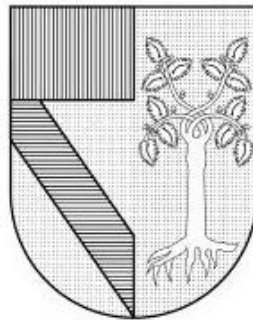


UNIVERSIDAD PANAMERICANA

FACULTAD DE FILOSOFÍA



“EL EXPERIMENTO DEL CUBO DE AGUA DE ISAAC NEWTON”

T E S I S

Q U E P R E S E N T A

GONZALO VERA ZORRILLA

P A R A O B T E N E R E L G R A D O D E :

MAESTRO EN HISTORIA DEL PENSAMIENTO

DIRECTOR DE LA TESIS:

Dr. LEONARDO RUIZ GÓMEZ

San Josemaría Escrivá me enseñó a ofrecer todo mi trabajo a Dios Omnipotente y es mi primera intención respecto al resultado de estos años de esfuerzo.

A mis padres Paco (+) e Irma. Las palabras sobran.

Del Dr. Jorge Morán (+) recibí incesante ánimo en los años de más lento avance en este camino.

Con su claridad y lucidez, el Dr. Leonardo Ruiz orientó de modo decisivo la forma de este documento; su paciencia, prudencia, aliento e impulso fueron insustituibles para que este trabajo existiera: muchas gracias.

Índice

Introducción.....	4
Capítulo 1: El experimento.....	8
1. El concepto de experimento.....	8
2. Ejemplos tradicionales de experimento.....	9
3. El experimento mental.....	11
4. Cuestionamientos acerca de esta modalidad.....	13
Capítulo 2: El experimento del cubo de agua.....	20
1. Ubicación histórica de los <i>Principia</i>	20
2. El experimento del cubo de agua, en el Escolio de <i>Principia</i>	21
3. Ideas en discusión.....	26
a. Espacio y lugar.....	27
b. Vacío.....	29
c. Movimiento y reposo.....	29
d. Presencia de Dios en el mundo material.....	31
e. Tiempo.....	32
f. Distancia a las estrellas fijas.....	32
4. Descripción del experimento del cubo de agua.....	34
5. Otros textos de Newton que guardan relación con el experimento..	46
Capítulo 3: Comentarios de otros autores.....	53
1. La necesidad del recurso al concepto de espacio absoluto.....	53
2. La sustancialidad del espacio absoluto.....	57
3. Motivación para incluir el experimento del cubo de agua.....	64
4. Razones teológicas: dar un sitio a Dios.....	68
Conclusiones.....	75
Bibliografía.....	82

Introducción

Describe Brian Greene, en su libro de divulgación *The fabric of the cosmos*¹, que el problema del tiempo y el espacio es uno que ha inquietado a los hombres de pensamiento, desde los tiempos más antiguos. Más aun, como dicen Huggett y Hoefer, “el problema de la interpretación de las cantidades espacio-temporales como absolutas o relativas resulta endémico a casi cualquier tipo de mecánica que uno pueda imaginar”². En cualquier caso, la percepción de estas realidades —unidas en una sola a inicios del siglo XX gracias al trabajo de Einstein sobre la relatividad— ha supuesto durante siglos una fuente de inspiración para la investigación tanto de la física como de la filosofía: resulta de interés, al estudiar la bibliografía disponible, descubrir que hay desarrollos de notable profundidad de unos y otros y, en bastantes casos, artículos escritos por personas que son manifiestamente diestras en ambas ramas del saber.

A pesar de tratarse de una realidad en la que estamos —literalmente— inmersos, la consideración de la naturaleza del espacio es sin duda de difícil solución. Hay muchas tentativas que permiten avanzar en un mejor entendimiento y en la actualidad gracias a la física contemporánea las respuestas resultan más satisfactorias y sofisticadas, pero todavía hoy la explicación de esta realidad tan cotidiana no es del todo clara. Este trabajo, lógicamente, no pretende abarcar el desarrollo completo del entendimiento humano acerca del espacio, sino concentrarse en una de las aportaciones que, hasta la fecha, sigue excitando la curiosidad de especialistas y principiantes, académicos rigurosos y divulgadores.

- 1 Brian Greene, *The Fabric of the Cosmos: Space, Time, and the Texture of Reality*, 1a ed. (New York: A.A. Knopf, 2004).
- 2 Nick Huggett y Carl Hoefer, “Absolute and Relational Theories of Space and Motion”, en *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, ed. Edward N. Zalta, 2016, <http://plato.stanford.edu/archives/win2016/entries/spacetime-theories/>.

Sir Isaac Newton publica, en 1687, su revolucionario *Philosophiae naturalis principia mathematica*³, o *Principia*, como suele llamársele. En él detalla un experimento mental —generalmente conocido como “el experimento del cubo de agua”— que a la vuelta de los siglos sigue siendo retomado para análisis de distintas disciplinas, desde la historia y la epistemología hasta la semántica y la física.

Cabe mencionar que se ha llegado a calificar los *Principia* como el documento más importante de la revolución científica pues, además de proporcionar un marco de leyes sobre la mecánica del mundo, introduce el concepto de universalidad en la validez de estas leyes.

En las *Definitiones* del Volumen Primero, después de establecer ocho definiciones acerca del movimiento, incluye un *Scholium* en el que ofrece una explicación sobre el espacio y el tiempo, distinguiendo entre movimiento absoluto y relativo. Tras señalar algunas explicaciones que sitúan el contexto, Newton presenta el experimento mental del cubo de agua: exposición a la que no da una solución o explicación clara y contundente —evidentemente, él mismo no la tiene— y que por tanto queda abierta para ulterior crítica y desarrollo.

El objetivo, entonces, de este trabajo será enfocar algunos aspectos de interés en esta porción del Escolio a las Definiciones, de los *Principia* de Newton.

En el Capítulo 1 haré un breve repaso sobre qué es un experimento, elemento esencial del método científico y resultado natural de la curiosidad humana. Prestaré especial atención a la variante particular del experimento mental y trataré de ofrecer una primera valoración de su legitimidad como herramienta para el avance en el conocimiento de la realidad, al menos

3 Isaac Newton, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, ed. William Thomson y Hugh Glasgow, 3ª (Londres: Guil. & Joh. Innys, Regiae Societatis Typographos, 1726).

basada en la historia. A la luz de estas reflexiones, ofreceré una clasificación sobre los tipos de experimentos mentales pues percibo que no es válido calificar la variedad de ellos en un solo concepto. Este ensayo de clasificación permitirá a su vez ponderar mejor su utilidad y aportación al conocimiento.

Con esa definición conceptual, en el Capítulo 2 abordaré el experimento mental del cubo de agua. En la primera parte, con el objeto de ofrecer un contexto adecuado, describiré la ubicación histórica de los *Principia* de Newton. La segunda parte es una continuación al intento de contexto, a la vez que detallo mejor la relación que guarda el experimento del cubo de agua dentro del Escolio de los *Principia* y presento una descripción general del contenido del Escolio. La tercera parte aparece casi como un *excursus* acerca de las ideas en discusión y pretende ser una exposición de los conceptos que parece abordar el experimento mental: busco ilustrar un contraste entre el texto newtoniano y las ideas cartesianas que parecen ser el antecedente más relevante para la inclusión de esa narración.

En la cuarta parte del Capítulo 2 ensayo un análisis pormenorizado del texto mismo del experimento, tratando de apoyarme tanto en la descripción que el mismo Newton recoge en los *Principia* como en el entonces inédito *De gravitatione et æquipondio fluidorum*⁴, conocido ordinariamente como *De gravitatione*. A continuación, la quinta parte recoge otros textos de Newton que resultan de utilidad para valorar la aportación del experimento del cubo de agua.

En el Capítulo 3 ofrezco una breve recopilación de comentarios que otros autores han hecho respecto a Newton, su concepto de espacio absoluto, y el experimento del cubo de agua. He tratado de mantener un cierto orden lógico, destilando las que considero posturas más visitadas por estos

4 Isaac Newton, *De Gravitatione et æquipondio fluidorum (inglés)*, trad. W.B. Allen, 1684, <http://www.newtonproject.ox.ac.uk/catalogue/record/THEM00093>.

pensadores a manera de “común denominador”, aunque esto resulta imposible de modo completo puesto que las opiniones son vertidas a veces en sentidos opuestos y abarcando diversos puntos. La separación en subtemas es más bien genérica —aunque los títulos que he elegido sí reflejan los puntos centrales de los comentarios— por lo que en cada uno se encontrarán citas y descripciones que podrían corresponder a otros títulos. Para ayudar un poco a la coherencia de esta presentación, al final del capítulo resumo en una tabla los puntos centrales de cada autor respecto a cada uno de los temas.

Finalmente, en las Conclusiones presentaré algunas opiniones y valoraciones sobre la aportación del experimento del cubo de agua tanto para la comprensión de la mecánica del cosmos, como en general a la validez de esta herramienta en los planteamientos científicos o filosóficos, concretamente los que abordan la cuestión del espacio.

En esta sección conclusiva, además, recogeré algunas ideas acerca del recurso del experimento mental ya detalladas en el Capítulo 1 pero que considero aportaciones de interés para la reflexión sobre la creación de Newton.

Capítulo 1: El experimento

1. El concepto de experimento

Allan Franklin, en su libro *“What makes a good experiment?”*⁵ concluye que no es sencillo responder satisfactoriamente a la pregunta del título, pero aporta líneas que ayudan a valorar si el planteamiento resultará útil o no, señalando grandes campos como un buen concepto, buena metodología, tecnológicamente sólido y pedagógicamente relevante.

Pero al no responder qué es un buen experimento implícitamente marca una incógnita útil: no resulta tan sencillo determinar sus características óptimas, o incluso más ampliamente, qué *es* un experimento. El experimento, como método de obtención de nuevo conocimiento o de comprobación de una idea, surge con claridad en el s. XVII, aunque no sin detractores. Siglos de dar primacía a la razón humana como camino para llegar a la verdad no cedieron tan fácilmente a un método que “venía de fuera”, apoyado en la observación y en la intervención directa sobre la naturaleza⁶. Thomas Hobbes, uno de los fundadores de la filosofía política, afirmaba que la razón humana precede al experimento para revelar la ley natural, criticando con este comentario a Robert Boyle, filósofo de la naturaleza que estaba obteniendo contundentes éxitos mediante sus experimentos con gases, entre otras muchas aportaciones.

El observador fácilmente inducirá desviación por su forma de pensar y preconcepciones o hipótesis de trabajo; el aparato de experimentación puede introducir artefactos que no sean fáciles de reconocer; la obtención de resultados parciales puede inclinar la interpretación que se dé a la

5 Allan Franklin, *What Makes a Good Experiment?: Reasons and Roles in Science* (University of Pittsburgh Press, 1905), <https://muse.jhu.edu/book/45786>.

6 Slobodan Perovic y Allan Franklin, “Experiments in Physics”, ed. Edward N. Zalta, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, el 27 de febrero de 2015, <https://plato.stanford.edu/entries/physics-experiment/>.

información. Es necesario, al enfrentar un experimento, tomar precauciones ante todos los inconvenientes que puede presentar, y que de no atenderse podrían derivar en resultados falsos o poco fiables. Sin embargo, resulta un dato empírico ampliamente sustentado, que el experimento —bien diseñado, cuidando todos los aspectos que pueden arrojar un resultado incorrecto— ha sido una fuente importante de conocimiento.

No han faltado autores que han atacado, como injustificada, la seguridad que depositamos en los experimentos, particularmente refiriéndose a los que llevan un diseño de aparato físico (es decir, no mentales): H. Collins (1985), A. Pickering (1987) y otros⁷ incluso han desarrollado metodologías con las que afirman poder despojar de certeza cualquier experimento, o que con fundamentación filosófica arguyen que el experimento mental no es más que un argumento pintoresco⁸. Aunque lo presentan como crítica, no deja de tratarse de una aportación interesante pues manifiestan su percepción sobre un rasgo en el experimento mental: es ilustrativo por ser pintoresco.

2. Ejemplos tradicionales de experimento

Los experimentos dentro del método científico se han caracterizado por una definición de la hipótesis a comprobar y el diseño del experimento mismo, que puede adoptar múltiples modalidades en su complejidad, maneras de comprobar los resultados, medios para reconocer artefactos, etc.⁹

Son clásicos, por ejemplo, los experimentos de Galileo para demostrar que la velocidad de caída de un objeto no se ve afectada por su peso, cuando rodó bolas de diferentes masas por un plano inclinado; o los experimentos

7 Perovic y Franklin. Sección 1.2.

8 John D. Norton, "On Thought Experiments: Is There More to the Argument?", *Philosophy of Science* 71, núm. 5 (diciembre de 2004): 1139–51, <https://doi.org/10.1086/425238>.

9 Perovic y Franklin, "Experiments in Physics".

de Newton con prismas para descomponer la luz en sus colores constitutivos; o los llamativos aparatos que llevaron a la conclusión de la ley general de los gases, llevados a cabo por Boyle. Una y otra vez, los resultados de los experimentos reiterados construyen el sustento de lo que se había supuesto como hipótesis o sirvieron para descubrir una constante de la naturaleza, como la de la gravitación universal, o para demostrar la inexistencia de un supuesto, como el de Michelson y Morley para tratar de descubrir —sin éxito, o con el peculiar éxito de apoyar su inexistencia— el éter luminífero¹⁰.

Todos estos experimentos y los innumerables más que podrían citarse, desde medir el movimiento de un péndulo hasta provocar la aparición del bosón de Higgs en el Gran Colisionador de Hadrones, han jugado un papel de enorme relevancia —insustituible— en la generación de conocimiento, en el descubrimiento y comprensión de aspectos de la naturaleza y en la formulación de las leyes que la gobiernan. Tradicionalmente estos experimentos han supuesto, como es lógico, un primer ejercicio de razón para la formulación de la hipótesis y diseño del experimento, incluyendo la reducción de los factores a estudiar y controlar, los modos de comprobación de los resultados y las formas de eliminar o aminorar los artefactos introducidos por los aparatos y desviaciones ocasionadas por las preconcepciones del observador.

Pero, también de modo tradicional, en todos estos ha existido una característica común: del planteamiento hipotético racional se pasa a la interacción controlada con la naturaleza para ver si esta responde como uno creía. Un experimento que se limitara a razonar al parecer no sería tal, puesto que regresaría al método de la filosofía, de especulación sobre la naturaleza para tratar de desentrañar su funcionamiento y codificar así las leyes que la rigen, pero sin haber interactuado con ella. La reflexión sobre

10 Editors Encyclopedia Britannica, “Michelson-Morley Experiment”, en *Encyclopedia Britannica*, 2015, <https://www.britannica.com/science/Michelson-Morley-experiment>.

la naturaleza es *siempre* necesaria antes de interactuar con ella si se desea llegar a un nuevo conocimiento válido, pero el experimento que —por decirlo de alguno modo— *toca* sensiblemente la realidad, es un constitutivo esencial en el método de las ciencias naturales y su mecanismo de trabajo por excelencia.

3. El experimento mental

La afirmación precedente, sin embargo, no es del todo cierta. Existe un género de experimento en el que la interacción controlada con la naturaleza no ha sido requisito para obtener un resultado o una comprobación de la hipótesis. Se trata del experimento mental.

Quizá la explicación que un científico va otorgando al lector puede desconcertarlo, pero de pronto ofrece un ejercicio de la imaginación, vivo, cercano y comprensible, que permite entender lo que parecía tan oscuro. Notamos que la mente se aclara y de pronto penetramos esa verdad que el autor quiere transmitir, con una claridad y certeza que antes no teníamos¹¹.

También puede suceder que el mismo pensador no alcanza a penetrar la verdad de un punto que pretende entender y entonces, mediante una representación puramente mental —si bien, necesariamente apoyada para su validez en un conocimiento preciso de la realidad empírica— logra intuiciones que le abren un nuevo panorama y que después podrá formular matemáticamente o incluso, en algunos casos, comprobar de modo experimental.

Posiblemente los experimentos mentales más conocidos y relevantes para este argumento sean los ejercicios de Einstein que llevaron al descubrimiento de las leyes de la relatividad especial en 1905 y de la relatividad general en 1916. Einstein se planteó un problema, surgido de la necesidad de lograr sincronía entre los relojes de las distantes estaciones de

11 Norton, "On Thought Experiments".

trenes a lo largo de una vía y fue creando una construcción mental que se entrecruzó con la pregunta que se hizo desde la juventud: si yo fuera viajando sobre un rayo de luz, paralelo a un segundo rayo de luz, ¿qué vería?¹²

Nunca podría viajar sobre un rayo de luz, nunca podría “ver” desde él; sin embargo, su poderosa mente apoyada en el conocimiento que ya tenía de aspectos esenciales de la física, relacionados y cercanos al problema que se planteaba, diseñó sucesivos experimentos que —sin interacción con la naturaleza— fueron desentrañando lo que ella tenía oculto de modo celoso. Así, por ejemplo, con el experimento del ascensor en el espacio (décadas antes del invento del cohete que podría llegar a hacerlo factible) concluyó la curvatura de la luz y la equivalencia entre aceleración y gravedad. El entramado matemático fue esencial para sustentar sus hipótesis y ayudó a dar solidez a sus conclusiones pero, como es sabido, la comprobación matemática no implica de modo necesario existencia en la naturaleza, como resulta evidente en algo tan ordinario como los números imaginarios.

Tan poderosas resultaron las conclusiones de Einstein que, más de un siglo después de sus famosas formulaciones, no pasa una década sin que aparezcan nuevas comprobaciones experimentales (en el sentido de interacción y medición de la naturaleza) de sus teorías. En el último lustro se ha logrado una que él mismo afirmó como imposible de corroborar experimentalmente: la detección de ondas gravitacionales en 2018. Una vez más —y aunque nadie lo ponía en duda— Einstein tenía razón.

Pero uno tras otro, los postulados de la teoría de la relatividad se apoyan en experimentos mentales y desarrollos matemáticos. ¿Por qué se les dio fe, a pesar de lo disruptivo que resultaba ese modo de proceder?

12 Walter Isaacson, *Einstein: His Life and Universe*, 1st edition (New York: Simon & Schuster, 2007).

No fue gratuito. Hasta que, en 1917, Sir Arthur Eddington¹³ logró medir la desviación de la luz al pasar junto al Sol, realmente no se daba crédito de importancia a las teorías de Einstein. A partir de ahí conformaron la base para nuevas construcciones y comprobaciones experimentales. Pero el origen fue *gedankenexperiment*, solo experimento mental, sin interacción con la naturaleza.

