



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

Presupuestos platónicos en la física galileana
TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

Físico

P R E S E N T A:

Patricio Alonso Ávila Cárdenas

DIRECTOR DE TESIS:

M. en C. José Rafael Martínez Enríquez



Ciudad Universitaria, Ciudad de México, 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

1. Datos del alumno

Ávila
Cárdenas
Patricio
Alonso
55 16 89 95 02
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Física
310006417

2. Datos del tutor

M. en C.
José Rafael
Martínez
Enríquez

3. Datos del sinodal 1

Dr.
Eugenio
Ley
Koo

4. Datos del sinodal 2

Dr.
José Ernesto
Marquina
Fábrega

5. Datos del sinodal 3

Dra.
Gisela Tamhara
Mateos
González

6. Datos del sinodal 4

M. en H. A.
Carlos Iván
Lingan
Pérez

7. Datos del trabajo escrito

Presupuestos platónicos en la física galileana
86 pp.
2018

*A mi novia Fernanda, amor de mi vida,
pues sin su invaluable apoyo y amor ya
hubiera perecido hace mucho.*

*A mi mamá, cuyos valiosos consejos han
mantenido mi cordura.*

*A mi abuelo, quien siempre estuvo conmigo
hasta el final.*

Contenido

Introducción.....	2
Capítulo 1: El platonismo renacentista y Galileo en su contexto intelectual	8
1.1 El platonismo en el Renacimiento	8
1.2 Galileo y Mazzoni.....	15
1.3 Menciones literales a Platón en el corpus galileano	16
Conclusiones del capítulo.....	18
Capítulo 2: El pensamiento platónico	19
2.1 El mundo de las formas.....	19
2.2 La teoría de la reminiscencia o <i>anamnesis</i>	25
2.3 El <i>Timeo</i> y el mundo como proporción.....	28
2.4 Entes mediales en el <i>Timeo</i>	34
Conclusiones del capítulo.....	40
Capítulo 3: El mundo físico de Galileo.....	42
3.1 La inmutabilidad de las causas del movimiento.....	43
3.2 Conocimiento intensivo, extensivo y la <i>anamnesis</i>	53
3.3 El lenguaje del libro de la naturaleza.....	56
3.4 Entidades mediales y las cualidades primarias y secundarias.....	59
Conclusiones del capítulo.....	65
Capítulo 4: La informatividad en la filosofía de Zev Bechler.....	67
4.1 Aristóteles y Newton.....	68
4.2 Informatividad.....	69
4.3 Racionalidad e informatividad.....	72
4.4 La aparente racionalidad del discurso informativo de Platón y su física.....	73
4.5 Galileo y la informatividad.....	75
Conclusiones de capítulo.....	77
Conclusiones.....	79
Bibliografía.....	84

Introducción

En la presente tesis me propongo a evidenciar las presuposiciones metafísicas y epistemológicas que tienen en común Platón y Galileo, enmarcando históricamente a este último en el renacimiento italiano y teniendo como antecedente el resurgimiento del estudio de las obras platónicas que se dio en el siglo XV en Italia.

La cuestión del platonismo galileano se ha planteado desde varios puntos de vista. El más reconocido es aquel propuesto por el historiador francés Alexandre Koyré en su texto *Études galiléennes* (1939) y, particularmente, en *Galileo and Plato* (1943). Además de él, han habido otros que han defendido la tesis sobre la influencia platónica en Galileo, como Edwin Arthur Burtt, en sus *The Metaphysical Foundations of Modern Physical Science* (1925) o Alistair Cameron Crombie, en su *Science, Art and Nature In Medieval and Modern Thought* (1990).

No obstante, en los últimos tiempos, parece que la cuestión de la influencia platónica en Galileo, a la que se suma la búsqueda de los cimientos filosóficos de la revolución copernicana, ha ido perdiendo el interés de los historiadores y filósofos de la ciencia, desviándose la atención hacia otros enfoques y problemáticas. Por ejemplo, Gary Hatfield (1990) asegura que los que vieron en la revolución copernicana influencias platónicas clasifican a Copérnico y a Galileo como metafísicos y no como lo que fueron “en realidad”: un astrónomo matemático y un filósofo natural matemático. Más aún, Hatfield llega a afirmar que:

La contribución filosófica de Galileo al nacimiento de la nueva ciencia fue mostrar cómo se puede buscar establecer la idoneidad de un tipo de enfoque para la ciencia natural por encima de sus competidores sin tener que establecer primero un marco metafísico que lo fundamente. (Hatfield, 1990, p. 118)

Para rebatir este argumento, hay que tener en cuenta que, como afirma el filósofo italiano Mario De Caro (2017), Galileo no fue el primer científico que no hizo explícita una base metafísica para la construcción de su física. Personajes como Copérnico, Arquímedes o Ptolomeo tampoco establecieron una ontología para fundamentar sus discursos sobre la naturaleza. En segundo lugar, el hecho de que no hayan estipulado clara y directamente estos cimientos filosóficos no implica que su pensamiento no respondiera a presuposiciones ontológicas y epistemológicas de fondo que hayan definido el sendero por el cual podían construir sus discursos. En palabras de De Caro:

Algún tipo de metafísica subyacente, en efecto, está siempre presente en la mente de todos los científicos, e influye crucialmente en su forma de hacer ciencia, pues ayuda a determinar el enfoque, propósito, método y los valores epistémicos de referencia para sus investigaciones. Así –para dar un ejemplo no muy distante en el tiempo– la continua adherencia a una metafísica realista llevó a Einstein a conclusiones muy distintas en la evaluación de la mecánica cuántica si las comparamos con las de un inflexible positivista como lo era Niels Bohr. (De Caro, 2017, p. 88)

Aceptando esto, cobra relevancia analizar las presuposiciones filosóficas que enmarcaron y posibilitaron la construcción de los discursos científicos. Más aún, es en las épocas de crisis de los paradigmas científicos cuando los presupuestos vuelven a cobrar relevancia, pues los mayores giros en la ciencia ocurren cuando estos fundamentos se ponen a discusión.

Establecida la plausibilidad de preguntarnos por los cimientos filosóficos de los discursos científicos, aún queda otro asunto por resolver: ¿tiene sentido preguntarnos por la influencia platónica en Galileo? Al respecto, el filósofo Peter Machamer, editor del *The Cambridge Companion to Galileo* (1998), afirma que esta pregunta es obsoleta:

¿Qué se puede aprender de la complejidad histórica del debate Platón-Aristóteles? Básicamente esto: las categorías del debate de los historiadores no eran las categorías de los actores. Eran categorías estructurales anacrónicas usadas por historiadores, en el intento de otorgar un poco de orden a la complejidad. (Machamer, 1998, p. 56)

En efecto, para los siglos XVI y XVII, tanto la escuela platónica como la peripatética ya habían generado tradiciones muy complejas que iban más allá de lo que estos dos autores escribieron originalmente, resultando, incluso, en múltiples tipos de platonismo y aristotelismo. De aquí que hablar de estos dos términos en general resulte ambiguo y anacrónico. Para evitar ambigüedades en torno al “platonismo”, en este trabajo se entenderá por dicho término lo que se desprende directamente de la obra de Platón y no lo que la tradición construyó posteriormente en torno a ella.

Además, Machamer afirma que los argumentos de Koyré que abogan por el platonismo de Galileo se fundan en una concepción refutada sobre la metodología galileana. Para Koyré, la ciencia de Galileo era fundamentalmente previa a la experiencia, pues, de acuerdo con él, el físico italiano carecía de los medios necesarios para tener una base experimental sólida. De aquí que Machamer piense que el platonismo que defiende Koyré venga de esta falta de vinculación entre teoría y experimento. Pero si se toma en cuenta que historiadores posteriores a Koyré han ofrecido argumentos convincentes a favor de la elaboración de experimentos precisos por parte de Galileo, parece que la argumentación del historiador francés carece de fundamentos. Sin embargo, el platonismo por el que Koyré abogaba no se fundaba en el aspecto metodológico, sino en el hecho

de que Galileo pensaba que la realidad se puede modelar matemáticamente en tanto que es esencialmente matemática. Esta concepción no sólo abarca cuestiones en torno al método, sino que está expresando una forma de concebir el mundo y una manera de generar conocimiento que es coherente con esta ontología de fondo. En ese sentido, sigue cobrando relevancia preguntarnos por las influencias de fondo que actuaron sobre Galileo, y resulta notorio que los fundamentos de esta metafísica puedan rastrearse hasta el corpus platónico.

Ahora bien, no es preciso hacer sólo una asociación entre las ideas de Platón y Galileo, sino que también hay que tener en cuenta el devenir histórico de los textos de Platón y el entorno intelectual de Galileo, de tal forma que se haga patente que de hecho se dio esa influencia. Es decir, si no hay evidencia que apunte a que Galileo tuvo acceso a las obras platónicas, y que en su contexto intelectual no existían personajes que pudieron haberlo acercado a ellas, ya no podríamos hablar de influencia, sino sólo de similitud.

Tomando todo lo anterior en cuenta, la presente tesis puede dividirse en dos partes esenciales: una histórica y otra filosófica. El capítulo I comprende la primera de ellas, mientras que los capítulos II, III y IV constituyen la segunda.

La primera parte del trabajo ofrece evidencia histórica sobre la influencia de los textos de Platón en Galileo y se divide, a su vez, en cuatro secciones. Para comenzar, se hace un rastreo de las obras platónicas ya disponibles durante el Renacimiento, haciendo especial énfasis en el resurgimiento de su estudio en Italia. En la segunda sección, se muestra cómo los diálogos de Platón empiezan a ser conocidos en las universidades italianas. Posteriormente, se revisa la posible influencia que pudo haber tenido el platonista Jacopo Mazzoni en el pensamiento de Galileo. Por último, se hace un recuento de las citas explícitas a Platón en el corpus galileano. Este capítulo se construyó de tal manera que fuera de lo general a lo particular: se parte del devenir histórico de los textos platónicos, luego se habla sobre su resurgimiento en las universidades, posteriormente se investiga la posible influencia que pudieron haber ejercido personas cercanas a Galileo y se concluye con un análisis de las citas explícitas al filósofo griego en la obra del físico italiano.

Para la realización de este capítulo me apoyé fuertemente en artículos del historiador Paul Oskar Kristeller (1961, 1966), en un texto de Alistair Cameron Crombie (1990), en una parte de la correspondencia entre Galileo y Mazzoni contenida en *Defending Copernicus and Galileo* (Finocchiaro, 2010), y en la base de datos del Museo Galileo que contiene la investigación más completa sobre los volúmenes que constituyeron la biblioteca personal de Galileo.

Ahora bien, la parte nuclear de la tesis está constituida por los capítulos II y III. En el primero de ellos, se desarrollan aspectos de la filosofía platónica, mientras que en el segundo se despliegan fragmentos del pensamiento de la ciencia galileana. Ambos se dividen en cuatro subsecciones. En conjunto, éstos trabajan como una función biyectiva, en donde cada subsección del capítulo II tiene su contraparte en el capítulo III, de tal manera que se hacen explícitas las convergencias de ambas formas de pensar. En otras palabras: si, por ejemplo, se analiza un aspecto del pensamiento de Platón en la primera subsección del capítulo II, entonces en la primera subsección del capítulo III se analizará un aspecto del discurso galileano que converge con su contraparte del capítulo anterior. Siguiendo esa lógica, también la segunda subsección del capítulo II se identificará con la segunda parte del capítulo III, y así sucesivamente.

En la parte correspondiente a la obra platónica, el primer apartado explica cómo es la metafísica del mundo de las ideas y cómo es posible el conocimiento del universo sensible a través de las Formas. En segundo lugar, se profundiza en la concepción platónica de la adquisición del conocimiento y se explica la teoría de la reminiscencia. Posteriormente, se lleva a cabo un análisis sobre la construcción del mundo a partir de proporciones matemáticas contenida en el *Timeo*. Y, por último, se muestra cómo Platón reduce las cualidades de los objetos macroscópicos a propiedades geométricas de corpúsculos minúsculos e invisibles, y se ofrece un análisis sobre los entes que fungen como puentes entre el mundo de las ideas y el universo sensible.

En este capítulo se analizaron partes de los siguientes diálogos platónicos: *Menón*, *Fedón*, *República* y *Timeo*, los cuales corresponden a las épocas de transición, madurez y vejez de Platón. Se omitieron diálogos representativos de la época de juventud, ya que sus temáticas son de índole ética y moral. Los textos platónicos fueron tomados de la traducción al español en la colección *Biblioteca clásica* a cargo de la editorial Gredos. Además del corpus platónico, me apoyé en *Newton's Physics and the Conceptual Structure of the Scientific Revolution* (1991) y *Three Copernican Revolutions* (2016), ambas de la autoría del filósofo Zev Bechler. La interpretación del *Timeo* en la que me basé fue la ya clásica de Francis MacDonald Cornford (1935); también me apoyé en el texto *Plato's Natural Philosophy: a Study of the Timaeus-Critias* (2004) de Thomas Kjeller Johansen, y en *Plato's Problem: an Introduction to Mathematical Platonism* (2013) de Marco Panza y Andrea Sereni.

El capítulo correspondiente a la obra galileana se divide, como ya se mencionó, en cuatro contrapartes. Primeramente, se hace un análisis de la noción de la superposición de los

movimientos y de las fuerzas. En segundo lugar, se realiza un examen de la separación que hace Galileo entre extensividad e intensividad del conocimiento, sobre su concepción de Dios en relación con lo anterior, y se ofrece evidencia de cómo el físico italiano se proclama seguidor de la teoría de la reminiscencia platónica. En tercer lugar, se presenta la concepción galileana en la que la naturaleza es esencialmente matemática y cómo esto posibilita discurrir matemáticamente sobre ella. Finalmente, se presenta un análisis sobre la diferencia que hace Galileo entre cualidades primarias y secundarias en *El ensayador* (1623), y sobre la utilización de entes que poseen propiedades completamente geométricas, pero que son, al mismo tiempo, constituyentes de la realidad sensible (como la noción de los átomos puntuales).

En este capítulo, se recurrió a las siguientes obras de Galileo: *De motu antiquiora* (correspondiente a los escritos de juventud de Galileo, posiblemente redactados entre 1589 y 1592, y publicados póstumamente en 1687), *El ensayador* (1623), *Diálogos acerca de los dos máximos sistemas del mundo* (1632) y *Diálogos en torno a dos nuevas ciencias* (1638). Debido a la falta de traducciones de *De motu*, se utilizaron citas provenientes del artículo *Galileo y Avempace* (1951) de Ernest Moody, y, para la parte de *El ensayador* se utilizó la traducción parcial que hace Maurice Finnochiario en *The essential Galileo* (2008). En cuanto a los diálogos, utilicé: los *Dialogues Concerning the Two Chief World Systems -Ptolemaic & Copernican* (1967), traducido al inglés por Stillman Drake; *Dialogues Concerning Two New Sciences* (1914), traducido por Henry Crew y Antonio de Salvio al inglés y otra edición del mismo texto traducido al español por José San Román Villasante (2003). De igual manera, me apoyé en las dos obras de Zev Bechler anteriormente citadas; en el artículo *Galileo and Plato* (1943), y en el libro *Estudios galileanos* (1939) (este último traducido al español por Mariano González Ambou) de Alexandre Koyré; también utilicé una fuente clásica como lo es *The Metaphysical Foundations of Modern Physical Science* de Edwin Arthur Burtt.

Por último, el capítulo IV explica a mayor profundidad la caracterización epistemológica en la cual Zev Bechler inserta a Platón y a Galileo. Se analiza el concepto de *informatividad*, propuesto por este autor y se muestra cómo los trabajos tanto del filósofo griego como del físico florentino se pueden caracterizar por su ideal de generar información adicional al momento de establecer nexos causales entre los sucesos físicos. Para este capítulo me apoyé en las dos obras ya mencionadas de Bechler, así como en *The Sleepwalkers* (1959) de Arthur Koestler para la explicación del funcionamiento de ciertos sistemas astronómicos de la antigüedad.

Más allá de las obras ya mencionadas, se utilizaron textos complementarios para dar sostén a la información que iba poco a poco surgiendo durante la redacción de esta tesis. Éstos pueden ser consultados en las citas que aparecen a lo largo del texto y en la bibliografía.

Capítulo I: El platonismo renacentista y Galileo en su contexto intelectual

En este primer capítulo, me propongo a hacer una revisión histórica sobre la importancia de los textos platónicos durante el Renacimiento, para luego mostrar que éstos llegaron hasta las manos de Galileo. Para ello, se verá que el estudio de Platón, después de la Edad Media –periodo en donde dominó el pensamiento aristotélico–, fue cobrando relevancia en las universidades italianas durante los siglos XV, XVI y XVII. Luego se mostrará que este resurgimiento llegó hasta Galileo, particularmente a través de su amigo Jacopo Mazzoni, quien fue uno de los máximos exponentes del platonismo renacentista. Posteriormente, se mostrarán las menciones literales a Platón dentro de los textos de Galileo.

Esta sección pretende mostrar la influencia que el pensamiento platónico ejercía en Italia durante esos siglos, de tal manera que se haga patente que Galileo de hecho tuvo acceso a los textos de Platón, que los leyó directamente y que incorporó ideas de éstos en su trabajo.

1.1 El platonismo del Renacimiento

La influencia de Platón en la filosofía occidental es incalculable, por lo que tratar de resumirla o al menos ofrecer una “breve” introducción histórica rebasaría los propósitos de este trabajo. Sin embargo, resulta de vital importancia hacer una exposición, centrada en aspectos clave de la ciencia galileana, de la influencia que tuvo el platonismo en el periodo que abarca desde el fin de la Edad Media (es decir, poco antes de que se descubriese América (1492)) hasta el principio de la Edad Moderna (que comienza con el descubrimiento de América y cuyo final puede situarse con la Revolución Francesa (1776)) y que básicamente comprende lo que se denomina Renacimiento¹ (que abarca del siglo XV al XVI), término que, por lo general, está más ligado a los contextos del arte y la literatura.

Como antecedente, se sabe que el estudio de Platón no se anuló completamente en la Edad Media en Europa. Todo lo contrario, si hubo una corriente filosófica que dominó entre los siglos VI y XII de nuestra era fue el platonismo, porque fue vinculado con el cristianismo. Sin embargo, los escritos platónicos que circulaban se limitaban a: dos versiones incompletas del *Timeo*,

¹ Para una revisión más exhaustiva sobre el resurgimiento del platonismo en el Renacimiento véase: Hawkins, James (1990). *Plato in the Italian Renaissance vols. 1 & 2*. New York City: E.J. Brill.

traducidas al latín por Cicerón (106 a.C. - 43 a.C.) y por Calcidio (siglo IV d.C.). Aunque, alrededor del 1280, el traductor de Santo Tomás de Aquino, Guillermo de Moerbeke (1215-1286), tradujo al latín el comentario de Proclo² al *Parménides*. Cabe aclarar que a partir del siglo XII el renacimiento aristotélico irrumpe en los centros de enseñanza europeos, dando paso al resurgimiento del escolasticismo (Kretzmann, 1988).

Sin embargo, la cultura árabe fue la mayor responsable del estudio del filósofo ateniense durante la Edad Media. Aunque no se han podido rastrear las traducciones en árabe de los textos platónicos como tal, se tienen citas textuales provenientes de los diálogos denominados *Leyes*, *Fedón*, *Timeo* y *República* (Gibb, 1960, pp. 235-236). Varios autores árabes nos hacen ver la importancia que tuvo el filósofo durante esta época: Al-Farabi (872-950), a quien se le ha designado como el *Padre del Neoplatonismo islámico*, fue autor de un libro titulado *Filosofía de Platón, sus partes y el orden de estas partes*, en donde ilustra el grado de conocimiento que tenían los musulmanes sobre Platón, pues menciona por su nombre todos los diálogos y también las epístolas (Fakhry, 2004, p. 114). Por otro lado, Ibn Miskawayh (940 d.C.-1030 d.C.) adoptó la tripartición del alma que Platón expone en el sexto libro de la *República*.

Pero el verdadero resurgimiento y expansión del pensamiento platónico se dio durante el Renacimiento, especialmente en Italia. Leonardo Bruni (1369-1444) tradujo varios diálogos de Platón al latín, incluyendo el *Fedón* y la *República*. Jorge de Trebisonda (1395- 1486) lo hizo con el *Epinomis* y el *Parménides* en 1451, aunque en su *Comparatio Aristotelis et Platonis* haya criticado fuertemente a Platón (Hutton, 2012, p. 278). En 1462, Pietro Balbi tradujo toda la *Teología platónica* de Proclo y, en Florencia, Lorenzo Lippi da Colle se ocupó de *Ion*. Toda esta labor alcanzó su cúspide con la traducción de las obras completas de Platón al latín llevada a cabo por Marsilio Ficino e impresa por primera vez en 1482 (Kristeller, 1966, p. 44).

² Proclo (411 d.C. - 485 d.C.) fue un filósofo griego que fungió como la cabeza de la academia de filosofía en Atenas desde que tuvo 25 años hasta su muerte, a los 75. Escribió comentarios sobre el *Timeo*, la *República*, el *Parménides*, el *Alcibíades I* y el *Crátilo* (Siorvantes, 1996, pp. 25-28) y es autor de la *Teología Platónica* (aquí el término *Teología* se entiende en el sentido aristotélico de la palabra, que se acerca más al significado moderno de *Metafísica*), en donde, al utilizar argumentos presentes en los diálogos platónicos, divide la existencia en estratos ontológicos en términos de *unidad y diversidad*. Los seres con máxima unidad son aquellos que se encuentran en un estrato del ser más perfecto (la divinidad), mientras que los más diversos son los más alejados de la perfección, refiriéndose a los que poseen materia (Siorvantes, 1996, pp. 49-50). Se le considera como el máximo representante del neoplatonismo de la antigüedad tardía (Siorvantes, 1996, pp. ix-xi).

El trabajo de Ficino incluyó los 35 diálogos que se consideraban auténticamente platónicos desde la Grecia antigua,³ además del epistolario del filósofo ateniense: *Hiparco*, *Amadores*, *Téages*, *Menon*, *Acibíades I*, *Acibíades II*, *Minos*, *Eutifrón*, *Parménides*, *Filebo*, *Hipias mayor*, *Lisis*, *Teeteto*, *Sofista*, *Político*, *Protágoras*, *Eutidemo*, *Hipias menor*, *Cármides*, *Laques*, *Clitofonte*⁴, *Crátilo*, *Gorgias*, *Banquete*, *Fedro*, *Apología de Sócrates*, *Critón*, *Fedón*, *Menéxeno*, *República*, *Timeo*, *Critias*, *Leyes*, *Epinomis* y las cartas (Kristeller, 1966, pp. 44-46).⁵ Más aún, Ficino no sólo realizó las traducciones de estas obras, sino que también las comentó. Para cada diálogo, para cada libro de la *República*, y para cada libro de las *Leyes* redactó una pequeña introducción en donde explicaba a grandes rasgos cuáles eran los puntos principales del texto en cuestión (Kristeller, 1966, p. 47). Incluso, cabe enfatizar que realizó comentarios más extensos para el *Parménides*, *Sofista*, *Timeo*, *Fedro*, *Filebo*, *Banquete* y para un pasaje del octavo libro de la *República*. Además de su legado como traductor de Platón, Ficino también se convirtió en un notabilísimo comentarista del pensamiento platónico, como se desprende de su obra filosófica más importante, su *Teología Platónica* (1482). En ésta, a partir de la metafísica de Platón, analiza los argumentos a favor de la inmortalidad del alma.

Todo este trabajo propició la difusión del platonismo y, en particular, la formación de la Academia Platónica de Florencia, en donde Ficino fungió como líder. En realidad, no era una escuela en el sentido estricto de la palabra, sino que se trataba de un círculo de académicos y escritores reunidos por Ficino y que, además, se encontraba muy cercano a la corte de los Medici.⁶

³ Diálogos como *Definiciones*, *De la virtud*, *De lo justo*, *Demódoco*, *Sísifo*, *Eryxias* y *Axíoco* ya eran considerados apócrifos desde la antigüedad (Kristeller, 1966, p. 44).

⁴ Ficino consideraba este diálogo como apócrifo (Kristeller, 1966, p. 41).

⁵ Actualmente, hay quienes ponen en duda la autenticidad de los siguientes: *Acibíades I*, *Alcibíades II*, *Hiparco*, *Minos*, *Téages* y *Clitofonte* (Zaragoza, 1992, pp. 9-10). De hecho Ficino ya dudaba de la autenticidad de este último (Kristeller, 1966, p. 44).

⁶ La familia de los Medici jugó un papel muy destacado en la carrera de Galileo como figura pública pues a partir de 1610 le permitió, gracias a la publicación del *Sidereus Nuncius* (1610) y el apoyo que esto le valió entre los Medici, ocupar una posición privilegiada en la corte y en los círculos intelectuales florentinos y romanos. De igual manera, fueron grandes impulsores del resurgimiento del platonismo. Por estas razones cabe resumir en esta nota su papel histórico. La casa Medici fue una familia banquera que comenzó a adquirir poder en la República de Florencia a mitad del siglo xv. Aunque no tenían poder político en un principio, Giovanni di Bicci de Medici (1360-1429) incrementó la riqueza de la familia al grado de fundar un banco y en convertirse en el hombre más rico de la región. Su hijo, Cosimo de Medici fue el primero en tomar un cargo político, pues fue nombrado *gran maestro* (título no oficial de cabeza de estado de las ciudades italianas) de Florencia en 1434. Fue él quien encargó a Ficino las traducciones de Platón y fundó la *Academia Platónica de Florencia*. A su muerte llegó al poder su hijo Piero de Medici quien al morir le cedió el lugar a su vástago, Lorenzo de Medici. Como ya se mencionó, Lorenzo fue discípulo de Ficino y participó en la *Academia Platónica*. Después de él tomó el poder su hijo, Piero II, quien fue responsable de que la familia fuera expulsada de Florencia de 1494 al 1512. La familia retomó el poder cuando, en 1532, Alessandro de Medici fue nombrado primer Duque de Florencia, aunque sería asesinado cinco años más tarde. Luego de él, siguieron como

Entre sus miembros destacaron: Giovanni Pico della Mirandola, Cristoforo Landino (tutor de Lorenzo de Médici), Poliziano y el mismo Lorenzo de Médici (Kristeller, 1961, p. 151).

Todas las actividades de la Academia estaban fuertemente relacionadas con los intereses de Ficino e iban desde conversaciones improvisadas con amigos y visitantes, banquetes y discusiones organizadas con propósitos muy concretos (como las que se celebraban en el aniversario del cumpleaños de Platón), discursos a cargo de Ficino, hasta cursos públicos sobre Platón y Plotino impartidos por Ficino en la basílica de Santa María de los Ángeles y los Mártires. A lo anterior habría que agregar las clases privadas impartidas también por Ficino sobre los diálogos platónicos (Kristeller, 1961, p. 151).

La academia se disolvió poco después de la muerte de Lorenzo de Medici en 1492, en parte por los tristes sucesos que afectaban a la cultura derivada de la influencia de Savonarola y también por los fallecimientos de Poliziano y de Pico della Mirandola en 1494 y de Ficino en 1499.

