayos incidentes se refractan más y otros menos, bien de un modo constante o por casualidad, o a que el mismo rayo es perturbado, fragmentado o dilatado por la refracción y, por así decirlo, hendido y esparcido en muchos rayos divergentes, como supone Grimaldo, no se revela aún mediante tales experimentos, pero se sabrá por los que siguen.*²⁰



En los dos pasos siguientes Newton argumenta por *eliminación* de causas alternativas que su teoría es la única correcta.

(2) En particular, “de qué provenga esta desigualdad” de refracción se mostrará por el resultado del experimento de los prismas cruzados (una versión del *experimentum crucis*, véase Fig. 2). Las “partes” diferentes de luz del primer espectro se vuelven a refractar a través del segundo prisma en el mismo orden —es decir sin que haya mayor dispersión de los rayos individuales. Esto es, las “partes” de luz que emergen del primer prisma cuyo ángulo de refracción es el mayor son más refractadas por el segundo prisma y las “partes” que emergen del primer prisma cuyo ángulo de refracción es el más pequeño son menos refractadas por el segundo, y así similarmente, para cada una de las “partes” intermedias del primer espectro. Newton concluye entonces dando un salto inductivo que *cada una* de las “partes” del espectro se refracta diferentemente en forma “constante”, es decir, cada una de las “partes” de luz que había sido producida por el primer prisma tiene su propio “grado de refrangibilidad”. Este resultado que Newton parece considerar establecido por el experimento de los prismas cruzados elimina la posibilidad de que la desigualdad de refracciones se haya producido “por casualidad” —el argumento aquí es que la casualidad no produce los mismos efectos dos veces. El salto inductivo implica que para cualquier “parte” de luz p_1 y p_2 , si p_1 se refracta más que p_2 en un medio transparente particular (el ángulo de incidencia siendo el mismo), entonces p_1 se refracta más que p_2 en cualquier otra refracción, ya sea en el mismo tipo de medio o *cualquier* otro medio transparente. Newton menciona en la *Óptica* diversos experimentos que confirman esta afirmación general, por ejemplo, experimentos que producen tres o cuatro refracciones con prismas de distinto tipo de cristal y prismas o recipientes transparentes en forma de prisma repletos de agua, etc.²¹



(3) El paso final de la demostración toma la conclusión anterior (acerca de la constitución de la luz producida por la refracción del primer prisma) como premisa. El argumento

desea llegar finalmente a una conclusión acerca de la constitución de la luz solar *antes* de llegar al primer prisma con lo que quedaría demostrada la segunda proposición óptica acerca de su diferente refrangibilidad.

A fin de llegar a esta conclusión se requiere otro paso que justifique la *eliminación* de otras causas posibles de la desigualdad de la refracción, puesto que “como Grimaldo supone” es posible que las “partes” (diferentes) de luz que dispersa el primer prisma no estén en la luz solar misma, con sus respectivos grados de refrangibilidad que le son “propios”, sino que recién sean *creadas* por aquella primera refracción. Como “supone Grimaldo”, es posible que “el mismo rayo sea perturbado, fragmentado o dilatado por la refracción y... esparcido en muchos rayos divergentes.”²² Para eliminar esas posibles causas tomemos, por ejemplo, la parte superior del espectro inicial que, en vez de ser dispersado como lo había sido el haz inicial de luz solar, se vuelve a refractar en el segundo prisma a través de un ángulo particular. Siendo el orden de refracción constante (por (2)) ese ángulo es mayor que cualquier otro ángulo a través del cual cualquier otra parte de la imagen inicial vuelve a refractarse a través del segundo prisma:

Así, pues, la luz que se dirigía hacia el extremo superior P de la imagen [inicial] resultó, a incidencias iguales, más refractada en el segundo prisma que la luz que tendía hacia el extremo inferior T [de la imagen inicial]... y por lo tanto era más refrangible.²³

Similarmente, cada una de las “partes” de la imagen inicial producida por la refracción del primer prisma es refractada a través de un ángulo particular. Finalmente, volviendo a la constitución de la luz *antes* de su incidencia en el primer prisma Newton concluye entonces su argumento:

Esa misma luz (azul, violeta) fue trasladada por la refracción del primer prisma más lejos del lugar Y a que tendía antes de la refracción; así, pues sufrió, tanto en el primer prisma como en el segundo, una refracción mayor que el resto de la luz, y, *por consiguiente* era más refrangible que el resto, ya antes de su incidencia en el primer prisma.²⁴