4. Cuestionamientos acerca de esta modalidad

Se puede dar valor al experimento mental a la luz del resultado pero, ¿cómo apreciar su aportación sin regresar a una mera especulación sobre la naturaleza, desligada de su observación directa, para pretender conocer su funcionamiento? Un experimento está diseñado para aportar conocimiento sobre la naturaleza, mas si el experimento mental no entra en contacto con la naturaleza sino indirectamente —a través de las ideas del autor— ¿de dónde proviene su aportación? ¿en dónde estriba su valor epistemológico? Aunque no es objetivo de este escrito responder a estas preguntas, resultan pertinentes puesto que el centro de este ensayo es precisamente analizar uno de los experimentos mentales más reconocidos en la historia de la ciencia.

A pesar de los resultados innegables al día de hoy, el experimento mental ha enfrentado duras críticas, por ejemplo cuando Pierre Duhem afirma que “esto es justificar un principio no mediante hechos observados, sino a través de la predicción de la existencia de hechos... un mal acto de fe”¹⁴, y en la misma cita, recogida por Brown¹⁵, Duhem continua de modo aun más

13 Arthur Stanley Eddington, *The Mathematical Theory of Relativity* (Cambridge, [Eng.]: The University press, 1923), <http://archive.org/details/mathematicaltheo00eddiuoft>.

14 Pierre Maurice Marie Duhem, *The Aim and Structure of Physical Theory* (Princeton University Press, 1954), <https://press.princeton.edu/books/paperback/9780691025247/the-aim-and-structure-of-physical-theory>. 202.

15 James Robert Brown, “Thought Experiments Since the Scientific Revolution”, *International Studies in the Philosophy of Science* 1, núm. 1 (septiembre de 1986): 1 a 15, <https://doi.org/10.1080/02698598608573279>.

incisivo: “Con frecuencia, el experimento ficticio que se invoca no solo no ha sido realizado, sino que es irrealizable; presupone la existencia de cuerpos que no se encuentran en la naturaleza y de propiedades físicas que nunca han sido observadas”¹⁶.

Por otro lado, el mismo Brown anota un concepto de mucho interés para valorar la legitimidad de un experimento mental: cuando no puede, en principio, llevarse a cabo ya sea por limitación tecnológica, física o conceptual que lo hacen imposible. Es el campo de las superficies sin fricción, de las partículas puntuales (adimensionales), o de las esferas giratorias unidas por hilo que Newton aporta en el mismo Escolio, experimento tecnológicamente inviable.

La reducción de factores es un rasgo de la ciencia experimental. Pocas veces se podrán considerar, en un experimento real, todas las variables que intervienen en la situación que se modela. Precisamente, la posibilidad de limitar y controlar variables es parte esencial de un experimento. ¿En dónde se podría colocar el límite entre los elementos mentales —superficie sin fricción, partícula adimensional—, que podrían calificarse de “reduccionismo legítimo”, y un experimento mental (no por ello ilegítimo sino, simplemente, experimento no realizado)?

No es lo mismo la reducción deliberada de factores a experimentar, que la eliminación del experimento físico por completo, sin embargo considero que la diferencia es de grado y no de género. Un experimento físico¹⁷ aporta resultados sobre la parte empírica que son necesariamente completados y validados por las suposiciones que dieron lugar a la reducción en el diseño. Si estas suposiciones son válidas, también el experimento queda legitimado (no necesariamente su conclusión, pues hay más factores); si las suposiciones son dudosas, el experimento será menos

16 Duhem, *Aim and Structure*. La traducción es mía.

17 Realizado en el mundo físico, no me refiero específicamente al campo de la física.

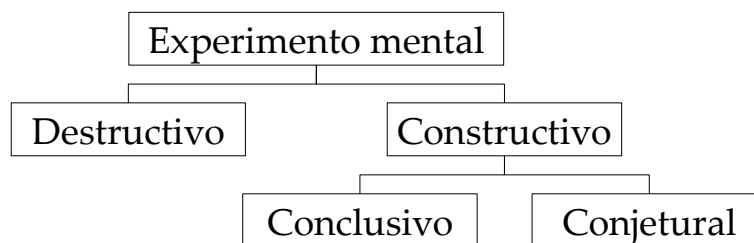
fiable; si se omiten suposiciones relevantes, el experimento arrojará resultados con márgenes de error que pueden resultar inaceptables.

Siguiendo esa línea de razonamiento, también podemos cuestionar en dónde se encuentra el límite entre elementos intelectuales (asunciones) y físicos (empíricos) que valida un experimento. ¿Qué impide —aparte de posibles dificultades tecnológicas— modelar la totalidad de variables relevantes en un experimento? ¿qué impide —salvo la validez, quizá experimentalmente conocida, de las suposiciones fundantes— no modelar ninguna?

Siguiendo el mismo artículo de Brown, podemos señalar tres asertos para calificar de legítimo a un experimento mental:

Tesis 1: la carga de cualquier experimento mental reposa en el planteamiento (o imaginación) del fenómeno. Una vez que se ha planteado, la inferencia de la teoría es razonablemente simple; es decir, el paso de los datos a la teoría es relativamente pequeño.

Tesis 2: un experimento mental se puede clasificar del siguiente modo:



Esta taxonomía podrá ser útil más adelante, al estudiar específicamente el experimento del cubo de agua.

Brown aporta una característica adicional del experimento mental: es imaginable (*picturability*). Quizá, a lo largo de la historia, encontramos en esta cualidad la mayor penetración de un experimento mental en el

conocimiento popular aunque no se trata solo de eso pues una adecuada imaginación, completa y detallada, contribuye más a la utilidad del *gedankenexperiment*. Así, la crítica que recoge Norton sobre el experimento mental como pintoresco lo reviste no de valor negativo sino de factor de validez.

Por no extender más este tema, a la vista de los autores ya citados y los ejemplos mencionados, me parece legítimo reconocer varios tipos de experimentos mentales ante la dificultad de agruparlos todos bajo una misma y única categoría. Por eso veo factible y útil presentar la siguiente clasificación:

1. Experimentos en donde *se manifiesta legítimamente el reduccionismo* propio de las ciencias, que selecciona algunos factores para simular o estudiar y deja fuera otros, asumidos como suposiciones. Cuando se tiene conocimiento suficiente del experimento que se realiza, es posible valorar el error que esa omisión puede introducir al resultado y decidir que la precisión lograda es suficiente para comprobar la hipótesis que da origen al experimento. Ya se citó el clásico ejemplo de las superficies sin fricción, reducción aceptable en innumerables experimentos (no en todos, como es lógico) y podrían añadirse el de las masas puntuales (representación matemática de la totalidad de la masa de un cuerpo contenida en un punto adimensional), el movimiento en el vacío (situación experimentalmente infactible en su totalidad), la determinación de órbitas para muchos (no todos) viajes espaciales sin considerar el efecto de la relatividad, la consideración de la ebullición del agua sin tomar en cuenta la presión del ambiente, etc.

2. Aquellos en que *toda la elaboración es una construcción mental*, apoyada en firme conocimiento de las realidades físicas y su comportamiento. Puede darse por la imposibilidad —ocasionada por diversos motivos, temporal o persistente— de llevar a cabo el experimento en el mundo real. Sería el caso

de las esferas giratorias de Newton; o el ascensor de Einstein, al menos en su tiempo; ni se diga, por presentar uno vivamente pintoresco¹⁸, el del gato de Schrödinger¹⁹.

3. Los experimentos presentados como *enriquecimiento o explicación pedagógica*, que ilustran una situación factible de elaborar en la realidad física, pero innecesaria o excesivamente complicada para el resultado que se podría obtener de ella. La elaboración mental ofrecería con suficiente certeza la explicación del resultado que pretende transmitir. Se dice que, si bien Galileo no dejó caer bolas de distintos pesos desde lo alto de la Torre de Pisa, sí presentó numerosos experimentos mentales sobre objetos de pesos diversos dejados caer de lo alto de una torre²⁰.

El experimento del cubo de Newton —al margen, como veremos, de que lo haya hecho o no— caería en esta tercera categoría. Se trata de un experimento factible que su misma elaboración mental ilustra tanto la explicación como si se hiciera en presencia de observadores. En este caso, las suposiciones que el experimentador ha hecho son accesibles no solo a él mismo sino que resultan de experiencia cotidiana para cualquier lector: difícilmente alguien podría argüir que el efecto que ilustra sucederá de algún modo distinto a como lo describe.

A la vista de experimentos que han producido resultados tan contundentes e inequívocos, como el que llevó al principio de equivalencia de Einstein, y que tomaría décadas —en ciertos puntos, más de un siglo— comprobar

18 Guillermo C. Contín Aylón, “La Paradoja del Gato de Schrödinger y los Problemas de Interpretación de la Mecánica Cuántica” (España, Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2012), <http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:masterFilosofiaLogica-Gccontin/Documento.pdf>.

19 Erwin Schrödinger, “Die Gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik”, *Die Naturwissenschaften* 23, núm. 48 (noviembre de 1935): 807 a 812, <https://doi.org/10.1007/BF01491891>. 807–812.

20 Galileo Galilei, “De Motu” (1687), <https://echo.mpiwg-berlin.mpg.de/ECHOdocuView?url=/permanent/library/61DNE4D2/index.meta>.

mediante un experimento real, resulta difícil menospreciar el valor efectivo de un experimento mental bien planteado; en este caso, dichos experimentos caen en la segunda categoría antes expuesta, pues son mucho más que recursos pedagógicos y si bien adoptan rasgos de reduccionismo, este no se lleva a cabo para la simplificación del experimento físico, pues no hay tal experimento.

Como dice Brown, el peso recae sobre el planteamiento: si este realmente ha considerado todos los factores relevantes y se conoce el comportamiento de las partes implicadas y las propiedades relevantes, entonces el paso a un resultado teórico puede ser muy pequeño. Con lucidez, afirman también Huggett y Hoefler que serían “pocos los filósofos que hoy en día negaran de modo inmediato una cantidad como irreal simplemente porque no es determinable experimentalmente”²¹.

Power²² recoge una cita —un poco barroca en su redacción— de Boyle en donde asigna un papel interesante a la imaginación en la ciencia:

Porque el uso de la imaginación, siempre que podamos concebir cosas, es un impedimento tan testarudo a las actuaciones libres de la mente, en casos que requieren pura intelección, será muy útil, si no necesario, acostumbrarnos a no sorprendernos o asustarnos con cada cosa que excede o confunde la imaginación, sino por grados entrenar la mente a considerar nociones que sobrepasan la imaginación y sin embargo son demostrables por la razón.²³

Mi personal postura es que un experimento mental, en cualquiera de las tres variantes que he presentado, puede aportar un valor epistemológico

21 Huggett y Hoefler, “Absolute and Relational Theories”.

22 Robert Boyle, *The Works of the Honourable Robert Boyle in Six Volumes* (London: J. and F. Rivington, 1772). VI, 688 y ss.

23 Boyle. VI, 688 y ss.

real y, en ocasiones, insustituible si se considera la imposibilidad de realizar materialmente un experimento.

Por supuesto que un planteamiento débil inducirá al error, pero exactamente lo mismo puede decirse de un experimento físico, en donde un mal diseño puede llevar a conclusiones erróneas. De hecho, la inclusión de partes mentales o ideales en un experimento, la reducción de factores, el control de variables, son intervenciones de mayor y menor grado en el uso de la razón para descubrir las leyes y propiedades de la naturaleza. Tengo la esperanza de que esta hipótesis quede suficientemente respaldada con el desarrollo del presente trabajo.

¿Podría, entonces, quedar justificada la validez de resultados del experimento mental del cubo de Newton? En seguida se presenta un análisis, pero puede adelantarse —con Brown— que Newton no parece haber tenido la intención de que fuera un experimento conclusivo, sino conjetural. Más aun, no fue un experimento mental ofrecido por imposibilidad de su ejecución, sino como ilustración de un concepto. La dificultad de comprensión parece venir de qué es lo que unos y otros autores pueden considerar como objetivo a demostrar. En este punto es donde los textos del Capítulo 3 podrán retomar la reflexión al plantear diversidad de fines en la decisión de Newton de incluir el cubo de agua en el Escolio de los *Principia*. Pasamos, por ahora, a estudiar con detenimiento el experimento en cuestión.

Capítulo 2: El experimento del cubo de agua

Newton narra el experimento del cubo de agua en los *Principia*, publicado con fecha de 1687. ¿Cuál es el contexto en que estas ideas se presentan? Abordaré la cuestión desde dos ángulos: el momento histórico considerando a otros autores que han podido afectar a Newton de modo cercano; y la colocación del experimento dentro del texto de los *Principia*, pues su ubicación resulta elocuente para poder interpretar mejor el motivo que impulsa a su formulación y el contenido específico que espera aportar.

1. Ubicación histórica de los *Principia*

Sin hacer un análisis pormenorizado de cada autor, me limitaré a ofrecer un escueto elenco de los principales textos y pensadores. Para esta recopilación, me apoyo principalmente en Beichler²⁴.

Aristóteles no puede faltar en la base del pensamiento occidental pues su influencia —como es bien sabido— ha sido grande. Baste con decir, siguiendo el desarrollo de Huggett y Hofer²⁵, que en “De los cielos” expone una teoría del movimiento natural y su referencia absoluta en el centro del universo, que es el centro de la tierra.

Francesco Patrizi (+1597) adopta una argumentación filosófica acerca del espacio, mientras que Pierre Gassendi (+1655) toma un enfoque teológico para explicarlo, y ambos componen de cierto modo el sustrato en que las ideas de Newton van madurando²⁶.

En 1654 Walter Charleton publica *Physiologia Epicuro-Gassendo-Charltoniana: Or a Fabrick of Science Natural, upon the Hypothesis of Atoms*. En este texto,

24 James E. Beichler, “Evolution of the Concept of Absolute Space”, *Academia.Edu*, el 1 de mayo de 1982, https://www.academia.edu/9459058/Evolution_of_the_Concept_of_Absolute_Space.

25 Huggett y Hofer, “Absolute and Relational Theories”. 4.

26 Beichler, “Evolution of the Concept of Absolute Space”. 1.

que Newton conoció bien como estudiante, se pueden encontrar conceptos que más tarde aparecerán con una gran similitud en los *Principia* y otros manuscritos inéditos, como la afirmación de que tiempo y espacio son entes reales, aunque no caben en las categorías tradicionales de sustancia o accidente; o bien, que “el tiempo fluye eternamente en un tenor sereno y calmado” mientras el movimiento de los cuerpos está sujeto a “aceleración, retardo o suspensión”²⁷; incluso más claramente, que el espacio es “absolutamente inmóvil” e incorpóreo²⁸. Sin embargo, Charleton no saca a la luz conceptos que Newton desarrollará más adelante, como lo referente a tiempo, espacio y movimiento relativos, o la necesidad de que el espacio exista pues Dios mismo lo requiere para actuar en el mundo.²⁹

Como es de esperarse, el autor que más decisivamente influyó en aspectos redaccionales de los escritos de Newton en general, y del Escolio y el experimento del cubo de agua en particular, es René Descartes (+1650) especialmente en sus *Principia philosophiae* de 1644. Dado que más adelante entraremos a detalles en la exposición de ideas de Descartes, por ahora solo hago mención del documento, el más relevante para este estudio.

2. El experimento del cubo de agua, en el Escolio de *Principia*

Los *Philosophiae naturalis principia mathematica*, como ya se señaló, ven la luz en 1687 y conocieron tres ediciones en las que Newton fue haciendo modificaciones, recortes y añadidos. Para referencias generales me apoyaré

27 Walter Charleton, *Physiologia Epicuro-Gassendo-Charltoniana, or, A Fabrick of Science Natural, upon the Hypothesis of Atoms Founded by Epicurus Repaired [by] Petrus Gassendus; Augmented [by] Walter Charleton ...*, 1654, <https://quod.lib.umich.edu/e/eebo/A32712.0001.001?view=toc>. Libro I, Cap. VII, Secc. II.

28 Robert Rynasiewicz, “Newton’s Views on Space, Time, and Motion”, en *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, ed. Edward N. Zalta, 2014, <http://plato.stanford.edu/archives/sum2014/entries/newton-stm/>. 5-6.

29 Editors Encyclopedia Britannica, “Henry More | British Poet and Philosopher”, en *Encyclopedia Britannica*, consultado el 22 de noviembre de 2020, <https://www.britannica.com/biography/Henry-More>.

en la tercera, específicamente la traducción al inglés de Ian Bruce³⁰, que contiene el texto más completo y maduro de Newton.

El documento consta de una sección de *Definiciones*, las *Axiomata* o sus tres leyes de movimiento, y tres libros, donde los dos primeros tratan del movimiento de los cuerpos y el tercero versa sobre el sistema del mundo.

La parte que nos interesa es la sección de *Definiciones*, que abarca unas 12 páginas de las 530 que tiene la edición latina (2ª edición)³¹ que usaré como referencia cuando quiera referirme al texto original.

La porción de *Definiciones*, a su vez, se divide en dos partes:

- * Ocho definiciones.
- * El Escolio que contiene la redacción del experimento del cubo de agua.

Para no perder contexto, conviene notar que las secciones introductorias, es decir, que anteceden a los Libros propiamente, son las Definiciones y los Axiomas, por lo que resulta relevante recoger aquí también la estructura que sigue la sección de Axiomas, que consta de tres partes:

- * Las tres leyes del movimiento.
- * Seis corolarios a las leyes.
- * Un Escolio de nueve puntos.

Siguen los tres Libros como ya se dijo, y al finalizar el tercer Libro Newton redacta un Escolio general, que lo señalo puesto que también ofrecerá información relevante.

30 Isaac Newton, "Mathematical Principles of Natural Philosophy", en *The Mathematical Principles of Natural Philosophy*, trad. Ian Bruce, 3a ed. (Bruce, Ian, 1687), 35 a 75.

31 Newton, *Principia*.

Resulta conveniente reiterar el hecho de que nos encontramos en la sección de *Definiciones*, es decir, en la parte donde el autor está sentando las bases de lo que va a exponer en las más de 500 páginas siguientes. Algunos autores han hecho ver³² que no se trata de una explicación o justificación de conceptos, entrando a detalle sobre sus fundamentos sino que —como el mismo Newton señala al inicio del Escolio— hasta ese punto está “explicando algunas palabras notables” y a partir de este momento “en qué sentido se requiere que sean comprendidas. Tiempo, espacio, posición y movimiento, son las más notables de todas”^{33 34}. No resulta ocioso resaltar que en este punto Newton señala “que el vulgo no concibe estas magnitudes si no es con respecto a lo sensible”³⁵, y esto resulta una alusión bastante evidente —incluso irónica— al concepto cartesiano de cuerpo y espacio³⁶.

En las siete definiciones, abarca los siguientes temas:

1. Define masa (cantidad de materia) como relación de magnitud (volumen) y densidad.
2. Define cantidad de movimiento en función de velocidad y masa.

32 Robert DiSalle, “Newton’s Philosophical Analysis of Space and Time”, en *The Cambridge Companion to Newton*, ed. I. Bernard Cohen y George E. Smith (Cambridge University Press, 2002), 33–56. 38.

