

El método de análisis y síntesis y el descubrimiento de Neptuno*

The method of analysis and synthesis and the discovery of Neptune

Por: Sebastián Molina Betancur

G.I: Conocimiento, filosofía, ciencia, historia y sociedad

Scuola di Studi Umanistici

Università degli Studi di Torino

Torino, Italia

E-mail: sebastian.molina@udea.edu.co

Fecha de recepción: 22 de mayo de 2016

Fecha de aprobación: 23 de julio de 2016

Doi: 10.17533/udea.ef.n55a03

Resumen. *El descubrimiento de Neptuno fue uno de los mayores logros de la astronomía del siglo XIX. Armados con las herramientas del cálculo y con las observaciones del movimiento anómalo de Urano, Adams y Le Verrier determinaron, independientemente, la posible ubicación y masa de un hipotético planeta, lo que llevaría a su descubrimiento observacional. En este artículo me propongo demostrar que los métodos empleados por estos estaban influenciados por el método de análisis y síntesis de Newton. Mostraré, además, algunos principios epistemológicos generales de la astronomía que se pueden extraer cuando consideramos estos métodos de investigación.*

Palabras clave: *análisis, síntesis, descubrimiento, demostración, observación, hipótesis*

Abstract. *The discovery of Neptune was one of the greatest achievements of nineteenth-century astronomy. Using nothing but calculus and some observations of the Uranus' anomalous motion, Adams and Le Verrier got to determine, independently, the possible place and mass of a hypothetical planet, which would produce its observational discovery. In this paper I will demonstrate that the methods used by these astronomers were influenced by Newton's method of analysis and synthesis. Considering this, I will also expose, that some astronomy's general epistemological principles could be deduced when we consider these investigation methods.*

Keywords: *analysis, synthesis, discovery, demonstration, observation, hypothesis*

* El artículo es parte del trabajo de investigación del Doctorado en Filosofía en la Università degli Studi di Torino y producto del grupo de investigación "Conocimiento, filosofía, ciencia, historia y sociedad" del Instituto de Filosofía de la Universidad de Antioquia.

Cómo citar este artículo:

MLA: Molina, Sebastián. "El método de análisis y síntesis y el descubrimiento de Neptuno". *Estudios de Filosofía*, 55 (2017): 30-53.

APA: Molina, S. (2017). El método de análisis y síntesis y el descubrimiento de Neptuno. *Estudios de Filosofía*, 55, 30-53.

Chicago: Molina, Sebastián. "El método de análisis y síntesis y el descubrimiento de Neptuno." *Estudios de Filosofía* n.º 55 (2017): 30-53.

Introducción

Los descubrimientos realizados por Newton en mecánica y óptica, tal como él mismo lo describe, fueron posibles gracias a su adaptación del método de análisis y síntesis de las matemáticas en su filosofía natural. Newton conoció este método por sus lecturas de la *Collectio* de Pappus, editada por Commandino en 1589¹ y a su inmersión en dos tradiciones que hacían uso de dicho método: la del *backlash* geométrico, que había sido encabezada en tierras británicas por Hobbes y Barrow; y la de la restauración del conocimiento de los antiguos.² Como vemos, Newton usó el método de análisis y síntesis, en principio, en el campo de las matemáticas. Esto con el propósito de demostrar la superioridad del análisis de la geometría antigua respecto al análisis del álgebra moderna. Como resultado de ello, Newton desarrolló el cálculo infinitesimal y su método de fluxiones. Sin embargo, entre los años 1703 y 1704, encontramos evidencia textual que prueba que Newton usó el método de análisis y síntesis como una herramienta para sus investigaciones en el campo de la filosofía natural.

La filosofía natural de Newton está permeada por el uso del método de análisis y síntesis, en la comprensión particular que Newton desarrolla de este gracias a su filosofía experimental. En este sentido, es posible determinar dos modos diversos de uso del método de análisis y síntesis en la obra de Newton. Por un lado, encontramos su aplicación en el campo de las matemáticas, en donde Newton retoma la tradición de los antiguos geómetras griegos. Por otro lado, encontramos la aplicación del método de análisis y síntesis en la filosofía natural. En este campo, Newton aplica este método como un procedimiento único compuesto de dos etapas. En la primera, a través de la observación de los fenómenos, se descubren las causas que los producen; mientras que, en la segunda, se demuestra matemáticamente que dichas causas producen los fenómenos estudiados. Este modo de comprender el método de análisis y síntesis ha llevado a diversos especialistas a sostener, a mi modo de ver de manera correcta, que es necesario distinguir entre la comprensión matemática y filosófico-natural del método de análisis y síntesis en la obra de Newton.³

Desde su comprensión matemática, Newton define el método de análisis y síntesis de la siguiente manera:

-
- 1 Como Whiteside señala, en realidad Newton conoce la edición de Commandino gracias a la reedición que en 1660 publica Manolesi. (Newton, 1976: 200).
 - 2 A propósito del modo en que Newton se vincula al ideal de la restauración de la *Prisca sapientia*, (Guicciardini, 2009: 291-327); (Orozco, 2009: 33-66).
 - 3 Esta distinción se trata de manera detallada en (Guerlac, 1973); (Guicciardini, 2009: 309-327); (Ducheyne, 2012: 3-52). Yo mismo me he referido a este tema en (Molina, 2014a).

Lo que Pappus describe aquí [los métodos de análisis y síntesis] es lo mismo que hacemos cuando, asumiendo lo desconocido como conocido y del mismo modo por un apropiado argumento ponemos algo conocido como desconocido, reducimos un problema a una ecuación; y entonces por ayuda de esa ecuación reversamos la secuencia yendo desde lo que es realmente conocido a lo que es realmente desconocido (Newton, 1976: 249-250).

El modo en que Newton caracteriza el método de análisis y síntesis es semejante a la manera en que lo hacían los antiguos geómetras griegos: en el análisis se parte de lo que se busca conocer, suponiéndolo como ya conocido y, relacionando consecuentes con antecedentes, llegamos hasta lo conocido. La síntesis, por su parte, devuelve el proceso, de manera que, partiendo desde lo que conocemos, buscamos llegar a aquello que es desconocido.

No obstante, cuando consideramos el método de análisis y síntesis de Newton desde su comprensión filosófico natural, encontramos que hay una redefinición del método en función de la observación de los fenómenos y del estudio de las causas que los originan.⁴ Así, según Newton, en filosofía natural, el método de análisis consiste en descubrir las causas que originan los fenómenos desde su observación. Mientras que la síntesis devuelve el proceso y busca demostrar que tales causas, efectivamente, originan los fenómenos que queremos explicar y otros. Como mostraré en el desarrollo de este artículo, esta aplicación particular del método de análisis y síntesis se convirtió en uno de los fundamentos epistemológicos del newtonianismo de los siglos XVIII y XIX.

Mi propósito en este artículo es tratar, precisamente, la influencia que tuvo este último enfoque del método en el descubrimiento de Neptuno. Así las cosas, en primer lugar, describiré el método de análisis y síntesis, tal como Newton lo formula en su *Opticks*, y mostraré que hay un empleo efectivo de él en su filosofía natural. Esto me permitirá explicar las afirmaciones de Newton respecto a la suficiencia de las demostraciones matemáticas para la determinación de la realidad de la fuerza como causa de los fenómenos del movimiento.

Una vez caracterizado el método que Newton empleó en filosofía natural, describiré algunos principios, creencias y metodologías que se institucionalizaron durante los siglos XVIII y XIX en el newtonianismo y que llegaron a ser fundamentales para el descubrimiento de Neptuno. En particular, mostraré que la creencia en la hipótesis de un planeta transuránico, que llevaría a Adams y Le Verrier a realizar los cálculos que posibilitaron el descubrimiento de Neptuno, se justificó epistemológicamente por el método de análisis y síntesis que se usó para postularla. Para hacer esto, expondré los métodos empleados por Adams y Le

4 Un estudio de la filosofía experimental de Newton puede encontrarse en (Shapiro, 2007).

Verrier para llegar a los cálculos que llevaron al descubrimiento observacional de Neptuno y mostraré que a ellos les subyace la estructura demostrativa del método de análisis y síntesis que Newton empleó en su filosofía natural.