De ahí en adelante, el platonismo, poco a poco, comenzó a colarse en las escuelas y en las universidades más prestigiadas de la época. En 1497 Niccolò Leonico Tomeo (1456-1531) ofreció clases sobre la obra platónica en la Universidad de Padua. Una de las cátedras más importantes fue establecida por los Duques de Médici en la Universidad de Pisa en 1576, la cual fue ocupada por cuatro profesores distintos a lo largo de 50 años: Francesco de Vieri (en 1576-1588), Jacopo Mazzoni (1588-1597), Carlo Tommasi da Cortona (1597-1606) y Cosimo Boscagli (en 1621) (Crombie, 1996, p. 134). Otro promotor del pensamiento platónico durante esta época fue Francesco Patrizi da Cherso (1529-1597), quien tuvo a su cargo una cátedra sobre el Ateniense en la Universidad de Ferrara durante 15 años. Desde 1592 hasta su muerte enseñó a Platón en la Universidad de Roma La Sapienza (Crombie, 1996, p. 139).

duques de Florencia los siguientes: Cosimo I de Médici (1569-1574), Francesco de Médici (1574-1587), Ferdinando I de Médici (1587-1609), Cosimo II de Médici (1609-1621) y Ferdinando II de Médici (1621-1670). Galileo tuvo especial cercanía con estos últimos dos. En 1605, la madre de Cosimo II, la duquesa Cristina de Lorena, puso a Galileo como tutor de Cosimo II. En 1610, Galileo fue nombrado matemático de la corte del Duque. De igual manera, el físico florentino le dedicó su *Sidereus Nuncius* (1610), obra astronómica en donde se presentan las primeras observaciones con un telescopio. En este texto, se reportó el descubrimiento de las lunas de Júpiter, a las que Galileo llamó *Estrellas Mediceas*, en honor al Gran Duque. También cabe destacar que una de las cartas más extensas en defensa del sistema copernicano fue dirigida a la duquesa Cristina de Lorena (escrita hacia 1615) y que los *Diálogos sobre los dos máximos sistemas del mundo* (1632) fueron dedicados a Ferdinando II, quien había sucedido al ducado después de la muerte de su padre en 1621. Aunque es cierto que la misma casa que abogó por el estudio de Platón en el siglo XV, como se verá en los siguientes párrafos, instauró cátedras sobre el filósofo en el siglo XVI, y fue la que acogió a Galileo a principios del siglo XVII, sería muy aventurado pensar que las ideas platónicas de Galileo hayan tenido su génesis en esta época, ya que para estos años el físico florentino estaba avanzado de edad y ciertas ideas platónicas pueden rastrearse a épocas anteriores. Más bien, y como se verá más adelante dentro del presente capítulo, las influencias platónicas en Galileo pueden rastrearse a su periodo de estudiante y maestro en Pisa.

Pero no sólo es que se ofrecieran cursos sobre Platón, sino que también profesores que impartían otras materias se proclamaron como seguidores de la filosofía platónica. Un ejemplo de ello es Luca Valerio (1552-1618), amigo de Galileo que impartía clases de matemáticas en la Universidad de Roma en torno al año 1600 (Crombie, 1996, p. 116).

El jesuita Antonio Possevino (1533-1611), miembro del Colegio Romano⁷, reconoció que el platonismo y las matemáticas se refuerzan entre sí, y que estas últimas eran necesarias para la investigación física de la naturaleza (Crombie, 1996, p.128):

Así que Platón, tomando todas las ramas de las matemáticas, incluyendo a la aritmética y a la geometría, más allá de los sentidos, en sus propias palabras las llama “[...] el líder, el invocador, el energizante, el tonificador de la mente, del pensamiento, de la visión, de la verdad”: eso es, en cuanto provocan, impulsan, excitan, despiertan [...] la inteligencia, el razonamiento, la contemplación y la verdad. Y, con estas palabras no se refiere a una sombra sofística, sino a la acción lógica de la mente, por lo que la demostración de verdad se considera más pura y más precisa [...] Pues en el *Timeo* Platón hace que Dios construya el alma del mundo a través de razones y proporciones aritméticas [mientras que a] su cuerpo [lo hace] a partir de formas geométricas. Por lo que la física platónica, al estar hecha a base de números y líneas, es aritmética y geométrica; y no puede ser comprendida por alguien que sea ignorante en geometría. De aquí que Platón colocara a la entrada de su academia [...] que nadie sin geometría entre [...] Estas cosas parecerían ser más que suficientes para incitar mentes hacia [el estudio de] esas disciplinas, sin embargo, hay otras cosas que añadir a su reputación: como una dicha por Platón, que (asegura Plutarco) define su carácter aunque no sobrevive en sus diálogos: “Dios, más que cualquier otra cosa, geometriza” (Possevino *apud* Crombie, 1996, p. 129-130).

Pero Possevino no fue el único jesuita que estuvo a favor de la enseñanza de la doctrina platónica. En 1602, Achille Gagliardi (1537-1607) hizo una propuesta para fundar en Venecia una *Accademia della dottrina Platonica*, aunque el plan nunca se llevó a cabo (Crombie, 1996, p. 133).

Acercándonos un poco más a Galileo, después de la muerte del profesor de matemáticas de la Universidad de Padua, Giuseppe Moletto (1588), el círculo de académicos y profesores que

⁷ El Colegio Romano fue una escuela establecida en 1551 por el fundador de la Compañía de Jesús (a cuyos miembros se les conoce como Jesuitas), San Ignacio de Loyola. Esta institución se caracterizó por promover el uso de las matemáticas en la filosofía natural. En 1553 se abrió una cátedra de matemáticas (geometría y astronomía) con Balthassar Torres como profesor. Después de él, Christopher Clavius (quien fue visitado por Galileo en 1611 para discutir sobre sus observaciones telescópicas) tomó dicha cátedra intermitentemente desde 1565, hasta su muerte en 1612. Fue Clavius el responsable de que en la política Jesuita se le diera tanta importancia a las matemáticas, pues estableció una escuela exclusivamente de esta disciplina, en donde la gran mayoría de los científicos de la compañía estudiaba. Sin embargo, la opinión del colegio no era uniforme, sino que había miembros, como Alessandro Piccolomini o Benito Pereira, que dudaban de la científicidad de las matemáticas porque no seguía el método de demostración silogístico que Aristóteles muestra en los *Analíticos Segundos* (Crombie, 1996, pp. 124-126). En palabras de Piccolomini: “... pienso que la demostración más poderosa, que es descrita por Aristóteles en *Analíticos Posteriores* i no puede, o al menos con mucha dificultad, ser encontrada en las ciencias matemáticas” (Piccolomini *apud* Crombie, 1996, p. 121).

giraba en torno a Gian Vincenzo Pinelli (1535-1601) comenzó a discutir sobre la posible postulación de Galileo a la cátedra de matemáticas y, a la par, consideraba la posibilidad de instaurar una clase en filosofía platónica (Crombie, 1996, p. 134). Después de que Galileo aceptó hacerse cargo de la clase de matemáticas en la Universidad de Pisa, Benedetto Zorzi, un veneciano entusiasta de Platón y parte del círculo de Pinelli, le escribió al florentino Baccio Valori (1535-1606) el 2 de diciembre de 1589:

Escuché sobre Galileo de parte del señor Pinelli y estoy complacido de que el camino se le haya abierto a ese hombre para la enseñanza pública en una universidad. Me temo que la cátedra [de matemáticas en Padua] estará vacante este año, ya que hay una falta (i.e. de personas competentes) especialmente en esta materia [...] me gustaría ver introducido [en la universidad] el estudio de Platón, como creo que su Alteza [el gran Duque de Toscana Ferdinando I de Médici] lo hará de vuelta en Padua; estaré agradecido si me hace saber cómo se va desarrollando todo esto (Zorzi *apud* Crombie, 1996, p. 134).

Estos son algunos ejemplos de cómo el platonismo resurgió durante el Renacimiento y de cómo personas que fueron cercanas a Galileo abogaban por la enseñanza de Platón en las universidades italianas, en particular en la universidad de Pisa, de Padua, de Ferrara y La Sapienza en Roma. Sin embargo, cabe resaltar que la Universidad de Padua fue la única en donde no se instauró una cátedra sobre Platón durante el siglo XVI (Crombie, 1996, p. 140).

1.2 Galileo y Mazzoni

De todos estos personajes que se han mencionado, hay dos que llaman la atención en tanto que tuvieron una relación más estrecha con Galileo: Francesco de Vieri y Jaccopo Mazzoni. Este último es considerado, junto con Francesco Patrizi, como uno de los dos máximos exponentes del platonismo renacentista.

Durante los años de estudio de Galileo en la Universidad de Pisa⁸ (1581-1585) hubieron tres profesores que se encargaron especialmente de la formación filosófica de Galileo: Girolamo

⁸ Galileo ingresó a la Universidad de Pisa en 1581 para estudiar medicina. A los 19 años, después de 3 años de estudio, y sin tener aún ningún tipo de instrucción en matemáticas, asistió a una plática en la que, Ostilio Ricci, el matemático del Gran Duque Francesco I de Medici, habló de la geometría euclidiana. Lo que en esa ocasión escuchó le fascinó al grado de abandonar sus estudios de Medicina. En 1586 Galileo dejó la Universidad de Pisa y regresó con su familia en Florencia. Allí estudió la geometría de Euclides y luego pasó al estudio de las obras de otros matemáticos de la antigüedad, en particular de Arquímedes. Durante este periodo, Galileo dio conferencias públicas y privadas sobre temas matemáticos, y en particular una sobre el cálculo del tamaño del infierno de Dante. En 1589, a los 25 años de

Borro (1512-1592), Francesco Buonamici (1533-1603) y Francesco de Vieri (1550-1590) (Camerota, 2000, p. 325), por lo que es probable que el contacto cercano con este último implicara una primera filiación con el platonismo. Sin embargo, el académico que, desde el punto de vista filosófico, influyó más sobre Galileo fue Jacopo Mazzoni, quien estuvo a cargo de la cátedra de filosofía platónica en la Universidad de Pisa desde 1588 hasta 1597. En este último año publicó su obra más importante, *In universam Platonis et Aristotelis philosophiam praeludia*, en donde hace una comparación crítica entre la filosofía de Platón y la de Aristóteles. En particular, en dicha obra se pregunta por la deseabilidad de la utilización de las matemáticas en la filosofía natural:

No hay una pregunta que haya dado lugar a más nobles y hermosas especulaciones [...] como la cuestión de si la utilización de las matemáticas en la ciencia física como un instrumento de prueba y como término medio de demostración es oportuno o no; en otras palabras, si nos trae algún beneficio o si, por el contrario, es peligroso y dañino. (Mazzoni *apud* Koyré, 1943, p. 420)

En su texto, es patente que Mazzoni estaba completamente de acuerdo con este uso de las matemáticas para establecer verdades de carácter físico, más aún, veía en Platón un ejemplo de este empleo:

Es bien sabido que Platón creía que las matemáticas eran particularmente apropiadas para las investigaciones físicas, por lo que él mismo las utilizó muchas veces como recurso de explicación de los misterios físicos. Pero Aristóteles tenía una visión muy diferente, y explicó los errores de Platón por su gran adhesión a las matemáticas. (Mazzoni *apud* Koyré, 1943, pp. 420-421)

Cuando Galileo regresó a la Universidad de Pisa como profesor (1589-1592), él y Mazzoni fueron muy cercanos, al grado de que se les tildaba como siempre estando juntos, estudiando y aprendiendo juntos (Camerota, 2000, p. 328). En 1592, Galileo obtuvo la cátedra de matemáticas en la Universidad de Padua, por lo que se separó de Mazzoni. Sin embargo, cuando, en 1597 Mazzoni publicó *In universam Platonis et Aristotelis philosophiam praeludia*, Galileo no dudó en enviarle una carta felicitándolo y haciéndole saber su opinión sobre la obra. La epístola data del 30 de mayo de 1597:

edad, se le otorgó una cátedra en la Universidad de Pisa. En este periodo escribió lo que después se compiló y se publicó póstumamente bajo el título de *De motu antiquiora* (1682) y también se dice que realizó el experimento de la torre inclinada, aunque se piensa que en realidad nunca lo llevó a cabo. En 1592, Galileo obtuvo la cátedra de matemáticas en la Universidad de Padua, donde dio clases hasta 1610 (Fermi & Bernardini, 1965, pp. 21-29).

Me ha dado la mayor satisfacción y consolación ver que Su Más Excelente Señoría ha escrito sobre algunas de las cuestiones que en nuestros primeros años de amistad discutíamos juntos con tanta alegría, y que ahora te inclinas a tomar partido por el lado que yo consideraba como verdadero y tú como lo contrario; supongo que hiciste eso ya para invitar a un argumento, o para mostrar que tu poderoso intelecto es capaz de sostener falsedades si lo deseas, o para preservar incorrupto (en efecto intacto en sus partes más pequeñas) la veracidad de las doctrinas de ese Gran Maestro bajo cuyo mandato aparece para servir a todos aquellos que se comprometen a investigar la verdad. (Galileo *apud* Finocchiaro, 2010, p. 48).

Luego de ese comentario Galileo expresa cierto descontento pues su antiguo amigo abogó, dentro de la obra, por el geocentrismo:

Sin embargo, siendo franco, aunque me sentí alentado por tus otras conclusiones, me quedé confundido e inquieto cuando vi por primera vez a Su Excelente Señoría criticar tan resoluta y abiertamente la opinión de los Pitagóricos y de Copérnico en cuanto al movimiento y posición de la tierra; ya que (en ese tiempo) [al momento de la lectura] yo apoyaba esta opinión como mucho más probable que la otra que sostienen Aristóteles y Ptolomeo, he puesto especial atención a tu crítica, en la medida en que yo [ahora] tengo algunos sentimientos con respecto a este tema y otros que se relacionan con él. (Galileo *apud* Finocchiaro, 2010, p. 48)

Después de decir eso, Galileo continúa escribiendo en la carta una contra-argumentación para mostrar la veracidad del heliocentrismo y del movimiento terrestre. Esta polémica resulta interesante pues muestra uno de los aspectos que hacen de Galileo un platonista en cuanto a sus nociones epistemológicas. Para entrar en contexto, primero analicemos el argumento que plantea Mazzoni. Para él, si la tierra rotara en torno al sol, el hecho de que no esté posicionada en el centro del universo y de que además gira sobre su propio eje, harían que los observadores en la tierra vieran menos de la mitad de la esfera estelar a medianoche y más de la mitad a mediodía. Este efecto podría observarse desde una montaña muy alta en el horizonte, pues desde esa altura podría observarse un horizonte –circular– más amplio que si se observara el hemisferio celeste desde una menor altura. Sin embargo, aun desde esa gran altura, siempre se observa la mitad de la esfera, por lo que la tierra –concluye Mazzoni– no se encuentra rotando alrededor del sol.

Galileo refuta el argumento de la siguiente manera: si la tierra rotara en torno al sol, la diferencia entre la visibilidad de la esfera estelar entre el mediodía y la medianoche sería igual a la causada por una montaña con una altura de una milla y un diecisieteavo de milla. En la tierra, la diferencia en la visibilidad por haber escalado una montaña de esas dimensiones sería de 1° y 32 minutos en cada lado. Sin embargo, eso es tomando las distancias astronómicas canónicas (la

distancia entre el sol y la tierra es de 1,216 radios terrestres; el radio de la esfera estelar de 45,225 radios terrestres y el radio de la tierra de 3,035 millas). Si se toma en cuenta que en el modelo copernicano la esfera estelar es mucho más grande, entonces la diferencia sería mucho menor a 1° y 32 minutos y, por lo tanto, no sería perceptible (Finocchiaro, 2010, p. 47).

Puede verse que Galileo utilizó un argumento matemático para rebatir el argumento de Mazzoni. De aquí que las otras conclusiones por las cuales el físico florentino se “sintió alentado” tengan que ver, más bien, con la utilización de las matemáticas para dilucidar cuestiones de la filosofía natural. De aquí podría pensarse que, en realidad, aquel “Gran maestro” al que está haciendo referencia Galileo en la carta es Platón.

1.3 Menciones literales a Platón en el corpus galileano

Más allá de que Galileo haya vivido en una época de claro resurgimiento de la doctrina platónica y de que haya establecido relación con académicos que abogaban por ésta, aún sin tener plena consciencia de sus consecuencias en cuanto a cómo se puede establecer el conocimiento cierto acerca de las cosas y fenómenos del mundo, el físico italiano hizo referencia literal a Platón en múltiples ocasiones dentro de sus obras. Algunos de estos ejemplos se analizarán con detalle más adelante dentro del presente trabajo, pero se puede mencionar, por ejemplo, que al final del segundo día de los *Diálogos sobre los dos máximos sistemas del mundo* (1632) se menciona la teoría de la reminiscencia platónica (Galileo, 1967, pp. 190-193), o que en la tercera jornada del mismo libro hace alusión a lo sostenido por Mazzoni, es decir, que “Platón, quien no hubiera admitido a nadie en la filosofía sin haber primero dominado la geometría” (Galileo, 1967, p. 397), o que en *Diálogos en torno a dos nuevas ciencias* (1638), Simplicio, el personaje que siempre está en contra de las ideas de Galileo, después de ser vencido en la discusión, admita: “...tened por cierto que si yo hubiera de volver a comenzar mis estudios, seguiría el consejo de Platón, y comenzaría por las matemáticas, que proceden muy escrupulosamente, según veo, y no admiten como cierto nada que no esté concluyentemente demostrado ” (Galileo, 2003 , p. 128). También en la misma obra: “¿No era razonable que Platón quisiera que sus discípulos estuviesen de antemano bien instruidos en matemáticas?” (Galileo, 2003, p. 186).

Por último, una de las menciones más explícitas que hace Galileo sobre Platón se encuentra en el cuarto día de los *Diálogos en torno a dos nuevas ciencias*, en donde se muestra la

convergencia de ideas que tienen el “Autor” (este personaje corresponde al mismo Galileo) y Platón. En particular se hace referencia al *Timeo*, a la parte en la que el demiurgo está construyendo los cuerpos celestes y los va dotando de movimiento:

[Platón] dijo que Dios, después de haber creado los cuerpos móviles celestes, para asignarles aquellas velocidades con las cuales deberían después moverse perpetuamente con movimiento circular uniforme, los hizo mover, partiendo del reposo, por determinados espacios en línea recta y con ese movimiento natural, con que nosotros vemos sensiblemente moverse nuestros móviles acelerándose sucesivamente desde el estado de reposo; y añade que, habiéndoles hecho alcanzar aquel grado en que le agradaba que continuaran después moviéndose perpetuamente, convirtió su respectivo movimiento rectilíneo en circular, que es el único apto para conservarse uniforme, girando siempre sin aproximarse a un cierto punto fijo al que ellos tienden. (Galileo, 2003, p. 349)

Esta concepción del movimiento acelerado asume que un cuerpo que se acelera desde una velocidad v_1 hasta otra v_2 , de tal manera que $v_2 > v_1$, debió haber pasado por todas las velocidades intermedias que hay entre estas dos. Galileo lo plantea de la siguiente manera:

Permítanme, por favor, interrumpir con el fin de señalar un bello acuerdo que hay entre el pensamiento del Autor [Galileo] y las concepciones de Platón sobre el origen de las velocidades uniformes con las que giran los cuerpos celestes. A este último se le ocurrió la idea de que un cuerpo no puede pasar del reposo a cualquier velocidad determinada y mantenerla uniforme sin antes haber pasado por todos los grados de velocidad intermedios entre la velocidad dada y el reposo [...]. Esta concepción es realmente digna de Platón; y es aún más de apreciarse, cuanto sus principios fundamentales permanecieron ocultos hasta ser descubiertos por nuestro Autor, quien les quitó la máscara y la vestimenta poética y puso la idea en una perspectiva histórica correcta (Galileo, 2003, p. 364).

De aquí puede deducirse que Galileo estaba completamente consciente de que esta idea era originalmente de Platón, pues lo que hizo fue quitarle “la máscara y la vestimenta poética” y contextualizarla.

Finalmente, se tiene evidencia de que el físico toscano poseía una edición de las obras completas del filósofo ateniense. Antonio Favaro hizo una recopilación de más de 500 libros que pertenecían a la biblioteca personal de Galileo (Favaro, 1886, pp. 219-293). Más aún, este trabajo ha sido enriquecido por Michele Camerota (Camerota, 2010, pp. 81-95) y por Crystal Hall (Hall, 2015, pp. 29-82), dando un total de 600 libros que formaron parte de la biblioteca de Galileo. En la actualidad, el *Museo Galileo: Istituto e Museo di storia della scienza* tiene una base de datos que contiene todos los volúmenes reunidos por los anteriores autores (Museo Galileo, 2017, p. 49).

En esta recopilación aparece registrada la *Opera Platonis*, la cual consiste en una colección completa⁹ de los diálogos platónicos. No se sabe con exactitud qué edición poseía, sin embargo, se piensa que era la *Divinis Platonis Opera omnia*, elaborada por Marsilio Ficino.

Conclusiones de capítulo

Se estableció que durante el periodo que va del siglo XV al XVII hubo un resurgimiento del estudio de la filosofía platónica. En el siglo XV el mayor potenciador de ello fue Marsilio Ficino, apoyado por la casa Medici de Florencia. De igual manera, durante el siglo XVI cátedras sobre el pensamiento platónico fueron instituidas en distintas universidades de Italia, en particular en Roma, Pisa, y Ferrara.

Asimismo, muchos académicos tomaron a Platón como legitimador del uso de las matemáticas en la investigación de la filosofía natural. Éste es el caso de algunos miembros del Colegio Romano y de Jacopo Mazzoni.

También se exhibió que Galileo tuvo contacto con varios académicos que abogaban fuertemente por la filosofía platónica, en particular con Francesco de Vieri y Jacopo Mazzoni. Con este último trabó una profunda amistad durante sus años de profesor en Pisa y ambos fortalecieron mutuamente su aflicción en aquel “Gran Maestro” el cual puede identificarse con Platón.

Por otro lado, se hizo un breve recuento de algunas menciones literales que hace Galileo a Platón en los *Diálogos acerca de los dos máximos sistemas del mundo* y los *Diálogos en torno a dos nuevas ciencias*, haciendo énfasis en su filiación platónica a través de un pasaje en donde dice literalmente que a una de las ideas de Platón sólo le quitó “la máscara y la vestimenta poética” y la contextualizó para usarla dentro de su obra.

Finalmente se recoge el hecho de que Galileo tuvo contacto directo con las obras de Platón, pues poseía una edición de los 35 diálogos y las epístolas del filósofo ateniense.

⁹ Incluía los 35 diálogos anteriormente citados.

Capítulo 2: El pensamiento platónico

Ya que hemos visto el contexto intelectual de Galileo y el resurgimiento de los trabajos platónicos durante el renacimiento italiano, ahora pasemos al análisis de la filosofía de Platón. En este capítulo, se verán cuatro aspectos de su pensamiento. Primero, se analizará la dinámica que existe entre el mundo de las ideas y el universo sensible, haciendo especial énfasis en la infranqueable separación entre ellos, en la imperceptibilidad de las *formas* y en cómo la *semejanza* entre las ideas y los objetos posibilita el conocimiento físico. En segundo lugar, se hará un recorrido por el proceso de adquisición de conocimiento llamado *anamnesis*, el cual fundamentalmente consiste en recordar aquello que el alma, en sus reencarnaciones, ha visto en el *topos uranus*. Luego se revisará la estructuración del universo por parte del demiurgo platónico en el *Timeo*, haciendo hincapié en su rigurosa organización matemática. Finalmente, se examinará la naturaleza medial de los sólidos platónicos como entes constitutivos de los elementos primarios –fuego, aire, agua y tierra– y se mostrará cómo las cualidades geométricas de éstos dan resultado a fenómenos físicos macroscópicos como el calor, la dureza o la aspereza.

Estos cuatro puntos son de gran importancia porque se repetirán en la física de Galileo. Es decir, en los trabajos del físico florentino, se verá que las causas de los movimientos son imperceptibles y se encuentran separadas de éstos; que la adquisición del conocimiento es esencialmente remembranza; que la estructura del mundo es matemática, y que las cualidades geométricas de los corpúsculos que constituyen la materia determinan las propiedades macroscópicas de los objetos.

2.1 El mundo de las formas

El diálogo platónico titulado *Fedón* comienza con Sócrates expresando su descontento con las teorías acerca del mundo que en ese momento se refrendaban, a saber, las teorías materialistas provenientes de los ahora llamados filósofos presocráticos. Estos discursos trataban de explicar la realidad a través de principios materiales, los cuales formaban parte y eran causa de todo. Un ejemplo lo encontramos en Anaxímenes de Mileto (c. 585 a. C. – 526-524 a. C.)¹⁰, quien afirmaba

¹⁰ Aunque no se tienen fechas exactas sobre la vida y muerte del filósofo, Kirk, Raven y Schofield datan su nacimiento en el mismo año en el que Tales predijo el eclipse (585 a.C.), y se piensa que vivió alrededor de 60 años. El cálculo

que la sustancia originaria, es decir, el *arché*, la forma básica de la materia, era el aire (Kirk, Raven, & Schofield, 2008, p. 196).

Avanzando en el diálogo, Sócrates hace mención de otro filósofo presocrático: Anaxágoras de Clazomene (c. 500/499 a.C.- 428/427 a. C.) (Kirk et al., 2008, p. 459). Éste aseguraba que todo el mundo había sido ordenado a través de un ente al que llama *mente*, *noûs* en griego, y explicaba el dinamismo de la materia arguyendo que está hecha de semillas (*spermata*) en las cuales se encuentra una pequeña porción de todo material posible en el universo. De esa forma, Anaxágoras explicaba el crecimiento (Kirk et al., 2008, pp. 476-479). Por ejemplo, si un infante comía un pedazo de carne, las semillas componentes del trozo contenían material de hueso, por lo que su ingesta propiciaba el desarrollo del sistema óseo.