33 Isaac Newton, “The mathematical principles of natural philosophy”, ed. Ian Bruce (Bruce, Ian, 1687), 35—75. 6.

34 Cabe anotar que en la 3ª ed., respecto a estos cuatro conceptos, Newton señala que “sunt omnibus notissima.”, mientras que en la 2ª ed. dice que “ut omnibus notissima, non definio.”. No es su intención, en la 2ª edición, definir esos términos, aunque sean los más notables. La traducción castellana de Eloy Rada interpreta “notissima” por “son de sobra conocidos por todos”. No abundaremos más sobre el punto.

35 Isaac Newton, *Principios Matematicos de la Filosofia Natural*, trad. Eloy Rada, 3ª, 1687, https://www.academia.edu/30085118/Principios_Matematicos_de_la_Filosofia_Natural_-_Isaac_Newton.pdf. Usamos la traducción de Rada en esta cita, pues se presta a diversas interpretaciones y esta parece la más adecuada.

36 Descartes, *Principia*, Parte II, § VIII y IX, AT VIII pp. 44-45.

3. Define inercia (fuerza de resistencia al cambio de movimiento) y señala que se mantiene rectilínea cuando hay movimiento, si no hay fuerza. Perfila los conceptos de movimiento absoluto.
4. La fuerza impresa a un cuerpo cambia la situación de reposo o movimiento.
5. Define fuerza centrípeta y la relaciona con la gravedad.
6. Intensidad de la fuerza centrípeta, dependiendo de la fuerza de los cuerpos.
7. Relaciona fuerza centrípeta, su opuesta, la gravedad y el peso, con la distancia y la velocidad.

Habiendo detallado las definiciones, en donde ya aparecen numerosos conceptos que son directa referencia a los textos precedentes de Descartes, presenta el Escolio que consta de las siguientes partes. Presentamos la numeración romana que usa Newton y, a partir del párrafo IV en que termina la numeración, usaré arábigos (no presentes en el texto original) para poder referir al contenido de cada parte subsiguiente cuando sea necesario.

- I. Sobre el tiempo absoluto y relativo.
- II. Sobre el espacio absoluto y relativo.
- III. Acerca de las partes del espacio que ocupa un cuerpo.
- IV. Movimiento absoluto y relativo.
 1. Comentario sobre el movimiento en el tiempo.
 2. Las partes del tiempo y del espacio son inmóviles e inmutables.
 3. Las partes del espacio no son detectables por los sentidos, por lo que comúnmente referimos el movimiento respecto a algún punto fijo. Pero reposo y movimiento, absoluto y relativo, se distinguen por sus *propiedades, causas y efectos*.
 4. Sobre las *propiedades*: los objetos en movimiento que mantienen su posición respecto a los demás, se dice que comparten el movimiento con el todo. Introduce movimiento circular.

5. Sigue en movimiento de las partes y del todo.
6. Sobre las *causas*: son las fuerzas impresas sobre los cuerpos. Movimiento absoluto solo se genera por fuerzas en el cuerpo, movimiento relativo no necesariamente pues puede ser resultado de fuerzas impresas en otro cuerpo.
7. Sobre los *efectos*: el modo de distinguir movimiento absoluto y relativo, es a través de las fuerzas que se alejan del eje en movimiento circular. Aquí entra el *experimento del cubo de agua*, como un modo de ejemplificar este efecto que permite identificar el movimiento absoluto incluso en la ausencia de movimiento relativo.
8. Sobre el uso de los términos en sus explicaciones, justificación.
9. Sobre la dificultad de saber el movimiento absoluto de los cuerpos, pues el espacio absoluto escapa a los sentidos. La causa no es desesperada: se pueden encontrar argumentos. Expone el experimento de las esferas.

Terminado la sección de Definiciones, que incluye el Escolio, procede en la sección de Axiomas a la exposición de sus bien conocidas tres leyes del movimiento:

1. El estado de movimiento o reposo permanece si no hay una fuerza impresa sobre el cuerpo que lo modifique.
2. El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza impresa, y en la dirección de esta.
3. A toda fuerza de acción corresponde una reacción.

Abunda sobre estas tres leyes en los siete Corolarios y Escolio de nueve puntos con los que concluye la sección de *Definiciones* que abre los *Principia* y que, por no ser de relevancia para el objetivo de este escrito más que como contexto, no se enumeran aquí. Los temas, en modo sintético, son: cantidad de movimiento, suma y descomposición de fuerzas, colisiones,

proyectiles, péndulos, elasticidad, gravedad, etc., todos ellos ajenos al propósito que buscamos aquí.

3. Ideas en discusión

Por un lado, resulta evidente que Newton está exponiendo el desarrollo de sus ideas respecto al movimiento, de un modo completo y estructurado; esto se constata por la profunda huella que los *Principia* tienen en la historia del conocimiento hasta la fecha: superados, en muchos aspectos, pero nunca derogados.

Por otro lado, existen pasajes en donde se percibe diálogo con un interlocutor a quien quiere rebatir o cuyas ideas desea comentar. Así, podemos ya ir esbozando dos de los principales motivos de Newton para redactar ese Escolio, que conlleva una pieza tan particular como el experimento mental que nos atañe: ¿quiere reafirmar o demostrar algún punto de lo que está exponiendo, o desea —podríamos decir, al mismo tiempo— responder a los planteamientos de otros autores? Exposición o respuesta son quizá los dos principales motivos que pueden adoptar diversos matices según el tema en discusión.

Esta doble posibilidad lleva necesariamente a considerar, ¿cuáles son esos temas que están en diálogo? ¿cuáles son relevantes para las ideas de Newton, que parecían exigir una respuesta o aclaración? En su escrito, y particularmente en el experimento del cubo de agua que nos ocupa, ¿logra aportar a la explicación que está dando? Abordaremos algunos de los más significativos de cara a una mejor comprensión del sentido, valor y motivos del experimento mental. De particular interés resultan los temas que Descartes desarrolle, aunque no son los únicos. Como es costumbre,

referiré las citas del francés al texto latino compilado por Charles Adam y Paul Tannery³⁷, con traducción mía sobre el texto en inglés de Cottingham³⁸.

a. Espacio y lugar

Desde tiempos antiguos el hombre se ha cuestionado qué puede ser el espacio, su relación con los objetos, su composición y cualidades, y podemos afirmar con Huggett y Hofer —como ya se señala en la introducción—, que “el problema de la interpretación de las cantidades espacio-temporales... resulta endémico a casi cualquier tipo de mecánica que uno pueda imaginar”³⁹.

Descartes identifica el espacio con la sustancia corpórea que lo ocupa. Así, afirma que “no hay distinción entre espacio o lugar interno, y la sustancia corpórea contenida en él: la diferencia es solo de razón, en nuestra comprensión”⁴⁰. De esta manera, para Descartes el espacio no tiene identidad en sí mismo, sino que es la extensión misma de los cuerpos: el espacio existe en cuanto que un objeto lo ocupa. Incluso, abundando más, en el n. 11 de esa misma parte de los *Principia*, detalla que si se despojara a un cuerpo (pone el ejemplo de una piedrecilla) de todo aquello que no es esencial a él, como el color, la dureza, el peso, incluso propiedades como la temperatura, finalmente lo único que quedará de la idea de la piedrecilla no es más que su extensión.

Con esta comprensión del espacio, Descartes está afirmando que no existe un entramado constante, que pueda ser referencia respecto a los demás cuerpos en cuanto al lugar que ocupan. El lugar de un cuerpo es el espacio

37 René Descartes, *Oeuvres de Descartes*, ed. Charles Adam y Paul Tannery, 1a ed., vol. VIII (Paris: Léopold Cerf, 1905),

<http://philosophyfaculty.ucsd.edu/faculty/ctolley/texts/descartes.html>.

38 René Descartes, *Principles of Natural Philosophy*, ed. Cambridge University Press, trad. John Cottingham, 1644, <http://www.earlymoderntexts.com/authors/descartes>.

39 Huggett y Hofer, “Absolute and Relational Theories”. 4.

40 Descartes, *Principia*, Parte II, § X, AT VIII p. 45.

que en este momento ocupa, y que se identifica con su materia. Fija la posición de un determinado cuerpo en términos de su relación con otros cuerpos, con los que está en contacto inmediato⁴¹, y señala la fuerte diferencia entre espacio y lugar si bien solo como una distinción de razón: al hablar de espacio nos referimos a la extensión que ocupa (es decir, a su misma sustancia o cantidad de materia), en cambio resulta más propio hablar de lugar cuando nuestro interés principal es determinar o describir su posición⁴².

La identificación que hace Descartes entre sustancia corpórea y espacio deja clara su filosofía al respecto: el espacio y la materia se identifican, por lo que no puede hablarse de “partes” del espacio, o de un espacio fijo o referente, sino que —como ya se dijo— la posición depende de la relación con los cuerpos en contacto inmediato, y por tanto en el debate acerca del espacio, en el que son dos las posturas más generales, Descartes sería un relacionalista. Su pensamiento no habla de un espacio en sentido absoluto, sino relativo ligado inseparablemente (más aún, identificado) con los cuerpos que lo ocupan y la relación posicional entre ellos.

Ante esta postura, cabría también afirmar que para Descartes el espacio es material, pero solo en el sentido de que se identifica con la materia. Si la materia abandona un lugar concreto, otro cuerpo pasará a ocuparlo. Descartes explica esto mediante el recurso gráfico de la circularidad: si un objeto se desplaza, otro llena su lugar, que a su vez abandona un lugar y es ocupado por otro cuerpo, y así hasta que el primero de los cuerpos pasa a ocupar el lugar que el último de este círculo abandonó. A este modo de concebir el espacio algunos⁴³, con bastante propiedad, lo llaman “hidrodinámico”, pues es como el fluir de un líquido en una tubería cerrada y totalmente llena.

41 Descartes, *Principia*, Parte II, § XIII, AT VIII p. 47.

42 Descartes, *Principia*, Parte II, § XIV, AT VIII pp. 47-48.

43 Huggett y Hofer, “Absolute and Relational Theories”. 5.

¿Subsiste el espacio aun sin contener un cuerpo material en él? Según Descartes, no. Queda de manifiesto, por tanto, su concepto del carácter inmaterial, incorpóreo e insustancial del espacio dado que es en tanto que un cuerpo material lo ocupa. No tiene entidad por sí mismo y no puede decirse que tenga carácter de absoluto, como más adelante veremos con Newton.

b. Vacío

La concepción cartesiana del espacio hidrodinámico lleva a una consecuencia directa: no hay tal cosa como el vacío⁴⁴. La extensión siempre contiene materia, delimitada hasta su superficie, en donde está en contacto con los cuerpos circundantes. ¿Cómo se explica entonces la evidencia de que hay “lugares vacíos”? Descartes distingue entre el vacío absoluto (no hay en castellano términos adecuados para distinguir, pero en este primer caso se refiere a *vacuum* en inglés), y el vacío lógico o racional (*empty*). Señala que el primero no tiene sentido, puesto que espacio y materia se identifican y por tanto no puede haber espacio si no hay una materia que le dé extensión; el segundo caso no es un vacío absoluto, no es un espacio sin materia, sino que se trata tan solo de un espacio que se encuentra desprovisto de aquello que consideramos debería contener. Así, se habla de un recipiente vacío (*empty*) cuando no contiene aquello que antes lo llenaba, o que debería llenarlo⁴⁵.

Este concepto resulta tangencial a este estudio, pero por tratarse de una consecuencia directa de la definición cartesiana de espacio, no hemos querido omitirlo, aunque fuera solo con un breve comentario.

c. Movimiento y reposo

Descartes expone qué es la materia en la Parte 2 de los *Principia*; al terminar la exposición sobre el espacio y el lugar culmina afirmando que toda la

44 Descartes, *Principia*, Parte II, § XVI, AT VIII p. 49.

45 Descartes, *Principia*, Parte II, § XVII, AT VIII p. 49.

variedad en la materia proviene del movimiento⁴⁶. Define entonces el movimiento en dos sentidos:

* En el *sentido ordinario*, es “simplemente la acción por la cual un cuerpo viaja de un lugar a otro”⁴⁷.

* En el *sentido estricto* se puede decir que se da “cuando un cuerpo pasa del contacto inmediato con otros cuerpos que son considerados como en reposo, a estar en contacto inmediato con otros cuerpos”⁴⁸.

Descartes determina que el reposo es aquello que consideramos que se encuentra sin movimiento, pero realmente no dice si podemos saber qué está en movimiento y qué en reposo pues en otro punto señala que los cuerpos pueden estar en movimiento respecto a unos cuerpos y en reposo respecto a otros, simultáneamente⁴⁹. No da primacía a un tipo de estado (movimiento o reposo) como absoluto o referente para los demás.

De este modo, Descartes se apoya en la relatividad galileana⁵⁰ para declarar que es la experiencia común la que determina el estado de los cuerpos y fija así su posición relacionalista acerca del movimiento.

Al no considerar —como veremos más adelante con Newton— la posibilidad de un marco referencial fijo, o espacio absoluto, Descartes omite otras posibilidades respecto al movimiento: solo es, como ya se dijo, el que se da respecto a otros cuerpos inmediatamente contiguos. Cabe mencionar, sin embargo, que aunque introduce el problema del movimiento circular, no desarrolla algo diverso respecto a él: tan solo dice

46 Descartes, *Principia*, Parte II, § XXIII, AT VIII p. 52.

47 Descartes, *Principia*, Parte II, § XXIV, AT VIII p. 53.

48 Descartes, *Principia*, Parte II, § XXV, AT VIII p. 53.

49 Descartes, *Principia*, Parte II, § XIII, AT VIII p. 47.

50 Galileo expone que dos sistemas de referencia en movimiento relativo de traslación rectilínea uniforme son equivalentes desde el punto de vista mecánico.

que se debe a una fuerza impresa y en cuanto esta se retire, el cuerpo regresará al movimiento rectilíneo, que es el más simple⁵¹.

d. Presencia de Dios en el mundo material

Esta idea en debate no queda comprendida en el objetivo del presente documento, sin embargo por tratarse de un motivador interesante en los filósofos creyentes de la época —ya sea para identificarlo con el espacio, distinguirlo de él u ofrecer una solución a la presencia de Dios en el mundo material— no puede dejarse fuera, aunque sea de un modo breve.

La influencia que Henry More pudo tener sobre Newton en su concepción filosófico-teológica de la realidad no está ausente en varios de los numerosos estudios sobre el inglés, concretamente llevando a identificar al espacio con Dios y por tanto, viendo en él *a priori* una serie de cualidades divinas. Alexander Koyré⁵², según refiere Toulmin, señala que para Henry More y Joseph Raphson, pareciera que el espacio debía ser un aspecto de la divinidad, concretamente, su inmensidad o infinitud; tanto Dios como el Espacio son infinitos, eternos, incorpóreos e inmutables⁵³. David Gregory, colaborador de Newton, en un *memorandum* de algunos años después, comentará que Newton creía que Dios es omnipresente en el sentido literal: presente en el espacio sin cuerpos y también en el espacio con cuerpos. Toulmin llega a comentar que en el concepto de Newton sobre el espacio hay tantos atributos divinos, que se nos puede confundir con Dios⁵⁴.

51 Descartes, *Principia*, Parte II, § XXXIX, AT VIII p. 63.

52 Alexandre Koyré, *From the Closed World to the Infinite Universe Index*, ed. John Bruno Hare (Baltimore: The Johns Hopkins Press, 1957), <https://www.sacred-texts.com/astro/cwiu/index.htm>.

53 Stephen Toulmin, "Criticism in the History of Science: Newton on Absolute Space, Time, and Motion, I", *The Philosophical Review* 68, núm. 1 (1959): 1—29. 6.

54 Stephen Toulmin, "Criticism in the History of Science: Newton on Absolute Space, Time, and Motion, II", *The Philosophical Review* 68, núm. 2 (1959): 203—27. 204.

Descartes no es ajeno a este tema, por ejemplo cuando habla de la cantidad total de movimiento y su carácter rectilíneo: Dios ha creado el mundo material y, con él, todo el movimiento y el reposo. Después simplemente lo mantiene en existencia y deja que siga el curso marcado por sus leyes, lo cual conserva el movimiento total creado inicialmente y de ahí deduce una de las explicaciones del carácter rectilíneo del movimiento mientras no haya una influencia externa⁵⁵. Parece una visión un tanto teísta: Dios crea, pone leyes y deja ser.

e. Tiempo

Descartes no maneja una definición de tiempo propiamente dicha. Da una explicación por medio de ejemplos que no resulta suficientemente ilustrativa. Lo que anota textualmente es que “asignamos medidas temporales a las cosas y procesos comparando su duración con la duración de los movimientos más grandes y regulares que dan origen a los años y días”⁵⁶.

Mayores comentarios sobre el tiempo se abordan con Newton, pero la consideración más relevante —sobre que sea absoluto o relativo—, siendo muy relevante para la física de Newton, afecta poco al estudio del experimento del cubo de agua, por eso no hace falta abundar más en este momento.

f. Distancia a las estrellas fijas

Dado que en el experimento se hará mención, como parte de la elaboración mental, a las estrellas fijas, parece conveniente señalar la postura cartesiana al respecto y que resulta bastante simple: mientras que ya era conocida la situación de las estrellas fijas como muy lejanas de nosotros, Descartes enfatiza que están *mucho más allá* de Saturno⁵⁷ y, en cualquier caso, es

55 Descartes, *Principia*, Parte II, §§ XXXVII & XXXIX, AT VIII pp. 62 y 63.

56 Descartes, *Principia*, Parte I, § LVII, AT VIII pp. 26 y 27.

57 Descartes, *Principia*, Parte III, § XX, AT VIII p. 86.

imposible excedernos en la estimación de la distancia hasta ellas⁵⁸; y son —a diferencia de los planetas— verdaderamente fijas unas respecto a otras⁵⁹.

Ya con Arquímedes⁶⁰ se sabía que la distancia a las estrellas fijas —estimado en 20,000 radios de la Tierra— suponía un problema en los modelos del universo. En el planteamiento ptolemaico⁶¹, donde las estrellas giran en torno a la tierra de manera uniforme y sólida, dada la —literalmente— astronómica distancia a la que parecían encontrarse, supondría que llevarían una velocidad de vértigo en su desplazamiento y Ptolomeo sabía que eso no podía estar bien; sin embargo su modelo era capaz de predecir los movimientos celestes por lo que podía obviar ese problema por el momento, un *momento* que duró 13 siglos.

El problema copernicano era de otra naturaleza. El modelo heliocéntrico suponía que las estrellas fijas debían encontrarse no solo muy lejos, sino a unas distancias descomunales, mucho más de lo que Arquímedes y Ptolomeo suponían, pues se trata de distancias difíciles de concebir. Eso significaba un tamaño de la esfera de estrellas fijas simplemente enorme⁶².