A partir de este estudio de caso describiré algunos principios epistemológicos, creencias y métodos de demostración que se institucionalizaron en la astronomía matemática desde la obra de Newton. Por ejemplo, mostraré que en la astronomía matemática las hipótesis juegan un papel central en nuestras investigaciones acerca de la naturaleza. Mostraré, además, que dichas hipótesis se legitiman en la medida en que se fundamentan en demostraciones matemáticas y en observaciones de la naturaleza.

Teniendo en cuenta esta estructura argumentativa, comenzaré exponiendo el método de análisis y síntesis que Newton desarrolla en su filosofía natural. Para esto, retomaré las caracterizaciones que este realizó del método en la *Query* 31 de su *Opticks* y en el borrador de un prefacio planeado para la edición latina de esta obra. En un segundo momento, mostraré que la estructura argumentativa de los *Principia* evidencia el uso de este método en la filosofía natural de Newton. Posteriormente, describiré los métodos empleados por Adams y Le Verrier para llegar a los cálculos que posibilitaron el descubrimiento de Neptuno, con el propósito de mostrar que en ellos se evidencia el uso del método de análisis y síntesis. Finalmente, expondré algunos principios epistemológicos que se desprenden de este estudio de caso y que, a mi modo de ver, caracterizan algunas investigaciones que se realizan en el campo de las ciencias planetarias.

El método de análisis y síntesis en la filosofía natural de Newton

La primera referencia de Newton al método de análisis y síntesis en filosofía natural aparece en el borrador de un prefacio planeado para la edición latina de la *Opticks*, escrito probablemente entre 1703 y 1704. En él Newton se refiere al método en los siguientes términos:

Así como los matemáticos tienen dos métodos para hacer las cosas que ellos llaman resolución y composición y en todas las dificultades han recurrido al método de resolución antes de componer así al explicar los fenómenos de la naturaleza ambos métodos se usan y el que espera tener éxito debe resolver antes de componer (Ms. Add. 3970.3, f. 480v).

Lo primero que es importante resaltar de este fragmento es la equiparación que Newton realiza del método que él emplea en filosofía natural con el de los matemáticos. En filosofía natural, como en matemáticas, el empleo del método de análisis y síntesis debe tener un orden específico con el objetivo de lograr

demostraciones que sean satisfactorias en nuestro intento por estudiar los fenómenos: primero debe realizarse el análisis y luego la síntesis. Asimismo, encontramos allí una de las primeras variaciones que Newton introduce en el método de análisis y síntesis cuando se trata desde la filosofía natural: el método se ejecuta sobre los fenómenos naturales. Cuando se trata de la filosofía natural, Newton emplea el método de análisis y síntesis sobre entidades reales cuya existencia se prueba a través de la observación de los fenómenos y no sobre las entidades teóricas de las matemáticas. Este punto en particular es fundamental para comprender a qué se refiere Newton cuando en el “Escolio general” a los *Principia* afirma que la explicación que da del movimiento es “suficiente” para determinar la realidad de la fuerza que lo produce. A esto me referiré más adelante.

Tras haber señalado la necesidad de usar el método de análisis y síntesis en filosofía natural, Newton pasa a describir cómo se usa:

El método de resolución consiste en hacer experimentos y considerar todos los fenómenos de la naturaleza que se relacionan con el asunto que se tiene en manos y extraer conclusiones desde ellos y examinar la verdad de estas conclusiones por nuevos experimentos y arrojar nuevas conclusiones (si se permite) y así proceder alternativamente de experimentos a conclusiones y de conclusiones a experimentos hasta que se llegue a las propiedades generales de las cosas [...]. Entonces asumiendo estas propiedades como principios de la filosofía se puede explicar por ellas las causas de tales fenómenos como se sigue de ellos: este es el método de composición (Ms. Add. 3970.3, f. 480v).

En el pasaje anterior hay varios elementos que conviene tratar de manera detallada. En primer lugar, Newton vincula el análisis filosófico natural con la experimentación y la observación. El análisis es un procedimiento que se realiza a través de las observaciones y de los experimentos, desde los cuales podemos extraer unas conclusiones. Estas deben contrastarse a través de nuevos experimentos y observaciones, que se realizan con el propósito de establecer “las propiedades generales de las cosas”. A propósito de esto, Guicciardini afirma que esta procedencia y contrastación empírica de las conclusiones le permite a Newton sostener una estructura demostrativa en la que los principios, que son las conclusiones a las que se llega a partir de la observación, se deducen desde los fenómenos y no se inducen desde ellos (Guicciardini, 2009:24).

Así las cosas, la observación y la experimentación en la filosofía natural de Newton tienen un doble propósito, dependiendo del momento en que se realicen. Si se realizan comenzando la investigación de la naturaleza, descubrimos los principios particulares que actúan como causa de fenómenos particulares. Si se realizan luego del descubrimiento de estos principios, nos sirven para el establecimiento de su generalidad. En el primer caso, las observaciones y los experimentos tienen un

carácter tentativo, que pretende determinar las causas de los fenómenos; mientras que, en el segundo caso, las observaciones y experimentos tienen un carácter evaluativo, con el que se intenta establecer la generalidad causal de los principios.

Luego del análisis viene la síntesis, en la cual asumimos los principios descubiertos a través del análisis como ciertos y, desde ellos, explicamos los fenómenos. Es importante resaltar que durante la síntesis no aparecen la observación y los experimentos como en el análisis, sino, únicamente, una estructura demostrativa. Como veremos, las demostraciones, para Newton, adquieren validez en la medida en que se producen de manera matemática. Es decir, la etapa sintética del método en filosofía natural, consiste en demostrar, matemáticamente, que los principios descubiertos en la etapa analítica son las causas de los fenómenos.

Esta caracterización del método de análisis y síntesis se expone de manera más amplia en la *Query* 31 de la *Opticks*:

Por este modo del análisis podemos proceder desde los compuestos a los ingredientes, y desde los movimientos a las fuerzas que los producen; y en general, desde los efectos a las causas, y desde las causas particulares hacia otras más generales, hasta que el argumento termine en la más general. Este es el método de análisis. Y el de síntesis consiste en asumir las causas descubiertas y establecidas como principios, y por ellas explicar los fenómenos que proceden de ellas, y proveer las explicaciones (Newton 2003, 404-405).

Si en el prefacio borrador citado antes Newton afirma que con el análisis podemos establecer unas conclusiones respecto a los fenómenos, acá nos aclara que estas conclusiones son las causas que los originan. En este sentido, el método de análisis es un método de descubrimiento que nos permite llegar hasta las causas de las cuales no tenemos sino evidencia empírica indirecta, ya que las causas no las percibimos, pero sí percibimos los efectos que producen. Una vez conocidas, las establecemos como principios y, a partir de ellos, explicamos los fenómenos. Esto implica que las causas que se establecen como principios se generalizan aun antes de la síntesis.

Aunque Newton afirma que el método de análisis y síntesis lo ha empleado en la *Opticks*, este método también puede rastrearse en los *Principia*. Allí Newton, como él mismo explica en su “Prefacio al lector” de la edición de 1687, pretende explicar los fenómenos del movimiento postulando una fuerza que actúa como causa de los mismos. La fuerza se descubre por medio de los experimentos y las observaciones, lo que prueba el uso del análisis tal como Newton lo entendía. En dicho “Prefacio” Newton sostiene: “toda la dificultad de la filosofía parece consistir en que, a partir de los fenómenos del movimiento, investiguemos las fuerzas de la naturaleza y después desde estas fuerzas demostremos el resto de los fenómenos”

(Newton, 1987: 98). Los fenómenos del movimiento los conocemos a través de las observaciones que realizamos de los mismos, de tal suerte que la fuerza que se deduce como causa de los fenómenos se conoce antes de las demostraciones que se realizan de estos.