En una primera instancia Sócrates se vio interesado por la parte de la explicación en donde se afirmaba que la mente lo ordenaba todo:

... oyendo en cierta ocasión a uno que leía de un libro, según dijo, de Anaxágoras, y que afirmaba que es la mente lo que lo ordena todo y es la causa de todo, me sentí muy contento con esa causa y me pareció que de algún modo estaba bien el que la mente fuera la causa de todo [...] Reflexionando esto, creía muy contento que ya había encontrado un maestro de la causalidad respecto de lo existente de acuerdo con mi inteligencia. (Platón, *Fedón*, 97d-97e)

Sócrates pensó haber encontrado un maestro que le daría todas las respuestas en términos no-materialistas, pues “la mente ordenadora lo ordenaría [...] y dispondría cada cosa de la manera que fuera mejor” (Platón, *Fedón*, 97d). Sin embargo, entre más avanzaba en el libro, se dio cuenta de que Anaxágoras hacía cada vez menos uso de mente como explicación y que:

... aduce como causas aires, éteres, aguas y otras muchas cosas absurdas. Me pareció que había sucedido algo muy parecido a como si uno afirmara que Sócrates hace todo lo que hace con inteligencia, y, luego, al intentar exponer las causas de lo que hago, dijera que ahora estoy aquí sentado por esto, porque mi cuerpo está formado por huesos y tendones, y que mis huesos son sólidos y tienen articulaciones [...] y esa es la razón por la que estoy yo aquí sentado con las piernas dobladas. (Platón, *Fedón*, 98c)

Por ello, Sócrates terminó por considerarse a sí mismo como incapaz para ese tipo de estudio, y se vio en la necesidad de buscar otro tipo de acercamiento al ser de las cosas. El rechazo al

es reconocido por los autores como hipotético. Las fechas de nacimiento y muerte de todos los filósofos presocráticos que se mencionen en el presente trabajo se remiten al libro de Kirk, Raven y Schofield *Los filósofos presocráticos*.

materialismo forzó a Platón a proponer la existencia de conceptos, pues Sócrates termina decidido a que se "... refugiaria en los conceptos para examinar en ellos la verdad real" (Platón, *Fedón*, 100a). Un concepto, en la presente teoría, es un ente que es en sí y por sí, de tal forma que no requiere de una causa anterior para ser ni tampoco cambia. La promulgación de la existencia de dichos entes es lo que divide al mundo en dos: por un lado tenemos a lo visible y concreto, que llamaremos mundo fenoménico, y por el otro tenemos a los conceptos e ideas, los cuales constituyen el mundo de las *formas*.

Pero dichos universos, el fenoménico y el de las formas, no son ajenos entre sí, sino que se relacionan de una manera muy particular. En la justificación de la inmortalidad del alma, también dentro del *Fedón*, Sócrates propone la existencia de las formas, pues le pide a Cebes (su interlocutor) que le admita suponer la existencia de "algo que es lo bello en sí, y lo bueno y lo grande, y todo lo demás de esa clase" (Platón, *Fedón*, 100b). Una vez asumida la existencia de dichos seres, establece "Me parece, pues, que si hay algo bello al margen de lo bello en sí, no será bello por ningún otro motivo, sino porque participa de aquella belleza. Y por el estilo, eso lo digo de todo" (Platón, *Fedón*, 100c). El rechazo a la visión materialista de la causalidad ha devenido en la creación de un mundo de entes que son en sí mismos y que son los causantes de que los objetos materiales se comporten de la manera en la que lo hacen.

Hasta aquí, tenemos dos aspectos fundamentales de la ontología platónica: 1) existen seres "especiales" que son en sí mismos y 2) los objetos materiales obtienen sus propiedades al *participar* de estos entes. El porqué de las cosas está en el mundo de las formas: una taza es azul porque participa de la idea del azul; una mesa es rectangular porque participa de la forma rectangular.

Como ya se mencionó, en las teorías materialistas se promulgaban principios materiales como constituyentes principales del mundo. Pero la elección de dichos elementos primordiales era arbitraria (Bechler, 1990, p. 50).¹¹ No obstante, la teoría platónica de las formas no cae en lo que

¹¹ Han habido diferentes intentos por explicar el porqué de la elección de un elemento específico por parte de ciertos filósofos presocráticos. Por ejemplo, Aristóteles especuló sobre por qué Tales eligió el agua como principio material: "... Tales, el iniciador de tal tipo de filosofía, dice que [el principio material] es el agua [...], tomando, tal vez, dicha suposición de la observación de que el alimento de todas las cosas es húmedo y que el calor mismo surge de éste y vive por éste (el principio de todas las cosas es aquello de donde nacen); de aquí dedujo su suposición y del hecho de que la semilla de todas las cosas tiene una naturaleza húmeda; y el agua es el principio natural de las cosas húmedas." (Aristóteles, *Met.* 3, 983 b6). Sin embargo, esta razón no explica por qué es necesario (lógicamente) que el agua sea el elemento primordial, sólo da una pequeña explicación sobre por qué Tales, personalmente, prefirió el agua sobre otros principios. Esta falta de razón deviene en un tipo de explicación en donde no hay una relación lógica entre la causa y el efecto: entre el principio material y el objeto (Bechler, 1990, p. 50).

para ella sería una sinrazón, pues los objetos concretos participan de las ideas a través de la *semejanza*. En palabras del filósofo israelí Zev Bechler:

Platón concibe a la teoría de las Ideas o Formas como una teoría científica, o física, que triunfa donde otras teorías científicas han fallado, a saber, en explicar cómo las cosas llegan a ser lo que son, cómo existen tal cual son y cómo desaparecen. Su presunto éxito subraya lo que él considera que fue el fracaso de la ciencia materialista, y explica al mismo tiempo por qué las explicaciones materialistas son incomprensibles para él. A saber, éstas correlacionan causas y efectos que no pueden tener una relación lógica entre sí. Por otro lado, la teoría de las Ideas correlaciona efectos sólo a aquellas causas que tienen una “similitud” lógica y conceptual entre ellas. Esta relación conceptual entre una Idea y su efecto es expresada por el término “participación” o “semejanza”. (Bechler, 1990, p. 51)

Podría pensarse que la semejanza lógica entre los entes formales y los objetos concretos peca de ser tautológica. Esto sería cierto si la forma no estuviese separada del objeto. Si quisiéramos explicar la dureza de una piedra con base en la misma dureza de la piedra, entonces estaríamos cayendo irremediabilmente en una tautología que, aunque lógicamente es correcta, no dice nada sobre la razón por la cual la piedra es dura. La diferencia entre Platón y este tipo de explicación es que, para él, el mundo ideal se encuentra separado del mundo fenoménico. La dureza de la piedra se explica por su participación de la forma (o idea) de dureza, y esta última no es parte, ni puede explicarse por medio del objeto en cuestión.

El *Fedón* no es el único diálogo en donde Platón aboga por este tipo de explicación. Uno de los pasajes más importantes sobre el mundo de las ideas se encuentra en la alegoría de la caverna, dentro de la *República* (514a-520a). Aquí se remarca otra de las características fundamentales de la ontología platónica: la invisibilidad de las causas. Para Platón, la falla de toda teoría materialista sobre la naturaleza radica en la visibilidad de sus causas (Bechler, 1990, p. 57). En la alegoría de la caverna, Platón asegura lo siguiente sobre sus habitantes:

... eran grandes los honores y elogios que se tributaban unos a otros y de las recompensas para aquel que con mayor agudeza divisara las sombras de los objetos que pasaban detrás del tabique, y para el que mejor se acordase de cuáles habían desfilado habitualmente antes y después, y para aquel de ellos que fuese capaz de adivinar lo que iba a pasar. (Platón, *República*, 516d)

Por lo que el memorizar el orden en que van apareciendo las sombras permite a los habitantes cavernarios adivinar qué hecho seguirá a otro, pero esto no significa tener conocimiento de causa. El problema está en tratar de explicar una “sombra” con otra “sombra”; un objeto visible mediante

otro objeto visible. La relación causal debe darse entre entes que sean distintos ontológicamente (Bechler, 1990, p. 5). Así, una “sombra” puede ser explicada por la presencia de un cuerpo “opaco”, no por otra “sombra”. La intangibilidad es una característica que diferencia la manera de ser de las ideas con la de los objetos. Más aún, Platón establece la diferencia entre la especie de lo visible y la de lo inteligible en el libro sexto de la *República* (Platón, *República*, 509d), estableciendo necesariamente la invisibilidad de las formas y, por lo tanto, la de las causas de los objetos materiales.

Como ya se había dicho, la teoría de las formas explica el mundo a través de la semejanza. Establece relaciones causales entre entes invisibles (ideas) y seres visibles (objetos). Todo aquel que tome consciencia de esto saldrá de la caverna y podrá acceder al mundo del conocimiento “...lo que a mí me parece es que lo que dentro de lo cognoscible se ve al final, y con dificultad, es la Idea del Bien. Una vez percibida, ha de concluirse que es la causa de todas las cosas rectas y bellas” (Platón, *República*, 517b).

Pero no sólo es que cada característica de cada objeto y que toda cosa tenga su forma correspondiente, sino que el carácter inmutable de las ideas hace que entre ellas se establezcan relaciones de exclusión e implicación. Platón, al disertar sobre por qué Simmias puede ser grande a comparación de Sócrates y pequeño a comparación de Fedón, llega a la siguiente conclusión:

A mí me parece que no sólo la grandeza en sí jamás querrá ser a la vez grande y pequeña, sino que tampoco la grandeza que hay en nosotros aceptará jamás la pequeñez ni estará dispuesta a ser superada, sino que, una de dos, o huirá y se retirará cuando se le acerque lo contrario, lo pequeño, o bien perecerá al llegar éste. Si se queda y admite la pequeñez no querrá ser distinta a lo que era. Pero el principio en sí, siendo grande, no habrá soportado ser pequeño. Así, y de este modo, la pequeñez que hay en nosotros no estará nunca dispuesta ni a hacerse grande ni a serlo [...] sino que, en efecto, se aleja y perece en ese proceso. (Platón, *Fedón*, 102e)

Aquí Platón establece una relación de exclusión entre la forma de pequeñez y la de grandeza. Pero hay algo más interesante sobre esta cita: la posibilidad que tienen los objetos de participar de las formas momentáneamente. En el momento en que Simmias se pone al lado de Sócrates, el primero participa de la idea de grandeza y el segundo de pequeñez. Sin embargo, comparando a Simmias con Fedón, la grandeza de la cual participaba Simmias perece y comienza a participar de la pequeñez (Bechler, 1990, p. 61).

Estas formas (o cualidades) que se retrotraen a la potencialidad sólo pueden ser accidentales, pues si fueran fundamentales y perecieran, entonces el objeto dejaría de ser lo que

es. Si se piensa sobre aquellas formas que les son esenciales a ciertos objetos y a las formas de ellos, entonces se pueden establecer relaciones de implicación entre ideas. Por ejemplo, la idea de nieve trae consigo necesariamente la idea de frío. Si esta última pareciera, entonces la idea en cuestión ya no sería nieve, pues no hay nieve caliente. Aquí diríamos que la forma del frío le es esencial a la idea de nieve.

Otro ejemplo de este tipo de implicaciones lo podemos encontrar en el *Menón*. Sócrates le pregunta al homónimo del diálogo sobre la naturaleza de la virtud y establecen un trato en el cual Sócrates explicará qué es la figura, mientras que Menón le aclarará qué es la virtud. La disertación sobre la figura es la siguiente:

Pues bien, tratemos de decirte qué es la figura. Fíjate si aceptas esto: que la figura sea para nosotros aquella única cosa que acompaña siempre al color. ¿Te es suficiente, o lo prefieres de otra manera? Por mi parte, me daría por satisfecho si me hablaras así acerca de la virtud. (Platón, *Menón*, 75b-75c)

Para Platón, el ser de la figura se explica suficientemente a partir de la relación de implicación que tiene con el color. Dicho de otra manera, a Sócrates le es suficiente afirmar que la idea de figura tiene como forma esencial el color.

También cabe destacar que además de las relaciones de exclusión e implicación, también tenemos de cohabitación. Éstas se dan cuando las ideas no son excluyentes entre sí, pero tampoco se implican. Un ejemplo de lo anterior son la idea de mesa y la idea de madera. El hecho de que un objeto participe de la idea de mesa no implica que participe de la de madera, pues podría estar hecha de otro material. De igual manera, que un objeto participe de la forma de madera no implica que lo haga de la de mesa. De aquí podemos decir que los objetos pueden participar de estas dos ideas sin que, por ello, se afecten la una a la otra.

Estas relaciones articulan una teoría de condiciones necesarias entre las formas. Como los objetos fenoménicos son semejantes a estas ideas, estas relaciones de implicación y exclusión también se dan (aproximadamente) en el mundo visible, y por ello se puede aprender del mundo de las formas a través de la experiencia. Más aún, la regularidad de estas condiciones permite, también, hablar sobre el mundo. Tomemos el siguiente ejemplo: cuando la idea de fuego se concreta (se vuelve objeto), ella trae consigo la idea de calor, pero esta última nunca admitiría la idea de frío, entonces tampoco la idea de fuego la aceptaría. Esto último permite la sustitución de fuego en lugar de calor en las explicaciones de los fenómenos naturales (Bechler, 1990, p. 62).

Esta manera de darle explicación al mundo presupone necesariamente la separación entre las formas y los objetos, en donde las primeras tienen un estatus ontológico objetivo que permite su articulación mediante condiciones necesarias. Pero como la concretización de las ideas en los objetos sólo se da parcialmente y de manera imperfecta, entonces la red de relaciones del mundo de las formas puede ser ejemplificada sólo de manera aproximada en el universo visible (así como lo hace la geometría en la física).

Y aquí es cuando la invisibilidad del mundo de las ideas y su separación de la realidad fenoménica cobran su máxima importancia. La separación entre el *topos uranus* y lo perceptible implica que el primero es indiferente a la circunstancia del segundo. No importa en qué estado de cosas se encuentre el universo fenoménico, la realidad formal y las interconexiones entre sus elementos permanecerán inmutables. Y es esta imperturbabilidad lo que las hace propicias para generar conocimiento que sea aplicable a la realidad.

De igual manera, la invisibilidad de las ideas es una condición necesaria para su estabilidad. Si fueran visibles, entonces serían mutables (como todo aquello que se percibe con los sentidos). Dicho dinamismo imposibilitaría la cristalización de las relaciones entre las ideas y, a su vez, el acceso al conocimiento.

2.2 La teoría de la reminiscencia o *anamnesis*

Hasta ahora hemos visto la dinámica entre los objetos y las ideas, y cómo es que estas últimas se relacionan de tal manera que son propicias para la articulación de conocimiento. Sin embargo, aún queda pendiente una cuestión: ¿cómo es que se alcanza dicho conocimiento?

La teoría de la recolección, o más comúnmente llamada *anamnesis*, la desarrolla Platón en su diálogo titulado *Menón*, texto clave para entender cómo es posible la adquisición del saber según el platonismo. La cuestión con la que se abre el diálogo es determinar si la virtud es o no enseñable. Tratando de ganar claridad sobre el tema, Sócrates le pide a Menón que defina qué es la virtud, de tal manera que eventualmente establezcan si se puede transmitir o no (Platón, *Menón*: 70a-80d). Después de varios intentos fallidos por parte del homónimo del diálogo, se abre el tema fundamental de la obra: el tránsito de la consciencia desde el no-saber, al esforzado ejercicio de la búsqueda del saber. Aquí, Menón plantea lo siguiente:

¿Y de qué manera buscarás, Sócrates, aquello que ignoras totalmente qué es? ¿Cuál de las cosas que ignoras vas a proponerte como objeto de tu búsqueda? Porque si dieras efectiva y ciertamente con ella, ¿cómo advertirías, en efecto, que es ésa que buscas, desde el momento que no la conocías? (Platón, *Menón*, 80d)

La problemática que está remarcando Menón, a grandes rasgos, es que a nadie le es posible buscar aquello que sabe, pero tampoco lo que no sabe. Si alguien buscara aquello que sabe, terminaría inmediatamente y no habría necesidad de buscar. Pero, al investigar sobre aquello que no se conoce, no sabe qué es lo que se está buscando, de tal manera que no habría modo de hallarlo ni de saber si en algún momento se halló. Este planteamiento representa una verdadera dificultad, pues la adquisición de conocimiento parece ser imposible.

Sin embargo, Sócrates niega rotundamente este argumento y afirma que la búsqueda del saber es en realidad reminiscencia. Para ello introduce el mito de la inmortalidad del alma, en el cual “a veces termina de morir –lo que llaman morir–, a veces vuelve a renacer, pero no perece jamás” (Platón, *Menón*, 81b). En estos trayectos que sufre el alma de ida y retorno desde el hades, no hay nada que no haya visto; no hay nada que no sepa.

Para probar lo anterior, el padre de la mayéutica llama a un esclavo que nunca había recibido educación y le pregunta si conoce el cuadrado, a lo cual el sirviente responde que sí. Sócrates le interroga por la superficie total de un cuadrado que tuviese sus lados con una longitud igual a dos pies, a lo que el siervo responde: cuatro. Posteriormente Sócrates le dice al esclavo que se imagine un cuadrado que tiene el doble de superficie y le pregunta por la longitud de sus lados. El siervo, pensando que el doble en la superficie implica el doble de largo, le responde incorrectamente que cada lado tendría una longitud de ocho pies. Claramente, a estas alturas del diálogo el esclavo no sabe la respuesta. Luego Sócrates hace que el siervo infiera que el cuadrado cuyos lados tienen una longitud de ocho pies en realidad tendría una superficie de 16 y que 16 no es dos veces cuatro. A través de estas dilucidaciones, Sócrates, poco a poco, va induciendo las respuestas en él, hasta que llega a la respuesta correcta sin que Sócrates se la haya dado directamente (Platón, *Menón*, 82a-85c).

Para Sócrates, este ejercicio es prueba irrefutable de que las opiniones que lo hicieron llegar a la solución ya estaban en él. Éste dice:

Y estas opiniones que acaban de despertarse ahora, en él, son como un sueño. Si uno lo siguiera interrogando muchas veces sobre esas mismas cosas, y de maneras diferentes, ten la seguridad de que las acabaría conociendo con exactitud, no menos que cualquier otro. (Platón, *Menón*, 85d)

El esclavo no sabía la solución al problema que se le había planteado, por lo que tampoco hubiera podido buscarla, como afirmaba Menón. Sin embargo, haber llegado a la respuesta sin haberla “sabido” antes significa que en realidad la ha recordado. El alma ya ha visto todas las soluciones a todos los problemas en su anterior estancia en el mundo de las formas.

Otro diálogo en el que Platón reafirma la teoría de la reminiscencia es el *Fedón*. No obstante, a diferencia del ejemplo anterior, aquí se hace especial énfasis en que el conocimiento es recordado a través de la experiencia.

En el texto platónico, Cebes recuerda la teoría según la cual “aprender no es otra cosa sino recordar, y según éste es necesario que de algún modo nosotros hayamos aprendido en un tiempo anterior aquello de lo que ahora recordamos” (Platón, *Fedón*, 72e). Simmias exige pruebas, a lo que Cebes le explica que se puede llevar a la verdad a cualquier persona haciéndole preguntas de manera adecuada (como en el caso del esclavo). Sócrates, al ver dubitativo a Simmias, se lanza a dar una explicación diferente. La disertación comienza con la misma definición de reminiscencia:

Si uno al ver algo determinado, o al oírlo o al captar alguna otra sensación, no sólo conoce aquello, sino, además, intuye otra cosa de la que no informa el mismo conocimiento, sino otro, ¿no diremos justamente que la ha recordado, a esa de la que ha tenido una intuición? (Platón, *Fedón*, 73c)

Por ende, recordar es intuir información que se encuentra más allá del objeto o fenómeno percibido. Lo anterior es ejemplificado a través de la experiencia que sufren los amantes al ver una lira, pues “reconocen la lira y, al tiempo, captan en su imaginación la figura del muchacho al que pertenece la lira. Esto es una reminiscencia” (Platón, *Fedón*, 73d).

Aquello que se recuerda al momento de observar un objeto puede ser semejante o distinto de la cosa percibida, por lo que la reminiscencia puede generarse a través de un ente que es diferente o igual a ella. La desemejanza y la identidad son susceptibles de ser intuitos, pues el individuo puede contrastar entre el fenómeno y lo recordado, de tal forma que para ello: “Decimos que existe algo igual. No me refiero a un madero igual a otro madero ni una piedra con otra piedra ni a ninguna cosa de esa clase, sino a algo distinto, que subsiste al margen de todos los objetos, lo igual en sí mismo” (Platón, *Fedón*, 74a). El reconocer la diferencia o igualdad entre un fenómeno y el objeto de la reminiscencia se encuentra posibilitado por la existencia de una forma que es la

igualdad. Como vimos anteriormente, esta idea no se actualiza de manera satisfactoria en las cosas, puesto que “¿Acaso piedras que son iguales y leños que son los mismos no le parecen algunas veces a uno iguales, y a otro no?” (Platón, *Fedón*, 74c). Así, debe ser anterior a la percepción de los entes concretos para poder hacer dicha diferenciación: “Por consiguiente, antes de que empezáramos a ver, oír, y percibir todo lo demás, era necesario que hubiéramos obtenido captándolo en algún lugar el conocimiento de qué es lo igual en sí mismo, si es que a este punto íbamos a referir las igualdades aprehendidas por nuestros sentidos...” (Platón, *Fedón*, 75b).

La aprioricidad no es una característica exclusiva de la igualdad en sí, sino que toda forma se aprende antes de nacer y se olvida al llegar al mundo: “Pues el razonamiento nuestro de ahora no es en algo más sobre lo igual en sí que sobre lo bello en sí, y lo bueno en sí, y lo justo, y lo santo, y, a lo que precisamente me refiero, sobre todo aquello que etiquetamos con ‘eso lo que es’...” (Platón, *Fedón*, 75c).

¿Cómo recobramos el conocimiento perdido? El único medio para recordar, por definición, son los sentidos: la percepción de la concreción aproximada de las ideas en los objetos. Sócrates resume:

Entonces ya se nos mostró posible eso, que al percibir algo, viéndolo u oyéndolo o recibiendo alguna otra sensación, pensemos a partir de eso en algo distinto que se nos había olvidado, en algo a lo que se aproximaba eso, siendo ya semejante o disemejante a él. De manera que esto es lo que digo, que una de dos, o nacemos con ese saber y lo sabemos todos a lo largo de nuestras vidas, o que luego, quienes decimos que aprenden no hacen nada más que acordarse, y el aprender sería reminiscencia. (Platón, *Fedón*, 76a)

2.3 El *Timeo* y el mundo como proporción

Timeo es un diálogo platónico tardío¹² en el que se narra la creación del mundo. Hay cuatro interlocutores: Sócrates, Timeo, Hermócrates y Critias. Se piensa que dentro de la literatura

¹² Generalmente, los diálogos platónicos se dividen en cuatro periodos. El primero va del 393 a 388 a.C., y se le denomina periodo socrático. Contiene los siguientes diálogos: *Apología de Sócrates*, *Critón*, *Lisis*, *Protágoras*, *Laques*, *Cármides* y *Eutifrón*. Estas obras se caracterizan por tratar de reflejar fielmente la figura de Sócrates y por disertar sobre temas morales. Al segundo periodo se le denomina de transición; va del 388 al 385a.C. y contiene los siguientes diálogos: *Hipias Menor*, *Hipias Mayor*, *Gorgias*, *Menéxeno*, *Menón*, *Eutidemo*, *Crátilo*. En estos diálogos comienza a esbozarse la teoría de las ideas y la influencia socrática disminuye considerablemente. Los diálogos de madurez constituyen el tercer periodo; va del 385 al 370 a.C., y está conformado por cuatro obras *Banquete*, *Fedón*, *República* y *Fedro*. En esta etapa se desarrolla una exposición mucho más consciente sobre el mundo de las ideas y

platónica ocurre justo después de los hechos acontecidos en la *República*, pues se hace un pequeño resumen de la estructura del estado ideal que fue discutida la noche anterior (Platón, *Timeo*, 17b-19a).

Una vez descrito el estado ideal, Sócrates expresa su deseo por conocer un caso concreto en donde se muestre su funcionamiento, a lo que Critias responde con el mito de la Atenas primordial y cómo fue que rechazó la invasión de los atlántidas y liberó a Europa, África y Asia de la dominación de éstos (Platón, *Timeo*, 20d-26c).

Al terminar la narración, Critias y Timeo se ponen de acuerdo para obsequiarle a Sócrates dos discursos, uno cada quien, como agradecimiento a su disertación sobre la república perfecta. Exclama Critias:

Observa, pues, Sócrates, cómo hemos organizado la disposición de los obsequios. Decidimos que Timeo, puesto que es el que más astronomía conoce de nosotros y el que más se ha ocupado en conocer la naturaleza del universo, hable en primer lugar, comenzando con la creación del mundo y terminando con la naturaleza de los hombres. Después de eso, yo, como si tomara de éste los hombres nacidos en el relato y de ti algunos con la mejor educación, los pondré ante nosotros como frente a jueces, según la historia y la ley de Solón, y los haré ciudadanos de esta ciudad, como si fueran aquellos atenienses de los que los textos sagrados afirman que desaparecieron, y, en adelante, contaré la historia como si ya fueran ciudadanos atenienses. (Platón, *Timeo*, 27a-27c)

Desafortunadamente, la disertación sobre la historia de la Atenas primordial no se tiene completa, pues Platón no terminó de escribir el diálogo. Sin embargo, el discurso en torno a la creación del mundo se conserva en su totalidad y es el que compete al presente trabajo.

Lo primero que hace Timeo es diferenciar entre lo inmutable y lo dinámico, para luego sostener que todo aquello que "... deviene, deviene necesariamente por alguna causa; por tanto es imposible que algo devenga sin una causa" (Platón, *Timeo*, 28a). Aquí Timeo no se refiere a la participación que toman los objetos de las ideas, sino que quiere introducir como causa de lo visible a un hacedor o demiurgo. De igual manera, menciona que los objetos pueden construirse sin más, o pueden hacerse basados en su modelo inmutable (es decir, desde su forma correspondiente en el mundo de las ideas). Lo creado de esta última manera será "necesariamente bello".

El universo es un ser que deviene, por lo que necesariamente fue generado. Más aún, su hacedor tomó como modelo su idea correspondiente, pues:

su filosofía en general. Por último, el cuarto periodo (del 369 al 347 a.C.) es el de la vejez, y está constituido por: *Parménides*, *Teeteto*, *Sofista*, *Político*, *Filebo*, *Timeo*, *Critias* y *Leyes*.

A todos les es absolutamente evidente que contempló el [modelo] eterno, ya que este universo es el más bello de los seres generados y aquél la mejor de las causas. Por ello, engendrado de esta manera, fue fabricado según lo que se capta por el razonamiento y la inteligencia y es inmutable. Si esto es así, es de total necesidad que este mundo sea una imagen de algo. (Platón, *Timeo*, 29a)

No obstante, el demiurgo no crea el mundo de la nada, sino que toma aquello visible que ya existía y "... lo condujo del desorden al orden, porque pensó que en todo sentido éste es mejor que aquél" (Platón, *Timeo*, 30a). Y consideró que el mundo sería más bello si hubiese razón en él, pero esto sería imposible si no tuviese alma. Por lo que al armar el mundo, colocó la razón en el alma y el alma en el mundo.