58 Descartes, *Principia*, Parte III, § VII, AT VIII p. 82.

59 Descartes, *Principia*, Parte III, § XIV, AT VIII p. 84.

60 Arquímedes de Siracusa, *El contador de Arena*, 2a ed. (Salamandra), consultado el 22 de noviembre de 2020, <http://librosmaravillosos.com/elcontadordearena/index.html>.

61 Claudius Ptolemaeus, *Almagest* (Alejandría, 150d. C.), <https://bertie.ccsu.edu/naturesci/Cosmology/Ptolemy.html>.

62 Esta conclusión resultaba evidente por la falta de paralaje en las estrellas: las posiciones relativas de las estrellas entre si permanecían en apariencia inmutables durante la traslación de la Tierra a lo largo de su órbita en torno al Sol, lo cual solo podría explicarse si la distancia era inmensa. Como dato adicional, Friedrich Bessel realizó la primera medición de paralaje sobre una estrella en 1838, una vez que el telescopio adquirió el nivel de precisión necesario para poder detectar tamaños angulares muy finos. El mayor paralaje estelar, que es producido por Próxima Centauri (la estrella más cercana al Sol), es de aproximadamente 3/4 de arcosegundo, es decir, el tamaño aparente de una moneda de \$5 pesos cuando se observa a poco más de 5 km de distancia.

Con el equipo disponible en tiempos de Sir Isaac los estudiosos creían percibir el tamaño de las estrellas lejanas y lo que podían medir no resultaría viable por suponer tamaños de estrella monstruosamente mayores a los del Sol. En realidad, el problema se resolvió casi 200 años después, cuando se comprendió el artefacto óptico que parecía ofrecer un tamaño de estrella, pero que en realidad era efecto de la difracción de la luz y la distorsión atmosférica. Las estrellas se encuentran verdaderamente *muy* lejos⁶³, pero su tamaño angular en el cielo no era perceptible con los equipos de la época: todas ellas se percibirían como un punto, si se pudiera eliminar el efecto óptico que las deforma.

4. Descripción del experimento del cubo de agua

Con los conceptos anteriormente expuestos, asentamos la temática que será relevante para poder leer el experimento mental de Newton y escudriñar mejor los aspectos que él mismo parece querer resaltar, explicar, o corregir respecto a las ideas dominantes.

Aunque ya se expuso en el epígrafe 2 de este mismo capítulo, recordamos con un poco más de detalle el momento del Escolio en que aparece el experimento del cubo de agua, para luego entrar en una lectura pormenorizada de sus elementos.

Como es de esperar, la redacción del texto es progresiva: cada elemento que se expone prepara para la mejor comprensión del siguiente, y va llevando al lector a una mayor profundidad en la construcción del problema que quiere explicar. La exposición de Newton comprende entonces los siguientes conceptos, en orden de aparición, y modificando su

63 La estrella más cercana, Próxima Centauri, está a poco más de 4 años luz de distancia. Las estrellas más lejanas perceptibles a simple vista en una noche limpia rondan los 2,000 años luz. Estas distancias son pequeñísimas comparadas, por ejemplo, con los 2.5 millones de años luz a que se encuentra la Galaxia de Andrómeda, también detectable a simple vista. Como referencia, el radio del sistema solar (desde el Sol hasta Neptuno) es de aproximadamente 4 horas luz.

esquema para poner de manifiesto con mayor fuerza la progresión en la explicación:

I. Tiempo.

II. Espacio.

1. Partes del espacio.

III. Movimiento.

1. Movimiento en el tiempo.

IV. Partes del tiempo y el espacio son inmóviles.

1. Partes del espacio no son detectables por los sentidos de ningún modo.

2. Referimos el movimiento respecto a algún punto fijo.

3. Movimiento y reposo, absoluto y relativo, se distinguen por:

a. Propiedades.

i. movimiento de las partes y del todo,

ii. movimiento circular.

b. Causas.

i. fuerzas impresas sobre los cuerpos,

ii. solo la fuerza impresa genera movimiento absoluto,

iii. puede haber movimiento relativo sin fuerza impresa en un cuerpo.

c. Efectos.

i. fuerzas que se alejan del eje de movimiento circular,

ii. son el modo de distinguir movimiento absoluto y relativo,

iii. ejemplifica con el experimento del cubo de agua.

El experimento del cubo de agua se encuadra en la explicación acerca del movimiento absoluto, que requiere de una referencia fija, indetectable por los sentidos, para suceder. Pero esa cualidad del espacio absoluto de ser indetectable en sí mismo complica la situación. ¿Por qué resulta relevante tratar de explicar la existencia y las consecuencias que tiene ese espacio

absoluto? Más allá de la mera especulación, parece que Newton tiene especial interés en asentar un elemento importante en su concepción del mundo material.

Vamos ahora, paso a paso, con el texto del experimento del cubo de agua. Usaremos la traducción al castellano de Eloy Rada⁶⁴, de la que copiamos el párrafo completo, aunque la exposición del experimento empieza unas líneas después del inicio. Los cortes del texto no son originales, pues todo el relato está contenido en uno solo. La división es para facilitar la lectura; la numeración para simplificar la referencia.

1. Los efectos por los que los movimientos absolutos y los relativos se distinguen mutuamente son las fuerzas de separación del eje de los movimientos circulares.
2. Pues en el movimiento circular meramente relativo estas fuerzas son nulas, pero en el verdadero y absoluto son mayores o menores según la cantidad de movimiento.
3. Si se cuelga un cubo de un hilo muy largo y se gira constantemente hasta que el hilo por el torcimiento se ponga muy rígido y después se llena de agua y se deja en reposo a la vez que el agua,
4. y entonces con un empujón súbito se hace girar continuamente en sentido contrario y,
5. mientras se relaja el hilo, persevera durante un tiempo en tal movimiento, la superficie del agua será plana al principio, al igual que antes del movimiento del vaso,
6. pero después, al transmitir esta su fuerza poco a poco al agua, hace que ésta también empiece a girar sensiblemente,
7. se vaya apartando poco a poco del centro y ascienda hacia los bordes del vaso, formando una figura cóncava (como yo mismo he experimentado)

64 Newton, *Principios Matemáticos*.

8. y con un movimiento siempre creciente sube más y más hasta que efectuando sus revoluciones en tiempos iguales que el vaso, repose relativamente en él.
9. Muestra este ascenso el intento de separarse del centro del movimiento, y por tal intento se manifiesta y se mide el movimiento circular verdadero y absoluto del agua, y aquí contrario totalmente al movimiento relativo.
10. Al principio, cuando mayor era el movimiento relativo del agua en el vaso, ese movimiento no engendraba ningún intento de separación del eje; el agua no buscaba el borde subiendo por los costados del vaso, sino que permanecía plana, y por tanto su movimiento circular verdadero no había aún empezado, pero después cuando decreció el movimiento relativo del agua, su ascensión por los costados del vaso indicaba el intento de separarse del eje y este conato mostraba su movimiento circular, verdadero y siempre creciente y al final convertido en máximo cuando el agua reposaba relativamente en el vaso.
11. Por tanto, este conato no depende de la traslación del agua respecto de los cuerpos circundantes y,
12. por tanto, el movimiento circular verdadero no puede definirse por tales traslaciones.
13. Único es el movimiento circular verdadero de cualquier cuerpo que gira, y responde a un conato único como un verdadero y adecuado efecto;
14. los movimientos relativos, en cambio, por las múltiples relaciones externas, son innumerables,
15. pero como las relaciones carecen por completo de efectos verdaderos, a no ser en tanto que participan de aquel único y verdadero movimiento.
16. De donde, incluso en el sistema de los que quieren que nuestro cielo gire bajo el cielo de las estrellas fijas y arrastre consigo a los

planetas, los planetas y cada una de las partes del cielo que reposan relativamente a sus cercanías celestes, se mueven verdaderamente.

17. Pues cambian sus posiciones relativas (al revés de lo que ocurre con las verdaderamente en reposo) y a la vez que son arrastrados con sus cielos participan de sus movimientos y, como partes de todos [los]⁶⁵ que giran, intentan alejarse de sus centros.

Comentar este texto exige necesariamente hacer referencia a otras partes de los *Principia* de Newton, lo que supondrá dar saltos en la exposición del autor. Por ello, aunque en la siguiente parte abordaremos textos adicionales, en ésta el hilo conductor será el experimento mental, para lo que seguiré los pasos que esta explicación desarrolla y remitiré a la numeración antes señalada.

(1) Ya antes, Newton ha aclarado que el movimiento relativo puede percibirse con facilidad, pero el absoluto no puede descubrirse en sí mismo, puesto que el espacio absoluto respecto al cual sucede el movimiento o se está en reposo, escapa a la percepción de los sentidos. Sin embargo, también para ello ha ido preparándonos (como vimos en el Esquema precedente, IV, 3) al señalar que podemos considerar como ayuda el estudio de las propiedades, causas y efectos, aunque esta misma ruta perderá fuerza cuando concluya que solo con la fuerza centrífuga aparece ante los sentidos una distinción clara entre movimiento absoluto y relativo. Queda claro entonces que, no de modo directo, pero sí por otras vías es posible acceder a lo que parece escapar a la percepción inmediata del hombre.

Este punto reviste interés para la valoración del experimento, puesto que es una de las vías que sigue la ciencia moderna: cuando algo no puede ser detectado en sí mismo, el ingenio del hombre busca vías alternas que, sin

65 La traducción de Rada omite “los”, pero parece conveniente ponerlo para una mejor redacción. Resulta consistente con lo que se colige del texto en inglés de Bruce y del original latino: & ut partes revolventium totorum, ab eorum axibus recedere conant.

resultar una detección directa de lo que se busca, ofrecen información fidedigna acerca de aquello que quiere descubrirse⁶⁶.

Por este motivo, la búsqueda de modos alternativos para sustentar su hipótesis presenta un rasgo que resulta valioso en el experimento del cubo de agua.

Siguiendo con este mismo párrafo, que es todavía introductorio, Newton ofrece como idea final y presentación del experimento que sigue, el efecto por el cual realizará la detección, es decir, el movimiento circular que produce una fuerza de separación del eje de giro y que supondrá para el observador la evidencia de una referencia absoluta en ausencia de movimientos relativos. Cabe señalar también que Newton ya ha expuesto la posibilidad del movimiento relativo, incluso en la ausencia de fuerza sobre un objeto (Esquema IV, 3, b, iii), pues si se aplica fuerza a otro que, por ello, cambia su situación de movimiento, el primero puede adquirir o modificar su movimiento relativo; este razonamiento profundiza la dificultad para la detección el movimiento absoluto que de ningún modo puede medirse directamente.

(2) Esta porción del texto solo presenta una hipótesis (es una observación, pero se trata de la idea que pretende defender con su experimento) que perfila un rasgo del experimento, y en general de toda la ciencia natural: la reducción.

(3) Se trata de la preparación del experimento. Dispone adecuadamente al lector para que su imaginación componga la situación precisa que Newton

⁶⁶ Pueden citarse algunos ejemplos, en momentos distintos: el descubrimiento de la luz infrarroja por su manifestación como calor, por William Herschel en 1800; la detección de Neptuno por las perturbaciones en la órbita de Urano, por John C. Adams y Urban Le Verrier en 1846; o la detección de las ondas gravitacionales, previstas por las matemáticas y finalmente percibidas mediante un creativo mecanismo construido en el observatorio LIGO, liderado por Kip Thorne, en 2017.

desea que vea. Resulta importante para la transmisión de un conocimiento —especialmente si de lo que se dispone será solo de una descripción que apela a la imaginación— que la narración sea lo suficientemente precisa como para evitar ambigüedades, cuando menos en el planteamiento inicial. Deja fuera las partes irrelevantes, como la longitud del hilo (“muy largo”), la tensión del torcido (“se ponga muy rígido”), la capacidad del cubo y la cantidad de agua que se utiliza (“se llena de agua”): no se trata de un experimento que persigue resultados cuantitativos, sino solo cualitativos. Desea —como expuso en la explicación precedente (Esquema IV, c, i y ii)— tan solo poner de manifiesto *el efecto* por el cual será posible detectar la realidad del movimiento absoluto, y no cuantificarlo.

El punto final de esta descripción es determinante, puesto que ha detallado de manera inequívoca la totalidad del estado inicial de su instrumento (el cubo, la torsión del hilo, el agua, el estado de reposo completo de todo el sistema), y se dispone para iniciar el experimento. Todo ofrece un cuadro que resulta fácil de percibir y cercano a la experiencia común como para poder ver las consecuencias de lo que está sucediendo.

(4) Newton utiliza un recurso que resulta llamativo para el inventor del cálculo diferencial. Inicia el experimento con un “empujón súbito”, cuando podía haber obtenido el mismo resultado simplemente liberando el cubo para que el hilo empezara a destorcerse. Lo llamativo es que el mecanismo del empujón no admite el equívoco de pensar que quizá el agua y el cubo empiezan —por la suavidad de la aceleración angular producida por el hilo al destorcerse— a girar al mismo ritmo, eliminando así toda percepción (imaginaria) de reposo relativo entre el agua y el cubo, lo cual habría echado por tierra lo que quiere demostrar.

Una mente como la de Newton es capaz de representarse la aceleración angular del cubo, la inercia del agua, y la fricción entre ambos. Por tanto le resultará evidente e inequívoca la existencia, desde el primer instante en

que se libera el cubo para que el hilo se destuerza, del movimiento relativo entre cubo y agua⁶⁷. Sin embargo, Newton claramente es consciente de que no todos (más bien, casi nadie) pensará en términos de diferenciales de aceleración y velocidad y algunos podrían rebatir diciendo que nunca existe movimiento relativo entre agua y cubo. Por eso parece importante el tema del “empujón súbito” que imprime al cubo para iniciar el movimiento: no queda duda, ni siquiera al “hombre vulgar”, de que existe desde el inicio un movimiento relativo entre cubo y agua. Esto pone de manifiesto la importancia que tiene para su exposición un evidente movimiento relativo entre ellos.

(5) Viene ahora una gráfica descripción de lo que está sucediendo, detallando los distintos estados por los que el instrumento pasa. En este punto, menciona el reposo de agua y giro del cubo, es decir, después del estado inicial de reposo completo del sistema y del inicio del experimento con el súbito empujón, ahora estamos en la etapa inicial del experimento mismo.

En este momento, el movimiento relativo —tal como lo describe Descartes— es máximo, pues la velocidad angular del agua es nula⁶⁸, su superficie se mantiene plana, y el movimiento circular del cubo obedece al empujón inicial, sostenido además⁶⁹ por la liberación de la des-torsión del hilo.

67 El cálculo maneja *diferenciales*, que son cantidades infinitesimalmente pequeñas. Esta herramienta del cálculo de Newton es la que faculta al inglés para detectar los elementos de su experimento que he expresado antes.

68 No lo es más que durante un instante infinitamente corto; pero para fines del experimento, el agua permanece en reposo mientras el cubo ya está girando.

69 No sabemos si acelerado, mantenido o levemente decreciente, pero no es relevante y su cálculo sería excesivamente complejo por depender de las masas de agua, cubeta, tensión del hilo... se reduce lo que no es significativo. Mi personal opinión es que hay un ligero decrecimiento de velocidad angular, al transferirse ésta del cubo al agua; pero eso no afecta al experimento.

(6) Segundo estado del experimento: el movimiento circular del cubo se transfiere paulatinamente al agua. Está acudiendo a un hecho de la experiencia ordinaria y aunque el análisis de fuerza que podría hacerse a este estado del experimento es muy complejo, y de hecho, en opinión de Laymon, la dinámica de fluidos de Newton no es muy consistente⁷⁰, la reducción de su experimento facilita remitirse a hechos ordinarios en vez de planteamientos cuantitativos precisos.

(7) Consecuencia de la transferencia de movimiento circular es la concavidad que se forma en el agua. Este es el efecto sobre el que se apoya el experimento, por lo que si este dato fuera falso, todo lo demás carecería de sentido. Por eso parece esencial que Newton introduzca una frase de enorme valor: “(como yo mismo he experimentado)”, puesto que estas cuatro⁷¹ palabras convierten un experimento mental en empírico. Aunque toda la construcción sea imaginaria, el efecto esencial ha sido experimentalmente comprobado por el mismo Newton.

Quizá esto no se ha acentuado suficientemente, pero la descripción es prolija en detalles que, efectivamente, pueden ser construcción de la mente y por eso el cubo de Newton es uno de los ejemplos paradigmáticos de experimento mental⁷², pero el efecto mismo que sustenta el argumento es empírico. La construcción mental se da más claramente en el segundo experimento (el de las esferas)⁷³, pero no en el del cubo, en el que todo lo que plantea es viable, e incluso afirma haberlo llevado a cabo. No parece haber motivo razonable para pensar de otro modo. Ahora bien, la exposición cualitativa más que cuantitativa, ilustrada con tanta prolijidad,

70 Ronald Laymon, “Newton’s Bucket Experiment”, *Journal of the History of Philosophy* 16, núm. 4 (1978): 399 a 413, <https://doi.org/10.1353/hph.2008.0681>. 404

71 “(ut ipse expertus sum)”, en el original son cuatro palabras.

72 Brown, “Thought Experiments”. 4.

73 Hugh M. Lacey, “The Scientific Intelligibility of Absolute Space: A Study of Newtonian Argument”, *The British Journal for the Philosophy of Science* 21, núm. 4 (1970): 317 a 342. 334, elabora sobre el experimento mental, pero *solo* el de las esferas.

habla de un recurso con el que quiere asentar un argumento más que demostrar un punto, como ya se mencionó en el Capítulo 1, parte 4.

Es posible que en el imaginario general, el experimento del cubo de Newton lleve aparejado el de las esferas: mientras que el segundo es por completo un experimento mental de pleno derecho (no es viable llevarlo a cabo, al menos como describe Newton, en su época y con los recursos tecnológicos del momento), pero el primero no lo es. Se trataría entonces de una asociación de ideas pero no parece ser esa la intención de Newton al exponer el experimento del cubo.

(8) Llegamos al culmen del experimento, en el que el movimiento relativo entre agua y cubo es nulo, y en cambio lo que Newton identifica como movimiento respecto al espacio absoluto —por tanto, movimiento real o en sentido absoluto— es máximo. Es en este momento cuando Newton se opone frontalmente a la definición cartesiana (vid. p. 30) que hace referencia al movimiento de los objetos inmediatamente en contacto: duro sería explicar el efecto observado en la concavidad del agua cuando ha cesado el movimiento circular cartesiano.

(9) Para Descartes el movimiento circular se da solo por la aplicación de una fuerza en el cuerpo, y en cuanto esta fuerza deja de aplicarse, el cuerpo en cuestión continúa —si fuera el caso— en una trayectoria en línea recta. Aquí, sin embargo, Newton hace explícito el resultado de su experimento: hay un intento (*conatus*) del agua por separarse del eje de rotación, en carencia completa de movimiento relativo entre agua y cubo. Declara así Newton la conclusión de su hipótesis, pues el ascenso del agua manifiesta el movimiento absoluto. Concluye este fragmento con una introducción a la demostración que explicará en las siguientes líneas, acerca de la relación entre movimiento absoluto y relativo en este experimento, a la luz de los efectos manifestados.