Esto implica que en los *Principia*, en sentido estricto, encontramos la demostración matemática del movimiento que se sigue si una fuerza se ejerce sobre un objeto, pero no su descubrimiento. En el caso de los libros I y II, dicho objeto es un punto matemático, de tal suerte que la demostración trata de explicar qué tipo de curva se describe si sobre este se ejerce una presión con un mecanismo de trazo. Una vez desarrolladas las demostraciones, las consecuencias se extrapolan al mundo en el libro III. Allí, considerando ya no puntos matemáticos, sino planetas, Newton explica qué movimientos se siguen si se aplica sobre ellos una fuerza. En los *Principia*, encontramos el tratamiento del movimiento de los cuerpos, cuando sobre ellos se ejerce una fuerza; fuerza que es conocida a través de la observación de los fenómenos y que, por este motivo, puede considerarse como real. Creo que solo en este sentido es posible entender los pronunciamientos de Newton en el “Escolio general”, agregado para la tercera edición de su *Magnum opus*, en los cuales pretende hacer una defensa de la realidad de la gravedad, aun cuando no se conoce la causa de ella. Allí Newton sostiene: “Y bastante es que la gravedad exista de hecho y actúe según las leyes expuestas por nosotros y sea suficiente para todos los movimientos de los cuerpos celestes y de nuestro mar” (Newton, 1987: 785). ¿Por qué puede asegurar Newton que la gravedad “existe de hecho”, aun cuando no ha sido posible para él descubrir cuál es la causa de ella? Porque la fuerza se descubre a través del análisis que se hace sobre la observación de los fenómenos y se demuestra matemáticamente en la etapa sintética.⁵ La determinación de la realidad de la fuerza depende, entonces, del empleo del método de análisis y síntesis.

A la luz de esta caracterización del método de análisis y síntesis podemos establecer algunas consecuencias que fueron fundamentales para el desarrollo de la astronomía matemática durante los siglos XVIII y XIX y, por lo tanto, para el descubrimiento de Neptuno. En primer lugar, podemos afirmar que el carácter observacional y experimental del análisis dota a las causas de realidad. Es decir, a pesar de que las causas no se observan en la naturaleza, la realidad de las mismas no se somete a discusión debido a que sus efectos son manifiestos. En el caso de Newton la fuerza gravitatoria se establece como principio porque sus efectos, los

5 En otro lugar he mostrado que esta afirmación de Newton implica una variación de los métodos explicativos tradicionales fundamentados en la causalidad y que tienen su origen en la tradición aristotélica (Molina, 2014b).

movimientos de los planetas, son observables. Ahora bien, la demostración de la realidad de la fuerza no solo depende del carácter empírico del análisis, porque el componente matemático de la demostración sintética garantiza la precisión en la descripción de los fenómenos; esto hace que se considere como verdadera la explicación que hacemos de ellos a partir de las causas que suponemos como reales. Si la etapa analítica se caracteriza por su componente observacional, la etapa sintética, lo hace por su recurso a los modelos matemáticos. En efecto, una vez se realiza la cuantificación del movimiento, podemos realizar demostraciones precisas que nos permiten constatar que una fuerza que actúa con una proporción cuantificable puede producir unos efectos particulares.

En segundo lugar, podemos concluir que el método de análisis y síntesis reivindica el papel de las hipótesis en la filosofía natural de Newton. Aunque este se manifestó abiertamente en contra de ellas, podemos ver que hay, al menos, dos tipos de hipótesis que para Newton son válidas en el campo de la filosofía natural: las hipótesis matemáticas y las hipótesis empíricas.⁶ Newton afirmó que las hipótesis no tenían cabida en su filosofía natural, en un intento por derrocar la validez epistemológica del método hipotético-deductivo sostenido por el cartesianismo. Sin embargo, las hipótesis que se desprenden de una matematización de la naturaleza o de una observación de los fenómenos son, no solo razonables, sino aceptables. La fuerza, por poner solo un ejemplo, es una hipótesis observacional que se desprende a partir de los fenómenos, pues, como se señaló previamente, la fuerza no es observable, sino que, a partir del movimiento, *suponemos* la existencia de una fuerza que lo causa. Dicha hipótesis adquiere validez epistemológica cuando la sometemos a una matematización. Así, una vez se ha descubierto la fuerza, procedemos a cuantificar su acción y si las descripciones matemáticas de los movimientos que se siguen de ella corresponden con los fenómenos, entonces, podemos concluir que ella actúa efectivamente en la naturaleza.

A la luz de estas conclusiones es posible afirmar que la observación y la experimentación en la filosofía natural de Newton, cuando se emplean en su propósito de llevarnos a generalizar o de contrastar empíricamente los enunciados teóricos, no están diseñadas para determinar la realidad de los principios descubiertos. Su realidad se establece por las observaciones que nos llevan a descubrirlos y por las demostraciones matemáticas que los dan como causas de los fenómenos. Lo que nos lleva a concluir que las observaciones posteriores no buscan determinar la realidad de las hipótesis o de las demostraciones, sino contrastar que los cuerpos

6 En (Shapiro, 2007) el lector puede encontrar una descripción más detallada del papel de las hipótesis en la filosofía natural de Newton.

cumplen las condiciones que se han postulado matemáticamente. Una vez se ha llegado a la etapa sintética demostrativa, se debe considerar las entidades que allí se estudian como reales y existentes en la naturaleza.

Análisis y síntesis en los métodos de Adams y Le Verrier⁷

Cuando consideramos las condiciones bajo las cuales Adams y Le Verrier realizaron los cálculos que llevaron al descubrimiento de Neptuno, tenemos que tener en cuenta los problemas en el cálculo de la órbita de Urano. William Herschel descubrió Urano en 1781 mientras buscaba con su telescopio estrellas dobles, intentando detectar una posible paralaje estelar. En esta búsqueda, Herschel encontró una estrella que se movía, lo que lo hizo pensar que se trataba de un cometa aún no descubierto. No obstante, como se probó posteriormente al observar su movimiento casi circular, se trataba de un nuevo planeta. Con la noticia del descubrimiento, Johann Bode encontró que el planeta había sido observado, al menos, en veinte ocasiones distintas antes de 1781, pero siempre había sido confundido con una estrella. A este conjunto de observaciones previas al descubrimiento se les llamó “observaciones antiguas”, en contraste con las “observaciones modernas”, posteriores a 1781. Para 1784, Fixlmillner, usando ambos grupos de observaciones, calculó una órbita que correspondía con el movimiento observado del planeta. Pero dicha correspondencia tan solo duró unos cuantos años, pues en 1788 las anomalías comenzaron a aparecer, calculándose errores cercanos a los 30”. Los cálculos de Fixlmillner no habían tenido en cuenta las perturbaciones que se generaban por la acción de Júpiter y Saturno. La determinación de la perturbación podía calcularse a través de la resolución del problema de los tres cuerpos que había sido uno de los asuntos más estudiados por la astronomía desde que Newton lo había considerado en el caso del sistema Luna-Tierra-Sol. Con el propósito de resolver este problema, la academia de París ofreció un premio para quien pudiera computar la órbita de Urano. Delambre fue quien se encargó de tal tarea, a partir del método que él mismo había desarrollado en su *Mécanique Céleste*. La órbita calculada por Delambre fue una mejora significativa respecto a aquella de Fixlmillner, pero su éxito predictivo duró apenas una década, pues para comienzos de 1800 los cálculos eran incompatibles con las observaciones.