El cuerpo del mundo fue creado a partir de cuatro elementos: tierra, agua, aire y fuego. Al principio, el hacedor utilizó tierra y fuego para construirlo, pues tenía que ser tangible y visible. Sin embargo, aquellos elementos sólo pueden embonar de manera correcta si se tienen dos términos medios entre ellos, algo que los una y que compartan, o tengan en común. Por ello tuvo que hacer uso del agua y del aire, de tal forma que:

...el dios colocó agua y aire en el medio del fuego y la tierra y los puso, en la medida de lo posible, en la misma relación proporcional mutua –la relación que tenía el fuego con el aire, la tenía el aire con el agua y la que tenía el aire con el agua, la tenía el agua con la tierra–, después ató y compuso el universo visible y tangible. Por esta causa y a partir de tales elementos, en número de cuatro, se generó el cuerpo del mundo. (Platón, *Timeo*, 32b-32c)

Los elementos constituyentes del universo sólo pueden generar un cuerpo *estable* si se encuentran en una proporción en donde la razón entre cualesquiera dos elementos distintos sea siempre la misma: "...de manera que, después de esta unión, llegó a ser indisoluble para otro que no fuera aquel que lo había creado". El hacedor utilizó la totalidad del material a su disposición, por lo que no hay nada visible que esté fuera de él. De ahí que obtuviera las siguientes características: 1) que fuera el ser vivo (pues tiene alma) más completo posible; 2) que fuera único; 3) que no enfermara ni envejeciera (para *Timeo*, la vejez y la enfermedad suceden debido a los ataques de cuerpos extraños que terminan disolviendo y corrompiendo al cuerpo original, como el mundo es la totalidad, entonces eso no es posible) (Platón, *Timeo*, 32d).

Su forma es esférica, pues es la figura más semejante a sí misma. No le brindó ojos, pues al no haber exterior visible no los necesitaba. Tampoco lo dotó de respiración ni de ningún tipo de

órgano, pues “Nada salía ni entraba en él por ningún lado –tampoco había nada–, pues nació como producto del arte de modo que se alimenta a sí mismo de su propia corrupción y es sujeto y objeto de todas las acciones en sí y por sí” (Platón, *Timeo*, 33c). El único movimiento del que participa es el de la rotación uniforme sobre sí mismo.

El alma del mundo, aunque es mencionada posteriormente en el diálogo, fue creada antes del cuerpo (Platón, *Timeo*, 34c). El demiurgo la hizo tomando las partes divisibles e indivisibles de la forma de *lo mismo* (aquello que es igual a sí mismo), de la forma de *lo otro* (aquello que nunca es igual a sí mismo) y del ser.¹³ Primero tomó ambas partes del ser y las mezcló, creando una tercera. De igual manera, “En lo que concierne a las naturalezas de lo mismo y de lo otro, también compuso de la misma manera una tercera clase de naturaleza entre lo indivisible y lo divisible en los cuerpos de una y otra” (Platón, *Timeo*, 35a). Al finalizar, tomó los tres elementos resultantes y los mezcló.

Comenzó a dividir la mezcla, pero no lo hizo de manera aleatoria.¹⁴ Primero extrajo una parte del todo (1), y a continuación sacó una parte del doble de ésta (2); luego tomó la tercera parte, que era una vez y media la segunda y tres veces la primera (3); la cuarta, el doble de la segunda (4); la quinta, el triple de la tercera (9); luego, la sexta ocho veces la primera (8); y finalmente, la séptima, veintisiete veces la primera (27). Con ello obtuvo la siguiente sucesión: (1, 2, 3, 4, 8, 9, 27). Posteriormente, llenó los intervalos dobles y triples (es decir, aquellos entre las series: (1, 2, 4, 8) y (1, 3, 9, 27)) cortando más porciones de lo que restaba de la mezcla original, de tal suerte que en cada intervalo hubiera dos medios: “uno que supera y es superado por los extremos en la misma fracción”¹⁵ y “otro que supera y es superado por una cantidad numéricamente igual”¹⁶ (Platón, *Timeo*, 36a-36b). Es decir, para cada dos números consecutivos de las dos sucesiones,

¹³Aunque las formas de lo mismo y de lo otro se constituyan a partir de sus partes divisibles e indivisibles, *Timeo* no explicita cuáles son éstas. Sin embargo, en la *forma* del ser, la parte divisible se refiere a aquello que nunca es y deviene continuamente; la indivisible es aquello que es igual a sí mismo y no deviene jamás.

¹⁴ Por cuestión de simplicidad tomaré como unidad a la primera porción que el demiurgo extrajo de la mezcla e iré poniendo entre paréntesis el número que representa en relación con la unidad.

¹⁵ Aquí Platón está haciendo referencia a la media armónica, la cual se define como: $H = \frac{n}{\frac{1}{x_1} + \dots + \frac{1}{x_n}}$, en donde n es la cantidad de números que hay en el conjunto y x_1, \dots, x_n son los números del conjunto. En este caso, el medio armónico entre 1 y 2 es: $\frac{4}{3}$; entre 1 y 3: $\frac{3}{2}$; entre 2 y 4: $\frac{8}{3}$; entre 3 y 9: $\frac{9}{2}$; entre 4 y 8: $\frac{16}{3}$; y finalmente entre 9 y 27: $\frac{27}{2}$.

¹⁶ Esta cantidad se refiere a la media aritmética, por lo que entre 1 y 2 está el $\frac{3}{2}$; entre 1 y 3 está el 2; entre 2 y 4 el 3; entre 3 y 9 el 6; entre 4 y 8 el 6 y entre 9 y 27 el 18.

sacó ambas medias. Juntando todos los resultantes obtuvo la sucesión: $(1, \frac{4}{3}, \frac{3}{2}, 2, \frac{8}{3}, 3, 4, \frac{9}{2}, \frac{16}{3}, 6, 8, 9, \frac{27}{12}, 18, 27)$ ¹⁷. Al rellenar los intervalos hizo uso de toda la mezcla.

Luego unió los trozos por el medio y formó una *X*. Dobló cada extremo y los unió con sus caras opuestas, obteniendo una suerte de círculo. Les imprimió movimiento uniforme. Separó los dos círculos, formando uno exterior y otro interior. Al que giraba externamente proclamó que le correspondía la naturaleza de lo mismo, y al que lo hacía en el interior representaba la naturaleza de lo otro. El círculo de lo diferente fue dividido en siete círculos más pequeños y desiguales, de tal manera que: “los círculos marcharan de manera contraria unos a otros, tres con una velocidad semejante, los otros cuatro de manera desemejante entre sí y con los otros tres, aunque manteniendo una proporción” (Platón, *Timeo*, 36d). Todo este movimiento dentro del círculo de lo mismo, al que: “... le imprimió un movimiento giratorio lateral hacia la derecha...” (Platón, *Timeo*, 36d).

Finalmente, una vez que el demiurgo vio que la composición del alma “había adquirido una forma racional”, la colocó en el centro del cuerpo y se fue extendiendo hacia los extremos del universo hasta “...cubrirlo exteriormente en círculo, se puso a girar sobre sí misma y comenzó el gobierno divino de una vida inextinguible e inteligente que durará eternamente” (Platón, *Timeo*, 36e).

De esta manera, la estabilidad de la porción física del universo se explica por la proporción que hay entre los elementos, mientras que la racionalidad del mundo se da a partir de la adecuada mezcla y fragmentación del alma. Esta cosmología presenta un dios geómetra, que crea el mundo a partir de proporciones matemáticas. Más aún, para Thomas Kjeller, *Timeo* considera que la única manera de entender la estructura y formación del mundo es a partir de las matemáticas: “Cuando *Timeo* introduce su relato sobre la composición estereométrica (53b7-c3), explica que sus interlocutores serán capaces de captar la inusual exposición debido a que tienen la educación

¹⁷ Hay quienes vieron en esta sucesión una escala musical que abarca cuatro octavas y una sexta mayor (Handschin, 1950) y (Leask, 2016, pp. 5-6), y están aquellos que percibieron esta proporción como necesaria para que el alma del mundo pudiera unirse con el cuerpo de forma adecuada: “Platón está viendo la naturaleza de las cosas. El alma debe estar compuesta de acuerdo a una armonía y avanzar a partir de números sólidos y ser armonizada por dos medias, de tal forma que, extendiéndose a través del cuerpo sólido del mundo, pueda alcanzar todo lo que existe. [...] La razón para detenerse en el cubo simboliza un cuerpo en tres dimensiones [...] Es obvio que estas consideraciones tienen relación con teorías sobre la naturaleza del número y con las funciones del alma como un enlace que mantiene unido al cuerpo del mundo; no tienen nada que ver con música” (Cornford, 1997, pp. 67-68).

requerida, la *paideusis*. Dada la naturaleza de lo siguiente, el término *paideusis* se refiere a habilidades matemáticas” (Kjeller, 2006, p. 168).

Desde la antigüedad, han coexistido dos interpretaciones distintas sobre la composición tan elaborada del alma del mundo: la *cinética* y la *cognitiva* (Johansen, 2004, p. 138). La lectura cinética ve al alma como un principio de movimiento; para la cognitiva, el fin de la mezcla es explicar cómo es que el alma del mundo puede generar diferentes tipos de juicios.

Como ya se explicó, el alma explica el movimiento del universo. Más aún, los siete círculos de lo diferente son una representación de la luna, el sol y los planetas, mientras que el círculo de lo igual corresponde a las estrellas fijas. Por otro lado, la introducción del alma se hace con el fin de conferir razón al mundo. Los diferentes componentes del alma explican la manera de pensar:

Quando en el ámbito de lo sensible tiene lugar el razonamiento verdadero y no contradictorio sobre lo que es diverso o lo que es idéntico, que se traslada sin sonido ni voz a través de lo que se mueve a sí mismo, y cuando el círculo de lo otro, en una marcha sin desviaciones, lo anuncia a toda su alma, entonces se originan opiniones y creencias sólidas y verdaderas, pero cuando el razonamiento es acerca de lo inteligible y el círculo de lo mismo con un movimiento suave anuncia su contenido, resultan, necesariamente en conocimiento noético¹⁸ y la ciencia. Si alguna vez alguien dijere que aquello en que ambos surgen es algo que no sea el alma, diría cualquier cosa, menos la verdad. (Platón, *Timeo*, 37c)

Thomas Kjeller Johansen, en *Plato's natural philosophy: a study of the Timaeus-Critias*, niega que ambas lecturas sean excluyentes entre sí (2009, p. 139). Para este autor, la disertación de Platón en torno al alma tiene la finalidad de mostrar cómo ésta se mueve al pensar, y cómo piensa al moverse. Para *Timeo*, el pensamiento es una clase de movimiento circular (Johansen, 2009, p. 139).

Hay un pequeño inconveniente con tomar literalmente al alma como movimiento, pues es esencialmente inmaterial: “Mientras que el cuerpo nació visible, ella fue generada invisible, partícipe del razonamiento y la armonía, creada la mejor de las creaturas por el mejor de los seres inteligibles y eternos.” (Platón, *Timeo*, 37a). Un ente que no ocupa un lugar en el espacio no puede tener movimiento, por lo que interpretar literalmente el movimiento circular del alma es problemático. Sin embargo, el movimiento de los planetas y las estrellas fijas imponen una lectura literal (Johansen, 2009, p. 140).

¹⁸ El conocimiento noético es la forma más alta de intelección, y corresponde a la contemplación de las ideas. Véase la metáfora de la línea dividida en *República* (509d-534a).

2.4 Entes mediales en el *Timeo*

El alma del mundo no es material, pero tampoco es una forma. No puede ser percibida por los sentidos, pero es inherente a la materia. Para Zev Bechler, la creación mixta del universo en el *Timeo* es la forma en la que Platón expresa que el mundo no es enteramente lógico, sino que es una mezcla entre el completo caos y el completo orden, “entre la continua auto-contradicción de la materia y la pura auto-identidad del mundo de las formas” (Bechler, 2016, Posición en Kindle: 1988-1990). El alma del mundo, y en general las almas en el *Timeo*, están posibilitadas a ser motores de la materia porque tienen un pie en ambos mundo: uno en el material y otro en el ideal. El *Timeo* está lleno de estos entes de naturaleza limítrofe.

Una vez que el demiurgo ha puesto en movimiento el universo, Timeo narra la creación de los cuerpos celestes (38c-40c), la de los Dioses de la mitología (40d-41a), y la del hombre: desde su cuerpo (41a-d), pasando por su alma (41d-42a), hasta la explicación del funcionamiento de las sensaciones (45b-47c).

Al terminar dichas descripciones, Timeo asegura que el discurso anterior fue una demostración de que el universo ha sido creado a partir de una mente racional. Sin embargo, para que sea una disertación completa, se le debe adjuntar “... lo que es producto de la necesidad” (Platón, *Timeo*, 48a). El universo ha sido creado a partir de la inteligencia y la necesidad, el primero corresponde al demiurgo inteligente que articula el universo, mientras que la segunda se refiere a la causalidad que hemos discutido anteriormente, a saber, la de las ideas y los objetos. Para explicarlo, para hacerlo coherente, Timeo se ve forzado a: “... reiniciar [...] nuestra tarea y, tal como hicimos anteriormente, empezar ahora otra vez desde el principio, adoptando un nuevo punto de partida adecuado a esta perspectiva” (Platón, *Timeo*, 48b).

Este nuevo enfoque sobre el mundo radica en considerar la naturaleza de los elementos, a saber: tierra, agua, aire y fuego. El discurso comienza con el reconocimiento de que la diferenciación entre el modelo inteligible e inmutable y la imagen del mundo que deviene y es visible, no es adecuada. Para llenar esta laguna explicativa, postula un tercer ente:

En aquel momento, no diferenciamos una tercera clase porque considerábamos que estas dos iban a ser suficientes. Ahora, sin embargo, el discurso parece estar obligado a intentar aclarar con palabras una especie difícil y vaga. ¿Qué características y qué naturaleza debemos suponer que

posee? Sobre todas, la siguiente: la de ser un receptáculo de toda la generación, como si fuera su nodriza. (Platón, *Timeo*, 49a)

A partir del receptáculo es que se explicará cómo las ideas pueden actualizarse (aproximadamente) en el mundo real, en particular en los elementos. Para entender su naturaleza más fácilmente, Timeo dice:

Bien, si alguien modelara figuras de oro y las cambiara sin cesar de unas en otras, en caso de que alguien indicara una de ellas y le preguntase qué es, lo más correcto con mucho en cuanto a la verdad sería decir que es oro – en ningún caso afirmar que el triángulo y todas las otras figuras que se originan poseen existencia efectiva, puesto que cambian mientras se hace dicha afirmación... (Platón, *Timeo*, 50b)

El receptor es como el oro, puede albergar muchas formas diferentes sin dejar de ser lo que es. Siempre es idéntico a sí mismo, no admite las propiedades de los objetos que entran o salen de él. Más aún, “así como el material en que se va realizar el grabado estaría bien preparado sólo si careciera de todas aquellas formas que ha de recibir de algún lugar” (Platón, *Timeo*, 50d), por lo que debe carecer de cualquier propiedad, pues de otro modo imprimiría su naturaleza en aquello que contenga. De allí que se encuentre exento de toda forma.

Lo visible descansa sobre él, pero no es ninguno de los cuatro elementos. Su naturaleza es invisible, amorfa y “participa de la manera más paradójica y difícil de comprender de lo inteligible” (Platón, *Timeo*, 51b). Es un ente que participa de las ideas, pero no en una forma convencional, pues no tiene propiedades. Más bien, imita a las distintas formas del mundo ideal y con ello da lugar al mundo fenoménico. El receptáculo es el espacio, en donde los objetos visibles acontecen. Los elementos no son la excepción, pues el espacio es el que se asemeja a sus formas y los actualiza en el mundo visible: “la parte de él que se está quemando se manifiesta siempre como fuego, la mojada, como agua; como tierra y aire, en tanto admite imitaciones de éstos” (Platón, *Timeo*, 51b).

Por un lado, el espacio genera el mundo fenoménico al imitar a las formas. En ese sentido es un ente ajeno al universo de las ideas: es un ser meramente físico. Por el otro, no contiene propiedades, no cambia y es eterno, al igual que los entes ideales. Nos encontramos ante otro ente medial entre los dos mundos. Así como el carácter limítrofe de alma del mundo la facultaba para influir sobre el movimiento de lo visible, el espacio es el puente entre las formas y sus actualizaciones en el universo perceptible.

La construcción de los elementos a través del espacio es bastante literal, pues éstos son poliedros perfectos. Timeo comienza por establecer que los elementos son cuerpos y que todo cuerpo posee profundidad y una superficie que rodea a esta última. La superficie de una cara plana está siempre compuesta por triángulos y cada uno de éstos se desarrolla a partir de otros dos muy particulares. Ambos tienen un ángulo recto y dos agudos; sin embargo, uno genera su ángulo recto a partir de lados iguales (es un triángulo isósceles) y el otro lo genera a partir de lados diferentes (es un triángulo escaleno) (Platón, *Timeo*, 53d). De los dos triángulos elegidos, el isósceles tiene naturaleza única (la relación entre los lados que generan el ángulo recto es la misma pues, sin importar el tamaño, siempre serán iguales), mientras que el escaleno tiene naturalezas infinitas (pues hay infinitud de maneras en las que los lados pueden ser diferentes entre sí). El demiurgo sólo necesitaba una clase de los escalenos, por lo que eligió "... el más bello: aquel del que surge en tercer lugar el isósceles"¹⁹ y "... con un lado mayor cuyo cuadrado es tres veces el cuadrado del menor" (Platón, *Timeo*, 54b).

Una vez teniendo los dos tipos de triángulos, prosigue con la construcción de los elementos; los cuales tendrán la forma de los poliedros regulares, un tipo de poliedro por un tipo de elemento respectivamente. A la tierra la crea cúbica, el agua tiene la forma de un icosaedro, el aire de un octaedro y el fuego de un tetraedro. Los poliedros están constituidos a partir de caras: el cubo (o hexaedro) tiene seis caras cuadradas; el icosaedro está conformado por veinte triángulos equiláteros; el octaedro por ocho triángulos equiláteros y el tetraedro de cuatro triángulos también equiláteros. A su vez, las caras cuadradas se construyen al unir las hipotenusas de dos triángulos isósceles, mientras que las triangulares se articulan al unir por el lado mayor dos triángulos escalenos iguales.²⁰ De aquí que los triángulos constituyentes de la tierra sean distintos a los que conforman al resto de los elementos, esto influirá fuertemente en su dinámica más adelante.

La elección de las figuras no es arbitraria, pues dependiendo del comportamiento del elemento fue la figura que le asoció Platón. Por ejemplo, la figura fundamental de la tierra es el cubo, puesto que: "... es la menos móvil de los cuatro tipos y la más maleable de entre los cuerpos

¹⁹ Esto último se refiere a la generación de un triángulo isósceles a través de la unión de dos escalenos.

²⁰ Aquí se explica que los triángulos escalenos hayan tenido "un lado mayor cuyo cuadrado es tres veces el cuadrado del menor". Sean dos triángulos escalenos iguales con hipotenusa, a , cuyos lados mayores, b , elevados al cuadrado, son tres veces los lados menores, c , elevados al cuadrado. Es decir: $b^2 = 3c^2$, si y sólo si, $b = \sqrt{3}c$. De igual manera, por el teorema de Pitágoras: $a^2 = b^2 + c^2 = 3c^2 + c^2 = 4c^2$, por lo que: $a = 2c$. Si juntamos los dos triángulos por el lado mayor, de la unión de los lados menores obtenemos un lado $2c = a$, por lo que los tres lados del triángulo resultante son iguales y su altura es: $h = b = \sqrt{3}c = a \frac{\sqrt{3}}{2}$.

y es de toda necesidad que tales cualidades las posea el elemento que tenga las caras más estables” (Platón, *Timeo*, 55d), de manera similar:

... de las restantes, al agua, la que con más dificultad se mueve; la más móvil, al fuego y la intermedia, al aire; y otra vez, la más pequeña al fuego, la más grande al agua, la mediana al aire; y, finalmente, la más aguda al fuego, la segunda más aguda al aire, y la tercera, al agua. En todo esto es necesario que la figura que tiene las caras más pequeñas sea por naturaleza la más móvil, la más cortante y aguda de todas en todo sentido, y además, la más liviana [...] y que la segunda tenga estas mismas cualidades pero en segundo grado y la tercera, en tercero. (Platón, *Timeo*, 56b)

Timeo enfatiza que estos entes son tan pequeños que son invisibles a la vista, pero cuando se aglutinan “se pueden observar sus masas” y no sólo eso, sino que su comportamiento perceptible depende completamente de la geometría de estas entidades constituyentes. Por ejemplo, el elemento más estable es la tierra, a la que se le ha dado una forma cúbica. Esta figura es la más estable de las cuatro y se le asocia el poliedro más estable. De igual manera, la destructividad del fuego se asocia a los ángulos del tetraedro. Dependiendo de la figura, también es la movilidad del elemento, siendo el fuego el más móvil y la tierra el más estático. Estas características las comparten los cuatro elementos en mayor o menor grado dependiendo de su geometría. Es notorio que ciertas propiedades en realidad sólo sean consecuencia de características geométricas.

Pero no sólo es que el comportamiento de los elementos sea explicado a través de la forma de sus corpúsculos constituyentes, sino que también dan lugar a todo el dinamismo que existe entre ellos. Por ejemplo, el fenómeno de la evaporación es explicado de la siguiente manera: “... si el agua es partida por el fuego, o también por el aire, es probable que surja un cuerpo de fuego y otros dos de aire” y cuando se enciende el fuego: “Cuando se disuelve una porción de aire, sus fragmentos darían lugar a dos cuerpos de fuego” (por la recombinación de sus triángulos componentes). La extinción del fuego: “... cuando el fuego, rodeado por el aire o el agua o la tierra, poco entre muchos se mueve entre sus portadores, lucha y, vencido, se quiebra: dos cuerpos de fuego se combinan en una figura de aire, mas cuando el aire es vencido y fragmentado, de dos partes y media se forjará una de agua” (Platón, *Timeo*, 56d). Las interacciones entre los elementos se dan a partir de la colisión de sus figuras, su descomposición en triángulos y el elemento resultante de la interacción se genera a través de la recombinación de los mismos. Esta dinámica sólo puede darse entre el fuego, el agua y el aire, puesto que la tierra está construida a partir de

triángulos distintos, por lo que no puede ser producto de la recombinación de las partes constituyentes de los anteriores.

Existen infinitos poliedros de diferentes tamaños de cada elemento, pues lo único que determina a los triángulos constituyentes es la relación entre sus lados y no su magnitud. Las aglutinaciones de distintos tipos de poliedros dan lugar a diferentes clases de elementos. Por ejemplo, Timeo menciona dos clases de fuego: la llama y lo que se desprende de la llama que, aunque no quema, nos hace posible ver la flama. De la misma manera, hay diferentes tipos de aire: “el más brillante, que lleva el nombre de éter, otro, el más turbio, que es llamado niebla y oscuridad...” (Platón, *Timeo*, 56c). También hay dos clases de agua, una líquida y otra que se fusiona. El agua fluvente está compuesta de poliedros pequeños que, en su desequilibrio, le brindan movimiento al elemento, mientras que su forma sólida está hecha a base de partículas más grandes, por lo que tiene más estabilidad; aunque bajo la acción del fuego pueda diluirse y recombinarse en constituyentes más pequeños. Variando el tamaño y el arreglo de estos entes, Timeo define un sinfín de materiales distintos así como su interacción entre ellos (Platón, *Timeo*, 53c-61b).

Habiendo hecho la construcción de los objetos a partir de las distintas clases de átomos, Timeo pasa a hacer una teoría de la percepción. Para Platón las cualidades se generan a partir de los elementos. Por ejemplo:

Veamos por qué dicen que el fuego es caliente y observemos que pensamos que produce una escisión y corte en nuestro cuerpo. Pues casi todos percibimos que se trata de una sensación cortante. Cuando recordamos el origen de su figura, debemos razonar respecto del filo de sus lados, de la agudeza de sus ángulos, de la pequeñez de sus partículas y la rapidez de su movimiento –cualidades con las que, violento y filoso, corta siempre todo lo que encuentra en su camino–, que es sobre todo este elemento y no otro, el que por división y partición de nuestros cuerpos en pequeñas partículas, produce las cualidades y da nombre a ese fenómeno que ahora llamamos razonablemente calor. (Platón, *Timeo*, 61e)

Presuponiendo que el cuerpo humano está hecho a base de corpúsculos (como todo cuerpo físico), Timeo se vale de las mismas propiedades geométricas de los elementos para construir su teoría de la percepción. Su física es general y en particular da lugar a las sensaciones del hombre.

De la misma manera, define otras sensaciones a partir de las propiedades geométricas de los poliedros. Lo duro es aquello que es más resistente que la carne, pero esa resistencia se debe a la estabilidad que se produce al aglutinar figuras con bases cuadradas. Similarmente, el frío se da cuando

Ingresan en el cuerpo partículas grandes de líquidos situados alrededor, expulsan las menores al exterior, pero, al no ser capaces de ocupar sus lugares, comprimen la humedad de nuestro interior y por su homogeneidad y compresión la inmovilizan y la congelan. Pero lo reunido contra natura por naturaleza lucha y se empuja a sí mismo hacia el estado contrario. A esta lucha y vibración se le añade un temblor y estremecimiento. (Platón, *Timeo*, 62b)

También hay sensaciones que se explican a través del cambio del movimiento de los poliedros. Cuando partículas ligeras son perturbadas por un agente externo, éstas se mueven con facilidad y transmiten el cambio en el movimiento a otras partículas circundantes. Los sentidos, como la vista o el olfato, corresponden a ciertos tipos de reacciones en cadena que suceden en los corpúsculos que componen el cuerpo. De igual forma, la insensibilidad de ciertas partes del cuerpo, como el cabello o los huesos, se explica diciendo que están formadas por poliedros más pesados y que, por ende, se mueven con menos facilidad. Los sentidos se explican a partir de la perturbación (cambio en el movimiento) de partículas del cuerpo. Entre más cambio de movimiento haya, más intensa será la sensación. Cabe recordar que la respuesta al cambio del movimiento se da a partir de la estabilidad del poliedro y ésta, a su vez, se debe a la forma geométrica del elemento. Dicho en otras palabras: ninguna sensación se escapa de ser explicada a través de propiedades geométricas.

Los corpúsculos fundamentales de la materia, que en realidad son modificaciones del espacio, al igual que este último, son entes mediales. No sólo su aglutinación da lugar a los objetos visibles, sino que los procesos físicos se explican a partir de sus características geométricas y de su movimiento. Sin embargo, no dejan de ser poliedros perfectos, hechos a partir de triángulos perfectos, que sólo podrían encontrarse en el mundo de las ideas. Al igual que el alma del mundo y el espacio, también están en ambos mundos.

Otro problema con esta teoría atómica es que las unidades fundamentales de la materia son entidades bidimensionales y aun así generan objetos tridimensionales al juntarse. Visto que no se tiene del todo claro cómo es posible que ocurra aquello que denominamos materia y espacio, el mismo Platón dice que éstos se puede conocer sólo medianamente o a través de un conocimiento “bastardo” (Bechler, 2016, posición en Kindle 2045).

Conclusiones del capítulo

El conocimiento se articula a partir de las condiciones de exclusión e implicación que existen entre las ideas. Como los objetos participan de las formas a través de la semejanza, entonces las interconexiones entre ellas se dan aproximadamente en el mundo. De allí que el conocimiento sea aplicable al mundo concreto.