Como nota adicional, Newton especifica que “se manifiesta y se mide el movimiento circular verdadero y absoluto del agua”, pero en ningún momento hace intento alguno por *medirlo*, solo le interesa la manifestación. Se trata —como ya se ha dicho— de un experimento conjetural de resultados cualitativos, no cuantitativos. Sería imposible una medición relevante, con la carencia de datos de la preparación del instrumento, como antes se explicó.

(10) Hace expresa también la relación inversa e inequívoca entre movimiento relativo (agua-cubo) y absoluto (ascenso del agua), pues en el mayor relativo el absoluto es nulo, y en el mayor absoluto, el relativo es nulo. No hace falta comentar más pues se trata de hacer explícito lo que ya hemos venido señalando. Aquí lo formula de modo exhaustivo.

(11) En el contexto de la definición cartesiana de movimiento, esta conclusión es contundente. No hay movimiento relativo y tenemos el conato del agua por apartarse del eje y ascender a las paredes del cubo.

(12) Finalmente, de modo expreso y a la luz de su experimento, descalifica la definición de Descartes: el movimiento verdadero no depende de los objetos inmediatamente circundantes.

(13) Declarar que solo es un único movimiento circular verdadero resulta una consecuencia lógica de las afirmaciones acerca del movimiento circular como efecto que manifiesta el movimiento absoluto, y del movimiento absoluto como único: no podría ser de otra manera, pues no sería absoluto si hubiera varios tipos.

Este punto, aunque no lo menciona expresamente, sustenta la creencia bastante difundida de que Newton atribuye al espacio absoluto una existencia real, sustancial, absoluta, puesto que mientras que hay innumerables movimientos relativos, solo existe uno absoluto. Y el modo

de conocer ese movimiento absoluto es a través del efecto que se produce en un movimiento circular.

(14) Una afirmación clara que, además, va también de algún modo a confrontar un texto de Descartes, en el que afirma que cada cuerpo tiene solo un movimiento propio, referido a aquél que lleva con los cuerpos circundantes⁷⁴.

(15) Resulta un poco difícil tomar esta afirmación sin considerar que se refiere al movimiento circular, exclusivamente. En este caso, el movimiento cartesiano (relativo) efectivamente no produce efectos perceptibles y reales, como se ha demostrado, pero el movimiento lineal puede sí tener efectos reales y no ser estos reconocibles como reales. Negar “por completo” la presencia de efectos verdaderos es una afirmación que no parece sustentable; lo que sí sería factible en este desarrollo es negar la *perceptibilidad* de esos efectos como absolutos.

Aquí cobra relevancia lo que ya se dijo respecto a (9): Newton afirma que así se *mide* el movimiento absoluto, pero si tenemos una composición de efectos, parte producido por el movimiento relativo, parte por el absoluto, no tenemos manera (al menos él mismo no la propone) de separar la magnitud mensurable de ambos efectos. De la imposibilidad de separarlos se sigue también la imposibilidad de medirlos⁷⁵, por lo que podría resultar razonable concluir que al hablar de medición, Newton más bien quiere decir *percepción inequívoca* o *detección* de una cualidad. Medición —por seguir con las aportaciones del brillante inglés a la ciencia— sería por

74 Descartes, *Principia*, Parte II, § XXXI, AT VIII p. 57.

75 Parece conveniente en este momento determinar la razón de mi desacuerdo con Newton, al menos si consideramos el lenguaje actual. El diccionario de la Real Academia de la Lengua Española define *medir* como “Comparar una cantidad con su respectiva unidad, con el fin de averiguar cuántas veces la segunda está contenida en la primera”. Se hace evidente que Newton no está midiendo, no fija unidades, no determina cuántos centímetros sube el agua o qué inclinación adquiere la concavidad: tan solo evidencia una cualidad del agua al subir por los bordes o alejarse del centro de rotación.

ejemplo la cantidad de experimentos cuantitativos que le llevaron a determinar la constante de atracción gravitacional, que es un número preciso y universal.

Pongamos un ejemplo simple. Si un cubo con agua se acelera en línea recta percibiremos que el agua tiende a disminuir al frente del movimiento y acumularse en la parte posterior. Más si a ese cubo además le damos movimiento rotatorio que someta el agua a fuerza centrífuga y provoque concavidad, veremos que el punto más profundo de dicha concavidad no se encuentra en el centro del cubo, sino recorrido hacia atrás respecto a la aceleración lineal. Cabría entonces preguntarse lo mismo: ¿qué proporción del efecto obedece al movimiento absoluto y cuál no? O en otro caso, si ese cubo se pone a girar en la Tierra, la concavidad adquirirá una altura determinada, más si gira en la Luna esa altura será mayor por la menor gravedad de ese mundo (es plausible asumir que Newton *sabía* esto pues suya es la Ley de Gravitación Universal). Por tanto, la afirmación de que se puede *medir* no es del todo acertada. Se puede medir la *presencia* del efecto observado, pero eso no implica una *medición* precisa y completa del movimiento verdadero, respecto al espacio absoluto, sin influencia de otros movimientos.

(16 y 17) Aunque son parte de la narración y las ideas que manifiestan están encadenadas en las conclusiones del experimento del cubo de agua, estas líneas no suman al experimento mismo, aunque son claramente parte de la respuesta a Descartes, aludiendo a su teoría de los vórtices o remolinos.

5. Otros textos de Newton que guardan relación con el experimento

El Escolio y, en él, el experimento del cubo de agua no surgen como la expresión de un momento creativo de Newton, sino que obedecen a los años de maduración en su pensamiento y son también susceptibles de

ulterior elaboración. En esta sección, buscaremos otros textos del mismo autor que puedan hablar algo más de sus ideas, explicar los conceptos que trabaja o incluso modificar las afirmaciones que en este realiza.

El texto más amplio y en el que Newton refiere con más frecuencia y profusión los temas relacionados con el cubo de agua, es el *De gravitatione et aequipondio fluidorum*⁷⁶, escrito en torno a 1684⁷⁷, es decir, unos tres años antes de la primera edición de los *Principia*. Conviene aclarar que este texto no fue publicado por el autor lo que puede apuntar a hipótesis variadas. Una de ellas llevaría a pensar que él mismo no consideraba su contenido suficientemente desarrollado para salir a la luz pública. Sin embargo las ideas contenidas en este texto muestran el itinerario de crecimiento intelectual del inglés y sientan algunas bases conceptuales que, “si bien con ciertas modificaciones, acompañarán el pensamiento de Newton hasta la redacción de sus obras de madurez.”⁷⁸

Existen en él varias referencias a los conceptos de movimiento absoluto —que no abordaremos— y de espacio absoluto.

76 Newton, *De Gravitatione et æquipondio fluidorum* (inglés). Usaré la versión traducida al inglés, de W.B. Allen, basada en el texto autenticado por A. Rupert Hall y Marie Boas Hall.

77 Cabe hacer notar la controversia que existe acerca de la fecha de composición del *De gravitatione*: Newton Project, depósito muy completo y cuidado de las obras originales de Newton (<http://www.newtonproject.ox.ac.uk/catalogue/record/THEM00093>) señala el año de redacción a mediados de la década de 1680, mientras que en la traducción que recogen Benítez Gribet y Robles en *De Newton y los Newtonianos: entre Descartes y Berkeley* (2006) señalan ca. 1684. Sin embargo, Ruffner plantea, en su artículo *Newton's De gravitatione: a review and assesment* (2012) que la composición corresponde a la década de 1660 en vista de la evidencia que Newton usa y omite en el escrito (considerando, en concreto, que pudo ser en 1666, *annus mirabilis* del inglés). Queda esa disquisición para los estudiosos de la materia: por ahora consideramos la más sostenida fecha de mediados de la década de 1680 (1684/1685).

78 Leonardo Ruiz Gómez, *El Concepto Leibniziano de Espacio. La Polémica con Clarke y el Newtonianismo*, 1a ed. (Pamplona: EUNSA, 2014), <http://www.eunsa.es/tienda/filosofica/1799-concepto-leibniziano-de-espacio-el.html>. 215.

Newton declara expresamente⁷⁹ que el espacio es distinto del cuerpo y señala que el movimiento es la traslación de un cuerpo de un lugar a otro. Parece con ello dar entidad al espacio mismo en el que reside un cuerpo —espacio absoluto— en contra de la posible interpretación relacionalista en la que una posición se puede determinar respecto a otros cuerpos y no con referencia a un entramado absoluto.

Poco más adelante, Newton expresa de manera inequívoca la necesidad de un marco de referencia absoluto para poder hacer efectiva su mecánica, señalando lo siguiente:

...ha de mostrarse que, cuando cierto movimiento ha concluido, es imposible, conforme a Descartes, asignar un lugar en el cual el cuerpo estaba al principio del movimiento; no es posible decir de dónde se ha movido el cuerpo y la razón es que, conforme a Descartes, el lugar no puede definirse o asignarse, excepto por la posición de los cuerpos circundantes y, tras la conclusión de cierto movimiento, la posición de los cuerpos circundantes ya no es la misma que era antes.⁸⁰

Pasa a poner ejemplos para sustentar la “necedad” de Descartes del relacionismo y la necesidad de un marco absoluto.

En ese mismo texto abunda y deja claro que si el espacio es el que ocupa el cuerpo, al dejarlo el cuerpo se pierde por completo el punto de partida y lo mismo sucede con los puntos intermedios. Esto da la impresión de ser un punto esencial, preocupación grave de Newton, pues esta argumentación, además de ser consistente con lo que explica en los *Principia*, resulta del todo pertinente para sustentar sus leyes del movimiento.

79 Newton, *De Gravitatione et æquipondio fluidorum* (inglés). 2.

80 Newton. 5.

Sin embargo, como es lógico, la exposición del experimento sobre el cubo de agua no agota la porción de más interés de los *Principia* y resulta relevante abordar al menos un punto más.

En el Escolio general al final del tercer libro, tras confrontar —*íterum*— de modo directo y explícito la dificultad en la teoría de los remolinos o vórtices de Descartes, enmarca algunos principios de razonamiento útiles en el método científico, y contiene elementos de interés para comprender los desarrollos de Newton: Sir Isaac toca expresamente el papel de Dios en el mundo. Ofrece algunas reflexiones con sustento bíblico que hablan de una persona culta y conocedora.

Lo que señala en la p. 587⁸¹ al hablar de Dios resulta de especial interés para el tema que nos ocupa:

Es eterno e infinito, omnipotente y omnisciente, es decir, dura desde la eternidad hasta la eternidad y está presente desde el principio hasta el infinito: lo rige todo; lo conoce todo, lo que sucede y lo que puede suceder. No es la eternidad y la infinitud, sino eterno e infinito; *no es la duración y el espacio, sino que dura y está presente*. Dura siempre y está presente en todo lugar, y *existiendo siempre y en todo lugar, constituye a la duración y al espacio*. Puesto que cada partícula de espacio existe siempre, y cada momento indivisible de duración está en algún lugar, ciertamente el constructor y señor de todas las cosas no será nunca, ningún lugar.⁸²

Es este un texto elocuente, por un lado, de la cultura teológica de Newton y por otro, de una no del todo bien entendida filosofía. Parece que Newton cree firmemente en los atributos divinos de infinitud y eternidad, pero al

81 Newton, *Principios Matemáticos*.

82 La cursiva es mía.

introducir el papel de Dios en el mundo adopta una posición que puede calificarse de emanacionista.

Dios, como se ve en el texto citado, es eterno e infinito y constituye a la duración y el espacio: aunque difícilmente podría afirmarse una concepción materialista —como si Dios fuera parte del mundo material— tampoco parece que considere una postura en la que el tiempo y espacio son una creación de Dios que se relacionan con Él por el hecho de ser mantenidos en el ser con un acto de creación continuada. Más bien se podría colegir una idea emanacionista, jerárquica y descendente, en la que Dios existe desde la eternidad, tiempo y espacio son creados y existen en Dios, y la materia es posterior al tiempo y el espacio. Dios “no es el espacio... pero dado que está presente en todo lugar... constituye el espacio.”

Dios —dice Newton— está presente en todo lugar y tiempo pues a partir de Él surge el espacio: si el espacio no existiera, Dios no estaría en ningún lugar; dicho de otro modo, al ser ubicuo, se origina el espacio⁸³. No le asigna atributos divinos al tiempo y al espacio, pero señala que cada partícula de espacio existe siempre, y cada momento de duración está en algún lugar: no parece ver tiempo y espacio como criaturas sostenidas en el ser por el acto creador —la creación sostenida— sino que Dios, que no es el espacio, ni vive en el espacio, ni requiere del espacio, ni tampoco tiene al espacio como una *parte* de si mismo, *está* en el tiempo y en el espacio.

De modo aun más radical, Huggett y Hoefler, refiriendo a la correspondencia Clarke–Leibniz afirman que Newton “percibía el espacio absoluto como consecuencia necesaria de la existencia de cualquier cosa, y de la existencia de Dios en particular”⁸⁴.

83 Newton, *De Gravitatione et æquipondio fluidorum* (inglés). 11.

84 Huggett y Hoefler, “Absolute and Relational Theories”. 10.

Se puede elaborar más sobre estas afirmaciones de Newton, pero me parece que basta con señalar lo que, a mi juicio, aportan para este estudio: Newton pareciera no estar dispuesto a negar la existencia del espacio absoluto, entre otros motivos, porque eso podría suponer sacar a Dios del mundo, o negar su omnipresencia, o desconocer su omnipotencia. Resulta entonces lógico que Newton tratara de sustentar lo que considera que es necesario, en el mundo material, para dejar a salvo lo que tanto por razón como por revelación se conoce de Dios. Un hombre piadoso no querría enfrentar el resultado de su ciencia con los conocimientos revelados sobre Dios; no pretendería que su ciencia contradijera una arraigada creencia personal, repetidamente manifiesta en multitud de sus escritos.

Su solución no es del todo acertada y le lleva a defender una postura que, al margen de que fuera o no verdad, no era necesario defender si no se sostenía sola con el conocimiento de la ciencia. Dicho de un modo coloquial: Dios no necesitaba que Newton defendiera de esa manera su presencia o su eternidad en el mundo⁸⁵.

Newton, en el Escolio, introduce un ejemplo que es en parte experimental, en parte experimento del mundo físico. El experimento físico ya está asentado en su tiempo como un elemento de fuerte aportación al conocimiento; el experimento mental quizá no se ha prestigiado del todo en el ámbito de las ciencias, pero es viable considerar que tiene arraigo en el pensamiento de los hombres que impulsan el crecimiento del saber. En cualquier caso resultaría factible suponer *a priori* que Newton no se hiciera

85 No me resisto a señalar, para quienes arguyen que la fe sobrenatural supone un estorbo al avance de las ciencias, parece haber sido justamente la fe de Newton la que lo impele a buscar compatibilidad entre lo que cree (la omnipresencia e infinitud divinas) de lo que descubre (las leyes del movimiento). Aunque su respuesta no es teológicamente —tampoco físicamente— acertada, se trata de un caso más en el que una correcta concepción de la realidad —en cuanto a la realidad de la existencia de Dios, aunque no atine respecto a su modo de presencia en el mundo— lleva al intelecto por vías nuevas que abren puertas al conocimiento.

un cuestionamiento epistemológico al introducir esos ejemplos en el Escolio, sino que más bien buscaba un objetivo concreto.

Basado en los textos del inglés, en este capítulo he tratado de extraer algunos elementos que permitan conocer esa intención y en el siguiente me apoyaré en los comentarios de otros autores para enriquecer esta base y poder valorar el logro de su intención y extraer algunas conclusiones: el experimento del cubo de agua ha dado de qué hablar durante siglos y mucho más allá de su valor como demostración de un aspecto de la física, resulta una vía para el mayor conocimiento de las ideas de Sir Isaac.

Capítulo 3: Comentarios de otros autores

El Escolio de los *Principia* ha sido, desde muy pronto, materia de estudio y discusión. Los problemas que plantea y las interrogantes que deja irresueltas o incoadas resultan provocativas para las mentes inquisitivas y, lógicamente, son muchos los que han abordado su texto.

Para esta sección tocaré solamente autores modernos, ss. XX y XXI, que han comentado sobre el experimento y sobre el concepto de espacio absoluto. Con la lectura de estos artículos resaltan algunos rasgos comunes, abordados de modo distinto por unos y otros, a veces en sentidos contrarios. Con la intención de facilitar la lectura, aunque sea de modo general, dividiré este capítulo en algunos temas amplios sabiendo que los autores presentan sus posiciones con grados y matices: solo pretendo resaltar lo que me parece más relevante en ellos sin implicar que constituye la totalidad de su pensamiento.

A la luz de estos comentarios, en los que no busco resolver el problema del espacio absoluto —sujeto a numerosos desarrollos posteriores y ahora razonable y satisfactoriamente bien explicado— espero enfocar la aportación del experimento del cubo de agua al avance del conocimiento.

1. La necesidad del recurso al concepto de espacio absoluto.

A Newton se le ha criticado por su concepto de espacio absoluto, pero fue consistente al exponerlo. A pesar de que —como señala Albert Einstein⁸⁶— Newton intentó dejar fuera de su mecánica cualquier concepto que no tuviera una cualidad empírica, decidió introducir el concepto de espacio absoluto y fue necesariamente consistente al manejarlo. Einstein, sin embargo, se limita a señalarlo y más que ofrecer argumentos que

86 Albert Einstein, *Ideas and Opinions: Based on Mein Weltbild*, ed. Carl Seelig, trad. Sonya Bargmann, 5a ed. (New York: Crown Publishers, 1954),

http://books.google.nl/books/about/Ideas_and_Opinions.html?id=j7wEAAAAYAAJ&pgis=1.

manifiesten los errores o deficiencias de ese concepto, se dedica a explicar su teoría con lo cual la parte débil del concepto de espacio absoluto va quedando sobradamente manifestada.

Es verdaderamente grato leer la crítica de un gigante intelectual, quizá el único autorizado para afirmar que desplazó a Newton. El alemán es de una elegancia supina cuando señala los puntos desacertados del inglés y resalta la casi necesidad que tuvo Newton de hacer lo que hizo, aunque considera que es una debilidad de su teoría.