7 Aunque en este punto doy por sentado que el newtonianismo ya se había asentado en Inglaterra y Francia para finales del siglo XVIII, ciertamente, esta consideración no deja de ser históricamente problemática, lo que se evidencia en los distintos estudios históricos que se han publicado recientemente respecto a la difusión del newtonianismo en Europa. Sin embargo, debido a que excedería por mucho los límites de este artículo, he preferido no referirme a los modos en que se difundió e institucionalizó el newtonianismo en Francia e Inglaterra en esta época; dejándolo así como un presupuesto. El lector interesado en este asunto puede encontrar algunas referencias en (Shank, 2008: 245-295), (Schliesser, 2013).

En 1821, Alexis Bouvard publicó unas nuevas cartas de la órbita de Urano, usando tanto las observaciones antiguas como las modernas. La conclusión a la que llegaría Bouvard a partir de la consideración de ambos conjuntos de observaciones representaría para él un problema difícil de resolver, y le daría pie a proponer, por primera vez, la hipótesis de la existencia de un planeta más allá de Urano que fuera el responsable de las anomalías observadas. Según Bouvard, la órbita calculada podía satisfacer las observaciones antiguas o las modernas, pero no ambas. Para resolver este problema, Bouvard optó por ignorar las observaciones antiguas y emplear para sus tablas tan solo las observaciones modernas, “sobre el fundamento de que unen el mayor número de probabilidades en favor de la verdad” (Grant, 1852: 165). Aunque había resuelto temporalmente el problema, él mismo había considerado que era necesario explicar por qué era imposible reconciliar las observaciones antiguas con las modernas en un solo cálculo de la órbita de Urano. A partir de esta consideración, Bouvard plantea por primera vez la hipótesis de la existencia de un objeto, del que no se tenía registro observacional alguno, pero que estaba ejerciendo una influencia gravitatoria en el movimiento orbital de Urano. En palabras de Bouvard: “dejo al futuro la tarea de descubrir si la dificultad de reconciliar los dos sistemas está conectada con las antiguas observaciones, o si depende de alguna causa extraña aún no percibida que pueda actuar sobre el planeta” (Grant 1852, 165). Y aunque las tablas de Bouvard serían una mejora respecto a las de Delambre, entre los años 1825 y 1832 una serie de errores comenzaron a desconcertar de nuevo a los astrónomos, pues para 1832 alcanzaban los 30’.

Diversas hipótesis surgieron con el propósito de resolver el problema del cálculo de la órbita, pero la que sostenía que las anomalías podían explicarse por la existencia de un planeta aún no descubierto fue la que más aceptación tuvo entre los astrónomos.⁸ Esta hipótesis fue planteada por Bouvard por primera vez en el texto recién referenciado y fue mantenida por personajes como Mary Somerville o Thomas Hussey.⁹ La creencia en la hipótesis de la existencia de un planeta más allá de Urano ganó progresivamente aceptación; y esto llevó a que, durante la década de 1840, se realizaran sendos intentos por calcular el lugar y la masa de un planeta más allá de Urano, del que no se tenía ninguna evidencia empírica directa.

Teniendo en cuenta el contexto de surgimiento de las investigaciones realizadas por Adams y Le Verrier y la manera progresiva en que se aceptó y difundió la hipótesis de la existencia de un planeta más allá de Urano, procederé a explicar los modos en que estos se enfrentaron al problema de las perturbaciones

8 Las razones por las cuales las demás hipótesis se desecharon pueden encontrarse en (Lyttleton, 1968: 215-250).

9 Cf. R.A.S., 1846: 123; Somerville, 1846: 60.

en la órbita de Urano. Esto lo haré con el propósito de mostrar que en tales modos es posible rastrear el uso del método de análisis y síntesis tal y como Newton lo había aplicado en su filosofía natural. Comenzaré estudiando el método empleado por Adams.

Adams conoció el problema de Urano tras su lectura del reporte de 1831-1832 del progreso de la astronomía que Airy entregó en el *Report of the British Association*. Allí, Airy consignó las dificultades que Bouvard encontró en sus intentos por conciliar las observaciones antiguas de Urano con las observaciones modernas. Asimismo, la hipótesis de la existencia de un planeta perturbador llegó a Adams gracias a su lectura del texto de Somerville en el que se expone la posibilidad de llegar a calcular la ubicación y masa de un objeto que fuera el causante de las perturbaciones observadas en Urano, a partir de las perturbaciones mismas. En virtud de esto, Adams se propone como una tarea personal realizar los cálculos que podrían llevar al descubrimiento del planeta responsable del movimiento anómalo de Urano. Esto lo atestigua una entrada en su diario que data del 3 de julio de 1841:

Me he formado un designio al comienzo de esta semana, tan pronto como sea posible luego de graduarme, investigar las irregularidades en el movimiento de Urano, para encontrar si ellas pueden atribuirse a la acción de un planeta no descubierto más allá de él; y, si es posible, entonces determinar los elementos aproximados de su órbita, etc., que probablemente llevarán a su descubrimiento (Adams, 1896, xvii).

Para lograr satisfacer este propósito, la única evidencia empírica con la que Adams contaba era la perturbación que se producía en el movimiento orbital de Urano. En este sentido, para determinar cuánta era la perturbación producida, Adams debía tener a la mano la órbita más precisa que se pudiera de este. Considerando que las órbitas computadas habían resultado erróneas, la tarea de Adams debía comenzar con un nuevo cálculo de la órbita de Urano, lo que le permitiría, posteriormente, realizar los cálculos que entregarían las condiciones para determinar las características de un posible planeta perturbador. Teniendo esto en mente, Adams escribió a James Challis, director del observatorio de Greenwich, solicitándole todas las observaciones de Urano disponibles para computar una órbita mucho más precisa. El objetivo de Adams era reducir los errores en la tabulación de la longitud geocéntrica de Urano a errores en la longitud heliocéntrica. Tras recibir la carta, Challis escribió a Airy para obtener la información requerida por Adams. Dos días después, Airy envió las observaciones que poseía de Urano desde 1754 hasta 1830 y Adams comenzaría a trabajar en la determinación de una órbita más precisa del planeta. En septiembre de 1845, Adams comunicaría a Airy y a Challis los cálculos realizados, en los cuales exponía, además, la masa y ubicación del hipotético planeta que ejercía una influencia gravitatoria más allá de Urano:

El método de análisis y síntesis y el descubrimiento de Neptuno

De acuerdo con mis cálculos, las irregularidades observadas en el movimiento de Urano pueden explicarse al suponer la existencia de un planeta exterior, la masa y la órbita del cual es la siguiente:-

Distancia Media (asumida en cercanía a la ley de Bode)

38.4

Movimiento medio sideral en 365.25 días

$1^{\circ}30'.9$

Longitud media, el 1ero de octubre de 1845

$323^{\circ}34'$

Longitud del perihelio

$315^{\circ}55'$

Excentricidad

0.1610

Masa (siendo la del Sol una unidad)

0.0001656 (*R.A.S.*, 1846: 129)

En esta misma carta, Adams afirma que si se considera la perturbación producida por un hipotético planeta que se encontrara en la ubicación predicha y tuviera las características mencionadas, el movimiento orbital teórico de Urano correspondería con todas las observaciones realizadas del planeta, incluyendo las observaciones antiguas. De esta manera, Adams realizó los cálculos que permitirían predecir la ubicación del planeta que ejerce una influencia gravitatoria en Urano. En este contexto, quiero detenerme en la consideración del método empleado por Adams para llegar a sus cálculos, distinguiendo dos aspectos que permiten ver el empleo del método de análisis y síntesis en ellos: por un lado, las condiciones del descubrimiento que muestran el estudio de efecto a causa; y, por otro lado, la demostración matemática que muestra que la causa explica con suficiencia los efectos percibidos.