La separación entre las formas y el mundo material asegura que éstas sean imperturbables, por lo que el conocimiento articulado será siempre aplicable al mundo, no importando en qué estado se encuentre. Si las ideas y sus interrelaciones fueran dinámicas, entonces el saber sería errático: a veces aplicable y a veces no, aunque se tratara de la misma situación. La teoría de la reminiscencia asegura la posibilidad de adquisición de conocimiento y reafirma la separación entre el universo concreto y el de las ideas. El hecho de que el alma haya visto las ideas y sus interconexiones con anterioridad, significa que tienen existencia por sí y son indiferentes a lo visible. La invisibilidad de las formas es esencial, pues asegura su inmutabilidad y eternidad.

Para que el mundo sea estable, tenga movimiento y pueda ser cognoscible, es necesario que esté articulado a partir de proporciones matemáticas. El demiurgo es un ordenador matemático: es un geómetra. El universo debe ser entendido y explicado desde un enfoque matemático. El alma del mundo, el espacio y los poliedros materiales son entes intrínsecamente paradójicos, pues son mediales entre el universo formal y el concreto, y sólo pueden conocerse medianamente. Sin embargo, es necesario que sean limítrofes, pues de esa manera funcionan como puentes entre los dos mundos y dan una explicación efectiva al mundo visible. El movimiento se da a partir del alma inmaterial; el espacio da lugar a las concreciones de las ideas y los sólidos platónicos son geoméricamente perfectos y, al mismo tiempo, dan lugar a la materia.

La noción de materia es problemática, pues los poliedros están contruidos a base de caras: son superficies. No se explica de qué modo un ente bidimensional puede generar materia tridimensional. Más aún, el dinamismo del mundo se da a partir de una realidad invisible de desarticulación y recombinación de poliedros y triángulos perfectos, donde toda cualidad es reducible a propiedades geométricas y de movimiento.

En el siguiente capítulo se verá cómo Galileo asumió estos presupuestos ontológicos y epistémicos en la forma en la que investiga la naturaleza. En particular veremos que: 1) él también hace la separación entre causa y efecto, y que ésta permite la matematización del movimiento; 2)

cómo es que, a partir de sus nociones epistemológicas, implícitamente acepta la existencia del mundo de las ideas; 3) muestra que está de acuerdo con la teoría de la reminiscencia y lo justifica de manera similar a como lo hace Platón; 4) para él el mundo, en su esencia, es estrictamente matemático y ello nos permite modelarlo y 5) utiliza entes mediales para la explicación de algunos sistemas físicos.

Capítulo 3: El mundo físico de Galileo

En este capítulo, se verán cuatro características del pensamiento galileano que convergerán con las particularidades de la filosofía platónica que vimos en la sección anterior. Éstas son: 1) la invariabilidad e imperceptibilidad de las causas del movimiento; 2) la afirmación de que el proceso de adquisición de conocimiento es remembranza y de que éste último existe independientemente del hombre; 3) la aserción de que la realidad tiene una estructura matemática, lo que posibilita la matematización de los fenómenos físicos, y 4) la utilización de entes imperceptibles y geoméricamente perfectos para la explicación de ciertos procesos físicos, en particular los relacionados con la materia.

En el corpus platónico, la inmutabilidad de las ideas, junto con su imperceptibilidad, es aquello que asegura la estabilidad suficiente para la creación del conocimiento de los fenómenos físicos. En el caso de Galileo, será la estabilidad de las causas de los movimientos la que posibilitará el estudio de éstos. Más aún, es esta característica la que permitirá el tratamiento matemático de la mecánica galileana.

Por otro lado, la adquisición de conocimiento entendida como reminiscencia es adoptada por Galileo en los *Diálogos sobre los dos máximos sistemas del mundo*. Al igual que Sócrates, quien hace recordar al esclavo la superficie del cuadrado, Salviati hará recordar a Simplicio que todo cuerpo que se encuentra en movimiento circular uniforme experimenta un ímpetu que va hacia afuera del centro en torno al cual gira.

De igual manera, la distinción que hace entre conocimiento intensivo y extensivo implica la existencia de un mundo de proposiciones verdaderas que existe independientemente del universo sensible, el cual posee la mismas características que el *topos uranus* platónico.

De manera análoga a Platón, quien establece que el mundo fue construido a partir de proporciones matemáticas, Galileo está convencido que la realidad es esencialmente matemática y de que, por ende, la geometría es aplicable a los fenómenos físicos.

Por último, así como el discurso platónico hace uso de entes cuyas características son ideales y que median entre el mundo de las ideas y el universo sensible, Galileo propone la existencia de entes matemáticamente perfectos como medio de explicación de procesos físicos. Aún más, mientras Platón piensa que las características geométricas de los sólidos platónicos dan

lugar a los fenómenos macroscópicos, Galileo afirma que las condiciones de movimiento de los átomos puntuales que dan lugar a la materia son las que configuran el mundo perceptible.

3.1 La inmutabilidad de las causas del movimiento

En 1589, Galileo fue nombrado profesor de matemáticas en la Universidad de Pisa. Fue por estas fechas que escribió sus primeros tratados en torno al movimiento, los cuales fueron recopilados posteriormente con el nombre *De motu antiquiora*. En ellos se tratan cinco problemas: 1) el movimiento de los proyectiles; 2) la naturaleza de lo pesado y de lo ligero y la ley de proporción de las velocidades de los objetos que caen libremente dentro de un medio; 3) si hay o no un periodo de reposo cuando un objeto alcanza su altura máxima en el tiro vertical; 4) si es posible el movimiento en el espacio vacío y, 5) por qué los cuerpos se aceleran cuando caen (Moody, 1951, p. 166). En el presente trabajo se hará una revisión del segundo problema.

En primer lugar, Galileo establece la diferencia entre los sólidos pesados y los livianos²¹, postulando que los primeros siempre descansarán por debajo de los segundos. La diferencia entre la distinta pesadez de los cuerpos la explica a través de la densidad: "... parece que aquellos cuerpos son más pesados porque, en un espacio pequeño, contienen más materia" (Galileo *apud* Moody, 1951, p. 168). De igual manera, la dinámica de un objeto que cae libremente dentro de un medio está determinada por la pesadez o levedad relativa entre éste y el entorno: el objeto cae si es más pesado que el medio o va hacia arriba si es más liviano, y la velocidad con la que se mueve está dada a partir de la diferencia entre su peso y el del ambiente.

²¹ En el Libro IV del *De Caelo*, Aristóteles explica a qué se refiere con pesado y leve. Cabe mencionar que estas definiciones fueron dominantes hasta el siglo XVI. Aquí, el Estagirita argumentó que muchos autores antes que él habían tratado a estos conceptos en un sentido relacional, es decir, explicaban la mayor ligereza o pesadez de un cuerpo a partir de otro. Por ejemplo, hablaban de si la madera era más ligera que el agua, o si el bronce era más pesado que la tela. Sin embargo, ninguno habló de estos términos en sí mismos. Para dar una definición de este estilo, el Filósofo comienza dándole una orientación al universo en términos de "arriba" y "abajo". En efecto, el Estagirita argumenta que, si hay un centro del universo (el centro de la tierra), entonces, no importando la posición en la que se encuentre el observador, lo que esté alejado del centro se dirá que está arriba y aquello que se encuentre cercano a éste se dirá que está abajo. Luego toma esta orientación del espacio y define lo "pesado" y lo "leve" de la siguiente manera: "Así, pues, llamamos "leve" sin más, a lo que [se desplaza] hacia arriba y hacia la extremidad [del universo], "grave" [o pesado] sin más a lo que [se desplaza] hacia abajo y hacia el centro"; en cambio, [hablamos de] "ligero respecto a algo" y "más ligero" cuando, de dos cosas que tienen peso e igual volumen, una de las dos se desplaza más aprisa hacia abajo por naturaleza (Aristóteles, *Acerca del cielo*, 308a-308b). Esta orientación del universo y las respectivas definiciones de "pesado" y "ligero" devinieron en la separación del mundo en los lugares a los que tienden naturalmente los elementos constitutivos de la materia, que son los siguientes (de mayor a menor liviandad): éter, fuego, aire, agua y tierra. De aquí que el éter constituya el mundo supralunar (más arriba de la luna) y los restantes constituyan el universo sublunar en el orden anteriormente mencionado. Galileo, como se verá en los párrafos siguientes, trata la pesadez y la levedad en un sentido relacional y no como si fuesen propiedades absolutas.

Para hacer evidente lo anterior, Galileo demuestra cuatro teoremas:

- i. Los cuerpos que son iguales en peso al agua, cuando se les coloca en ésta, se sumergirán completamente y no se moverán más hacia arriba que hacia abajo.
- ii. Los cuerpos que son más livianos que el agua, cuando se les coloca en ésta, se sumergirán hasta el punto en que el volumen de agua que iguala a la parte sumergida del volumen del objeto tenga el mismo peso que la totalidad del cuerpo.
- iii. Los cuerpos que son más livianos que el agua, si se les sumerge en ésta, se moverán hacia arriba con tanta fuerza (*tanta vis*²²) como el peso por el cual el volumen de agua, igual al volumen del cuerpo, excede al peso de este último.
- iv. Los cuerpos que son más pesados que el agua, si se les coloca en ésta, se moverán hacia abajo con tanta fuerza como el peso por el cual el volumen de agua, igual al volumen del cuerpo, es más liviano que este último.

Los primeros dos teoremas muestran un estado de equilibrio, mientras que los restantes hacen referencia a un sistema en movimiento. Galileo define la fuerza que aparece en los teoremas iii y iv como: "...el poder que tiene el cuerpo de moverse a mayor o menor rapidez a través de un medio, siendo esta velocidad determinada por el exceso de la gravedad específica del cuerpo por encima de la del medio o, en el caso del movimiento hacia arriba, por la mayor densidad del material del entorno sobre la del objeto" (Moody, 1951, p. 171). Pero esto no sólo sucede cuando el medio es agua, sino que pasa en general. Galileo ilustra la dinámica con el siguiente ejemplo:

Sea un cuerpo pesado, digamos el cuerpo A, cuya gravedad²³ es 8, si la gravedad de la cantidad de agua que es igual al volumen de A es 4, entonces el sólido A se movería hacia abajo con una rapidez y facilidad de 4. Sin embargo, si el mismo cuerpo A fuera llevado a un medio menos pesado, de tal manera que la gravedad de un volumen de ese medio que fuese igual al volumen de A fuera igual a 2; entonces el sólido A, en este segundo medio, iría hacia abajo con una facilidad y rapidez equivalentes a 6... por lo tanto se sigue que un medio es considerado más liviano, sólo en la medida

²² De acuerdo con Moody, los términos *vis* (fuerza o potencia), *celeritas* (aceleración), *facilitas* (facilidad) y *velocitas* (velocidad) son usados indistintamente dentro del texto para referirse a *velocidad* o *rapidez*. Esto se infiere de que Galileo aplica las leyes de estos conceptos directamente al planteamiento de la caída en el vacío. Los términos que difieren un poco son *facilitas* y *dificultas* pues se relacionan directamente con la facilidad o dificultad que el medio provoca para la caída del cuerpo (Moody, 1951, p. 171).

²³ Aquí, Galileo utiliza el término "Gravedad" como aquella propiedad que tienen los objetos que caen. De allí también que a las cosas que caen se les llame "graves".

en que cuerpos pesados son más fácilmente llevados hacia abajo en él. (Galileo *apud* Moody, 1951, p. 171)

La velocidad de la caída de los cuerpos, en general, está en función de las densidades, tanto del grave como del medio. Esta relación está dada a partir de la diferencia aritmética entre la *pesadez* de ambos. Si llamamos v_m a la velocidad con la que cae el sólido en el medio m , d_g a la densidad del objeto y d_m a la densidad del medio, entonces tenemos que: $v_m \propto d_g - d_m$. De aquí se puede establecer una ley de proporción entre velocidades en distintos medios para el mismo objeto: sea v_1 la velocidad en el primer medio y v_2 la velocidad en el segundo, entonces se tiene que $\frac{v_1}{v_2} \propto \frac{(d_g - d_1)}{(d_g - d_2)}$.²⁴ Nótese que esta noción de velocidad admite el movimiento en el vacío²⁵, pues bastaría con hacer la resistencia del medio igual a cero. En este caso particular, la velocidad del objeto es máxima.

El hecho de que la relación esté en función de la diferencia entre la gravedad del objeto y la pesadez del medio significa que ambas ejercen su influencia durante todo el proceso de caída y existen con independencia entre ellas. Esta resta aritmética implica la existencia simultánea de dos fuerzas (peso y resistencia) que actúan independientemente una de la otra y de manera contraria (Bechler, 1991, p. 127). Decimos que estas variables son independientes entre sí porque, no importando el medio en el que caiga un objeto, el peso de éste será siempre el mismo. De igual manera, la fuerza de resistencia del medio será la misma independientemente del objeto que cae en él. En este sentido, estas variables, al superponerse, definen la trayectoria resultante pero no se afectan entre sí. De aquí se deducen dos propiedades: 1) estas fuerzas no son algo que pueda ser observado, sino que sólo puede percibirse el efecto que se genera a partir de su superposición, i.e.,

²⁴ En el caso en que: $d_g = d_2$, la expresión divergirá. Esto tiene un sentido físico particular. Si la densidad del medio fuese igual a la del objeto, entonces este último no podría penetrar y la velocidad sería cero. Como se tiene una ecuación que denota la proporción entre velocidades en distintos medios, si $v_2 = 0$, entonces se tendría que v_1 es “infinitas veces” v_2 .

²⁵ Para Aristóteles, el movimiento en el vacío era imposible por varias razones. El Estagirita pensaba que había dos tipos de movimiento: el natural y el violento. El primero es aquél al que por naturaleza tienden los cuerpos. Por ejemplo, la tendencia de la tierra es ir al centro del universo, por lo que ésta siempre cae. El movimiento violento se da cuando, por contacto, un cuerpo dota de movilidad a otro. Si el contacto cesa, entonces el móvil se detiene. Ahora bien, como en el vacío no hay centros ni diferenciaciones espaciales, entonces el movimiento natural es imposible porque no hay lugares naturales. De igual manera, como en el vacío no hay cuerpos, entonces no hay nada que pueda causar el movimiento violento de otro (Aristóteles, *Física*, 215a 0- 20). En segundo lugar, Aristóteles pensaba que la velocidad del móvil que cae inmerso en un medio era inversamente proporcional a su resistencia. Como el vacío carece de viscosidad, entonces opondría una resistencia igual a cero, por lo que la velocidad del cuerpo sería infinita (Aristóteles, *Física*, 215a 25 - 215b 25). Aquí puede observarse el rechazo de la física aristotélica en los textos de juventud de Galileo.

el desplazamiento final del objeto; 2) al no afectarse entre sí, son inmutables en tanto que en sí mismas no cambian, pues la adición de más variables sólo representaría un cambio en la adición final, es decir, en el movimiento resultante, y 3) estas propiedades establecen una clara separación –incluso ontológica– entre estas causas y la trayectoria final –el efecto de éstas–, pues las primeras son imperceptibles, mientras que la segunda es observable.

Al igual que Platón, quien veía en la invisibilidad e inmutabilidad de las causas la estabilidad que permitía establecer nexos causales para la construcción del conocimiento sobre el mundo, Galileo está proponiendo causas invisibles e inmutables que dan como resultado los fenómenos físicos observables. Pero no sólo lo hace como una dilucidación ontológica del fenómeno, sino que es una actitud epistémica que le permite explicarlo.

En el presente trabajo se expondrán otros dos ejemplos²⁶ en donde Galileo supone: 1) la separación entre las causas y el movimiento resultante; 2) que las causas son imperceptibles; 3) que éstas son independientes entre sí, y 4) que son tan reales como aquello que se observa.

El siguiente ejemplo se encuentra en los *Diálogos sobre los dos máximos sistemas del mundo*. Su principal intención era presentar argumentos a favor del modelo heliocéntrico del universo. La obra está dividida en cuatro días de charlas entre tres interlocutores: Salviati, Sagredo y Simplicio. Salviati defiende el copernicanismo y presenta las ideas de Galileo²⁷. Sagredo se muestra como un hombre inteligente que, aunque al principio es neutral, poco a poco se va convenciendo de la teoría heliocéntrica. Por último, Simplicio es un seguidor de la astronomía ptolemaica y un ferviente defensor de la física aristotélica.

En el segundo día, Simplicio da varios argumentos por los cuales Aristóteles pensaba que el movimiento de la Tierra era imposible. Uno de ellos versa de la siguiente manera:

Finalmente, él [Aristóteles] fortalece esto con un cuarto argumento tomado de experimentos donde cuerpos pesados, cayendo de cierta altura, bajan perpendicularmente a la superficie de la tierra.

²⁶ Se eligieron los siguientes textos: *De motu antiquiora*, escrito entre 1589-1592 (Drake, 1976, p. 240) y publicado póstumamente en 1687; *Diálogos sobre los dos máximos sistemas del mundo* (1632) y *Diálogos acerca de dos nuevas ciencias* (1638). El primer texto es de la época de juventud de Galileo, pues tenía entre 25 y 28 años de edad. En este periodo ocupó la cátedra de Matemáticas en Pisa. Las otras dos obras son consideradas como la cumbre del pensamiento galileano, pues en el primero presenta su defensa del copernicanismo y en el segundo desarrolla su teoría sobre los movimientos locales. La elección de estos textos fue para tratar de mostrar que esta forma de pensar se fue gestando desde una obra joven (*De motu*), hasta su último libro (*Diálogos acerca de las dos nuevas ciencias*), pasando por su texto más controversial (*Diálogos sobre los dos máximos sistemas del mundo*).

²⁷ Aunque en la obra se refieran a Galileo como *el académico*. Hay quienes especulan que esta manera de llamarse a sí mismo es una referencia a la *Academia de Atenas*, fundada alrededor del 387 a.C. por Platón (Power, 1964, p. 155). Para ello, véase la nota de San Román Villasante (Galileo, 2003, p. 55).

Similarmente, proyectiles que son arrojados hacia arriba caen perpendicularmente a través de la misma línea, aunque hayan sido aventados a una inmensa altura. Estos argumentos son pruebas irrefutables de que su movimiento es hacia el centro de la tierra que, sin moverse ni un poco, espera y los recibe. (Galileo, 1967, p. 125)

En otras palabras: si la tierra se moviera mientras el grave sigue su trayectoria hacia abajo, entonces la rotación de ésta haría que el móvil cayera a una distancia considerable de la base del edificio o que se topara con él antes de tocar el piso. No obstante, esto nunca sucede, el objeto siempre cae al pie de la estructura. Por lo tanto, la Tierra no gira.

Sin embargo, Salviati resuelve la aparente refutación de la siguiente manera: imaginemos una torre desde la cual arrojamos un objeto. Si la tierra rotara, entonces la torre que está encima de ésta también rotaría, por lo que el cuerpo también estaría rotando antes de ser soltado. Se le pregunta a Simplicio: ¿qué movimiento tendría el grave si se dejara caer?, a lo que responde: “en ese caso uno tendría que decir ‘sus movimientos’, pues habría uno que lo llevaría de arriba hacia abajo y otro que lo haría seguir a la torre” (Galileo, 1967, p. 139). El movimiento perpendicular a la torre que adquiere el cuerpo por estar girando junto con la tierra hace que la distancia entre ésta y el objeto se mantenga siempre constante y, al final, éste caiga al pie de la estructura. Aquí cabe destacar que el hecho de que Galileo presuponga que el cuerpo seguirá teniendo un movimiento perpendicular a su caída aun cuando ya ha sido soltado, es decir, aun habiéndose separado de la tierra que gira, implica necesariamente una concepción del principio de inercia.

Los dos movimientos de los que *participa* el cuerpo al caer existen simultáneamente. Incluso son independientes, pues no interfieren entre sí, se actualizan al mismo tiempo para dar resultado a lo observado. Aquí tenemos otro ejemplo de cómo seres invisibles causan lo visible y de cómo es que el actuar de estos entes (los movimientos) no se verá afectado porque otro comience a influir sobre el cuerpo. El desplazamiento vertical que sigue el objeto debido a su peso no disminuirá ni aumentará porque éste siga otro en dirección distinta o incluso opuesta. Lo que cambiará será el fenómeno físico resultante.

En este ejemplo particular, el movimiento debido a la rotación de la tierra y el que es causado por el peso del cuerpo son perpendiculares. En ese sentido, podría pensarse que por ello no se afectan entre sí y que la coexistencia de estos movimientos sólo es una particularidad del ejemplo. Veamos otro caso: supongamos que en lugar de dejar caer el objeto, éste es arrojado con fuerza en dirección vertical hacia abajo. Sin duda, en este caso el objeto caerá más rápido que en el caso en el que sólo se deja caer. Pero este impulso no modifica el peso del objeto ni afecta el

ímpetu que éste siente en dirección perpendicular debido a la rotación terrestre, sino que sólo se superpone a los otros movimientos, haciendo que el fenómeno resultante sea distinto.

La cumbre del uso de este principio se encuentra en la cuarta jornada de los *Diálogos Acerca de Dos Nuevas Ciencias* (Galileo, 2003, pp. 331-383). Esta obra fue escrita cuando Galileo ya se encontraba bajo el arresto domiciliario que duraría el resto de su vida.²⁸ La obra tiene una composición mixta, pues expone teoremas, proposiciones, corolarios y sus respectivas demostraciones, pero sigue teniendo forma de diálogo, forma literaria muy socorrida todavía en textos académicos en el siglo XVII. Los interlocutores son los mismos que se encuentran en los *Diálogos sobre los dos máximos sistemas del mundo* que, recordemos, son Salviati, representando las ideas de Galileo; Sagredo como el hombre culto que se va convenciendo de las ideas galileanas y Simplicio, que representa el pensamiento peripatético.²⁹

La cuarta jornada se dedica al estudio del movimiento de los proyectiles y comienza con su definición. Afirma Salviati:

En este estudio, que comienzo ahora, me esforzaré por presentar y fundamentar con sólidas demostraciones algunas propiedades principales y dignas de saberse que tienen lugar cuando el móvil se mueve con un movimiento compuesto de otros dos movimientos, a saber, uno uniforme y otro naturalmente acelerado. Tal parece ser el movimiento que llamo de los proyectiles... (Galileo, 2003, p. 331)

El movimiento de los proyectiles está compuesto por un movimiento que es horizontal y uniforme, y otro que es vertical y acelerado uniformemente hacia abajo (Galileo, 2003, p. 332).

En el primer teorema, Galileo demuestra que la trayectoria que seguirá cualquier objeto que se desplace de esta manera será necesariamente una semiparábola. Para ello, primero tiene que probar una propiedad acerca de esta cónica. Supongamos que tenemos un cono que es intersectado

²⁸ Luego de haber abjurado en la capilla de Santa María sopra Minerva en Roma el 22 de junio de 1633, se le castigó con confinamiento de por vida. Se le permitió salir de Roma hasta el 30 del mismo mes para regresar inmediatamente a la Villa Médici bajo el cuidado del arzobispo Ascania Piccolomini (antiguo estudiante suyo). Aquí recibiría numerosas visitas y comenzaría la redacción de *Las dos nuevas ciencias*. En Diciembre se le dio permiso de regresar a su hogar en Arcetri bajo arresto domiciliario y sin visitantes. El libro fue completado en 1636, pero su difusión comenzó hasta 1638 a través de Fra Fulgenzio Micanzio para publicarse en la no-católica Amsterdam. Galileo murió al anochecer del 8 de enero de 1642 (Seeger, 1966, pp. 34-36).

²⁹ En el 335 a.C., Aristóteles fundó su escuela en Atenas. Como no era ciudadano ateniense (pues el provenía de la ciudad de Estagira en la península Calcídica), no podía tener posesiones, por lo que se estableció como profesor en el santuario público y gimnasio dedicado a Apolo Licio llamado *Liceo* que se encontraba a las afueras de la ciudad. A la escuela se le conoció como “los peripatos” en donde *peri* = alrededor y *patein* = deambular, pues las enseñanzas se daban mientras caminaban por el claustro del santuario (David Furley, 2005, p. 2). De allí, el término *peripatético* evolucionó para designar a los adeptos al pensamiento aristotélico.

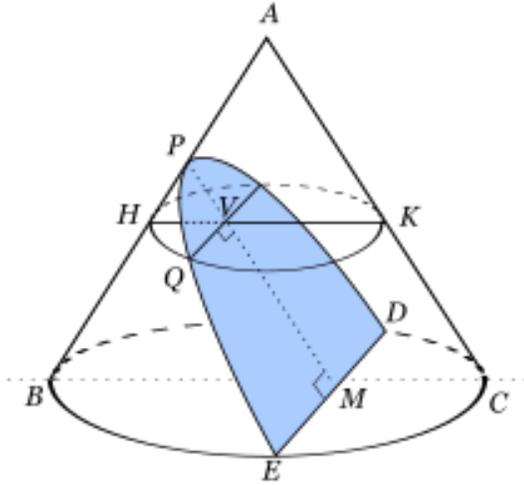


Ilustración 1. Parábola generada a partir de la intersección entre un cono y un plano paralelo a la generatriz del primero.

por un plano que es paralelo a su generatriz, de tal manera que se genere una parábola. Llamamos a la cúspide del cono A y a su base circular $BECD$, en donde el segmento ED es la base de la parábola y BC es el diámetro del círculo que corta a ED perpendicularmente. El punto M es la intersección entre BC y ED y el punto P es el vértice de la parábola (véase la Ilustración 1). Desde un punto arbitrario sobre el segmento PM , al que llamamos V , intersecamos un plano que es paralelo a la base del cono, de tal forma que se genere el círculo HQK , en donde

el segmento HK es su diámetro (que es paralelo a BC) y la línea QV es paralela a EM .

Galileo demuestra que $\frac{(EM)^2}{(QV)^2} = \frac{PM}{PV}$. La demostración es la siguiente: como EM es perpendicular a BC en el círculo $BECD$, entonces $(EM)^2 = (BM)(MC)$.³⁰ Pero tomando en cuenta que HQK también es un círculo, entonces podemos asegurar, de la misma manera, que $(QV)^2 = (HV)(VK)$. De aquí obtenemos que $\frac{(EM)^2}{(QV)^2} = \frac{(BM)(MC)}{(HV)(VK)}$. Ahora, nótese que los segmentos VM , MC , KC y VK definen un paralelogramo, por lo que podemos asegurar que $VK = MC$ y que $VM = KC$. De aquí que $\frac{(EM)^2}{(QV)^2} = \frac{(BM)(MC)}{(HV)(VK)} = \frac{(BM)(VK)}{(HV)(VK)} = \frac{(BM)}{(HV)}$. Nótese que P , B , y M definen un triángulo y que P , H y V definen otro. Pero como HV es paralelo a BM , entonces, por el Teorema de Tales, ambos triángulos son semejantes, implicando que $\frac{(PV)}{(HV)} = \frac{(PM)}{(BM)}$, si y sólo si $\frac{(BM)}{(HV)} = \frac{(PM)}{(PV)}$. Teniendo esto en cuenta, podemos afirmar que $\frac{(EM)^2}{(QV)^2} = \frac{(PM)}{(PV)}$, que es lo que se quería demostrar. A esta propiedad de la parábola la llamaremos *Propiedad I*.