Es a través de este último paso que Newton pretende establecer una conclusión teórica acerca de las “propiedades de la luz del sol” *antes* de entrar al primer prisma, a partir de una conclusión preliminar acerca de las propiedades de las “partes” (Rayos) de luz refractadas (en forma constante) al salir del primer prisma quedando así demostrada la segunda proposición óptica, esto es, que la luz del sol se compone de “rayos” unos constantemente más refrangibles que otros. En esta última parte del argumento hay otro “salto” inductivo importante involucrado que se basa en el razonamiento analógico. Para su justificación debemos recurrir a la primera y segunda de las *regulae philosophandi* de *Principia* que dan contenido a la llamada “analogía de la naturaleza” con su supuesto de simplicidad.²⁵ Las *regulae philosophandi* que se suponen en el último paso del argumento establecen que:

(I) No deben admitirse más causas de las cosas naturales que aquellas que sean *verdaderas* y *suficientes* para explicar sus fenómenos.

(II) Por ello, en tanto que sea posible, hay que asignar las mismas causas a los efectos naturales del mismo género.

Ahora bien, suponiendo que estas dos reglas son guías metodológicas apropiadas podemos reconstruir los resultados que demuestran la segunda proposición óptica de acuerdo al siguiente razonamiento:

(i) La diferente refrangibilidad de los diferentes Rayos (“partes” de luz) es una causa verdadera. La conclusión acerca de los Rayos producidos por la primera dispersión prismática —la “diferente refrangibilidad de los diferentes Rayos componentes del espectro”— se establece como la causa de los efectos producidos en la segunda y subsecuentes refracciones.

(ii) Por otra parte, la “diferente refrangibilidad de los Rayos componentes” también es una causa *suficiente* para explicar los efectos observados en el primer prisma. Es decir, si suponemos que los Rayos con sus diferentes grados de refrangibilidad ya existen en la luz solar misma *aunque no los observemos en el haz incidente* de luz, la dispersión prismática inicial se explicaría completamente como la separación de partes componentes que se realiza dirigiéndolas a lo largo de diferentes vías refractadas.

(iii) Aunque desde un punto de vista lógico sea posible que algún proceso causal ocurra en el primer prisma que es totalmente *diferente* del que ocurre en el segundo, por razones de *simplicidad* de acuerdo a la regla (I), concluimos que esto no es el caso y que, en consecuencia, la luz del sol es una “mezcla heterogénea” de esos “Rayos” *diferentemente refrangibles*.

Conclusiones acerca de la “deducción” de las propiedades de la luz como método de prueba por experimentación y su relación con el descubrimiento

De lo expuesto podemos concluir que en el caso de las demostraciones ópticas el método newtoniano con su propuesta de la “deducción de una teoría a partir de los fenómenos” consiste de inferencias que son una mezcla de inducción enumerativa, de razonamiento por eliminación (de teorías alternativas) y simplificación analógica (si incluimos las dos primeras *regulae philosophandi*), más deducción lógica. Esto muestra que el término “deducción” empleado por Newton en el contexto de su metodología es obviamente mucho más amplio que el uso clásico y contemporáneo ya que incluye diversas formas de inferencias ampliativas.²⁶

Tomando el caso de la segunda proposición óptica hemos considerado el método de demostración que emplea Newton a fin de convencer al lector de la *Óptica* de que su teoría de las propiedades de la luz es la teoría correcta. Sin embargo, siguiendo la tradición metodológica iniciada por Descartes²⁷ el método newtoniano pretende ser un método de demostración que muestra el verdadero camino del descubrimiento, como Newton mismo lo anunciara en su tratado. De acuerdo a la tradición, el análisis es el método de descubrimiento por excelencia el que según Zabarella debe ser validado, sin embargo, por la síntesis dependiendo así de esta última para su justificación. Newton, por su parte, continúa la línea metodológica iniciada por Descartes quien rompe con esa tradición al establecer que el mismo método que lleva al *descubrimiento* constituye al mismo tiempo la *prueba* de su validez.

En el caso considerado, esto significa que de acuerdo a los preceptos metodológicos de Newton, las inferencias que se emplean para llegar al descubrimiento de las propiedades de la luz son las mismas inferencias que establecen su validez. Y, en general, el modo de inferencia empleado pretende ser el mismo en ambos casos de suerte que en este marco meto-

dológico no habría diferencia entre descubrimiento y justificación. Sin embargo, en la presentación formal de sus resultados teóricos en óptica, muchos de los detalles que llevaron a Newton al descubrimiento de las propiedades de la luz y los colores —así como aparecen registrados, por ejemplo, en sus primeras notas en las que diseña los experimentos (*Trinity Notes*) o en “First Paper on Light and Colours” (1672)— desaparecen completamente dando lugar a una *reconstrucción* de las demostraciones que están lejos de ser fieles reflejos del “camino por el cual ha sido descubierta la verdad” de su teoría.