Antes de considerar la manera en que Adams se enfrenta al problema del cálculo de la órbita de Urano, es necesario señalar el hecho de que este problema se enmarca en el problema más general de los tres cuerpos. Este problema surgió a partir de los estudios que Newton realizó, en los *Principia*, sobre la influencia gravitatoria del Sol sobre la Luna y las perturbaciones que se producían en el movimiento orbital de nuestro satélite por dicha influencia. A partir de allí, Newton concluyó que la gravedad es una propiedad de la materia, de tal suerte que cada partícula material atrae a otra. Esto significa que en sistemas de más de dos cuerpos, como el Sistema del Mundo, por ejemplo, la atracción gravitatoria debe ejercerse no solo desde un único centro de gravedad, el Sol en el caso del Sistema del Mundo, sino que cada cuerpo debe atraer a otro. El problema de los tres cuerpos se convirtió

en uno de los problemas centrales del newtonianismo y de la astronomía matemática y, aunque complejo, podía resolverse de forma aproximada considerando la masa, ubicación y distancia entre los planetas.

Sin embargo, en el caso de Urano la dificultad era mayor. En primer lugar, porque no se contaba con una órbita precisa del planeta, producto, como Adams demostró, de que no se había tenido en cuenta la perturbación producida por un hipotético planeta perturbador. Y, en segundo lugar, porque para poder determinar cuánta perturbación se producía, era necesario establecer a qué distancia, qué masa y qué lugar ocupaba exactamente el hipotético planeta. Este problema lo describe Grant de la siguiente forma:

Los errores de las tablas de Urano eran, entonces, atribuibles a dos causas distintas, debidas parcialmente a los errores de los elementos de la órbita del planeta, y parcialmente a la acción perturbadora de un planeta desconocido. Estas dos causas de error, aunque opuestas en su naturaleza, tenían ambas un origen común y sus efectos en esta explicación estaban tan completamente unidos, que era imposible investigarlos independientemente (Grant, 1852: 168-169).

Para resolver el problema del cálculo de la órbita de Urano, Adams empleó las observaciones proveídas por Airy para calcular una órbita tan precisa como fuera posible. Con ellas, Adams resolvió la primera de las dificultades, lo que le entregó datos suficientes para establecer con certeza que las anomalías observadas solo podían explicarse por la acción de un cuerpo perturbador. Esto muestra que hay un uso del método de análisis tal como Newton lo describió, pues se trata del descubrimiento de una causa a partir de sus efectos visibles en la naturaleza.

Este conjunto de observaciones empleado por Adams, entonces, pueden denominarse “observaciones de descubrimiento”. La característica fundamental de este tipo de observaciones es su carácter tentativo y exploratorio, que valida epistemológicamente las hipótesis lanzadas para resolver un problema que se tenga al estudiar la naturaleza. Lo que es importante tener en cuenta es que este conjunto de observaciones, que en el caso de Adams son las observaciones enviadas por Airy acerca de Urano, sustentan la estructura demostrativa matemática, en la medida en que, a partir de estas observaciones, se toman las mediciones necesarias para llevar a cabo la etapa sintética demostrativa del método. Estas observaciones, por lo tanto, determinan la realidad de las entidades con las que se trata en las demostraciones matemáticas.

Así, por ejemplo, en el caso de los *Principia* de Newton, como mencioné previamente, la fuerza que actúa como causa de los fenómenos del movimiento que se estudian en el texto, es deducida desde los fenómenos en una etapa analítica que

antecede al desarrollo de la estructura argumentativa del texto mismo. Para Adams, por su parte, el planeta que actúa hipotéticamente como causa de las perturbaciones en el movimiento orbital de Urano, puede considerarse como una entidad real durante el desarrollo de la demostración sintética. A partir de esto podemos concluir, entonces, que las entidades con las que tratan los modelos matemáticos en la física tienen una existencia condicionada a la posibilidad de cuantificar las “observaciones de descubrimiento” que llevan a formular hipótesis explicativas sobre la naturaleza. Pero este condicionamiento es temporal, pues, una vez se formula la hipótesis, esta se supone como dada y se procede a demostrar. Esto implica que cuando Adams se propuso demostrar matemáticamente la existencia de un planeta más allá de Urano, tenía argumentos consistentes para pensar que dicha hipótesis describía un estado de cosas en el mundo.

Bajo estas condiciones, podemos concluir que el procedimiento demostrativo matemático en la física no pretende determinar la realidad de las entidades con las que se está intentando explicar la naturaleza, sino que dichas entidades producen unos efectos cuantificables. En otras palabras, Neptuno era tan real para Adams como las perturbaciones en el movimiento orbital de Urano. Y, en este sentido, la demostración matemática debe dar cuenta de la perturbación, pero no de la realidad del agente perturbador. Esto lo podemos ver claramente cuando leemos la carta en la que Adams comunica sus hallazgos a Challis y Airy. En ella, tras describir las características del planeta perturbador, Adams demuestra que a partir de considerar un planeta con esas características, el movimiento teórico de Urano es reconciliable con su movimiento observado. Esto se ve, ciertamente, en la tabla que a propósito de esto Adams preparó, en la que, comparando los datos observacionales de la órbita de Urano desde 1690 hasta 1840 con la órbita que él había computado, se encontraban errores en la longitud inferiores a los 11’’.¹⁰

Estos resultados entregaron a Adams la certeza matemática de que las características predichas del hipotético planeta debían cumplirse en la realidad. La certeza matemática es, entonces, el criterio epistemológico fundamental durante la etapa demostrativa del método. En este sentido, las observaciones que confirmen la teoría dotan a la demostración matemática de correspondencia con la naturaleza, pero no de realidad. La realidad de las entidades que son tratadas matemáticamente está supeditada a las “observaciones de descubrimiento” y la certeza de las demostraciones está condicionada a un proceder matemático y a una correspondencia con este tipo de observaciones.

¹⁰ La órbita calculada para 1690 varía en 44’ .4’’ respecto a la observada, pero el propio Adams considera que esta sola diferencia no es tan significativa como para variar todo el cálculo (*R.A.S.*, 1846: 130).

Ahora bien, luego del empleo del método hay una etapa posterior que consiste en contrastar la teoría con la realidad en busca de correspondencia. Lo que resalta a partir del estudio de este caso histórico es que, en el caso de la astronomía matemática, las observaciones que se realizan después de las demostraciones no entran en el sistema demostrativo, sino que son herramientas de juicio y valoración de las teorías que tienen pretensiones cognitivas. A lo que me refiero, llevándolo a nuestro caso de estudio, es que cuando Adams solicita a Challis y Airy que, a partir de sus cálculos, se realice una búsqueda del planeta perturbador, lo que está solicitando es una valoración extrínseca de su teoría con base en criterios empíricos de contrastación. Esto supone que las “observaciones de contrastación” están por fuera de la estructura demostrativa y pretenden constatar que entre teoría y naturaleza hay una correspondencia.