³⁰Esta afirmación es un caso particular del Teorema de las cuerdas, que versa de la siguiente manera: sea una cuerda la recta que interseca a un círculo en cualesquiera dos puntos. Si dos cuerdas se cortan en el espacio contenido por la circunferencia, entonces el producto de los segmentos determinados en una cuerda es igual al producto de los segmentos determinados por la otra. En nuestro caso particular, una cuerda es el diámetro BC y la otra es la base de la parábola ED . Éstas se intersectan perpendicularmente en el punto M , dividiendo al diámetro en BM y MC y a la base de la parábola en EM y MD . De acuerdo al Teorema de las cuerdas, se da la siguiente relación: $(BM)(MC) = (EM)(MD)$, pero como el diámetro es perpendicular a la base de la parábola, entonces $(EM) = (MD)$, por lo que finalmente tenemos que $(EM)^2 = (BM)(MC)$.

Utilizando este resultado, Galileo demuestra que la trayectoria que presenta un cuerpo que tiene dos movimientos, uno naturalmente acelerado y otro de velocidad constante, es una parábola. Para ello, supóngase que un objeto se mueve uniformemente hacia la derecha sobre el plano horizontal AB . Al momento en que el cuerpo alcanza el punto B , éste comienza a caer verticalmente hacia abajo, sin que por ello deje de moverse con dirección a la derecha. Dibujemos una línea que va del punto B a otro F , en donde los segmentos de la recta entre cada punto representan intervalos de tiempo iguales.

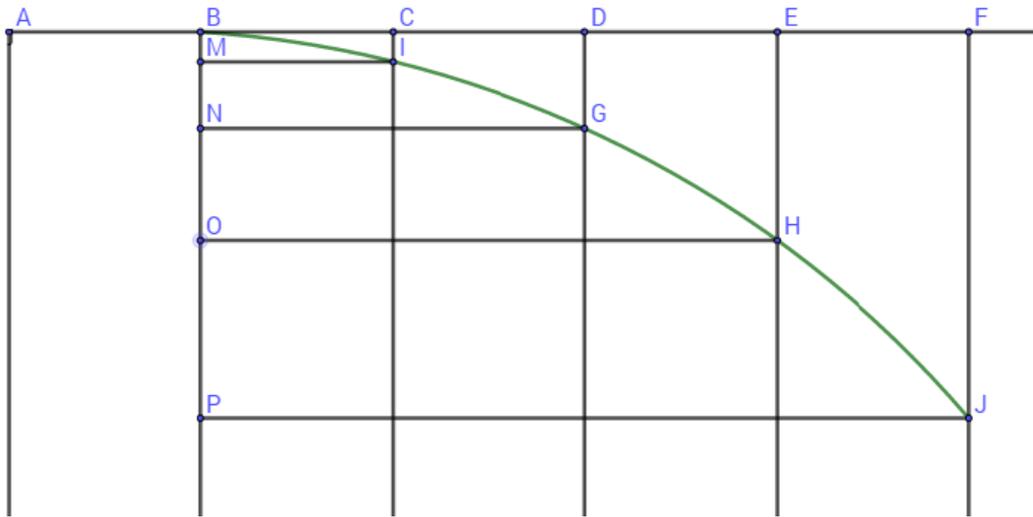


Ilustración 2. Sistema geométrico que explica la trayectoria resultante de un objeto que primeramente se mueve sobre la recta AB de izquierda a derecha. Al encontrar el final del segmento, el cuerpo comienza a caer, por lo que empieza a participar de un movimiento horizontal rectilíneo uniforme y otro vertical uniformemente acelerado hacia abajo. El trayecto resultante es una semiparábola.

El objeto comienza a caer por su propio peso, experimentando un movimiento uniformemente acelerado hacia abajo, aunado al movimiento horizontal que ya experimentaba. De esa manera, en el tiempo que le llevaría llegar a C en la horizontal, también verticalmente alcanzaría al punto I . Al llegar a D , el cuerpo habrá caído a G , alcanzando el punto E , se encontrará verticalmente en H y al estar en F llegará a J . Como los intervalos temporales son todos iguales, entonces podemos asegurar que $BD = 2BC$, $BE = 3BC$ y $BF = 4BC$. Como el movimiento vertical es en caída libre, entonces la distancia recorrida varía como el cuadrado del tiempo,³¹ lo que implica que si el objeto, en el intervalo BC , recorrió la distancia CI , entonces la distancia

³¹ Esto lo demuestra Galileo para todo movimiento uniformemente acelerado en la tercera jornada, Teorema II-Proposición II del mismo texto (Galileo, 2003, pp. 236-237).

recorrida en $BD = 2BC$ será $DG = 2^2CI = 4CI$. De manera análoga, tenemos que $EH = 3^2CI = 9CI$, $FJ = 4^2CI = 16CI$. Ahora tracemos líneas paralelas a BF : MI , NG , OH y PJ . Nótese que $MI = BC$, $NG = BD = 2BC$, $OH = BE = 3BC$ y $PJ = BF = 4BC$. De igual forma, los segmentos BM , BN , BO y BP son iguales a CI , DG , EH y FJ respectivamente, por lo que $BN = 4CI$, $BO = 9CI$ y $BP = 16CI$. De todo lo anterior, se puede deducir que $\frac{(PJ)^2}{(OH)^2} = \frac{16(BC)^2}{9(BC)^2} = \frac{16}{9} = \frac{16CI}{9CI} = \frac{BP}{BO}$. De la misma forma se llega a que $\frac{(OH)^2}{(NG)^2} = \frac{9(BC)^2}{4(BC)^2} = \frac{9CI}{4CI} = \frac{BO}{BN}$ y, por último, que $\frac{(NG)^2}{(MI)^2} = \frac{BN}{BM}$. Pero esta igualdad es la *Propiedad I*, por lo que Salviati deduce que los puntos I , G , H , y J se encuentran en la misma parábola. De aquí que la trayectoria del objeto corresponda con dicha sección cónica.

En este ejemplo se puede apreciar que la matematización de la trayectoria se llevó a cabo a través del análisis independiente de sus movimientos componentes. Pero este estudio por separado depende de que dichos movimientos están completamente actualizados en cada momento del desarrollo de la trayectoria y de que no interfieren entre sí. Nótese de nuevo que las causas son completamente imperceptibles para el observador, pues sólo se percibe el movimiento resultante.

Pero ¿la trayectoria parabólica resultante y los movimientos componentes existen a la par o estos últimos son artilugios epistémicos ficticios para poder explicar el fenómeno? Galileo está pensando en que estos entes tienen una existencia simultánea:

Más bien, el resultante existe como el efecto de los componentes que son sus causas. Y como en el caso de una mezcla, en donde los ingredientes y la mezcla existen al mismo tiempo, o como en el muro que existe simultáneamente con sus ladrillos componentes, así es el caso del fenómeno resultante. Es una entidad real, [...] y tiene causas-componentes que co-existen con ella. (Bechler, 1991, p. 127)

Sin embargo, ese co-existir implica que no haya una relación de identidad entre el fenómeno y sus componentes, sino una relación de implicación en donde causa y efecto se encuentran separados, si bien ligados a través de una subordinación causal. Al igual que en Platón, Galileo está generando una relación entre seres que no se encuentran en el mismo estrato ontológico. Las causas no se pueden percibir y esto es lo que las dota de estabilidad para poder ser comprendidas en aras de la investigación (en este caso matemática) del fenómeno. Se podría decir que las trayectorias participan de varios movimientos;³² en el caso particular del proyectil, de uno uniforme y otro uniformemente acelerado.

³² El caso en el que, por ejemplo, haya un objeto que participe de un solo movimiento, podría argumentarse que la causa sería idéntica al efecto y, por lo tanto, asegurarse que la causa es perceptible. Sin embargo, es imposible aislar un objeto de tal manera que sólo fuese partícipe de un movimiento, por lo que es un caso completamente ideal. De

Ahora bien, ¿cuál es la finalidad de reducir el movimiento de un cuerpo a una figura geométrica? Una vez que se afirma que la trayectoria en cuestión es una semiparábola, entonces podemos extrapolar los resultados matemáticos de esta sección cónica al movimiento del objeto. En realidad, gran parte de los siguientes resultados serán demostraciones matemáticas sobre la parábola que Galileo adjudicará sin más al recorrido de los proyectiles. Un ejemplo de esto lo encontramos en el *Teorema V – Proposición VIII*³³ (Galileo, 2003, p. 365-366), en donde demuestra que, si se fija el impulso, lo que determinará el alcance del objeto será el ángulo desde el que se lanza, teniendo como referencia la línea de 45°. Más aún, si dos objetos se lanzan con el mismo ángulo a partir de dicha recta, no importando que sea por arriba o por debajo de ella, el alcance horizontal será el mismo.

Tomando este ejemplo, se puede caracterizar el razonamiento que está utilizando Galileo para extraer información sobre estas trayectorias. En términos de silogismos³⁴, la premisa mayor es que todo objeto que participe de un movimiento horizontal uniforme y otro vertical uniformemente acelerado describe una trayectoria parabólica. La premisa menor es una proposición completamente geométrica, pues demuestra que si se construyen dentro de un triángulo rectángulo isósceles un par de parábolas que sigan ángulos que difieren igualmente de la semi-recta de 45°, entonces éstas poseen la misma amplitud. De aquí se concluye que, como los proyectiles describen una parábola, entonces tendrán necesariamente que cumplir la propiedad que se demostró para dicha cónica.

Zev Bechler (1991, p. 169) retoma y analiza esta forma de razonar. Para él, el sujeto de la premisa mayor (término mayor) designa siempre a un ente físico, mientras que el término medio

hecho, el pensar en una trayectoria que participe de un número determinado e identificado de movimientos es ya idealizar el sistema. En realidad, el punto de analizar los proyectiles es ver cuáles son los supuestos ontológicos que Galileo supone de estas causas, de tal manera que se aprecie cómo construye conocimiento.

³³ La proposición dice lo siguiente: “Las amplitudes de las parábolas descritas por proyectiles disparados con un mismo impulso, según las elevaciones que difieren del semirecto en ángulos iguales, por encima y por debajo, son iguales entre sí” (Galileo, 2004, p. 365).

³⁴ Conviene especificar las partes que componen un silogismo para la explicación del razonamiento galileano. Aristóteles, en los *Analíticos primeros*, define lo que es un silogismo a partir de su composición: “es un esquema de enlace de tres términos (*hóroi*) llamados, respectivamente, ‘término primero’ (*prôtos hóros*) o ‘extremo mayor’, ‘medio’ (*méson*) y ‘término último’ (*éschatos hóros*) o ‘extremo menor’ (*élatton ákron*); enlace que, a través de dos enlaces binarios de cada uno de los extremos con el medio, enlaces conocidos como ‘premisas’ o ‘proposiciones’, permite establecer entre los extremos una relación no dada inicialmente.” (Aristóteles, 1995, p. 86). Por ejemplo, si nuestras premisas son: 1) todas las ballenas son mamíferos y 2) los mamíferos son vivíparos, entonces podemos concluir que las ballenas son vivíparas. En este caso “ballenas” es el término mayor, el medio es “mamífero” y el menor es “vivíparo”. Aquí puede apreciarse que el término medio es el que sirve de enlace para poder sacar la conclusión.

(aquél que es el predicado de la premisa mayor y el sujeto de la menor) es una entidad que puede ser física y matemática a la vez (en este ejemplo sería la trayectoria parabólica, por un lado, y la parábola en abstracto, por el otro). Esta ambivalencia del término medio es lo que asegura que las conclusiones que se sacan en abstracto sean aplicables al ente físico. Sin embargo, el silogismo sólo puede ser enlazado a costa de la ambigüedad del estatus ontológico del término medio. La parábola es un ente medial³⁵, y sólo así puede ser el puente entre los proyectiles físicos y las parábolas en abstracto.

Esta forma de razonar sin duda recuerda al análisis de Platón hecho anteriormente. Cuando se discutió sobre las relaciones de exclusión e implicación entre las ideas y cómo éstas propiciaban el conocimiento sobre el mundo fenoménico. Aquí estamos ante una actitud epistémica similar, en donde la trayectoria del proyectil participa de la “parabolicidad” y, por ello, cumple el *Teorema V-Proposición VIII* (Galileo, 2003, pp. 365-366). De igual manera, el hecho de que la parábola sea un ente medial que enlaza el silogismo lo sitúa en una posición análoga a la de los entes mediales que Platón utiliza en el *Timeo* para explicar cómo el mundo de las ideas configura el universo visible.

3.2 Conocimiento intensivo, extensivo y la *anamnesis*

En la primera jornada de los *Diálogos sobre los dos máximos sistemas del mundo* pueden apreciarse las concepciones sobre la adquisición del conocimiento de Galileo (Galileo, 1967, pp. 101-104). Salviati comienza por afirmar que aquellas personas que más conocen son también las que confiesan libremente que saben poco, remitiendo para ello al ejemplo de Sócrates: el ateniense fue sabio al “reconocer que su conocimiento limitado era nada comparado con la infinidad de las cosas que ignoraba” (Galileo, 1967, p. 102).

Esto implica una aparente imposibilidad o paradoja epistemológica por parte del hombre, al menos extensivamente, pues entre más conoce, menos sabe. Simplicio muestra dicha dificultad de la siguiente manera: “Entre tus grandes encomios, si no el más grande, es el elogio al entendimiento que atribuyes al hombre natural. Hace poco afirmaste con Sócrates que su

³⁵ En la última sección del presente capítulo se hace un análisis más detallado sobre el uso de este tipo de entes en la obra de Galileo.

entendimiento era nulo. Entonces debes decir que ni siquiera la naturaleza entendió cómo hacer un intelecto que pudiera entender” (Galileo, 1967, pp. 102-103).

Para rebatir este argumento, Salviati distingue entre la *extensividad* y la *intensividad* del conocimiento. La primera se refiere al número de proposiciones que el entendimiento humano puede aprehender. En ese sentido, el hombre se encuentra limitado a saber un número finito de verdades, pues tiene que ir conociendo una por una a través del discernimiento. Esto hace al conocimiento humano nulo en extensión pues, para Salviati, las proposiciones inteligibles son infinitas y “... un millar en relación con una infinidad es cero” (Galileo, 1967, p. 103).

Pero intensivamente el hombre puede conocer una proposición perfectamente, sin tener lugar a dudas. Nos dice Salviati:

Pero tomando el entendimiento humano intensivamente, en la medida en que este término significa conocer una proposición perfectamente, digo que el intelecto humano entiende algunas de ellas perfectamente y, en este sentido, tiene certeza absoluta como la Naturaleza misma. Unas de ellas son las ciencias matemáticas; esas son la geometría y la aritmética, en donde el intelecto Divino sabe infinitamente más proposiciones, ya que las conoce todas. Pero en cuanto a aquellas que el hombre conoce, creo que su conocimiento se iguala con el saber Divino en certidumbre objetiva, pues aquí tiene éxito en entender la necesidad, más allá de la cual no puede haber más seguridad. (Galileo, 1967, p. 103)

No sólo hace la distinción epistémica a partir de la cual rescatará las virtudes del entendimiento humano, sino que compara la aprehensión del hombre con la de la mente divina, asegurando que se puede llegar a tener la misma certidumbre que Dios si se investiga de manera adecuada. Pero el hombre aprende de manera muy distinta a como lo hace la mente de Dios, pues tiene que ir razonando de conclusión en conclusión para ir construyendo dicha certidumbre, mientras que Dios, por mera intuición, conoce todas las proposiciones de manera instantánea: “Ahora bien, estas transiciones que hace nuestro intelecto con el tiempo –y paso a paso-, el intelecto Divino, a semejanza de la luz, las supera en un instante, lo que es lo mismo que decir que está presente en todos” (Galileo, 1967, p. 104).

Pero la inmediatez de la comprensión divina implica que este conocimiento existe independientemente del estado del mundo y de la circunstancia cognitiva del hombre. Es el humano quien, esforzadamente, va descubriendo este saber. Esto ciertamente recuerda a la concepción platónica de las formas, pues el conocimiento se encuentra más allá de las contingencias fenoménicas y tiene una existencia independiente y separada del mundo.

En cuanto a la forma en la que se van adquiriendo estas proposiciones, Galileo hace referencia a la teoría de la *anamnesis* en los *Diálogos sobre los dos máximos sistemas del mundo* (Galileo, 1967, pp. 190-193). Todo comienza con el análisis de un argumento que Ptolomeo había dado para negar el movimiento terrestre: si el mundo se moviera, entonces los animales, hombres y todo aquello que estuviese en su superficie sería expelido de ella. Salviati se encuentra en desacuerdo con este argumento, ya que para que éstos se eyectaran, la tierra debió haber estado en reposo antes de comenzar a moverse. Ese razonamiento no niega el movimiento terrestre en general, pues pudo siempre haberse estado moviendo.

Salviati, examinando el argumento, se propone a demostrar que si un cuerpo se hace girar en torno a un centro fijo, entonces adquiere un ímpetu de alejarse de dicho centro. Para demostrarlo utiliza un experimento pensado. En primer lugar, imaginemos una botella llena de agua que se ata, a partir de la boquilla, a una cuerda. Luego tomemos la cuerda por el extremo opuesto y con el brazo hagamos girar la botella, de tal forma que el hombro sea el centro de la trayectoria circular. Si se le hace un agujero a la botella en la parte de la boquilla, el agua no se derramará; sin embargo, si se perfora en la parte opuesta, el líquido comenzará a escaparse.

Simplicio, sorprendido, reconoce que el argumento es sólido y “difícil de desenmarañar” (Galileo, 1967, p. 190). Salviati le responde:

El descifrarlo depende de información bien conocida y creída, tanto por mí como por ti, pero como no te llega, no puedes ver la solución. Sin enseñártela, pues ya la conoces, haré que resuelvas la objeción con sólo recordarla (Galileo, 1967, p. 190).

Simplicio reconoce inmediatamente estas palabras y expresa que le da la impresión que la forma de argumentar de Salviati se “inclina a la opinión de Platón en la que *nostrum scire sit quoddam reminisci*”³⁶ (Galileo, 1967, p. 191), a lo que le pide que responda si, de hecho, cree en la teoría de la *anamnesis* platónica. Salviati responde:

El cómo me siento sobre la opinión de Platón te lo puedo indicar a partir de palabras y también a través de hechos. En mis anteriores argumentos, en más de una ocasión me he explicado con hechos. Seguiré el mismo método en el tema que nos ocupa ahora, que servirá como un ejemplo, haciendo que comprendas más fácil mis ideas en torno a la adquisición de conocimiento... (Galileo, 1967, p. 191)

³⁶ La traducción es: *Nuestro saber es lo que remanece.*

Al igual que en el *Menón*, en donde Sócrates hace a un esclavo recordar cuál es la longitud del lado de un cuadrado que duplica el área de un cuadrado dado, Salviati hará que Simplicio se acuerde, a través de un interrogatorio adecuado, de que todo objeto que se encuentra en movimiento circular posee un ímpetu que va hacia afuera del centro de la trayectoria. A esto es a lo que se refiere Salviati con que mostrará su idea de adquisición del conocimiento a partir de un ejemplo. El hecho de que haya hecho recordar a Simplicio y a Sagredo este principio físico implica que ellos ya lo sabían, sólo se les tuvo que recordar a partir de un interrogatorio adecuado. De esta forma, Galileo se ha proclamado como seguidor de la epistemología platónica.

El filósofo e historiador de la ciencia Alexandre Koyré, en *Estudios galileanos*, reconoce que este ejemplo es más que una simple prueba de la simpatía que Galileo sentía por la epistemología platónica. El físico florentino expresa en él una corroboración del pensamiento de Platón:

Como vemos, Galileo estima haber hecho más que declararse simplemente partidario de la epistemología platónica. Al aplicar su método, al descubrir las verdaderas leyes de la física, al hacer que las descubran Sagredo y Simplicio, es decir, *el lector*, Galileo estima haber demostrado de hecho la verdad del platonismo. (Koyré, 2016, p. 275)

Resumiendo: 1) el entendimiento humano puede llegar a la certeza absoluta del conocimiento matemático, aunque la consciencia divina lo sobrepase en tanto que lo adquiere instantáneamente; 2) el hecho de que la mente de Dios conozca todas estas proposiciones por intuición y el hombre las vaya descubriendo, implica que este conocimiento va más allá del mundo perceptible y es independiente de nuestro estado cognitivo y 3) el conocimiento se adquiere a través de la remembranza.

3.3 El lenguaje del libro de la naturaleza

En las partes anteriores del presente capítulo se han presentado varios ejemplos en donde Galileo ha modelado matemáticamente el movimiento. En esta parte se desarrollarán las suposiciones ontológicas que le permiten proceder de dicha manera.

En los *Diálogos sobre los dos máximos sistemas del mundo*, en la tercera jornada, Salviati convence a Sagredo de que el sistema heliocéntrico es más simple que el modelo geocéntrico (Galileo, 1967, pp. 394-396). Sin embargo, para llegar a esa conclusión, se utilizaron muchos argumentos geométricos, por lo que Simplicio manifiesta inconformidad:

Si debo decirte francamente cómo lo veo, esto me parece que son algunas sutilezas geométricas que Aristóteles le reprochó a Platón cuando lo acusó de separarse de la sola filosofía por estudiar demasiado geometría. He conocido a grandes filósofos peripatéticos y los he escuchado aconsejar a sus alumnos en contra del estudio de las matemáticas como algo que hace al intelecto sofisticado e inepto para el verdadero filosofar; una doctrina diametralmente opuesta a la de Platón, quien no hubiera admitido a nadie en la filosofía sin haber primero dominado la geometría. (Galileo, 1967, p. 397)

El ferviente seguidor del Estagirita está claramente en contra del uso de las matemáticas en la filosofía, en particular en la filosofía natural, y considera que la pericia en torno a la geometría es un vicio que Platón promulgaba.

Salviati no responde directamente al planteamiento de Simplicio, sino que se dedica a explicarle las “sutilezas matemáticas” que no ha entendido. Esta forma de actuar recuerda a la manera en la que, implícitamente, se proclamó a favor de la teoría de la reminiscencia. Para Koyré, en este texto, Galileo no se detiene a hacer una disertación ontológica a partir de la cual pueda probar que las matemáticas pueden ser aplicadas adecuadamente en las investigaciones físicas, sino que se lanza a hacer los cálculos. Al mostrar que esta manera de proceder ofrece resultados, se legitima, en un cierto sentido, el uso de las matemáticas en la filosofía natural (Koyré, 2016, p. 269). En la segunda jornada del mismo libro, Sagredo, el que encarna al lector que se va convenciendo de la verdad, admite: “El argumento es muy sutil, pero no por eso menos convincente y debe de admitir que tratar de enfrentar un problema físico sin geometría es un esfuerzo imposible” (Galileo, 1967, p. 203).

No obstante, el argumento de Simplicio en contra del uso de las matemáticas no acaba allí. Para él, la imperfección de la materia es una de las razones por las cuales la geometría no puede aplicarse. En efecto, una esfera abstracta puede tocar a un plano perfecto en un solo punto, sin embargo “... es difícil encontrar un plano perfecto, ya que la materia es porosa, o una esfera perfecta al grado de que todos sus radios sean iguales” (Galileo, 1967, p. 206).

El problema con el argumento de Simplicio es que, implícitamente, está legitimando la aplicación de la geometría en el mundo concreto. Siempre habrá una separación entre el ente formal y el real. Aunque los segundos siempre “imiten” a los primeros, nunca se encontrará un objeto que tenga una figura ideal. Pero esto no implica que la geometría y los cuerpos sean heterogéneos. En su “imperfección”, los objetos participan de una figura geométrica que, si se abstraera adecuadamente, se comportaría igual en lo teórico y en lo concreto (Koyré, 2016, p.

270). Sin embargo, en ocasiones, estas figuras “imperfectas” son difíciles de abstraer, por lo que su teorización se vuelve prácticamente imposible y se procede a idealizarlas como figuras semejantes pero más sencillas. Por ejemplo, supóngase que se tiene una roca que tiene una figura esferoide y se pregunta por el comportamiento que tendría al rodar por una colina. Tanto la colina, que está llena de rugosidades, como la piedra, que tiene una superficie con una gran cantidad de irregularidades, son extremadamente difíciles de abstraer. Para poder modelar matemáticamente el sistema es necesario idealizar a la piedra como una esfera y al piso como un plano inclinado. Sin embargo, si se pudieran tener en cuenta todos los pequeños detalles, podría hacerse un modelo que se adecuaría a la perfección al fenómeno. El problema no es que se utilicen las matemáticas, sino cómo se utilizan, “cualquier desviación que tenga lo concreto de lo abstracto debe ser considerado como un resultado de los errores del científico-calculador” (Bechler, 1991, p. 129). Salviati afirma:

Así como el computador que quiere que sus cálculos se ocupen del azúcar, la seda y la lana, descontando las cajas, la pacas y otros contenedores, también el científico matemático (*filosofo geometra*), cuando quiere reconocer en lo concreto los efectos que ha probado en lo abstracto, debe deducir los obstáculos materiales, y si es capaz de reconocerlos, te aseguro que las cosas no estarán en menor concordancia que los cálculos aritméticos. (Galileo, 1967, p. 207)

Los obstáculos del modelaje matemático no radican en la realidad misma, sino en nuestra limitada capacidad de concebir todos los detalles que ésta presenta: no es un problema ontológico, sino uno epistémico. Si el científico es lo suficientemente cuidadoso, podrá reconocer cuáles son los detalles que debe tener en cuenta para hacer un modelo adecuado de lo observado. Pero si éste falla, no será culpa de la geometría, sino del que la utiliza. De aquí que Galileo esté pensando en un mundo articulado geoméricamente, en donde el comportamiento de los objetos que se desprende de su figura no es diferente a la dinámica de su respectiva forma en abstracto.

De todo lo anterior se explica el famoso pasaje en *El ensayador* (1623), en donde se afirma que la única manera de entender el mundo es a partir del reconocimiento de su verdadera estructura, la matemática:

La filosofía [la física] está escrita en un gran libro que está constantemente abierto ante nuestros ojos, el universo; pero éste no puede ser entendido a menos que uno, previamente, aprenda a entender su lenguaje y conozca los caracteres con los cuales está escrito. Está escrito en lenguaje matemático, y sus caracteres son triángulos, círculos y otras figuras geométricas; sin éstos es

humanamente imposible entender una palabra de él y uno vagará sin rumbo en un oscuro laberinto. (Galileo *apud* Finocchiaro, 2008, p. 183)

Sus siguientes obras, es decir, los *Diálogos sobre los dos máximos sistemas del mundo* y los *Diálogos en torno a dos nuevas ciencias* son ejemplos de cómo leer el libro de la naturaleza, son “la historia del descubrimiento, o mejor dicho, del redescubrimiento del lenguaje que habla la naturaleza, y nos expone la forma en que hay que plantearle las preguntas” (Koyré, 2016, p. 275).

La estructura matemática del mundo es otra de las convergencias que Galileo tiene con Platón. Aunque no produce una cosmogonía en donde pueda constatarse la creación de un universo matemáticamente estructurado como puede apreciarse en el *Timeo*, sí afirma su estructura matemática. Más aún, es una realidad creada por un dios que “es un geómetra en sus labores creativas y hace del mundo, completamente, un sistema matemático” (Burt, 1925, p. 71).