Cita el experimento del cubo y le atribuye una demostración que no he encontrado en nadie más: si bien no es una prueba de la existencia del espacio absoluto (ni parece pretenderlo), sí descubrió que

las cantidades geométricas (distancia de puntos materiales entre sí) y su discurrir en el tiempo no caracteriza el movimiento de manera plena en sus aspectos físicos. Probó esto en el famoso experimento de la cubeta de agua en rotación. Por eso, además de masas y distancias temporalmente variables, debe haber algo más que determina el movimiento. Ese 'algo' él lo visualiza como la relación al espacio absoluto. Se da cuenta de que el espacio debe poseer algún tipo de realidad física, si sus leyes de movimiento han de mantener algún significado, una realidad del mismo tipo que los puntos materiales y sus distancias. Este descubrimiento tan claro revela tanto la sabiduría de Newton como el lado débil de su teoría.⁸⁷

La afirmación de Einstein se apoya en su conocimiento más completo de la realidad gravitacional expresada en la teoría de la relatividad. No basta conocer las posiciones y velocidades —cantidades geométricas— para caracterizar el movimiento de modo pleno puesto que la variabilidad del entramado espacio-temporal introducido (y ampliamente demostrado) por

87 Einstein. 253

las ecuaciones de Einstein manifiestan que el movimiento requiere también de la determinación de su masa y velocidad para ser caracterizado. La deformación del tejido espacio-temporal dependiente de esas cantidades es requisito imprescindible para describir de modo pleno el movimiento.

La distintas topologías espaciales y las alteraciones temporales provocadas por las altas velocidades o las masas considerables exigen la agregación de estos datos para conocer real y (más) plenamente las características del movimiento. Como lúcidamente señala Lacey, “el movimiento absoluto es, por supuesto, una aceleración absoluta, no una velocidad absoluta. Por lo que el experimento (aun si se asume que ha sido correctamente entendido) no nos permite elegir el marco absoluto de referencia o algún marco físico en reposo respecto al espacio absoluto.”⁸⁸

La física clásica o newtoniana es —como suele suceder en las ciencias naturales— una aproximación, excelente en este caso, pero no una caracterización completa. Se trata de un ejemplo más de reduccionismo científico, tan válido como efectivo: Newton no consideró (en mi opinión, también por falta de evidencia al no tratarse de cantidades de la experiencia cotidiana) el efecto de la alta velocidad o la gravitación en la modificación del espacio y el tiempo. Para la enorme mayoría de los problemas de su época, y de varios siglos venideros, su aproximación reduccionista resultó más que suficiente. Pero, en honor a la verdad, incompleta. Es lo que Einstein resalta y justamente esa omisión incapacita a Newton para resolver de mejor manera el problema del espacio absoluto.

Einstein afirma, pues, que el “invento” del espacio absoluto de Newton era inevitable, aunque poco satisfactorio, para sustentar su mecánica; sin embargo ofrece una justificación a manera de cierre en el razonamiento: “El tremendo éxito práctico de sus doctrinas pudieron perfectamente moverlo

88 Lacey, “Intelligibility of Absolute Space”. 325.

a él y a los físicos de los siglos XVIII y XIX a no reconocer el carácter ficticio del fundamento de su sistema.”⁸⁹

Einstein no deja duda en su juicio: el espacio absoluto es un invento, es necesario para sustentar la física de Newton, Newton sabe ambas cosas y aun así deja implícito ese concepto por ser una premisa de todo el sistema. ¿Cree Newton que el espacio absoluto es una entidad real, independiente? Parece que no, en opinión de Einstein. ¿Puede prescindir de ese concepto? Definitivamente no. ¿Sabe Newton qué es? No; más aun, evade el intento de definirlo. ¿Tiene alternativa? No. El experimento del cubo de agua ¿demuestra la existencia del espacio absoluto? No, puesto que Newton sabe que no es una entidad real, pero necesita el concepto: se trata de un experimento que ilustra un fundamento que Newton necesita. Y el resultado es —como bien señala Einstein— tremendamente exitoso.

Tanto Einstein como señalaré más adelante con Beichler, además de Huggett y Hofer, Reichenbach y Toulmin son de la idea de que este “invento” del espacio absoluto como concepto matemático, resulta de todo punto necesario para el sustento de la mecánica de Newton.

Graham Nerlich⁹⁰ señala que Newton quiso ofrecer un argumento metafísico a priori para el movimiento absoluto y lo juzga como inválido, lo cual parece razonable pues cuando habla de espacio absoluto —fundamento del movimiento absoluto— Newton no define, sino que describe o determina las cualidades.

Aunque el tema que más se aborda en este ensayo es el espacio absoluto y no llega a analizar el experimento mental, no deja de tener interés el estudio de Nerlich, por lo que se incluye entre los textos a considerar, si bien solo de modo somero.

⁸⁹ Einstein, *Ideas and Opinions*. 252.

⁹⁰ Graham Nerlich, “Can Parts of Space Move? On Paragraph Six of Newton’s Scholium”, *Erkenntnis* 62, núm. 1 (enero de 2005): 119 a 135, <https://doi.org/10.1007/s10670-004-8709-4>.

2. La sustancialidad del espacio absoluto

Explica James Beichler⁹¹ que Leibniz y Berkeley esgrimían argumentos eminentemente teológicos para establecer el espacio relativo, pero esto no era científicamente aceptable: estamos hablando de disciplinas distintas, con objetos y métodos distintos y esto —aunque quizá no con la claridad que se tiene hoy— ya era cosa conocida en aquel tiempo. En esto, Newton tenía una visión correcta de que Dios debía quedar separado del mundo de los fenómenos, como ya Descartes también lo había hecho.

Más aun, Beichler afirma que “Newton fue forzado a incluir el espacio absoluto en su mecánica para hacer inteligibles sus definiciones de movimiento, fuerza y materia. Casi parecería que la ciencia no podía estar con Dios, o sin Dios”.⁹²

Esta afirmación de Beichler va en consonancia con lo ya citado del Escolio general, del Libro III. Sin querer aceptarlo, Newton recurre al espacio absoluto tanto para dar solidez a su mecánica, como para no “echar fuera” a Dios.

Con el avance de la mecánica, específicamente por S. de Laplace, se resuelven los problemas sin requerir a Dios en el planteamiento físico. Surge así una pregunta derivada de esto que Beichler plantea del siguiente modo: “si los argumentos metafísicos pueden probar que el espacio real es relativo y no absoluto y la física newtoniana funciona en el reino de los espacios relativos, ¿qué se necesitaba para distinguir la metafísica de la física o la teología de la mecánica?”⁹³

91 Beichler, “Evolution of the Concept of Absolute Space”.

92 Beichler. 8.

93 Beichler. 8.

Más aun, presenta la consecuencia de la negación de la existencia del espacio absoluto, cuando señala que “Los metafísicos no podían hacer menos que aceptar la mecánica de Newton por su formidable éxito para explicar cómo funciona el mundo. Pero al negar la realidad del espacio absoluto estaban retando la base sobre la que la mecánica newtoniana estaba construida: la definición de masa, fuerza y movimiento.”⁹⁴

Esto, sin duda, suponía un reto importante: si se niega la base y se descompone el resultado, es necesario entonces presentar una base nueva que produzca un resultado igual o mejor, de otro modo el argumento no pasaría de ser una especulación en el ámbito de las ciencias experimentales, donde el resultado determina en gran medida la validez de los postulados.

Más adelante, Beichler arguye que si —como afirma Newton— en el experimento del cubo, el agua se comba por un efecto respecto al espacio absoluto, pero el espacio absoluto no es causa de nada, entonces el resultado del experimento queda sin explicación.

Esta argumentación de Beichler no carece de interés: aunque Newton al parecer no pretende confirmar con el experimento la existencia del espacio absoluto, daría la impresión —siguiendo a Beichler— que haber recurrido a él debilita su sustento y, por tanto, puede lesionar el fundamento de su mecánica.

Beichler concluye diciendo que

aunque Newton dio ejemplos de movimiento absoluto con el experimento del cubo giratorio, el espacio absoluto tendría que esperar algún modo de físicamente mostrarse a sí mismo (como causal). Esto vino inicialmente en las teorías del éter y luego en las matemáticas de la continuidad. Estas ideas dieron al espacio absoluto

94 Beichler. 8.

una realidad independiente de Dios, aunque tomaron un largo tiempo en llegar.⁹⁵

Beichler parece considerar, con esta afirmación, que desde su perspectiva una de las dificultades por las que Newton introduce el concepto de espacio absoluto, es la necesidad de dar a Dios un asiento en la realidad material. Largo tiempo tomaron en llegar las alternativas que menciona, pero ni Newton, ni las teorías del éter ni otras similares podrían atribuirse la explicación del asiento divino en la naturaleza material: ese problema es más bien metafísico, en el orden del ser, y no puede ser medido o experimentado, ni comprobado o encontrado por los métodos de las ciencias naturales.

Citando a DiSalle⁹⁶, Nick Huggett⁹⁷ afirma que Newton parece haber negado la existencia del espacio absoluto como sustantivo. Sin embargo, esto implica que todo movimiento es relativo a otros cuerpos y con ello echa por tierra la mecánica newtoniana. Como el argumento del conflicto aparece solo en los escritos inéditos⁹⁸, no parece ser del todo problemático.

La afirmación de Huggett se acerca a otras visiones que afirman tanto la no sustantividad del espacio absoluto de Newton, como la contradicción que esto supondría al sustento de toda su mecánica. Esta postura tiende a verse con mucha rigidez en algunos autores.

Newton, efectivamente, no parece dar sustantividad al espacio absoluto, más aun ni siquiera lo define: lo usa. Pareciera decir que hay un algo —llamémosle “espacio absoluto”— que tiene determinadas características,

95 Beichler. 17.

96 Robert DiSalle, “On Dynamics, Indiscernibility, and Spacetime Ontology”, *The British Journal for the Philosophy of Science* 45, núm. 1 (1994): 265–87.

97 Nick Huggett, “Why the Parts of Absolute Space Are Immobile”, *The British Journal for the Philosophy of Science* 59, núm. 3 (2008): 391 a 407.

98 Newton, *De Gravitatione et æquipondio fluidorum* (inglés).

que está en la base de la teoría, que no intenta definir pero que es necesario. Lo que ese espacio absoluto *representa* o *significa* en la teoría de Newton, está claro y es imprescindible; lo que *es*, ni está claro, ni pretende que lo esté. Por eso, en todo caso, habla de que puede voltear a verlo por sus propiedades, causas y efectos, pero no por su naturaleza.

¿Se trata de un ejemplo más de reduccionismo en la ciencia? Newton usa las características de su concepto de espacio absoluto y lo ilustra con el cubo de agua, pero ha reducido la realidad omitiendo un pequeño detalle: su concepto no tiene representación empírica, carece de existencia. Pero funciona y es donde Huggett, en mi opinión, es muy duro con su juicio puesto que no saber qué es el espacio absoluto difícilmente niega el apabullante resultado de haber usado de manera fructífera ese concepto sin haberlo definido.

Valga una analogía moderna: a la fecha, no es conocida una gran parte del *qué* o el *porqué* de la mecánica cuántica —realidad del cosmos que se encuentra violentamente alejada de nuestra experiencia cotidiana— pero se conoce con gran detalle el *cómo* y produce enormes resultados de gran precisión y utilidad⁹⁹. La obtención de resultados empíricos no explica la esencia de las cosas pero ayuda a orientarse en una buena dirección y, vale también decirlo, las ciencias naturales suelen ocuparse más bien del *cómo funciona*, mucho más que del *qué es*.

La crítica de Huggett lleva a comprobar una afirmación de Hans Reichenbach¹⁰⁰: las teorías de Newton sobre el espacio fueron olvidadas por los científicos, tomadas por los filósofos y finalmente retomadas por los historiadores, solo para criticarlo. Los escritos de Newton, con la potencia

99 Solo a manera de ilustración, el transistor y el láser son inventos que resultan de la aplicación de la mecánica cuántica.

100 Hans Reichenbach, "La Teoría del Movimiento según Newton, Leibniz y Huygens", en *Kant-Studien*, vol. 29, Publicado en Moderna Filosofía de la Ciencia 2 (Walter de Gruyter, 1924), 63–86.

que tienen para las ciencias naturales, no limitan su alcance a ese campo del saber, sino que también —y es lógico que así suceda— consideran conceptos, métodos y razonamientos propios de la filosofía y de la teología, y así como sería poco razonable juzgar la filosofía de un filósofo que habla de ciencias naturales, sin tomar en cuenta su modo completo de pensar, igualmente parece deficiente criticar con tanta dureza los razonamientos filosóficos de Newton con el rigor de la filosofía, sin tomar en cuenta la posición en la que se encuentra, eminentemente como científico.

Reichenbach se cuenta entre los autores que consideran a Newton como creyente en la existencia sustantiva, autónoma, del espacio absoluto. Así, mientras que antes hemos ofrecido opiniones en el sentido de que se trata más bien de una construcción conceptual, no existente, pero necesaria para el sustento de la mecánica newtoniana, Reichenbach sostiene que el inglés cree que espacio y tiempo tienen una existencia real, independiente, y no solo con carácter de necesidad matemática o teórica.

Newton —afirma Reichenbach— creía que su mecánica constituía una justificación completa de la teoría del movimiento absoluto... formuló definiciones del tiempo y del espacio absolutos... como entidades que existen independientemente y que constituyen la medida de todos los acontecimientos espacio-temporales... (y) especificó también los métodos para establecer relaciones entre los acontecimientos empíricos y estas entidades absolutas.¹⁰¹

Después, Reichenbach analiza las teorías de movimiento de Leibniz y Huygens —con algunos comentarios sobre las posturas de Mach— para terminar llamándolos “dos infortunados relativistas del período clásico del absolutismo”. El análisis que se presenta en este artículo es muy interesante, pero al no abordar suficientemente el problema del espacio

101Reichenbach. 65.

absoluto o la intención de Newton con el experimento del cubo, resulta preferible dejarlo fuera de este documento.

Justo en el sentido contrario, A.I.A. Adewole enfatiza que

el espacio absoluto de Newton es estrictamente matemático y abstracto... nuestros sentidos no nos permiten percibir el espacio absoluto o el movimiento absoluto, y esto es verdadero incondicionalmente. Cualesquiera espacio o movimiento que percibimos a través de nuestros sentidos es por principio común y aparente. Por esta singular razón, el espacio interestelar no puede representar el espacio absoluto en ningún sentido.¹⁰²

La afirmación tan categórica de Adewole acerca del espacio absoluto parece resultar más bien de sus propios razonamientos y no se concluye de lo que Newton afirmó al respecto.

En el estudio de los textos de Newton parece quedar bastante claro que él lo considera bastante real y no abstracto o matemático; y si a esto se añade la posibilidad de que sea la manifestación de la omnipresencia divina en el mundo, cobra aun mayor sentido de existencia. Sin embargo, también es cierto que Newton evade dar definición al espacio, o comprobar la existencia del espacio absoluto como substancial.

Dado que toda la mecánica del inglés se sustenta en la posibilidad de medir movimientos absolutos, conocer los puntos iniciales y finales, los desplazamientos y los tiempos que estos toman, parecería bastante lógico considerar que Newton cree que el espacio absoluto tiene entidad real, no es solo una construcción matemática. Así que, aunque Newton no define o demuestra, su uso permite inferir qué piensa del espacio absoluto. Resulta, sin embargo, comprensible que Adewole llegue a esa conclusión dada la

102A. I. A. Adewole, "Newton on Absolute Space", *ArXiv:Physics*, el 20 de octubre de 2001, 18.

libertad que el mismo Sir Isaac deja a posteriores hombres de ciencia para acometer la tarea de determinar qué es el espacio. Adewole, más adelante en el mismo texto, afirma:

El elemento de volumen de espacio absoluto no puede moverse. La razón obvia para esto es que si el elemento de volumen del espacio absoluto fuera móvil, entonces sería necesario introducir otro espacio absoluto bajo el espacio absoluto, *ad infinitum*, y muchos de los oponentes de Newton podrían interpretar esta circunstancia como debilidad en sus argumentos. Para evitar esto, afirmó que el movimiento del elemento de volumen del espacio absoluto es inconcebible.¹⁰³

No deja de ser llamativo que haya llegado a la conclusión del primer texto citado, cuando a renglón seguido pasa a demostrar una afirmación de Newton en la que subyace la existencia real de los “elementos de volumen de espacio absoluto”. La argumentación es buena, pues resultaría lógico decir que los objetos están en el espacio y pueden moverse en él, pero si el espacio a su vez se moviera, supondría convertirlo en un cuerpo más que se mueve en el espacio. La conclusión de Adewole de que eso llevaría al absurdo que, de otro modo coloquial, está representado por las “tortugas sin término hacia abajo” que pretende explicar el problema ocasionado por el antiguo mito —aparentemente de origen hindú— de la sucesión de tortugas que sostenían el mundo: ¿y quién sostiene a la última tortuga?

En definitiva, Adewole parece dejar clara su convicción de que Newton no consideraba el espacio absoluto como existente en la realidad, y acomete esta demostración por varios caminos. Este autor no toca directamente el experimento mental del cubo de agua, pero sus afirmaciones sobre el espacio absoluto pueden llevar a pensar que ese experimento tiene otros

103Adewole. 2.

objetivos, pues si Newton no cree que el espacio absoluto es substancial, entonces no hubiera intentado demostrarlo con ese *gedankenexperiment*.

3. Motivación para incluir el experimento del cubo de agua

Nick Huggett y Carl Hofer, en un artículo que presentan en coautoría¹⁰⁴, describen el experimento del cubo de agua y presentan una conclusión muy simple y corta —que se parece a la de tantos otros artículos— acerca del espacio absoluto. Pero Huggett y Hofer aportan una clara e inequívoca opinión —sustentada con otros argumentos y fuentes— que más que demostrar la existencia sustantiva del espacio absoluto mediante el experimento del cubo de agua, lo que Newton pretende es responder de modo contundente a la tesis del movimiento cartesiano, demostrando que ante la ausencia de movimiento relativo cuando agua y cubo giran a la misma velocidad, es posible reconocer movimiento real por el efecto observado sobre el agua que retrocede respecto al eje de giro.

Mientras que algunos (como por ejemplo, el mismo Huggett¹⁰⁵ en un artículo de pocos años antes) critican la inclusión de un concepto empíricamente indemostrable (quizá inexistente), en este artículo Huggett y Hofer precisamente afirman que “pocos filósofos de hoy negarían una cantidad real solo por el hecho de que no fuera experimentalmente demostrable, aunque este hecho sí justifica dudas legítimas acerca de la realidad de la velocidad absoluta y, por tanto, del espacio absoluto”, presentando así una postura más moderada respecto al motivo de su inclusión en el entramado teórico de Newton.

En este artículo, los autores ofrecen una apreciación interesante cuando dicen que “Newton aceptó el principio de que todo lo que existe, existe en algún lado —por tanto, en el espacio absoluto. Así, veía el espacio absoluto como una consecuencia necesaria de la existencia de cualquier cosa, y de la

¹⁰⁴Huggett y Hofer, “Absolute and Relational Theories”.

¹⁰⁵Huggett, “Parts of Space”.

existencia de Dios en particular— de ahí la dependencia ontológica del espacio”. Esto resulta de interés pues nuevamente contamos con comentarios de bastante peso que relacionan la necesidad que tuvo Newton de incluir la existencia del espacio absoluto no solo con el papel de fundamento que juega en su mecánica, sino también con el problema teológico de la presencia de Dios en la creación.