En contraste con el carácter personal y privado de las investigaciones de Adams, las investigaciones de Le Verrier tenían un marcado componente social. La hipótesis de un planeta más allá de Urano tuvo difusión en Francia gracias a Benjamin Valz, director del observatorio de Marsella, quien en 1835 sugirió a François Arago, director del observatorio de París, que las anomalías observadas en el movimiento del cometa Halley podían explicarse en virtud de un planeta transurano —una hipótesis que ya había sugerido Clairaut en 1758—; recomendándole, entonces, dirigir una búsqueda del planeta. Asimismo, Arago conocía que esta hipótesis también podía explicar las perturbaciones observadas en el movimiento de Urano, gracias a que junto a él trabajaba Eugène Bouvard, quien se había encargado de difundir la hipótesis formulada por su tío, Alexis Bouvard, en 1821. Por estas razones, Arago, quien había promovido la carrera de Le Verrier como astrónomo en París, le solicitó que dejara a un lado las investigaciones que llevaba a cabo durante 1845 y se concentrara en el problema de Urano. Ante esta solicitud Le Verrier respondió:

Durante el curso de ese último verano [1845], M. Arago me ha aclarado que la importancia de esta cuestión impone un deber para todos los astrónomos de contribuir, con la mayor de sus capacidades, para la clarificación de ciertos puntos. En respuesta a su petición, abandoné, entonces, mis investigaciones sobre los cometas, de las que ya se han comunicado algunos fragmentos, para ocuparme completamente de Urano (Le Verrier, 1845: 1050-1051).

Tras explicar las razones que lo movieron a investigar las anomalías observadas en el movimiento de Urano, Le Verrier continúa su artículo caracterizando, brevemente, el método que empleó para demostrar matemáticamente que la hipótesis de la existencia de un planeta transurano tenía validez:

Para establecer con precisión la teoría de un planeta, cuyo movimiento es ya aproximadamente conocido, es necesario, primero, emprender una serie de observaciones

exactas y numerosas, repartidas en un intervalo de tiempo considerable. Es necesario, en segundo lugar, sobre la base de la gravitación universal, y teniendo en cuenta la influencia de todas las masas, investigar cuidadosamente la forma propia de las expresiones analíticas que representan en una época cualquiera las coordenadas del astro (Le Verrier 1845, 1051).

Esta declaración de Le Verrier relativa a su modo de proceder muestra la necesidad de determinar las causas de los fenómenos a partir de la observación de sus efectos visibles en la naturaleza. De acuerdo con ella, el establecimiento de la órbita de un planeta está condicionado a la recopilación de un número significativo de observaciones. Esto indica que hay un fundamento empírico en la determinación de las causas de los fenómenos naturales, lo que muestra el uso de un método de análisis semejante al de Newton. Asimismo, vemos que Le Verrier especifica lo que en Adams se da como supuesto: la necesidad de recurrir a la gravitación universal y la influencia conocida de las masas como elementos demostrativos.

De manera semejante a Adams, Le Verrier concluye su artículo mostrando que a partir de la consideración de un planeta más allá de Urano es posible computar una órbita que corresponda de una forma más precisa con las observaciones. Esto lo hace contrastando la posición teórica y la observacional entre 1790 y 1820, con errores de longitud inferiores a $1''$. Es importante señalar es que esta primera publicación de Le Verrier contiene, apenas, las consideraciones iniciales para lograr computar una órbita de Urano. Posteriormente, en 1846, Le Verrier publicaría un par de artículos más en los cuales se encuentran los cálculos del hipotético planeta perturbador. Cálculos que, a la postre, serían usados por Johann Galle para el descubrimiento visual de Neptuno. No obstante, como lo mencioné previamente, cuando me refería a las observaciones solicitadas por Adams a Airy y Challis, esta observación de Galle no entra en el sistema demostrativo de Le Verrier, pues la existencia fáctica del hipotético planeta no es una condición para el desarrollo del cálculo que llevó a Le Verrier a resolver el problema matemático del movimiento orbital de Urano. En otras palabras, lo que quiero resaltar es el hecho de que, tanto para Le Verrier como para Adams, la creencia en la existencia de un planeta más allá de Urano que produce una perturbación en su movimiento, está justificada a partir de la consideración de la perturbación misma. Al igual que para Adams, dentro del propio sistema demostrativo de Le Verrier, Neptuno tenía una existencia real, justificada por sus características calculadas.

Ciertamente, las demostraciones matemáticas no fueron en este caso histórico, ni pueden ser en general, pruebas suficientes para la determinación de la realidad de las entidades físicas que existan en la naturaleza. Sin embargo, como podemos ver, la determinación de la creencia en la existencia de estas entidades sí es justificable tan solo por las demostraciones matemáticas. Lo que quiero decir es que, en definitiva,

las demostraciones matemáticas, a partir del empleo del método de análisis y síntesis por parte de Newton en la filosofía natural, son pruebas suficientes para legitimar la creencia en una explicación particular acerca de los fenómenos observados en la naturaleza. Esto genera, en definitiva, confianza en la capacidad explicativa de nuestras teorías.

El método de análisis y síntesis en la astronomía: conclusiones generales

Tras haber caracterizado el método de análisis y síntesis tal como Newton lo emplea en su filosofía natural, y haber expuesto que en el descubrimiento de Neptuno se pueden rastrear los elementos propios de dicho método, es posible señalar algunas conclusiones generales a las que se puede llegar a través de este estudio histórico. Estas conclusiones exploran algunos fundamentos epistemológicos de la astronomía matemática en virtud de la influencia del newtonianismo en la práctica de esta disciplina durante los siglos XVIII y XIX. Asimismo, estas conclusiones, como se mostrará más adelante, se podrán extrapolar a las investigaciones actuales en astronomía.

Las conclusiones que esta investigación arroja pueden dividirse en dos grupos: por un lado, encontramos que la caracterización del método de análisis y síntesis justifica nuestra confianza en las explicaciones matemáticas respecto a la naturaleza. Esta conclusión da cuenta, simultáneamente, del papel que tiene la observación de la naturaleza en la astronomía matemática. Por otro lado, a partir del método demostrativo matemático, sostengo que es posible encontrar una revaloración a las hipótesis como un modo de explicación válido de la naturaleza. Esta conclusión me permitirá señalar que el fundamento matemático y observacional de las hipótesis las legitima epistemológicamente. Trataré, entonces, el primer grupo de conclusiones.

Como señalé más arriba, cuando consideramos el método de análisis y síntesis en la obra de Newton debemos tener en cuenta si se trata desde el enfoque matemático o desde el filosófico natural. Esta investigación se ha centrado fundamentalmente en este segundo enfoque, porque creo que la influencia del enfoque matemático es clara y puede encontrarse en casi cualquier estudio histórico del descubrimiento de Neptuno. Las reconstrucciones de los métodos empleados por Adams y Le Verrier realizadas por historiadores como Grant, Lyttleton o Linton, muestran con una amplia evidencia textual que los métodos usados por estos dos astrónomos se sirvieron del método de análisis matemático.¹¹ Sin embargo, el señalamiento de la influencia del método de análisis y síntesis desde la filosofía natural ha sido

11 Cf. Grant, 1852: 169; Lyttleton, 1968: 229; Linton, 2004: 376.

un asunto pasado hasta ahora por alto por los historiadores. Como apunté más arriba, cuando se considera desde la filosofía natural, Newton emplea el método de análisis y síntesis como un método de descubrimiento y demostración que permite explicar los fenómenos a partir de su observación. De acuerdo con este método, las explicaciones que damos de la naturaleza deben dar cuenta de los fenómenos como el resultado de una causa particular. En este sentido, considerando que la investigación de la naturaleza comienza con una observación de los fenómenos, el establecimiento de su causa debe ser la primera tarea del investigador. Dicha tarea se realiza a través de un procedimiento deductivo, que culmina con una inducción matemática que permite postular una causa como responsable de un conjunto amplio de fenómenos.