3.4 Entidades mediales y las cualidades primarias y secundarias

En los *Diálogos sobre los máximos sistemas del mundo*, en la tercera jornada, después de haber dado argumentos sobre la posición de los planetas teniendo en cuenta el movimiento de la tierra, Salviati declara su admiración por aquellas personas que han podido ir más allá de su experiencia sensible³⁷. Nos dice en torno al movimiento de la tierra:

Nunca podré admirar lo suficiente la perspicacia excepcional de aquellos que han sostenido esta opinión [el movimiento de la tierra] y la han aceptado como cierta; a través de pura fuerza del intelecto han ejercido tal violencia a sus propios sentidos como para preferir lo que les dice la razón sobre lo que la experiencia sensible contrariamente muestra (Galileo, 1967, p. 328).

Es claro que Galileo está poniendo en duda aquello que nos muestran los sentidos. Este argumento es claro en cuanto a la rotación terrestre: el hecho de que no sintamos que la tierra se mueva no implica que no lo haga. Más aún, nueve años antes, en *El ensayador*, ya había presentado la tesis de ir en contra de lo fenoménicamente inmediato hasta sus últimas consecuencias.

Todo comienza cuando Galileo se decide a aclarar por qué el “movimiento es la causa del calor” (Galileo *apud* Finocchiaro, 2008, p. 185). Para ello, primero tiene que definir aquello a lo

³⁷Aquí se distingue entre el concepto de experiencia sensible o experiencia “a secas” y experimentación. La experiencia es aquello que de inmediato percibimos en la naturaleza, mientras que la experimentación es la interrogación metódica que se le hace a ésta (Koyré, 1943, p. 403). En este caso, Galileo se sorprende de los hombres que, a partir de la experimentación, han podido ir más allá de la experiencia.

que llamamos calor. Sorpresivamente, se declara en contra de la opinión popular en la que el calor es un atributo real de los objetos. Cuando se piensa en un objeto, es forzoso pensar en que: está acotado; tiene una figura; es grande o pequeño en comparación con otro cuerpo; existe en cierto tiempo y espacio; y posee un estado de movimiento. Contrariamente, es posible imaginar un objeto sin que tenga: color, sabor, olor, textura o temperatura. A las cualidades primeramente mencionadas les llama primarias y a las segundas secundarias. Las cualidades secundarias no son más que:

Nombres vacíos que sólo radican en el cuerpo sensible, de tal manera que si se remueve el animal, entonces todas estas cualidades se aniquilan. No obstante, como les hemos dado nombres que son diferentes a los de los atributos primarios y reales, entonces tenemos la tendencia a creer que estas cualidades son reales y diferentes a las primarias. (Galileo *apud* Finnochiario, 2008, p. 183)

Toda cualidad que no sea geométrica o de movimiento carece de existencia real. Pone el ejemplo de una pluma que al moverse en contacto con la piel produce una sensación a la que llamamos cosquillas. Sin embargo, ese sentimiento no es intrínseco a la pluma ni al cuerpo humano. Más bien, la sensación es producida por la proximidad que hay entre el cuerpo y la pluma y por el movimiento de ésta. Es así como una cualidad que se había pensado como real se reduce al efecto de cualidades primarias.

Pero no sólo eso, sino que a partir de estas cualidades se puede pensar cómo funcionan los sentidos. A aquello que llamamos aspereza y suavidad en los sólidos en realidad depende de la figura de los objetos: si la superficie tiene bordes más obtusos serán más suaves, si éstos son más agudos entonces serán ásperos (Galileo *apud* Finnochiario, 2008, p. 186).

De igual manera, los materiales que se subdividen en partículas más pequeñas dan lugar a los efectos que se perciben mediante los sentidos del olfato y del gusto:

Las partículas que van hacia abajo son recibidas por la parte superior de la lengua, y al combinarse con la humedad de ésta y penetrando su sustancia, se produce el gusto, agradable o desagradable, dependiendo del tipo de contacto que se tenga con las diferentes figuras de las partículas y en función de su velocidad. Las partículas que van hacia arriba entran por las fosas nasales e impactan unos nódulos pequeños que son el instrumento de nuestro sentido del olfato (Galileo *apud* Finnochiario, 2008, p. 187).

Finalmente, el calor también es una cualidad secundaria. Los materiales que producen calor, a los que en general Galileo llama fuego, en realidad son colecciones de corpúsculos minúsculos “con ciertas formas y velocidades tal que cuando tocan nuestro cuerpo lo penetran por la pequeñez de

su tamaño. La sensación que producen al penetrar el cuerpo es aquello a lo que llamamos calor” (Galileo *apud* Finnochiario, 2008, p. 188).

Recapitulando: los únicos atributos que tienen existencia real son: la forma, el movimiento, la penetración y el contacto. Cualidades como el olor, el color, el sonido, la aspereza, o el calor son sólo nombres vacíos: meros efectos de las propiedades geométricas de los materiales que entran en contacto con el cuerpo sensible.

Esta distinción es una forma de diferenciar aquello que es objetivo de lo que es subjetivo y hacer de los segundos efectos de los primeros. Pero ¿por qué darle primacía a las cualidades geométricas? Hay dos razones principales por las cuales hizo esta elección. Primeramente, como se mencionó más arriba, la estructura de la realidad es matemática, por lo que no se tiene un fundamento ontológico para darle existencia a aquellas propiedades que no tengan un referente matemático directo. Por otro lado, sólo estas cualidades son susceptibles de ser estudiadas geoméricamente y, como también ya se vio, ésta la única manera efectiva de estudiar los fenómenos naturales.

Esta reducción de lo sensible a propiedades geométricas también se observó cuando se hizo, más arriba, el estudio sobre el *Timeo*, en donde la figura y el movimiento de los átomos era lo que determinaba la percepción de los objetos macroscópicos. Sin embargo, en Platón los entes constitutivos de la materia son figuras geométricas perfectas, seres mediales que habitan tanto el mundo fenoménico como el de las formas. Sorpresivamente, las unidades fundamentales del mundo sensible en Galileo también son mediales.

Para mostrarlo, se tomará una parte de la primera jornada de los *Diálogos en torno a dos nuevas ciencias*. Dicha sección comienza cuando Sagredo pregunta por aquello que mantiene unidas a las partes de un sólido, pues no tiene conocimiento de ningún gluten que dure más allá de dos o tres meses. Mayor es su extrañeza cuando se da cuenta que al calentar un sólido, la ligazón entre sus partes disminuye, pero cuando vuelve a enfriarse, la cohesión regresa a la normalidad (Galileo, 2003, p. 46).

Para Salviati, los espacios vacíos entre las partes componentes de los materiales son los que las mantienen unidas. El *horror vacui*³⁸ es la causa de que las partículas en los metales³⁹ no se separen, pues si lo hicieran, el espacio vacío entre ellas aumentaría y esto es algo que por naturaleza no pasaría debido al horror que ésta le tiene al vacío. Pero esto deja una interrogante: ¿cómo es que la ligazón puede aumentar y disminuir en función de la temperatura? La fusión de los metales a partir de su exposición al calor se explica de la siguiente manera: las partículas del fuego, al entrar en contacto con el metal, comienzan a ocupar los espacios vacíos que hay entre los componentes del cuerpo, haciendo que disminuya la cohesión y, finalmente, separando las partículas. Una vez que el fuego se extingue, se desocupan los espacios y el material regresa a la normalidad (Galileo, 2003, p. 47).

Ahora bien, un solo vacío no es suficiente para explicar la cohesión de los materiales metálicos, sino que debe haber una cantidad enorme de ellos, dispuestos por todos lados para que generen la ligazón suficiente entre las partículas. Esto nos lleva a la siguiente cuestión: ¿pueden haber infinitos de estos espacios en un cuerpo continuo y acotado? Simplicio piensa que la única forma de tener espacios vacíos infinitos sería si el cuerpo en cuestión es de extensión no limitada. Para demostrar lo contrario, Salviati construye una paradoja geométrica (Galileo, 2003, pp. 47-54).

Sea un polígono equilátero y equiangular cualquiera. Supongamos por ahora que se trata del hexágono ABCDEF (véase la Ilustración 3) cuyo centro se llama G. Dentro de éste, concéntricamente se dibuja otro hexágono que se denotará por HIKLMN. Ahora prolongúese el lado AB del polígono mayor hasta el punto S, de tal forma que $AS = 6AB$. También extiéndase el lado HI hasta el punto T, de tal manera que $HT = 12HI$ y, por último, trácese una línea paralela a las anteriores que vaya desde el centro G hasta el punto V, con la condición de que $GV = 6GC$.

³⁸ Esta expresión latina se traduce como horror al vacío, y generalmente se asocia al libro IV de la *Física* de Aristóteles, en donde se hace una larga disertación sobre las inconsistencias de los argumentos a favor de la existencia del vacío (Aristóteles, 1995, pp. 245-264). La diferencia entre el Estagirita con el Físico Florentino es que mientras el primero cree en la imposibilidad del vacío, el segundo piensa que, aunque a la naturaleza le da miedo el vacío, éste sí existe diseminado en los cuerpos.

³⁹ Más atrás en el diálogo, Galileo menciona el mecanismo de cohesión de los materiales no metálicos: éstos presentan fibras que se agrupan, dándole solidez al cuerpo. Por ejemplo, las cuerdas se mantienen firmes debido a la unión de sus hilos, así como la madera se mantiene cohesionada por sus vetas (Galileo, 2003, p. 34)

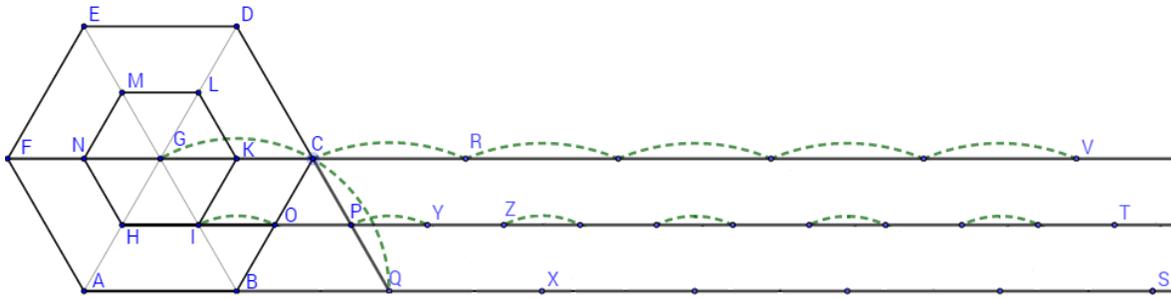


Ilustración 3. Dos hexágonos concéntricos que se mueven a la derecha. Al hacer una vuelta completa, el polígono mayor se habrá movido sobre la línea AS, abarcando la totalidad de ésta con cada uno de sus lados. Por el contrario, el hexágono menor habrá tocado a la línea HT en seis segmentos equiláteros que están separados por seis espacios del mismo tamaño. Finalmente, el centro G habrá intersectado a la línea AV en seis puntos.

Si el hexágono mayor se desplaza girando hacia el punto S sobre la línea AS, entonces el punto C viajará hasta el punto Q en un arco, el punto I avanzará al punto O, K al P, y el centro G ocupará el lugar de C. Sin embargo, en todo este movimiento, el hexágono menor y el centro se levantan por encima de las rectas HT y GV describiendo las trayectorias IO y GC sin tocar las líneas. Si se hace una rotación completa, entonces el polígono mayor habrá descrito una línea ininterrumpida a partir de seis segmentos, el pequeño habrá coincidido con la recta en seis segmentos separados por seis discontinuidades y el centro sólo habrá coincidido con GV en seis puntos. Este sistema es aplicable a cualquier otro polígono. Si fueran figuras de un millón de lados, entonces la mayor tocaría a la línea en un millón de segmentos, haciendo una línea continua, la menor lo haría en un millón de segmentos interrumpidos por un millón fragmentos y el centro en un millón de puntos discretos.

Ahora apliquemos el mismo principio a un polígono con un número infinito de lados, es decir, a una circunferencia. Supongamos que el centro de ambas circunferencias es el punto A, que la mayor comienza a girar desde el punto C y la menor desde el B. Tracemos las líneas AF, BE y CD, de tal manera que las tres sean iguales al perímetro de la circunferencia mayor (véase la Ilustración 4).

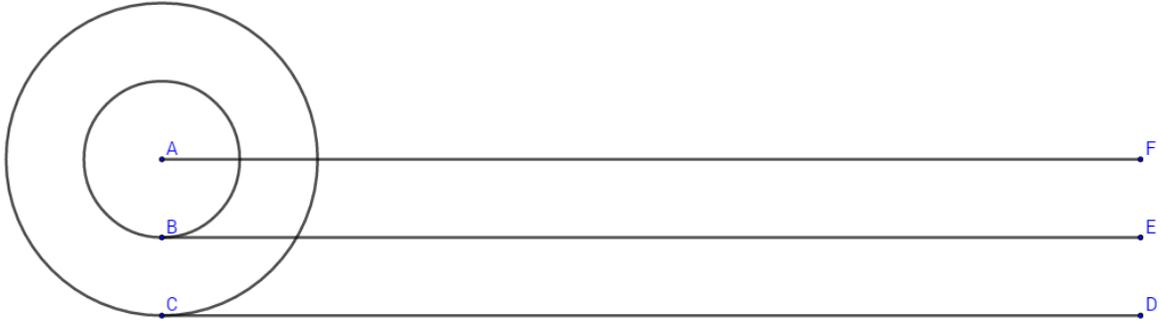


Ilustración 4. En este sistema, al girar la circunferencia mayor, el círculo más grande, el menor y el centro describirán líneas del mismo tamaño. Sin embargo, si se toma a la circunferencia como un polígono de una infinidad de lados y se toma en cuenta el sistema geométrico anterior, entonces: la línea CD debe estar compuesta por una infinidad de puntos y ningún espacio vacío; la recta BE debe contener infinitos puntos e infinitos espacios vacíos, al igual que AF.

Teniendo en cuenta lo aprendido con el ejemplo del hexágono, cuando la figura más grande haga una rotación completa, ésta habrá descrito completamente la línea CD a partir de infinitos puntos (pues el círculo intersecta a la línea en un punto). La pequeña describirá a BE en una infinidad de puntos separados por una infinidad de espacios vacíos, mientras que el centro habrá recorrido AF también a partir de infinitos puntos e infinitos espacios. La circunferencia menor ha podido recorrer una línea de mayor magnitud a su perímetro gracias a que ha dado una infinidad de brincos.⁴⁰ Más paradójico es el caso del centro que, sin tener perímetro ni dimensión, describe una línea en lugar de sólo puntos discretos. Aquí podemos ver que la cantidad de puntos que “llenan” las respectivas rectas es distinta, sin embargo, éstas tienen la misma longitud:

En los círculos (que son polígonos de infinitos lados) la línea recorrida por los infinitos lados del círculo grande, dispuestos consecutivamente, es igual en longitud a la recorrida por los infinitos lados del menor, pero en este último caso, con la interposición de otros tantos espacios vacíos entre esos lados; y así como los lados no son finitos en número (*quanti*⁴¹), sino infinitos (*infiniti*), así también los vacíos interpuestos no son finitos (*quanti*), sino infinitos: es decir, aquellos son infinitos

⁴⁰ La versión más antigua de esta paradoja se encuentra en un texto llamado *Mecánica* que es atribuido a Aristóteles, aunque también se piensa que es posterior por una o dos generaciones al Estagirita (Aristóteles, 2000, p. 62). El problema 24 de dicha obra (Aristóteles, *Mecánica*, 855a28-865b), mejor conocido como “la rueda de Aristóteles”, versa de la siguiente manera: “No se sabe por qué el círculo mayor da la vuelta en una línea igual que el círculo menor cuando son concéntricos”. Aquí no sólo da cuenta de que al moverse el círculo mayor, el pequeño describe una línea de mayor magnitud que su perímetro, sino que cuando el menor es el que gira, el más grande trazará una longitud menor. Tomando el caso del hexágono, si el menor es el que rotará de tal manera que sus lados describieran una recta igual al perímetro, el mayor se movería por debajo de la recta y describiría segmentos cuya intersección es no vacía, por lo que su trayectoria final sería menor que su perímetro. Galileo nunca menciona este caso.

⁴¹ Las palabras “quanti”, “quanto”, “quante” y “quanta” las utiliza Galileo para referirse a aquello que puede cuantificarse y, por ende, para hablar de lo finito. La traducción directa al castellano sería “mensurable”. En este contexto, utiliza la expresión *non quanti* para aludir a aquello que no puede contarse, aquello que es infinito (Galileo, 2003, p. 53 *N. del T.*).

puntos plenos todos; y éstos son infinitos puntos, en parte plenos y en parte vacíos. (Galileo, 2003, p. 53)

Pero la extrapolación del sistema geométrico a un polígono de infinitos lados requiere una suposición: los puntos, por necesidad, tienen que ser indivisibles y no extensos, de otro modo la línea que se generaría al juntarse tendría una extensión infinita y los vacíos geométricos serían distinguibles a cierta escala.

Salviati no duda en identificar a estos entes abstractos con los átomos y vacíos físicos de cualquier sólido real:

Ahora bien, todo lo dicho de las simples líneas es extensivo a las superficies y a los cuerpos sólidos, considerándolos compuestos de infinitos átomos no extensos (*non quanti*) [...] Y de este modo no repugna el que se extienda v.g. una pequeña bolita de oro en un espacio grandísimo, sin admitir espacios extensos vacíos, siempre que admitamos que el oro está compuesto de infinitos indivisibles [y, por ende, de infinitos espacios vacíos indivisibles]. (Galileo, 2003, p. 54)

Con todo lo discutido, no es sorprendente que Galileo haga el salto de lo abstracto a lo concreto sin más, pues la estructura del mundo es matemática y los objetos, por participar de la espacialidad, deben comportarse geoméricamente. Sin embargo, está suponiendo la existencia de seres físicos geoméricamente ideales, pues los átomos componentes de la materia visible no tienen extensión.

Así cómo Platón propone la existencia de átomos geoméricamente perfectos y cómo las figuras de éstos dan lugar a las propiedades de los objetos, Galileo afirma la existencia de partículas inextensas cuyo estado de movimiento da lugar a las propiedades secundarias de la materia.

Conclusiones del capítulo

Se han analizado varias características del pensamiento de Galileo a partir de cuatro de sus obras: *De motu antiquiora*, *El ensayador*, los *Diálogos sobre los dos máximos sistemas del mundo* y los *Diálogos acerca de dos nuevas ciencias*.

La primera es que utiliza extensamente causas invisibles e inmutables para la explicación de los fenómenos que se observan en la naturaleza. En el presente trabajo se analizó la superposición de movimientos (causas) invisibles e inmutables que dan lugar a trayectorias finales observables (efectos). Esa conservación de las causas permite a Galileo identificarlas por separado para la matematización del fenómeno resultante. También se concluyó que esta forma de razonar

sólo puede ser posible si el término medio del silogismo es un ente que habita tanto en el mundo abstracto como en el físico.

En segundo lugar, para Galileo, el conocimiento existe con completa independencia del mundo y del estado cognitivo del hombre. Pues el hecho de que Dios conozca todas las proposiciones *ipso facto* y que el ser humano las vaya descubriendo poco a poco implica que éstas tienen una existencia individual e independiente (incluso de Dios). El hombre es una creación de la divinidad porque su mente puede igualar a la aprehensión divina en cuanto a la certidumbre del conocimiento. Sin embargo, nunca podrá conocer la infinidad de proposiciones que hay. Por último, la forma en la que el hombre va descubriendo esas proposiciones es a partir de un esforzado trayecto que va de conclusión en conclusión y que no resulta ser más que remembranza.

También se vio que Galileo piensa el mundo como un sistema que en esencia es geométrico. De allí que las matemáticas puedan ser utilizadas para la investigación de la naturaleza. El hecho de que los modelos geométricos no se ajusten completamente al fenómeno es debido a las imprecisiones de la materia y a la incompetencia del calculador, no al hecho de que las matemáticas sean incompatibles con la naturaleza.

Finalmente, Galileo reduce todas las cualidades de la materia a características geométricas y de movimiento de sus átomos componentes. Esto es posible gracias al hecho de que la realidad sea fundamentalmente matemática, y es un intento de explicar propiedades subjetivas como meros efectos de características matemático-objetivas. Las unidades fundamentales de la materia son entes puntales que no tienen extensión, y que al aglomerarse dan lugar a los objetos macroscópicos. No se entiende cómo es que algo sin dimensión puede configurarse de tal manera que dé lugar a objetos extensos, pero lo que sí puede verse es que las partículas mínimas son entes mediales que habitan tanto el mundo abstracto (por ser inextensas) como el mundo físico (por ser las causantes de la materia).

Capítulo 4: La *informatividad* en la filosofía de Zev Bechler

Gran parte de lo que se ha presentado en esta tesis se hizo retomando la caracterización del pensamiento de Platón ofrecido por filósofo Israelí Zev Bechler en *Newton's Physics and the Conceptual Structure of the Scientific Revolution* (1991). En esta obra, el autor da argumentos a favor de que la revolución copernicana fue, en realidad, el cambio de una manera aristotélica de explicar el mundo a una platónica. Para ello, en los primeros tres capítulos, hace una descripción de estas dos formas de pensar. No obstante, en una de estas secciones, en lugar de dar cuenta de la filosofía de Platón o de Aristóteles, más bien inserta a ambos en una dicotomía epistemológica con conceptos propios, presentando una nueva manera de ver estos dos pensamientos. Por un lado, Platón ofrece un discurso *informativo*, mientras que el pensamiento aristotélico es tautológico, vacío y autoreferencial. Bajo esta distinción, Bechler analiza a Galileo y a todos los representantes más importantes de la Revolución Copernicana.

Más aún, el trabajo de este filósofo no se limita sólo a explorar la revolución científica de los siglos XV, XVI y XVII, sino que, en *Three Copernican Revolutions* (2016), hace una revisión, a la luz de estos dos discursos, que va desde la obra de Copérnico hasta la mecánica cuántica. En este texto, Bechler afirma que han habido tres “revoluciones copernicanas”: 1) la que desembocó en la instauración del modelo heliocéntrico; 2) la que culminó en los trabajos de Kant sobre la naturaleza de la experiencia y de la ciencia, y 3) la que va desde las investigaciones de Riemann sobre los presupuestos de la geometría hasta la física de hoy en día. En este texto, el autor argumenta que todo este proceso ha sido un paulatino “vaciamiento” de información en las teorías científicas.

Para establecer la diferencia entre un modelo que genera información y otro que no, Bechler acuña el concepto de *informatividad*. Éste da cuenta de la potencia que tiene una explicación para generar información nueva. Si a los fenómenos que nosotros observamos les adjudicamos causas que están claramente separadas de ellos (como afirmar que los movimientos son causados por fuerzas externas), entonces, para enlazar estas dos entidades causalmente, se requiere de un enunciado extra que sirva como explicación de esta unión. Esta proposición, que originalmente no estaba allí, es información nueva. De ahí que este tipo de explicación tenga un carácter informativo. Por otro lado, si una explicación asegura que los fenómenos suceden debido a su propia esencia o

naturaleza, entonces se colapsan la causa y el efecto, generando una tautología que no construye más información.

Esta epistemología es especialmente fecunda para la interpretación de las teorías porque le da una nueva lectura al realismo científico. Desde principios del siglo XX hasta nuestros días, la filosofía de la ciencia -en particular la línea que se desprende del positivismo lógico y del relativismo de Kuhn y Feyerabend- ha visto este quehacer como un discurso que se funda en la convención, en donde el hombre, y en mayor escala la sociedad, le da sentido al mundo y a lo más que se puede acercar la ciencia es a la correctud lógica y al rescate de lo perceptible. No obstante, para que un discurso sea informativo, es necesario que éste presuponga una realidad que existe más allá del fenómeno y con independencia del hombre, pues esto fuerza la separación entre las causas y los efectos para la creación de información nueva. En este sentido, las teorías informativas no pueden sostenerse en el convencionalismo ni reconocer como existente sólo aquello que es perceptible.

Ahora bien, teniendo en cuenta el objetivo de este trabajo, nos acotaremos a revisar la distinción que hace este filósofo entre estos dos tipos de teorías, en aras de evidenciar la convergencia entre Platón y Galileo. Para ello, iniciaré con dos ejemplos de sistemas físicos distintos que representan estas dos maneras de construir conocimiento. Posteriormente, hablaré en general sobre ambas y se verán las consecuencias de cada una de ellas. Finalmente, se retomarán los ejemplos de Platón y Galileo bajo esta perspectiva.

A lo largo de estas líneas retomaré temas del segundo y tercer capítulo, dando sentido y coherencia a su inclusión en este trabajo, por lo que recomiendo que el lector los haya leído con anterioridad.

4.1 Aristóteles y Newton

El movimiento en Aristóteles se divide en dos tipos: natural y forzado. El primero es aquel cuya causa se produce intrínsecamente en tanto que constituye parte de la naturaleza del cuerpo. Se dice de ellos que se mueven por su *naturaleza* o *phýsis*. Este tipo de desplazamiento lleva a las cosas hacia los sitios que su esencia determina: a sus *lugares naturales*. Por otro lado, el movimiento forzado ocurre cuando un cuerpo externo produce el desplazamiento de otro a través

del contacto, con la peculiaridad de que si en algún momento el motor deja de tener contigüidad física con el móvil, entonces éste último dejará de moverse.

Por otro lado, ofreciendo una interpretación superficial, la física newtoniana (por poner un ejemplo) parece también dividir el movimiento en natural y forzado. Podría pensarse que la primera ley de la mecánica se refiere al primero, mientras que la segunda y tercera leyes, así como la de gravitación universal, se refieren al segundo. No obstante, Bechler argumenta que, en realidad, la nueva física no tiene ninguna ley de movimiento natural, sino que todo desplazamiento o cambio en el estado de movimiento es forzado. Esto se debe a que la inercia sólo explica la continuidad del estado del móvil, mas no habla sobre la causa que lo generó en un principio. En este sentido, a diferencia de Aristóteles, en este discurso no hay movimientos que se expliquen por sí mismos, “nada es autoexplicativo en la nueva física, porque nada es natural” (Bechler, 1991, p. 5). Además, la primera ley de Newton o principio de inercia sigue separando a Aristóteles de Newton, pues permite que el objeto se desplace sin que el ente que constituye la causa esté en contacto con él.