Ronald Laymon¹⁰⁶, en cambio, sigue una ruta distinta. Al ofrecer una crítica múltiple al experimento del cubo de agua acomete el valor de su lógica, el objetivo, y el logro de lo que se propone, tomando opiniones de variados autores.

Su tesis es que Newton no tiene la intención de que el experimento del cubo de agua sea interpretado como una demostración de que el espacio absoluto existe, o que la mecánica relacionalista no es posible, lo cual presenta como uno de los elementos estándar en las aportaciones del repertorio de historiadores y filósofos de la ciencia.

Recoge una cita de Ernest Nagel, que reproduzco aquí:

El argumento de Newton fue severamente criticado por Ernst Mach, quien mostró que implicaba un serio *non sequitur*. Newton anotó, correctamente, que las variaciones en la forma de la superficie del agua no guardan relación con la rotación del agua relativa a los costados del *cubo*. Pero concluyó que las deformaciones de la superficie debían por tanto atribuirse a la rotación relativa al *espacio absoluto*. Sin embargo, esta conclusión no se sigue de los datos experimentales de los demás supuestos de Newton, puesto que de hecho hay dos alternativas de interpretación para esos datos: el cambio en la forma de la superficie del agua es consecuencia de la rotación del cubo con respecto al espacio absoluto, o de la rotación

¹⁰⁶Laymon, “Newton’s Bucket Experiment”.

relativa a *algún sistema de cuerpos diferente del cubo* (las cursivas, en el original).¹⁰⁷

Se trata de una crítica muy válida, que ataca la lógica del argumento y que —señala Laymon— también es recogida por Reichenbach en su clásico “Filosofía del Espacio y el Tiempo”. Esta crítica señala la deficiencia del excesivo reduccionismo o de la extrapolación de conclusiones que Newton obtiene con el experimento del cubo de agua.

Las causas que pueden provocar, modificar o eliminar la deformación de la superficie del agua son muchas más que la única señalada, de la rotación del cubo. La rotación produce fuerza centrífuga por su movimiento respecto al espacio absoluto newtoniano, pero no considera el movimiento respecto a un sistema de cuerpos o marco referencial distinto al presentado, o a la injerencia que pueden ofrecer otras causas como los movimientos lineales de todo el sistema, la cantidad de gravedad, etc.

Como ya comenté antes (p. 46) al hablar de la dificultad de *medir* el movimiento absoluto, por la misma razón se dificulta discriminar el origen de la curvatura del agua, adscribiéndola de modo único y definitivo al movimiento respecto al espacio absoluto. De ahí que Mach (cuyo argumento relaciona la inercia con las estrellas lejanas, es decir, otro sistema de cuerpos) acuse un *non sequitur* respecto al razonamiento conclusivo de Newton.

Además, Laymon ofrece un texto de Max Jammer en el que se afirma que “en la interpretación de Newton del experimento del cubo obviamente trasciende de nuevo el ámbito de la experiencia... Y la misma inaccesibilidad a la verificación física caracteriza todos los demás intentos de aplicar su argumento...”¹⁰⁸.

107Ernest Nagel, *The Structure of Science: Problems in the Logic of Scientific Explanation* (New York: Harcourt, Brace and World, 1961). 208. Citado en Laymon, 400.

108Max Jammer, *Concepts of Space*, 1a ed. (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1954),

Laymon finalmente afirma, con Bas van Fraassen, que los experimentos presentados por Newton son ejemplos que asumen su “teoría newtoniana” para “detectar” rotación absoluta. Sin embargo, el mismo van Fraassen critica a Newton por considerar que estos casos ilustrativos establecen la existencia del espacio absoluto.

Ninguno de estos académicos —concluye Laymon— ofrece evidencia para apoyar la asunción de que Newton consideraba que sus experimentos ilustrativos comprobaban la existencia del espacio absoluto.

Desde el inicio del artículo, publicado en la *Stanford Encyclopaedia of Philosophy*, Robert Rynasiewicz¹⁰⁹ deja ver que su postura sobre el objetivo que persigue Newton con el Escolio es contrastar su concepto de movimiento y espacio absoluto con el de Descartes, argumento que también vimos en Huggett y Hofer. Igualmente, queda clara la posición de Newton respecto a la existencia del espacio como entidad absoluta. Esta posición resulta necesaria para poder sustentar la consiguiente teoría de movimiento de Newton.

Al finalizar su breve análisis del Escolio, Rynasiewicz distingue la intención de ambos experimentos mentales: el cubo de agua pretende asentar que un análisis adecuado del movimiento verdadero o absoluto debe hacerse con referencia a un espacio absoluto, mientras que el de las esferas busca ilustrar el hecho de que, a pesar de que el espacio absoluto no es perceptible a los sentidos, es posible inferir cantidades de movimiento absoluto en cuerpos individuales, en determinados casos.

La afirmación anterior sobre la intención de Newton resulta enriquecedora pues no dice el autor que buscara *demostrar* la existencia del espacio

<http://archive.org/details/ConceptsOfSpace>.

109Rynasiewicz, “Newton’s Views on Space, Time, and Motion”.

absoluto, sino que un análisis adecuado *debe hacer referencia* a él. Como ya vimos antes, uno de los objetivos de Newton en el experimento mental del cubo de agua no es demostrar la existencia del espacio como ente sustantivo, sino que parte de él como premisa: lo necesita.

Rynasiewicz señala también que el objetivo del experimento del cubo de agua es eminentemente mostrar que la curvatura del agua no depende del movimiento relativo de las partes, es decir, del agua y el cubo, sino de la rotación del agua respecto al espacio absoluto inmóvil. Es decir, el experimento ante todo supone una crítica a Descartes.

4. Razones teológicas: dar un sitio a Dios

Beichler, Huggett y Hofer, y también Edward Slowik¹¹⁰ esgrimen una línea de argumentos que ahora quiero resaltar, aunque ya han aparecido antes. En Slowik encontramos una interesante aportación sobre las motivaciones de Newton para la defensa del espacio absoluto: “en un tratado inédito de los primeros años de los 1690, titulado *Tempus et Locus*¹¹¹ Newton abiertamente declara que ‘el espacio en sí mismo no tiene partes que puedan separarse unas de otras... Puesto que es un ser singular, máximamente simple, y el más perfecto en su tipo’”.

En esta afirmación, semejante a lo que encontramos en la parte final del Escolio General de sus *Principia*, podemos escuchar los ecos de una intención que al parecer también subyace en su aseveración de la existencia del espacio absoluto como ente autónomo: en él ve la presencia de Dios en el mundo, sin “materializarlo” pero sí dándole un sitio en la interacción del

110Edward Slowik, “Newton, the Parts of Space, and the Holism of Spatial Ontology”, *HOPOS: The Journal of the International Society for the History of Philosophy of Science* 1, núm. 2 (septiembre de 2011): 249–72, <https://doi.org/10.1086/660923>.

111J. E. McGuire, “Newton on Place, Time, and God: An Unpublished Source”, *The British Journal for the History of Science* 11, núm. 02 (julio de 1978): 114, <https://doi.org/10.1017/S000708740001654X>. 5.

mundo físico. Ideas también señaladas —con variados matices— por los autores mencionados en el párrafo precedente.

Hasta el final de esta recopilación de textos que comentan a Newton he querido dejar a Stephen Toulmin, pues abarca buena parte de los rasgos que señalé al inicio del capítulo como críticas comunes a varios autores.

Este pensador inglés-norteamericano hace un interesante estudio que inicia con una llamada de atención al riesgo de las críticas anacrónicas en la historia: juzgar los hechos del pasado desde las categorías del presente, lo cual puede dar lugar a conclusiones inadecuadas. Así, por ejemplo, afirma que Mach hace una crítica de Newton fuera de tiempo en lo referente al espacio absoluto.

Pero lo que resulta de interés para este estudio es su afirmación sobre la influencia de autores antecedentes en el concepto de espacio absoluto de Newton.

M. Alexandre Koyré ... ha llegado más lejos de lo que sus antecesores pensaron. Para Henry More y Joseph Raphson parecía que el Espacio debía ser un aspecto de la Deidad, concretamente, Su inmensidad; tanto Dios como Espacio eran (afirmaban ellos) infinitos, eternos, incorpóreos e inmutables, y no podría suponerse que el Universo albergara dos entidades separadas, independientes, poseedoras de estas características en común. More era contemporáneo de Newton en Cambridge; Raphson un matemático joven y discípulo. Las enseñanzas de Newton sobre el espacio absoluto ya estaban siendo etiquetadas de “metafísicas” por Mach al final del siglo XIX. Koyré, por tanto, concluye que el Espacio de Newton y de More son idénticos, por lo que al presentar su noción de “duración y espacio absolutos, verdadero, matemático” Newton argumentaba más de los

mismos conceptos sobre los que Henry More peleó su larga e insistente batalla contra Descartes.¹¹²

Esto, nuevamente, lleva a intuir algunas de las posturas sobre el objetivo que pudo inclinar a Newton a la defensa del espacio absoluto: una intención de fidelidad teológica que se convirtió —o confluyó— en una premisa de su teoría mecánica.

Toulmin recoge una cita de G. Joos claridosa e interesante. Por un lado, el espacio y el tiempo absoluto son claramente ficciones innecesarias, pero por otro lado “el hecho de que Newton fuera capaz de formular una fundamentación para la mecánica de cuerpos macroscópicos profundamente adecuada mediante la introducción de estos dos conceptos, cuyas complicaciones difícilmente podrían haber pasado inadvertidas, debe ser considerado como una sobresaliente muestra de genialidad”.¹¹³

Toulmin precisa que el Escolio viene después de las definiciones y antes de los axiomas, y su objetivo es ayudar a la comprensión de algunos términos que serán necesarios en el desarrollo de los *Principia*. Es importante este comentario, pues el Escolio —y, por tanto, el experimento del cubo de agua— *no* está en las definiciones, y *no* está tampoco en los axiomas o leyes del movimiento. Más aun, en el texto Newton usa unos términos condicionales que, como dice Toulmin, parece que manifiestan la incomodidad que el mismo autor tiene con las descripciones que está haciendo. Presento el texto en el original (la cursiva es mía): “Moveantur hae de locis suis, & movebuntur (*ut ita dicam*) de seipsis. Nam tempora & spatia sunt sui ipsorum & rerum omnium *quasi* loca.”¹¹⁴

112Toulmin, “Criticism on History of Science I”. 6.

113Georg Joos, *Theoretical Physics*, 3a ed. (New York: Dover Publications, Inc., 1954), <https://cds.cern.ch/record/480242>.

114Newton, *Principia*. 8

Ambas formas de decir aquí señaladas hablan de una no-literalidad de lo que está diciendo: la primera, que Ian Bruce traduce como “as thus I may say” y Toulmin como “if the expression may be allowed”, que en castellano actual podríamos sustituir por “si se me permite la expresión” o algo parecido; la segunda porción es traducida por Bruce como “[this] kind” y Toulmin como “as it were”, y puede ponerse en castellano usando un simple “como”; es decir, estas frases pueden quedar del siguiente modo, usando la traducción de Rada: “Si éstas se movieran de sus lugares, se moverían (por así decirlo) de sí mismas. Pues el tiempo y el espacio son los cuasilugares de sí mismos y de todas las cosas.”, lo cual parece bastante acertado.

Esta disquisición literal me parece relevante pues pone de manifiesto —como señala Toulmin— que quizá no es intención de Newton fijar una definición o argumentar la existencia del espacio absoluto, sino que establece una analogía para poder manejar bien su mecánica, y al usar el experimento del cubo de agua (que viene pocos párrafos más adelante) está ilustrando el concepto del espacio como referencia para distinguirlo del movimiento relativo cartesiano.

Finalmente, me parece de interés un comentario de Toulmin:

Si tenemos a la vista los problemas dinámicos que Newton estaba acometiendo en los *Principia*, y la manera novedosa, axiomática, en que lanzó su teoría, difícilmente se necesitará dar a sus ideas sobre el espacio y el tiempo absolutos una interpretación teológica o metafísica; y ciertamente nada en el escolio sobre el tema lo compromete con la recóndita creencia de que el Espacio es un Espíritu o Substancia de carácter inmaterial y posiblemente Divino.¹¹⁵

115Toulmin, “Criticism on History of Science II”. 214.

Coincido con esta apreciación de Toulmin, sin embargo mientras que difícilmente se trata de una interpretación directa al estilo de “el espacio es divino para Newton”, a la vista de lo que dice en *De gravitatione* y sobre todo en el Escolio General de los *Principia*, veo mucho más probable que Newton simplemente estuviera en duda —no es su campo, a pesar de ser creyente piadoso y profundo— de lograr definir atributos de la esencia divina y su presencia en el mundo material. Me parece que trata de salvar el dilema y da elementos pero, como dice Toulmin, no se compromete con una afirmación del tipo antes mencionado.

En esta limitada recopilación quedan cubiertas las fuentes que hasta ahora he podido consultar y que he considerado relevantes. He procurado mantener la temática exclusivamente sobre el experimento del cubo de agua y sobre el espacio absoluto en donde resulta relevante. En la literatura examinada, como puede verse, no he encontrado demasiadas críticas acerca del valor del experimento, pero sí variadas opiniones sobre la intención de Newton al incluirlo.

Al inicio de este capítulo mencioné que las posturas aquí recopiladas de cada uno de estos comentaristas no agotan su pensamiento, pues cada uno va construyendo su argumentación con bases similares pero tomando rumbos diversos, enfatizando aspectos de su interés que pueden diferir de los de otros. Por eso, para cerrar este capítulo, considero ilustrativo recoger de modo esquemático una síntesis de las ideas y posturas desarrolladas por cada autor según he citado arriba.

	Necesidad del concepto de espacio absoluto	Existencia sustantiva del espacio absoluto	Intención del experimento del cubo de agua	Motivación teológica
Beichler	Concepto necesario	Exista o no, su éxito para demostrar es innegable		Independiente de Dios, pero le da un lugar en el mundo material
Einstein	Concepto necesario	Es un invento		
Hugget (DiSalle)	Concepto necesario	No existe	Ilustración de características del espacio absoluto	
Hugget y Hoefler	Concepto necesario y útil	Pragmatismo: no poder demostrar su existencia no niega su utilidad	No es demostración, es ilustración; busca responder a Descartes	
Reichenbach		No existe		
Adewole		No existe, concepto matemático y abstracto		
Laymon			No es demostración, es respuesta a Descartes	
Nerlich	No lo define			
Slowik				Es lugar o modo de la presencia de Dios en el mundo material
Rynasiewicz		No perceptible, pero utilizable	No es demostración, es respuesta a Descartes	
Toulmin	No lo define, lo usa		Ni definición ni axioma	Influido por More y Raphson: un lugar para Dios

Como señalé en las primeras líneas de este capítulo y a pesar de haber limitado la recopilación de ideas para cada autor a las que ofrecían aporte al objetivo de este escrito, no parece factible encuadrar a cada autor en una sola postura. De hecho, el apartado en que he situado a unos y otros es discutible puesto que un mismo autor toca varios puntos de interés: el acomodo que he procurado es tal que ofrezca una agrupación lógica sin excesiva repetición de las ideas, pero resulta evidente que en la exposición de pensamiento para cada comentador aparecen ideas que podían estar presentes en otros apartados, o incluso en todos ellos.

Este itinerario nos ha llevado por un somero estudio acerca de la herramienta del experimento y su utilidad en el avance del conocimiento, pasando por los textos relevantes de Newton en torno al experimento del cubo de agua, cerrando con los comentarios de autores modernos. Con esa base, y sin dejar fuera mi personal posición respecto a estas argumentaciones, me parece viable ofrecer algunas conclusiones y comentarios finales para cerrar esta investigación.

Conclusiones

La física de Newton ha sido monumentalmente exitosa. Su aportación puede colocarse a la altura de los cuatro o cinco intelectos más relevantes en la historia de la humanidad en el ámbito de las ciencias naturales: sus tres leyes del movimiento no solo abrieron paso a una capacidad muy grande de resolución de problemas y son la base para la ulterior industrialización del mundo, sino que también ofrecen un soporte adicional al concepto de la inteligibilidad de la naturaleza que, poco a poco y con arduos empeños de grandes pensadores, va revelando su funcionamiento: la naturaleza —dicen numerosos divulgadores actuales¹¹⁶— guarda celosamente sus secretos y no los entrega voluntariamente.

El resultado tan favorable de sus desarrollos no significan que *todo* lo que dice es verdadero en un sentido absoluto. El conocimiento humano es progresivo y el mecanismo académico justamente va construyendo, pieza a pieza, el edificio que pretende dar razón del mundo y el hombre. Pueden, por ejemplo, citarse dos ejemplos —uno clásico y otro reciente, uno construido sobre premisa equivocada y otro sobre premisa posiblemente inexistente— en donde la limitación del fundamento no ha supuesto óbice para el avance del conocimiento y de la resolución de problemas: el sistema geocéntrico ptolemáico fue la herramienta astronómica básica durante casi trece siglos, a pesar del punto de partida erróneo; y el moderno concepto de la materia oscura, esencial en la explicación de los movimientos del cosmos a gran escala, medido con altos niveles de precisión, todavía hoy no ha revelado su verdadera naturaleza: no sabemos qué es, solo vemos sus efectos.

116Menciono tres, sus referencias serían interminables por tratarse de una idea repetidamente utilizada: Neil deGrasse Tyson, Director del Planetario Hayden en el Museo de Historia Natural de Nueva York; Paul M. Sutter, Investigador en Stony Brook University; y Fraser Cain, periodista y Editor de *Universe Today*.

Del mismo modo, para su mecánica, Newton tenía necesidad de un entramado real, inmutable, inmóvil, que pudiera ser la referencia del movimiento. Si Newton perdiera la capacidad de hacer referencia, en el movimiento de los cuerpos, a un mapa que no variara, el movimiento pierde sentido y con ello se derrumba su mecánica. Newton necesita ese espacio absoluto, no le sirve el espacio cartesiano relacionalista. Esta es, en mi opinión, la primera conclusión que vale obtener de este estudio: Newton no podía prescindir de un concepto como el de espacio absoluto puesto que su mecánica se apoyaba en él. Y su mecánica funcionaba.

La mejor solución, pues, que Newton pudo encontrar fue el concepto de espacio absoluto inmóvil. ¿Está Newton convencido de este artificio? ¿sabe qué es? ¿conoce a detalle sus cualidades? ¿cree en su existencia sustantiva? Parece que la respuesta a todas estas preguntas ha de ser negativa. Ya ha quedado de manifiesto que Newton no intenta definir espacio absoluto (ni siquiera el mismo espacio, en general), no pretende demostrar su existencia, desconoce su esencia. Sin embargo sabe que debe haber *algo* que, siendo real (no necesariamente empírico), constituya lo que en sus leyes del movimiento se manifiesta como espacio absoluto. No alcanza a ver qué puede ser eso, no tiene una mejor propuesta para la naturaleza de ese *algo*, pero el uso del concepto y la comprensión de su comportamiento, desde la vista reducida de su mecánica, es válido.