Así las cosas, el estudio de la naturaleza, a partir de la obra de Newton, comienza con una observación de la misma, con la pretensión de conocer las causas que originan los fenómenos que observamos en ella. Esta observación guiada causalmente, tiene un carácter tentativo y exploratorio y, de ninguna manera, puede considerarse como un elemento de prueba en las demostraciones. Se trata simplemente de una observación que permite al investigador concluir que hay una causa específica para un conjunto de fenómenos. No obstante, a pesar de que no hay un carácter demostrativo en esta primera observación de la naturaleza, esta permite la determinación de la realidad de las entidades que se emplearán posteriormente en las demostraciones. En otras palabras, las entidades con las que tratan las demostraciones matemáticas tienen un correlato en la realidad, que se conoce a partir de estas observaciones. En el caso del descubrimiento de Neptuno esto puede notarse con claridad, pues las demostraciones matemáticas tanto de Adams como de Le Verrier se basan en las observaciones que se realizan del movimiento orbital de Urano. En efecto, en el caso particular de Adams, éste solicita a Airy todas las observaciones de Urano que tenga a la mano para computar una órbita tan precisa como fuera posible. Con ellas Adams concluye que la hipótesis de un planeta perturbador que actúa como causa de las anomalías observadas en el movimiento hace que sea consistente la órbita computada a partir de las observaciones. En otras palabras, Adams valida epistemológicamente su hipótesis, gracias a que los cálculos realizados a partir de las observaciones justifican la posibilidad de la existencia de un planeta transurano. Lo mismo puede decirse en el caso de Le Verrier.

A la luz de estas consideraciones podemos concluir, entonces, que la observación de los fenómenos posibilita no solo el desarrollo de los cálculos matemáticos que se llevan a cabo en la etapa demostrativa, sino la legitimación de las hipótesis que fundamentan dichas demostraciones. En términos generales, lo que Adams y Le Verrier descubrieron cuando tomaron las observaciones del movimiento

de Urano fue lo mismo que descubrió Newton cuando tomó las observaciones de los movimientos de los planetas en torno al Sol: que había una alta probabilidad de que la causa que habían postulado de manera hipotética como responsable de los fenómenos que habían visto, fuera, efectivamente, la causa de ellos. No obstante, en este punto, tanto en el caso de Adams y Le Verrier, como en el de Newton, la evidencia empírica tan solo es suficiente para legitimar la investigación de la naturaleza a partir de una causa supuesta, pero no para pensar que dicha causa es realmente la responsable de los fenómenos que se observan. En este punto se introduce la síntesis matemática como un procedimiento demostrativo que permite, primero, poner a prueba la hipótesis; y, segundo, en caso de superarla, postularla como una explicación válida para los fenómenos observados en la naturaleza.

En el caso de Newton, la batería matemático-demostrativa se aplica sobre el movimiento de los cuerpos en órbitas. Como mencioné más arriba, en los *Principia* la fuerza se supone como algo real y a partir de ella se demuestran los movimientos que se siguen si esta se ejerce. Primero, la demostración se realiza con puntos matemáticos y se consideran las curvas que se producen tras el ejercicio de una fuerza. Posteriormente, se extrapolan las consecuencias de este estudio del movimiento a los fenómenos naturales. Allí, dado el caso en que se observe un movimiento como el que se explicó previamente de manera matemática, podemos justificar nuestra creencia de que este debió producirse a partir del ejercicio de una fuerza semejante a la que se tuvo como supuesta en la primera parte de la demostración. En este sentido, Newton pasa de tratar el movimiento de puntos matemáticos en los dos primeros libros de los *Principia* a estudiar la trayectoria de los planetas en el libro III, con el propósito de mostrar que al observar la naturaleza encontramos un movimiento semejante al que se había descrito en aquellos libros. Así, en virtud de la demostración matemática, podemos concluir que la fuerza que se descubrió en el análisis que se hizo sobre las primeras observaciones es una fuerza que existe *realmente* en la naturaleza y de la cual el único referente empírico es su efecto visible en el mundo. Es decir, a pesar de que la fuerza no la vemos en la naturaleza, sí percibimos sus efectos y por lo tanto encontramos en ellos una validación epistemológica de las demostraciones matemáticas que han dado cuenta de su accionar.

En el caso de Adams y Le Verrier, las demostraciones matemáticas se fundamentan en la hipótesis de que hay un planeta transuraniano responsable de las perturbaciones observadas. Lo que debemos tener en cuenta es que en la etapa analítica de descubrimiento ya hemos justificado el uso de esta hipótesis para la demostración. Así las cosas, cuando Adams y Le Verrier predicen la ubicación y masa del hipotético planeta, lo que están haciendo, en realidad, es concluyendo

que, a partir de las perturbaciones observadas la única conclusión viable es que debe existir un planeta más allá de Urano que tiene unas características específicas. De esta manera, la determinación de la legitimidad de la hipótesis está supeditada, ciertamente, a las observaciones que la promovieron; pero, fundamentalmente, al desarrollo de una demostración matemática que permite validarla.

En definitiva, la conclusión que surge a partir de la consideración del método de análisis y síntesis tal como lo usaron Newton, Adams y Le Verrier, es que las investigaciones en la astronomía matemática están condicionadas por la observación de la naturaleza como fuente originadora de las hipótesis explicativas respecto al mundo, y por las modelizaciones matemáticas, como herramientas que validan dichas hipótesis. Lo que resalta de esta conclusión es el hecho de que para el astrónomo las entidades que postula en sus demostraciones matemáticas son reales, bajo cualquier circunstancia. En efecto, para el investigador de la naturaleza, si el resultado de la demostración matemática da cuenta efectivamente de los fenómenos estudiados, su hipótesis investigativa se valida epistemológicamente y, por este motivo, la creencia en ella se encuentra justificada.

Lo que es importante tener en cuenta, como lo he mostrado hasta acá, es que este modo de validación de las explicaciones de la naturaleza en la astronomía se legitima a partir de la institucionalización del método de análisis y síntesis empleado por Newton en la filosofía natural. En otras palabras, el éxito del newtonianismo produjo que el modo de proceder en el campo de la astronomía estuviera condicionado a la producción de demostraciones matemáticas precisas, pues, en últimas, las “observaciones de contrastación”, observaciones que se realizan después del proceso demostrativo y que no hacen parte de este, tan solo sirven para verificar que una teoría es cierta, pero no tienen utilidad alguna dentro de la etapa demostrativa. Esto no quiere decir que las “observaciones de contrastación” sean un elemento accesorio en la astronomía. Pero a la luz de esta investigación se puede concluir que estas observaciones, tienen una función epistemológica social más que investigativa. En efecto, estas observaciones permiten que alguien ajeno a la construcción de una teoría pueda validarla o refutarla, pero el juicio que se produce a partir de las “observaciones de contrastación” no hace parte de la teoría investigativa, sino de una determinación de la validez de nuestras teorías para explicar la naturaleza. En últimas, ante el desarrollo de una observación de contrastación exitosa, el astrónomo responsable de la teoría que llevó a realizar esa observación podría responder con toda tranquilidad: “¡ya lo sabía!”

Además de este componente epistemológico, que muestra el modo en que el método de análisis y síntesis se emplea en las investigaciones astronómicas, este

estudio de caso expone también la necesidad de una revaloración del papel de las hipótesis para la astronomía. Tal vez uno de los fragmentos más citados de Newton es su famoso: “*hypotheses non fingo*”, con el que cierra su “Escolio general” a los *Principia*. Esta afirmación tajante sentó el precedente de una epistemología que renegaba de las hipótesis como modos de explicación de la naturaleza, para elevar el valor de la investigación empírica sobre la misma. Muchos especialistas han reconsiderado este pronunciamiento de Newton, demostrando que este debe leerse a partir de las disputas de Newton con el mecanicismo de corte cartesiano y sus hipótesis metafísicas.¹²

No obstante, esta revaloración también puede evidenciarse cuando tratamos el asunto desde la astronomía matemática. Como podemos ver a partir del caso del descubrimiento de Neptuno, la postulación de hipótesis para explicar un fenómeno particular observado, puede llevarnos a explicaciones satisfactorias respecto al mundo. Pero no solo satisfactorias en la medida en que se llega a descubrimientos astronómicos, sino, además, porque a partir de las hipótesis es posible guiar las observaciones de la naturaleza y el desarrollo de una batería matemática cada vez más sofisticada para la resolución de problemas. Por ejemplo, en el caso del descubrimiento de Neptuno, ciertamente, el descubrimiento en sí mismo fue un resultado valiosísimo, pero el desarrollo de un modo de proceder inverso para resolver el problema de los tres cuerpos terminó siendo incluso más influyente que el descubrimiento en sí. En efecto, este modo de proceder se continúa usando en la actualidad en la búsqueda de planetas y de agujeros negros, por mencionar tan solo unos casos, lo que ha permitido llegar a unas explicaciones cada vez más precisas de los fenómenos naturales.¹³ Sin embargo, lo que es importante tener en cuenta, es que no se trata de cualquier tipo de hipótesis: las hipótesis que se legitiman son las que se encuentran justificadas en las observaciones y las demostraciones matemáticas.