Notas

¹ I. Newton, *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural*, Introducción, trad. y notas de Eloy Rada García, Alianza Editorial, Madrid, 1987, Tomo II, Libro III, Escolio General, p. 745.

² *Ibid.*

³ Colin MacLaurin, *An Account of Sir I. Newton's Philosophical Discoveries*, Londres, 1775.

⁴ Véanse L. Laudan, “Thomas Reid and the Newtonian Turn of British Methodological Thought”, en *Science and Hypothesis: Historical Essays on Scientific Methodology*, Dordrecht, 1981; y J.F.W. Herschel, *A Preliminary Discourse on the Study of Natural Philosophy*, Londres, 1830.

⁵ Véase J. Worrall, “The Scope, Limits, and Distinctiveness of the Method of ‘Deduction from the Phenomena’: Some Lessons from Newton’s Demonstrations in Optics”, *British J. Phil. Sci.* 51 (2000), pp. 45-80, (pág. 46).

⁶ Esta lectura, por ejemplo, permitió asimilar la metodología newtoniana al positivismo, pero también fue compartida a mediados de siglo por Popper y críticos como Hanson. Véanse K. Popper, “The Aim of Science”, en *Objective Knowledge*, Oxford, 1952; N.R. Hanson, “Hypothesis Fingo”, en *The Methodological Heritage of Newton*, Oxford, 1970.

⁷ Véase T. Reiss, “Neo-Aristotle and Method, between Descartes and Zabarella”, en *Descartes's Natural Philosophy*, Stephen Gaukroger, John Schuster y John Sutton (comp.), Routledge, Londres 2000, (cf. especialmente pp. 217-222).

⁸ Ver nota 1.

⁹ Según Newton, el hecho de que él había demostrado la teoría de la gravitación universal a partir de los fenómenos de Kepler distingue precisamente su método del que habían seguido Hooke, Huygens y Wallis que habían planteado la ley de la inversa del cuadrado como una conjetura. Cf. Worrall, *loc. cit.*, pág. 48.

¹⁰ Para una discusión del debate más reciente en torno a esta temática, véase Worrall, *loc. cit.*

¹¹ En cuanto a la mecánica y dinámica de los *Principia* véanse, por ejemplo, C. Glymour, *Theory and Evidence*, Princeton, 1980; W. Harper, “Newton’s Classic Deductions from the Phenomena”, *PSA (1990)*, Vol. 2, 1991; W. Harper, “Newton’s New Way of Inquiry”, en *The Creation of Ideas in Physics*, Kluwer, 1995.

¹² Véase T. Reiss, *ibid.*

¹³ R. Descartes, “Segundas Respuestas”, en *Objeciones contra las Meditaciones Metafísicas con las Respuestas del Autor*, trad. de Manuel de la Revilla, Madrid-Paris, Biblioteca Perojo, 1919; AT 7: 155-156.

¹⁴ J. Worrall, *loc. cit.*

¹⁵ Esta estrategia interpretativa lleva a otra lectura de la metodología newtoniana. Véase, por ejemplo, H. Stein, “From the Phenomena of Motion to the Forces of Nature: Hypothesis or Deduction?”, *PSA (1990)*, Vol. 2.

¹⁶ I. Newton, *Óptica o tratado de las reflexiones, refracciones, inflexiones y colores de la luz*, Emecé Ed., trad. E. Díaz del Castillo y M. Balaguer, Buenos Aires, 1967. Cf. p. 19.

¹⁷ *The Correspondence of Isaac Newton*, Vol. 1 (1661-1675), Cambridge University Press, 1959

¹⁸ *Ibid.*

¹⁹ En esta reconstrucción del argumento me baso en Worrall, *loc. cit.*

²⁰ Newton, *op. cit.*, p. 45

²¹ Esta experimentación y sus pasos se aprecian mejor en el “First Paper on Lights and Colours” presentado a la Royal Society en 1672.

²² Newton, *op. cit.*, p. 45

²³ *Ibid.*, p. 48

²⁴ *Ibid.*

²⁵ Véase Worrall, *loc. cit.*, pág. 59.

²⁶ Para una discusión del uso de la nooción de "deducción" en este sentido amplio en Descartes, véase D. Clarke, *Descartes's Philosophy of Science*, Manchester, 1982.

²⁷ R. Descartes, *Regulae ad directionem ingenii* (1619-1628) y *Discours de la Méthode* (1637).