En la evasiva de Newton para definir el espacio, esgrime un argumento de experiencia que quizá no resulte del todo legítimo. En mi opinión manifiesta, por un lado, el motivo de su reticencia a probar una definición y su ignorancia respecto a su naturaleza; y por otro la irrelevancia de ello de cara al uso que hará de ese concepto como fundamento de su mecánica.

Son suficientes los textos y referencias en los que Newton hace ver su postura teológica. A pesar de que no he abarcado sus numerosos escritos teológicos y queda claro a cualquier lector que, para el inglés, la existencia,

presencia y acción de Dios en el mundo material no es algo lejano o irrelevante. Posiblemente su comprensión carece de un fundamento suficiente que le permita encontrar el *modo* como Dios está en el mundo, pero no duda de ello. La postura de Newton no es deísta, sino que para él Dios juega un papel constante en la creación material y al carecer de elementos para una mejor comprensión, va buscando el modo de encontrar compatibilidad con las herramientas a su alcance.

Considero que la sustantivación —sin demasiada convicción y con aires de ambivalencia— que Newton pueda hacer del espacio absoluto obedece principalmente a su deseo de dotar a Dios de un “lugar” para estar y actuar en el mundo; complementariamente, eliminar la independencia del espacio absoluto podría provocarle el problema de desligar a Dios del mundo, cayendo en una postura que quizá consideraría deísta, apartada de su firme creencia religiosa. Newton ve en el espacio absoluto una posibilidad de la presencia de Dios en el mundo material (en otros textos le llama “el sensorio divino”¹¹⁷, según también comenta Connolly¹¹⁸) o cuando menos su creencia firme en la omnipresencia e inmutabilidad divinas lo llevan a buscar compatibilidad con sus desarrollos y en el espacio absoluto se encuentran reflejos no concluyentes de este anhelo.

En cuanto al creativo experimento del cubo de agua, lo primero que quisiera afirmar es que resulta inviable categorizarlo sin más como un experimento mental, por la simple razón de que él mismo afirma haberlo hecho. A la luz de la clasificación que presento en la parte 4 del Capítulo I, cubre las cualidades de experimento mental en el sentido de que resulta una ilustración cualitativa de los resultados y no pretende una medición cuantitativa precisa; está imbuido de un reduccionismo que facilita la

117Isaac Newton, *Opticks: Or, A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections and Colours of Light*, 4a ed. (Londres: William Innys at the West-End of St. Paul's, 1730), <http://sirisaacnewton.info/writings/opticks-by-sir-isaac-newton/>.

118Patrick J. Connolly, “Newton and God’s Sensorium”, *Intellectual History Review* 24, núm. 2 (el 3 de abril de 2014): 185 a 201, <https://doi.org/10.1080/17496977.2014.914644>.

comprensión de lo que se quiere mostrar; y —aunque Newton lo afirme— no consta que lo haya hecho empíricamente pero, más importante, *no es relevante* que así sucediera puesto que la ilustración es tan precisa y gráfica que resulta innecesaria su factura en el mundo físico.

Llena, sin embargo, algunas cualidades de un experimento ordinario pues determina el aparato, las condiciones iniciales, el desarrollo, el resultado esperado, y la comprobación de ese resultado. Resulta tecnológicamente factible hacerlo y su resultado —a pesar de la reducción de parámetros— hubiera sido útil para una cierta demostración. Pero nuevamente no consta que lo hiciera, ni se trata de un hecho relevante.

La reflexión acerca de la naturaleza de este experimento en particular incita a considerar un aspecto de este experimento que no está del todo definido, ¿qué pretende? A la luz de los comentarios aquí presentados, podría decir que el objetivo principal es la respuesta e invalidación de la tesis cartesiana sobre el movimiento relativo, sin embargo —al menos en el Escolio de sus *Principia*— parece guardar una buena dosis de “corrección política” y no rebate de modo patente a Descartes. Es, quizá, esta indefinición y la posición en donde se encuentra el Escolio dentro de los *Principia*, la que ha provocado como lógica conclusión que el experimento del cubo de agua tiene como objetivo la *demonstración* de la existencia del espacio absoluto como algo sustantivo. En mi opinión, esa conclusión es errónea: el objetivo es rebatir a Descartes ilustrando con un ejemplo que deja fuera de duda la invalidez de la tesis cartesiana del movimiento. En este sentido, si se identifica este como el objetivo del experimento del cubo de agua, su conclusión resulta plenamente satisfactoria.

En cambio, Newton parece utilizar este experimento como ilustración del entramado fijo, el espacio absoluto, que su teoría mecánica requiere. No existe, pero lo necesita. Es algo que no comprende, pero valora inequívocamente su utilidad.

Como corolario a la afirmación precedente, también puedo señalar que si el objetivo de Newton al presentar el experimento del cubo de agua hubiera sido *demostrar* la existencia sustantiva —no solo ilustrar sus cualidades— del espacio absoluto, entonces el experimento fracasó estrepitosamente. Sin embargo, considero que no es esto lo que busca.

Solo una palabra respecto a la validez de un experimento mental dentro de las ciencias naturales. En la época de Newton podría haberse cuestionado el recurso a este medio (específicamente, en el ejemplo de las dos esferas), pero hoy día, a la vista de los resultados que estos experimentos —de modo eminente los de Einstein— han ofrecido a la ciencia, pareciera factible afirmar su valor. ¿Todo experimento mental es válido y enriquecedor? Evidentemente no y lo mismo puede decirse de todo experimento, sea o no mental. Solo un buen diseño, que parte de un razonamiento claro, orientado y fuerte, puede producir un experimento que dé esperanzas de conocimiento verdadero y cierto. Esta afirmación, en mi opinión, vale para todo experimento físico y para cualquiera de las tres categorías de experimento mental que presenté anteriormente.

Finalmente, considero que como ilustración pedagógica, el experimento del cubo de agua ha sido de gran valor puesto que ha provocado inquietudes intelectuales a lo largo de tres siglos. La potencia creativa de Sir Isaac Newton no se limitó —ni lejanamente— *solamente* a desentrañar el funcionamiento del movimiento de los cuerpos, sino que además marcó pautas para las rutas que el pensamiento puede seguir en la consecución de nuevos conocimientos.

Newton necesita del espacio absoluto. No necesita que exista, solo que —sea lo que sea la verdad al respecto— se comporte de una determinada manera que él ha llegado a comprender bien y a construir exitosamente sobre esa comprensión. Pero no solo eso: también necesita ese algo que

—en afortunada expresión de Hawking, al concluir su libro de “Breve historia del tiempo”¹¹⁹— inspire fuego a sus fórmulas y haga un universo para ser descrito por ellas. Hawking no era creyente, Newton era profundamente piadoso, así que la afirmación de Hawking (quien se sentaba en la misma cátedra que ostentó Newton) esboza un conato de respuesta a la oferta de Newton, que a la par de intentar encontrar las fórmulas que describen el universo, también pretende descubrir a Aquel que les inspira fuego y crea un universo para ser descrito por ellas.

En este itinerario he podido constatar, para mi sorpresa, cómo las aportaciones de Newton, que toda mi vida han sido incuestionables, encuentran una gran variedad de críticas positivas y negativas, justas y anacrónicas, ácidas y amables. Una mente tan brillante como la de Sir Isaac Newton es difícilmente repetible y, por lo mismo, la comprensión tanto de lo que dejó expresamente plasmado en sus escritos como de lo que dejó implícito, o de las ideas subyacentes en cada frase y afirmación, seguirán siendo invitación al estudio y reflexión para las generaciones futuras así como lo han sido para los pensadores pretéritos.

Por eso, y después de ver los extremos de esas críticas y el contenido de sus palabras, quiero concluir con una cita de uno de los pocos hombres que puede ponerse —al menos en algunos aspectos— a la misma altura de nuestro inglés y que, como ya hice notar antes, es el más suave y comprensivo en sus comentarios.

Einstein, en cita que ofrece Power¹²⁰, dice:

Newton, perdóname; encontraste el único camino que, en tu época, era apenas posible para un hombre del más alto pensamiento y poder

119Stephen Hawking, *A Brief History of Time*, 10th Anniversary edition (New York: Bantam, 1998).

120J. E. Power, “Henry More and Isaac Newton on Absolute Space”, *Journal of the History of Ideas* 31, núm. 2 (1970): 289 a 296, <https://doi.org/10.2307/2708552>. 296.

creativo. Los conceptos que tú creaste, todavía hoy guían nuestro pensamiento en la física, aunque ahora sabemos que tendrán que ser remplazados por otros más alejados de la esfera de la experiencia inmediata, si nos dirigimos a una comprensión más profunda de las relaciones.¹²¹

121 Albert Einstein, *Philosopher-Scientist*, vol. I, 31–33 (New York: P. A. Schilpp, 1959).

Bibliografía

- Adeyemi, A. I. A. "Newton on Absolute Space". *ArXiv:Physics*, el 20 de octubre de 2001, 18.
- Arquímedes de Siracusa. *El contador de Arena*. 2a ed. Salamandra. Consultado el 22 de noviembre de 2020.
<http://librosmaravillosos.com/elcontadordearena/index.html>.
- Beichler, James E. "Evolution of the Concept of Absolute Space". *Academia.Edu*, el 1 de mayo de 1982.
https://www.academia.edu/9459058/Evolution_of_the_Concept_of_Absolute_Space.
- Boyle, Robert. *The Works of the Honourable Robert Boyle in Six Volumes*. London: J. and F. Rivington, 1772.
- Brown, James Robert. "Thought Experiments Since the Scientific Revolution". *International Studies in the Philosophy of Science* 1, núm. 1 (septiembre de 1986): 1 a 15.
<https://doi.org/10.1080/02698598608573279>.
- Charleton, Walter. *Physiologia Epicuro-Gassendo-Charltoniana, or, A Fabrick of Science Natural, upon the Hypothesis of Atoms Founded by Epicurus Repaired [by] Petrus Gassendus; Augmented [by] Walter Charleton ...*, 1654. <https://quod.lib.umich.edu/e/eebo/A32712.0001.001?view=toc>.
- Connolly, Patrick J. "Newton and God's Sensorium". *Intellectual History Review* 24, núm. 2 (el 3 de abril de 2014): 185 a 201.
<https://doi.org/10.1080/17496977.2014.914644>.
- Contín Aylón, Guillermo C. "La Paradoja del Gato de Schrödinger y los Problemas de Interpretación de la Mecánica Cuántica". Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2012.
<http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:masterFilosofiaLogica-Gccontin/Documento.pdf>.
- Descartes, René. *Oeuvres de Descartes*. Editado por Charles Adam y Paul Tannery. 1a ed. Vol. VIII. Paris: Léopold Cerf, 1905.
<http://philosophyfaculty.ucsd.edu/faculty/ctolley/texts/descartes.html>

- — —. *Principles of Natural Philosophy*. Editado por Cambridge University Press. Traducido por John Cottingham, 1644.
<http://www.earlymoderntexts.com/authors/descartes>.
- DiSalle, Robert. “Newton’s Philosophical Analysis of Space and Time”. En *The Cambridge Companion to Newton*, editado por I. Bernard Cohen y George E. Smith, 33–56. Cambridge University Press, 2002.
- — —. “On Dynamics, Indiscernibility, and Spacetime Ontology”. *The British Journal for the Philosophy of Science* 45, núm. 1 (1994): 265–87.
- Duhem, Pierre Maurice Marie. *The Aim and Structure of Physical Theory*. Princeton University Press, 1954.
<https://press.princeton.edu/books/paperback/9780691025247/the-aim-and-structure-of-physical-theory>.
- Eddington, Arthur Stanley. *The Mathematical Theory of Relativity*. Cambridge, [Eng.]: The University press, 1923.
<http://archive.org/details/mathematicaltheo00eddiuoft>.
- Einstein, Albert. *Ideas and Opinions: Based on Mein Weltbild*. Editado por Carl Seelig. Traducido por Sonya Bargmann. 5a ed. New York: Crown Publishers, 1954.
http://books.google.nl/books/about/Ideas_and_Opinions.html?id=j7wEAAAAYAAJ&pgis=1.
- — —. *Philosopher-Scientist*. Vol. I, 31–33. New York: P. A. Schilpp, 1959.
- Encyclopedia Britannica, Editors. “Henry More | British Poet and Philosopher”. En *Encyclopedia Britannica*. Consultado el 22 de noviembre de 2020. <https://www.britannica.com/biography/Henry-More>.
- — —. “Michelson-Morley Experiment”. En *Encyclopedia Britannica*, 2015.
<https://www.britannica.com/science/Michelson-Morley-experiment>.
- Franklin, Allan. *What Makes a Good Experiment?: Reasons and Roles in Science*. University of Pittsburgh Press, 1905.
<https://muse.jhu.edu/book/45786>.
- Galilei, Galileo. “De Motu”, 1687.
<https://echo.mpiwg-berlin.mpg.de/ECHODocuView?url=/permanent/>

library/61DNE4D2/index.meta.

Greene, Brian. *The Fabric of the Cosmos: Space, Time, and the Texture of Reality*. 1a ed. New York: A.A. Knopf, 2004.

Hawking, Stephen. *A Brief History of Time*. 10th Anniversary edition. New York: Bantam, 1998.

Huggett, Nick. "Why the Parts of Absolute Space Are Immobile". *The British Journal for the Philosophy of Science* 59, núm. 3 (2008): 391 a 407.

Huggett, Nick, y Carl Hoefer. "Absolute and Relational Theories of Space and Motion". En *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, editado por Edward N. Zalta, 2016.

<http://plato.stanford.edu/archives/win2016/entries/spacetime-theories/>.

Isaacson, Walter. *Einstein: His Life and Universe*. 1st edition. New York: Simon & Schuster, 2007.

Jammer, Max. *Concepts of Space*. 1a ed. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1954. <http://archive.org/details/ConceptsOfSpace>.

Joos, Georg. *Theoretical Physics*. 3a ed. New York: Dover Publications, Inc., 1954. <https://cds.cern.ch/record/480242>.

Koyré, Alexandre. *From the Closed World to the Infinite Universe Index*. Editado por John Bruno Hare. Baltimore: The Johns Hopkins Press, 1957. <https://www.sacred-texts.com/astro/cwiu/index.htm>.

Lacey, Hugh M. "The Scientific Intelligibility of Absolute Space: A Study of Newtonian Argument". *The British Journal for the Philosophy of Science* 21, núm. 4 (1970): 317 a 342.

Laymon, Ronald. "Newton's Bucket Experiment". *Journal of the History of Philosophy* 16, núm. 4 (1978): 399 a 413. <https://doi.org/10.1353/hph.2008.0681>.

McGuire, J. E. "Newton on Place, Time, and God: An Unpublished Source". *The British Journal for the History of Science* 11, núm. 02 (julio de 1978): 114. <https://doi.org/10.1017/S000708740001654X>.

Nagel, Ernest. *The Structure of Science: Problems in the Logic of Scientific Explanation*. New York: Harcourt, Brace and World, 1961.

- Nerlich, Graham. "Can Parts of Space Move? On Paragraph Six of Newton's Scholium". *Erkenntnis* 62, núm. 1 (enero de 2005): 119 a 135. <https://doi.org/10.1007/s10670-004-8709-4>.
- Newton, Isaac. *De Gravitatione et æquipondio fluidorum* (inglés). Traducido por W.B. Allen, 1684. <http://www.newtonproject.ox.ac.uk/catalogue/record/THEM00093>.
- — —. "Mathematical Principles of Natural Philosophy". En *The Mathematical Principles of Natural Philosophy*, traducido por Ian Bruce, 3a ed., 35 a 75. Bruce, Ian, 1687.
- — —. *Opticks: Or, A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections and Colours of Light*. 4a ed. Londres: William Innys at the West-End of St. Paul's, 1730. <http://sirisaacnewton.info/writings/opticks-by-sir-isaac-newton/>.
- — —. *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*. Editado por William Thomson y Hugh Glasgow. 3ª. Londres: Guil. & Joh. Innys, Regiæ Societatis Typographos, 1726.
- — —. *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural*. Traducido por Eloy Rada. 3ª., 1687. https://www.academia.edu/30085118/Principios_Matematicos_de_la_Filosofia_Natural_-_Isaac_Newton.pdf.
- Norton, John D. "On Thought Experiments: Is There More to the Argument?" *Philosophy of Science* 71, núm. 5 (diciembre de 2004): 1139–51. <https://doi.org/10.1086/425238>.
- Perovic, Slobodan, y Allan Franklin. "Experiments in Physics". Editado por Edward N. Zalta. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, el 27 de febrero de 2015. <https://plato.stanford.edu/entries/physics-experiment/>.
- Power, J. E. "Henry More and Isaac Newton on Absolute Space". *Journal of the History of Ideas* 31, núm. 2 (1970): 289 a 296. <https://doi.org/10.2307/2708552>.
- Ptolemaeus, Claudius. *Almagest*. Alejandría, 150d. C. <https://bertie.ccsu.edu/naturesci/Cosmology/Ptolemy.html>.

- Reichenbach, Hans. "La Teoría del Movimiento según Newton, Leibniz y Huygens". En *Kant-Studien*, 29:63–86. Publicado en *Moderna Filosofía de la Ciencia 2*. Walter de Gruyter, 1924.
- Ruiz Gómez, Leonardo. *El Concepto Leibniziano de Espacio. La Polémica con Clarke y el Newtonianismo*. 1a ed. Pamplona: EUNSA, 2014.
<http://www.eunsa.es/tienda/filosofica/1799-concepto-leibniziano-de-espacio-el.html>.
- Rynasiewicz, Robert. "Newton's Views on Space, Time, and Motion". En *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, editado por Edward N. Zalta, 2014. <http://plato.stanford.edu/archives/sum2014/entries/newton-stm/>.
- Schrödinger, Erwin. "Die Gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik". *Die Naturwissenschaften* 23, núm. 48 (noviembre de 1935): 807 a 812. <https://doi.org/10.1007/BF01491891>.
- Slowik, Edward. "Newton, the Parts of Space, and the Holism of Spatial Ontology". *HOPOS: The Journal of the International Society for the History of Philosophy of Science* 1, núm. 2 (septiembre de 2011): 249–72. <https://doi.org/10.1086/660923>.
- Toulmin, Stephen. "Criticism in the History of Science: Newton on Absolute Space, Time, and Motion, I". *The Philosophical Review* 68, núm. 1 (1959): 1 a 29.
- — —. "Criticism in the History of Science: Newton on Absolute Space, Time, and Motion, II". *The Philosophical Review* 68, núm. 2 (1959): 203 a 227.