En últimas, el desarrollo de la astronomía matemática está condicionado al empleo de las observaciones que se hacen sobre la naturaleza, las cuales permiten la elaboración de unas demostraciones matemáticas. En sentido estricto, en este punto se alcanza una suficiencia epistemológica para justificar la creencia de un astrónomo hacia una teoría: el investigador encuentra en la demostración matemática prueba suficiente para creer que *su* explicación de la naturaleza corresponde con lo que hay en ella. Las observaciones posteriores dotan de un componente social a la investigación misma, pues pone en la perspectiva de otros astrónomos una explicación de la naturaleza, lo que permite que esta sea evaluada para su aceptación

¹² Una reconstrucción de las principales interpretaciones al respecto se encuentra en (Shapiro, 2007).

¹³ Cf. Linton, 2004: 397-436; Dick, 2013: 33-172.

o refutación. Este aspecto social de la investigación permite la depuración de hipótesis y hace que se deban tener en cuenta no solo los procedimientos de demostración, sino las audiencias de recepción y las teorías que son aceptadas en grupos sociales específicos.

Abreviatura usada

R.A.S.: Royal Astronomical Society.

Bibliografía

1. Adams, J. C. (1896). *The Scientific Papers of John Couch Adams*, William Grylls Adams (Ed.), Cambridge, Cambridge University Press.
2. Chapman, A. (1988). "Private Research and Public Duty: George Bidell Airy and the Search for Neptune", *Journal for the History of Astronomy* 19: 121-139.
3. Cohen, D. J. 2005. "Reasoning and Belief in Victorian Mathematics", Martin Daunton (Ed.). *The Organisation of Knowledge in Victorian Britain*, 139-158, Oxford, Oxford University Press.
4. Dick, S. J. (2013). *Discovery and Classification in Astronomy. Controversy and Consensus*, New York, Cambridge University Press.
5. Ducheyne, S. (2012). *The Main Business in Natural Philosophy. Isaac Newton's Natural-Philosophical Methodology*, New York, Springer.
6. Grant, R. (1852). *History of Physical Astronomy*, London, Herny G. Bohn.
7. Guerlac, H. (1973). "Newton and the Method of Analysis", *Dictionary of the History of Ideas*, 3: 378-391.
8. Guicciardini, N. (2009). *Isaac Newton on Mathematical Certainty and Method*, Cambridge, MA, MIT Press.
9. Hanson, N. R. (1962). "Leverrier: The Zenith and Nadir of the Newtonian Mechanics", *Isis* 53(3): 359-378.
10. _____. (1967). "An Anatomy of Discovery", *The Journal of Philosophy* 64(11): 321-352.
11. Holden, E. S. (1892). "Historical Note Relating to the Search for the Planet Neptune in England in 1845-6", *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 4(21): 21-23.

12. James, W. & Russell J. E. (1907). "Controversy about truth", *The Journal of Philosophy, Psychology and Scientific Methods* 4(11): 289-296.
13. Jones, H. S. (1947). *John Couch Adams and the Discovery of Neptune*, Cambridge, Cambridge University Press.
14. Lequeux, J. (2013). *Le Verrier – Magnificent and Detestable Astronomer*, New York, Springer.
15. Le Verrier, U. J. (1845). "Rapport sur des Tables Numériques du Mouvement héliocentrique de Mercure, calculées", *Compte Rendus de L'Académie des Sciences*: 316-320.
16. _____. (1846a). "Sur la Planète qui Produit les Anomalies Observées dans le Mouvement d'Uranus. – Détermination de sa Masse, de son Orbite et de sa Position Actuelle", *Compte Rendus de L'Académie des Sciences*: 428-438.
17. _____. (1846b). "Sur la Planète qui Produit les Anomalies Observées dans le Mouvement d'Uranus. Cinquième et Dernière Partie, Relative à la Détermination de la Position du Plan de l'Orbite", *Compte Rendus de L'Académie des Sciences*: 657-659.
18. _____. (1846c). "Comparaison des Observations de la Nouvelle Planète, avec la Théorie Dédueite des Perturbation d'Uranus", *Compte Rendus de L'Académie des Sciences*: 741.
19. Lewens, T. (2005). "Realism and the Strong Programme", *The British Journal for the Philosophy of Science* 56(3): 559-577.
20. Linton, C. M. (2004). *From Eudoxus to Einstein. A History of Mathematical Astronomy*, New York, Cambridge University Press.
21. Lyttleton, R. A. (1968). *Mysteries of the Solar System*, Oxford, Oxford University Press.
22. Merton, R. K. (1957). "Priorities in Scientific Discoveries", *American Sociological Review* 22(6): 635-659.
23. Molina, S. (2014a). "Aspectos metodológicos de la demostración de la fuerza en los *Principia* de Newton", *Praxis Filosófica* 39: 67-92.
24. _____. (2014b). "La metodología de Newton y la demostración de la realidad de la fuerza", *Estudios de Filosofía* 50: 131-154.

25. Newton, I. (1976). *The Mathematical Papers of Isaac Newton*, D. T. Whiteside (Ed.), Cambridge, Cambridge University Press.
26. _____. (1987). *Principios matemáticos de la filosofía natural*, Antonio Escohotado (Trad.), Barcelona, Tecnos.
27. _____. (1999). *The Principia. Mathematical Principles of Natural Philosophy*. I. Bernard Cohen et al. (Eds.) Berkeley, University of California Press.
28. _____. (2003). *Opticks, or, A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections, and Colours of Light*, New York, Prometheus Books.
29. Orozco, S. H. (2009). *Isaac Newton y la reconstitución del palimpsesto divino*, Medellín, Universidad de Antioquia.
30. Pannekoek, A. (1953). The Discovery of Neptune, *Centaurus* 3: 126-137.
31. Shank, J. B. (2008). *The Newton Wars and the Beginning of the French Enlightenment*, Chicago, University of Chicago Press.
32. Shapiro, A. (2007). “La ‘filosofía experimental’ de Newton”, En *Estudios de Filosofía*, 35: 111-147.
33. Schliessser, E. (2013). “Newton and the Newtonianism in Eighteenth-Century British Thought”. James A. Harris (Ed.). *The Oxford Handbook of British Philosophy in the Eighteenth-Century*, Oxford, Oxford University Press, pp. 41-65.
34. Sheehan, W. & Thurber, S. (2007). “John Couch Adams’s Asperger Syndrome and the British Non-Discovery of Neptune”. *Notes and Records of the Royal Society of London* 61(3): 285-299.
35. Smith, R. W. (1989). “The Cambridge Network in Action: The Discovery of Neptune”, *Isis* 80(3): 395-422.
36. Somerville, M. (1846). *On the Connection of the Physical Sciences*, New York, Harper and Brothers.
37. Walker, S. C. (1853). “Investigations which led to the Detection of the Coincidence between the Computed Place of the Planet Leverrier, and the Observed Place of a Star Recorded by Lalande, in May, 1795”. *Transactions of the American Philosophical Society* 10: 141-153.