La diferencia fundamental es que el Estagirita “se acomoda a la idea de que hay cosas que no necesitan explicación” (Bechler, 1991, p. 5), pues encuentran su justificación en sí mismas; mientras que Newton no. Más aún, en el sistema aristotélico los hechos más importantes se explican a sí mismos, es decir, no requieren una causa externa. Tal es el caso de la caída libre y del movimiento circular de los cuerpos celestes. En palabras del autor:

Esto significa que la *physica*, que habla mayoritariamente, o incluso exclusivamente, de aquello que tiene *phýsis*, o naturaleza, y se mueve de acuerdo con ella, es un sistema no-explicativo en Aristóteles. Por el otro lado, la nueva física es un sistema completamente explicativo pues niega la *phýsis* de los cuerpos. (Bechler, 1991, p. 5)

4.2 Informatividad

Ahora bien, ¿qué significa que una afirmación sea explicada por medios externos a ella?, ¿cuándo es que una justificación no recae sobre el propio fenómeno que quiere explicar? Por ejemplo, si decimos que un acontecimiento P es autoexplicativo, entonces estamos afirmando que $P \rightarrow P$, lo cual es una proposición tautológica que no agrega nada nuevo a lo que ya sabíamos, puesto que siempre es el caso que una cosa implica las cosas y los hechos que se identifican con ella, es decir,

se implica a sí misma. Por el contrario, si afirmamos que hay un acontecimiento P' que causa P , de tal manera que $P' \neq P$, tendríamos como resultado un enunciado de la forma $P' \rightarrow P$, el cual no es tautológico. Aquí, el hecho de que las componentes de la proposición sean distintas nos obliga a justificar por qué una implica a la otra, generando, así, información adicional que va más allá de la implicación misma, pues es lo que la sustenta. Por ejemplo, si se afirma que un gas está dotado de temperatura debido al desplazamiento de sus átomos componentes, entonces se tiene que dar la justificación adicional que explica en qué consiste el movimiento de éstos y por qué dicho movimiento está directamente relacionado con la temperatura. En el caso del gas ideal, la noción que se ha construido de la temperatura lleva a que ésta es directamente proporcional a la suma de la energía cinética de sus moléculas, por lo que la ecuación $T = \frac{2}{3} \frac{K}{Nk_B}$, donde T es la temperatura, K es la suma de la energía cinética de las partículas, N es el número de partículas y k_B es la constante de Boltzmann, caracteriza cómo las componentes de la proposición original están enlazadas.

Bechler define la *intensidad informativa* de una proposición como una medida cualitativa de cuánta información nueva produce la explicación que une al antecedente con el consecuente de una implicación. A la desigualdad entre estos dos, la cual asegura que la intensidad informativa no sea nula, Bechler la concibe como una *separación* entre la causa y el efecto. (Bechler, 1991, p. 5)

Regresando a Aristóteles: él atribuye la explicación de la caída libre a la naturaleza del mismo objeto, por lo que no se tiene una separación entre la causa y el efecto, y no hay manera de dar más información que lo autoafirmado. No obstante, Newton sí establece dicho alejamiento, pues la fuerza de gravedad es la que precipita los objetos hacia abajo. Esta explicación externa requiere de las nociones de *fuerza, masa, distancia, tiempo, atracción*, etc., y que todas éstas se interrelacionen entre ellas para generar la justificación que enlazará a la causa con el efecto, produciendo, así, información que va más allá del fenómeno mismo.

Pero no sólo es que el alejamiento dé cabida a la explicación, sino que entre mayor sea aquél, mayor será el espacio de justificación y, por ende, habrá más posibilidad de generar información adicional. Un ejemplo: el movimiento de las estrellas errantes.⁴² Por un lado, éste

⁴² En la antigüedad, al Sol, a la Luna, a Mercurio, a Venus, a Marte, a Júpiter y a Saturno se les llamaba estrellas errantes puesto que su trayectoria aparente en el firmamento era errática. Aunque el Sol y la Luna tuvieran una trayectoria relativamente regular, yendo de oeste a este, todos estos cuerpos presentaban, en breves intervalos, una pausa y un retroceso en su trayectoria. Durante la antigüedad y hasta el siglo XVII, el propósito de la astronomía fue modelar este movimiento. Sin embargo, como Platón, en el *Timeo*, dictó que los cuerpos celestes se movían en círculos

podía ser explicado a partir de desplazamientos que, durante ciertos momentos, iban hacia atrás, como lo hicieron los epiciclos en el sistema de Ptolomeo,⁴³ o podía también ser explicado mediante una combinación de traslaciones generales, como lo hicieron los nidos de esferas en el sistema Eudoxiano.⁴⁴ Aquí la *intensidad informativa* en Eudoxo es mayor que en Ptolomeo, pues el tipo de movimiento que utiliza en su justificación no es una regresión tal cual, por lo que requiere de una mayor explicación. Aún más espacio de justificación hay en el sistema copernicano, donde ya no se explica retrogradación sólo en términos del movimiento de los planetas, sino también por el desplazamiento de la Tierra. Cabe señalar que todos estos sistemas tienen una característica informativa en común: el reducir lo observado en los cielos a apariencias producidas por las combinaciones de movimientos circulares.

Además de la lejanía entre las componentes de la explicación, también hay otras dos propiedades que aumentan la intensidad informativa de los enunciados: 1) que tanto causa como efecto tengan un modo de ser distinto entre sí y 2) que éstas sean inmutables. La condición (1) asegura que ciertas cualidades puedan ser reducidas a otras, por ejemplo, que podamos relacionar la *temperatura* de un objeto con la *velocidad* con la que se desplazan sus corpúsculos componentes, o que podamos explicar la *dureza* de un cuerpo a partir de los *enlaces* entre sus átomos. La segunda condición hace que las causas sean manejables con mayor facilidad. Un ejemplo de ello son los

perfectos y con velocidad uniforme, entonces la meta fue comprobar que estas regresiones eran el resultado de combinaciones de desplazamientos circulares uniformes (Koestler, 1959, p. 63). Ahora se sabe que los retrocesos son el resultado de que la tierra gira alrededor del sol y lo mismo hacen los otros planetas con velocidad creciente conforme aumenta su distancia al sol. A diferencia de las errantes, a las estrellas que están más allá del sistema solar se les denominaban “fijas”, pues su lejanía hace que su trayectoria aparente sea regular.

⁴³ El modelo astronómico de Ptolomeo (100 d.C.-170 d.C.), a grandes rasgos, consiste en que los planetas se mueven en pequeños círculos llamados epiciclos, cuyos centros, a su vez, se desplazaban en una trayectoria circular que iba en dirección contraria a los epiciclos llamada deferente, la cual rodeaba a un punto cercano a la Tierra, el cual también giraba en un círculo pequeño. El hecho de que el epiciclo vaya en la dirección contraria al deferente hace que el planeta se “regrese” en su trayectoria, explicando, así, el aparente movimiento errático. Para algunos planetas se necesitaron epiciclos en los epiciclos, alcanzando un número total de cuarenta órbitas para todo el sistema solar, incluyendo a las estrellas fijas. Este fue el modelo astronómico dominante hasta la revolución copernicana. (Koestler, 1959, pp. 66-67)

⁴⁴ El primer intento formal de modelar la trayectoria de las estrellas errantes lo hizo el astrónomo Eudoxo de Cnido (390 a.C.- 337 a.C.). El matemático griego, al ver que el desplazamiento de los planetas no era uniforme, propuso un modelo en términos de movimientos regulares que diera explicación a lo que observaba en el cielo. En éste, los cuerpos celestes se movían porque estaban fijos a esferas concéntricas cuyo centro era la Tierra y giraban en torno a ésta. Sin embargo, a cada planeta no le asignó una sola esfera, sino un conjunto de ellas, de tal forma que la combinación de los movimientos de todas ellas, es decir, el desplazamiento resultante, se identificara con el que veía en la bóveda celeste. Los planetas estaban fijos al ecuador de una esfera que rotaba sobre su eje, mientras que los polos de ésta estaban sujetos a otra esfera que, a su vez, giraba sobre un eje distinto. Ésta segunda esfera estaba fija de los extremos de su eje a otra esfera, y así sucesivamente. De esa manera, al darles la inclinación, la orientación de rotación y la velocidad adecuadas, el modelo podía reproducir aproximadamente el fenómeno. Cabe mencionar que para el Sol y la Luna utilizó tres esferas, mientras que usó cuatro esferas para cada planeta restante, dando como resultado 27 esferas si se toma en cuenta la que produce el movimiento de las estrellas fijas. (Koestler, 1959, pp. 63-64)

átomos inextensos que encontramos en la primera jornada de los *Diálogos en torno a las dos nuevas ciencias* (1638) de Galileo, los cuales, al no tener dimensión, no sufren cambios en sí mismos, por lo que es económico utilizarlos en la explicación de ciertos fenómenos, como en la dureza de los materiales o en la fusión y solidificación de los metales.

4.3 Racionalidad e informatividad

Para Bechler, la explicación informativa es irracional debido a que hay una inconexidad lógica entre los componentes de la explicación. Para Bechler, una relación causal es irracional cuando del antecedente no puede deducirse lógicamente el consecuente. Por ejemplo, no es una consecuencia lógica que el calor sea explicado a través del movimiento, pues su modo de existir no es el mismo, son propiedades distintas. Sin embargo, la separación de las componentes en este tipo de justificación es la única forma en la que se puede proceder si no se quiere caer en justificaciones tautológicas:

Aunque la irracionalidad de la causa eficiente previene cualquier derivación lógica del efecto desde la causa y entonces esta conexión deba ser vista como contingente y lógicamente arbitraria, es necesario que se vea como necesaria si se quiere explicar algo. Esta combinación de contingencia lógica con necesidad física, por la cual toda explicación y ley de la naturaleza son proposiciones contingentemente necesarias, es una consecuencia de la estructura informativa de dichas explicaciones. (Bechler, 1991, p. 7)

En efecto, desde la causa es imposible derivar lógicamente el efecto, puesto que no hay un porqué necesario que los enlace. No obstante, es forzoso hacer este tipo de asociaciones si se quiere dar justificación de algo. De allí que este tipo de proposiciones sean “contingentemente necesarias”, pues son contingentes lógicamente, pero es ineludible su inconexidad lógica para poder adjudicar causas al mundo sensible que no devengan en proposiciones tautológicas.

Regresando al ejemplo ya visto, Aristóteles no establece un mundo completamente tautológico en donde todo efecto sea causa de sí mismo, sin embargo, tampoco se aleja tanto, pues “propone una ontología en donde la causación nunca es externa ni eficiente en su acción natural, sino que sólo es un aspecto de la esencia de la sustancia misma” (Bechler, 1991, p. 7). Resulta natural entonces que la lógica de este discurso sea la no-informativa silogística, y que la causación sea reemplazada por la inclusión de clase. Así, el movimiento natural no está causado por una

fuerza o un agente externo, sino que es en sí mismo y sólo obedece a un principio de organización, el cual está dictado por los lugares naturales de los elementos.

Contrariamente, la física de la revolución copernicana tiene dos características: 1) un ideal dirigido a la construcción de conocimiento informativo y 2) su compromiso hacia la importancia de lo oculto en la naturaleza. Y es que la segunda cualidad es una forma de llegar a la primera, pues el ocultamiento de las causas tiene como condición necesaria la separación entre éstas y lo observado. Más aún, este velo dota a la causa de imperturbabilidad, lo que la hace propicia de ser analizada en relación con el efecto. Éste es el caso, por ejemplo, del concepto de fuerza, pues lo único que puede percibirse es el resultado de ella: el cambio en el movimiento. Otro ejemplo de este encubrimiento son los átomos, pues por definición tampoco son observables directamente, pero en la estructura explicativa en que se insertan, dan lugar a la materia. No obstante, este compromiso de maximizar la información viene acompañado de paradojas. Por ejemplo, ¿cómo es posible, en el caso de la fuerza, que un ente sin masa cambie la trayectoria de entes masivos? o ¿cómo es que seres sin extensión, como lo son los átomos galileanos, generen cuerpos voluminosos?

4.4 La aparente racionalidad del discurso informativo de Platón y su física

Cómo ya se vio, Platón propuso la existencia del mundo de las ideas como una alternativa a las explicaciones físicas que ofrecieron, antes que él, los filósofos presocráticos (Platón, *Fedón*, 97d-98c), casi todas ellas de corte materialista en cuanto a su explicación del mundo y de los fenómenos. Luego de ello, arguyó que el universo sensible era un mero efecto de las ideas inmutables, de tal manera que si algo era, por ejemplo, bello, era debido a que participaba de la idea de belleza (Platón, *Fedón*, 100c). Más aún, entre las Formas hay relaciones de inclusión y exclusión que se proyectan en el mundo sensible de manera aproximada debido a que los objetos participan de las Ideas a través de la semejanza. Esto último hace que sea posible un cierto grado de conocimiento del mundo.

Así, este discurso cumple con varias condiciones para ser informativo: 1) las causas y los efectos se encuentran completamente separados, pues el mundo de las Ideas y el universo sensible son entes diferentes; 2) dicho alejamiento es a nivel ontológico, debido a que la forma de ser de

las Formas es distinta a la de los objetos, y 3) las Ideas son inmutables, lo que las hace especialmente útiles para discurrir sobre el mundo, de otro modo, las relaciones de implicación y exclusión que se dan entre ellas fluctuarían y no serían propicias para hablar sobre el mundo fenoménico.

Cabe mencionar que las Formas no tienen propiedades en sí mismas. Esto implica que la irracionalidad de enlazar causalmente cualidades que son distintas entre sí aparentemente no aparece en el discurso platónico. De hecho, es la semejanza la que asegura que la participación que tienen las cosas con las ideas no devenga en una desvinculación lógica entre ellas. La Idea de Rojo no es roja, debido a que las Formas no tienen color, por lo que la semejanza de las cosas rojas con esta Idea se da sólo porque casualmente es la Idea de Rojo. En palabras del propio Bechler:

La teoría de las ideas de Platón será la solución que trate de incorporar la informatividad (a través de la separación de las Ideas [y las cosas]) con la racionalidad (como resultado de la “semejanza” entre las Ideas modélicas y su ejemplificación material). La informatividad de la relación causal de la participación se deriva, además de la separación de las Ideas, también de la peculiar naturaleza de esta “semejanza”. (Bechler, 1991, p. 52)

Sin embargo, esta aparente conexidad lógica se desvanece cuando Platón especifica su teoría física en el *Timeo*, pues termina vinculando las propiedades de los objetos con la figura geométrica de sus átomos componentes.

En efecto, como ambos universos son ontológicamente distintos, entonces el filósofo ateniense se vio en la necesidad de erigir un puente entre ambos: el espacio (*Timeo*, 48e-51d). Éste participa de las ideas y, al no tener cualidades propias, las adopta y las concreta en el mundo sensible. De esta forma, la articulación del espacio produce átomos geoméricamente perfectos que corresponden a los componentes de la materia, es decir, a los cuatro elementos: un tetraedro para el fuego, un octaedro para el aire, un icosaedro para el agua y un cubo para la tierra (*Timeo*, 53c-61c). A su vez, la aglomeración de estos átomos da lugar a la materia macroscópica, y las cualidades de ésta se explican en función directa de la forma geométrica de éstos. Por ejemplo, los cuerpos que tenga más tierra serán los más difíciles de perturbar debido a que el cubo es la figura más estable de los poliedros.

Ahora bien, además de la vinculación de cualidades distintas en la relación causal, en esta parte del corpus platónico también se propone la inmutabilidad de las causas, ya que los poliedros atómicos no son el sustrato último de la materia, sino que éstos, a su vez, están constituidos por

triángulos. Esto permite la explicación de fenómenos en donde parece que un elemento se transmuta en otro. Por ejemplo, en la evaporación del agua, en donde parece que ésta se transforma en aire al estar cerca del fuego (se vuelve vapor), basta con explicar que los icosaedros, al chocar con los tetraedros, se descomponen en sus triángulos constituyentes y posteriormente éstos últimos se recombinan para formar octaedros.

Cabe destacar que tanto el espacio como los átomos que de él se desprenden tienen una existencia medial, puesto que son ni objetos tal cual, pero tampoco son Ideas. El primero funge como el receptáculo de las Formas: no es un objeto porque no tiene propiedades, pero tampoco es una Forma, pues es el responsable de que éstas se den en el mundo sensible. Por otro lado, los constituyentes últimos de la materia resultan ser geoméricamente perfectos, lo cual es una cualidad completamente ideal. Esta existencia dual implica que su estatus ontológico es ambiguo y, sin embargo, esta forma de ser es necesaria para poder enlazar ambos mundos.

En este discurso físico, se presentaron, además de las características informativas mencionadas anteriormente, otras dos: 1) el enlace entre propiedades que son lógicamente inconexas entre sí y 2) la utilización de entes cuya existencia es intrínsecamente paradójica para la explicación de la dinámica que hay entre ambos universos.

4.5 Galileo y la informatividad

Por otra parte, también tenemos el ejemplo de Galileo, que reaccionó, a finales del siglo XVI y principios del XVII, sin hacerlo explícitamente, en contra del ideal no-informativo y tautológico de la física aristotélica y promovió un discurso informativo. Esto puede verse en varios aspectos de su obra, los cuales presentaré a continuación.

Cómo ya se mencionó, Galileo utilizó ampliamente la superposición de fuerzas y movimientos para la caracterización de ciertas trayectorias. Éste es el caso, por ejemplo, del movimiento parabólico, en donde el móvil participa de un desplazamiento rectilíneo horizontal uniforme y otro vertical uniformemente acelerado (Galileo, 2003, p. 332). Aquí, la separación causal radica en que estos movimientos componentes fungen como causas de la trayectoria cónica, sin embargo, éstos no se observan en el mundo real y, por separado, son distintos a la trayectoria resultante. Aquí, las causas, al igual que en Platón, son completamente imperceptibles, mientras que la trayectoria es lo que se actualiza en el mundo sensible. Nótese que los desplazamientos

constituyentes, al no afectarse entre sí (es decir, al ser inmutables), son susceptibles de ser analizados por separado, lo que permite la demostración de que esta superposición da como resultado una trayectoria parabólica. Es decir, la inmutabilidad de estos desplazamientos permite la matematización de la trayectoria. Una vez que se identifica el comportamiento del objeto con esta figura geométrica, Galileo utiliza las propiedades que se deducen en abstracto de esta cónica para aplicarlas, sin más, a la trayectoria de los proyectiles (Galileo, 2003, pp. 365-366). Resumiendo: 1) Galileo separa causa y efecto al afirmar que un móvil participa de varios movimientos simultáneamente, los cuales no son observables; 2) estos desplazamientos no se afectan entre sí, por lo que son inmutables y analizables por separado; 3) esto posibilita la matematización de la trayectoria; 4) una vez que ha concluido que la trayectoria es una figura geométrica (en el caso de los proyectiles, una parábola), deduce propiedades abstractas de este ente, que no duda en extrapolar, sin más, a la trayectoria física.

De igual manera, estas características informativas también se presentan en sus trabajos juveniles sobre el movimiento, recopilados posteriormente y publicados póstumamente bajo el título *De motu Antiquiora*. Cuando analiza la caída libre de los objetos dentro de un medio, reconoce que la velocidad depende de la diferencia entre el peso del cuerpo y la resistencia del entorno (Moody, 1951, p. 166). Al ser una sustracción lo que da como resultado el comportamiento del objeto, Galileo está presuponiendo que tanto el peso como la resistencia están ejerciendo su influencia sobre el objeto en todo momento y que, como causas, no interfieren entre sí. Más bien, esta superposición, como en el caso anterior, sólo se ve reflejada en el fenómeno resultante.

Aquí se vuelven a presentar las mismas características informativas que se daban en el discurso platónico, lo que en la teoría el filósofo ateniense es la separación entre las ideas y los objetos sensibles, en Galileo es el alejamiento entre las fuerzas o movimientos “virtuales” que éstas provocarían, y lo que constituye su trayectoria resultante. Nótese que en ambos casos se están fijando las causas como seres inmutables para facilitar el análisis del fenómeno.

En cuanto a la estructuración de la materia, la noción atomista que presenta Galileo en la primera y segunda jornada de *Diálogos en torno a dos nuevas ciencias* también tiene rasgos informativos. Como se vio en el capítulo anterior, los metales están hechos a partir de átomos, de tal manera que el *horror vacui* impide que los espacios vacíos entre éstos se hagan más grandes, lo que deviene en la cohesión del metal. Los átomos y los huecos son infinitamente pequeños y están distribuidos homogéneamente, por lo que todas las partes del cuerpo están unidas con la

misma fuerza (Galileo, 2003, p. 53). La inextensión de los corpúsculos nace de la necesidad de hacer una identificación entre átomo y punto geométrico, de tal suerte que se pueda hacer un tratamiento matemático del sistema físico.

Aquí nos volvemos a encontrar con las características informativas que ya habíamos visto en Platón: 1) Galileo identifica y vincula dos cualidades que son inconmensurables entre sí: el *horror vacui* que impide que los átomos se separen y la cohesión de los objetos metálicos; 2) los corpúsculos son infinitamente pequeños, por lo que son inmutables en sí mismos y pueden ser modelados con más facilidad al ser identificados con puntos matemáticos, y 3) los constituyentes de los objetos son ontológicamente ambiguos, pues son causa material de las cosas, pero no tienen extensión.

Por último, la diferenciación que hace Galileo en *El ensayador* entre las cualidades primarias y las secundarias es el ejemplo más contundente de la unión de propiedades inconmensurables. Para él, todo aquello que tenga que ver con los sentidos (cualidades secundarias) es, en realidad, algo que se puede explicar a través de propiedades que tengan que ver con el movimiento y el tamaño (cualidades primarias). Es decir, aquello que llamamos olor, o sabor, o calor, o color, o aspereza, etc., en realidad es reducible a relaciones de movimiento, tamaño y forma entre los átomos de los objetos y de nuestro cuerpo. De hecho, para Galileo, las percepciones que van más allá de éstas últimas no son reales, sino meros nombres que utilizamos por costumbre para designar la experiencia inmediata (Galileo *apud* Finnochiario, 2008, p. 183). Aquí, de nuevo, se hace patente la convergencia del pensamiento informativo de Galileo con el de Platón, puesto que en el *Timeo* (61c-68d) también se reducen las sensaciones a las relaciones de los estados de movimiento entre los átomos de los objetos y los del cuerpo sensitivo.

Conclusiones del capítulo

Se vio la epistemología bechleriana donde hay dos formas de explicación: una tautológica y otra a la que llamamos *informativa*. La primera tiene la cualidad de ser prolija lógicamente, mientras que la segunda incurre en inconexidades lógicas. Esto último viene del hecho de tener que enlazar dos componentes que no son conmensurables entre sí en una relación causal. No obstante, la noción informativa es necesaria si se le quiere adjudicar causas a los fenómenos que no sean los fenómenos mismos.

Bechler considera que la revolución copernicana fue, en realidad, una revuelta en donde se pasó de una concepción aristotélica de explicar el mundo a una platónica, y esto, en realidad, tiene como trasfondo que fue pasar de una epistemología tautológica a una informativa.

Las características del discurso informativo, a grandes rasgos, son: 1) separación entre causa y efecto; 2) que los modos de ser entre éstos sean distintos, de tal forma que se posibilite el enlace causal entre cualidades distintas, y 3) que las causas sean inmutables en sí mismas, en aras de que sean de fácil manejo en el discurso.

Tanto el discurso de Platón como el de Galileo cumplen con estas características, por lo que se puede afirmar que sus discursos son informativos. En el caso del filósofo griego, la condición (1) se cumple a partir de la escisión de las Ideas y los objetos; la condición (2) se da porque las Formas tienen una manera de ser distinta a la de las cosas, pues son imperceptibles, y la condición (3) se desprende del hecho de que son inmutables. Hasta aquí, parece que el discurso platónico mantiene su conexidad lógica, debido a que las Formas no tienen cualidades en sí mismas. Sin embargo, cuando Platón desarrolla su física en el *Timeo*, incurre en identificar cualidades que son distintas entre sí. De hecho, la inmutabilidad de las causas también aparece en la física platónica, pues propone a los triángulos como los constituyentes de los sólidos platónicos y como el fundamento último e inmutable de la materia.

El discurso del físico italiano cumple también con estas características: la condición (1) se da, en el caso de la cinemática, por el principio de superposición de los movimientos, pues éstos son las causas del efecto que es la trayectoria; de igual manera, en el caso de la composición de los cuerpos, por su noción atomista y, en un ámbito más general, debido a la separación entre cualidades primarias y secundarias; la condición (2) se satisface porque los desplazamientos componentes de las trayectorias y los átomos constituyentes de la materia son imperceptibles, y la condición (3) porque tanto los desplazamientos como los átomos son inmutables en sí mismos.

En conclusión, se vio que tanto Platón como Galileo concuerdan al tener un ideal epistemológico informativo.

Conclusiones

1. El contexto platónico de Galileo

Galileo vivió en una época en la que el platonismo cobraba fuerza. Después de un periodo en donde la escuela dominante fue el aristotelismo, poco a poco las traducciones al latín de los textos platónicos comenzaron a aparecer, llegando a su cúspide con las obras completas de Platón traducidas por Ficino y publicadas en 1484 en Florencia. Pero no sólo fue esta edición la que impulsó el estudio de Platón, sino que el establecimiento de la Academia Platónica de Florencia, y todas las actividades que se desarrollaban en el círculo intelectual de Ficino, las cuales fueron apoyadas por la casa de los Médici, propiciaron la aparición de cátedras sobre Platón en las universidades más importantes de Italia durante el siglo XVI. Gracias a la apertura de estas clases, pensadores que se dedicaban a las matemáticas o defendían el uso de éstas en los discursos de la filosofía natural, como Luca Valerio o Jaccopo Mazzoni, veían en la metafísica platónica una base para legitimar la matematización de los fenómenos naturales.

Este contexto intelectual llegó hasta Galileo, pues trabó amistad con uno de los platonistas más importantes del Renacimiento, el ya mencionado Jaccopo Mazzoni, quien abogaba por la utilización de las matemáticas en las investigaciones físicas. El análisis de esta postura, en la presente tesis, llevó a que la relectura de fragmentos de la correspondencia entre Mazzoni y Galileo permitiera intuir que aquel “gran maestro” que les sirvió de guía durante su estancia en la Universidad de Pisa fue Platón.

Por último, a través de varias citas explícitas a Platón dentro de los *Diálogos acerca de los dos máximos sistemas del mundo* y los *Diálogos en torno a dos nuevas ciencias*, se muestra cómo Galileo se proclama a favor de la idea platónica según la cual un móvil que se acelera desde una velocidad inicial a una final tiene que pasar por todas las velocidades intermedias.

2. El mundo de las formas y la superposición de los movimientos

Platón propone el *topos uranus* como una alternativa a las explicaciones materialistas de los filósofos presocráticos. Para ello, supone la separación entre el mundo ideal y el material, y establece una relación causal entre las ideas y los objetos. Las cosas son tal cual debido a que participan de las Formas, de tal manera que las primeras son meros efectos de las segundas. Este

tipo de causalidad presupone una separación a nivel ontológico entre las causas y los efectos, puesto que la manera de ser de las ideas (inmutables e imperceptibles) es distinta de la de los objetos (mutables y perceptibles). Pero las ideas no son ajenas entre sí, sino que existen nexos de implicación y exclusión entre ellas. Debido a que los objetos participan de las Formas a partir de la semejanza, entonces éstos reproducen aproximadamente las relaciones de aquéllas. De aquí que sea posible el conocimiento sobre el universo sensible.

En Galileo vemos el mismo tipo de actitudes epistémicas, pues cuando habla de un objeto que participa de varios movimientos o es perturbado por varias fuerzas, está haciendo alusión a la existencia de entes que se suman para dar como resultado el desplazamiento resultante, pero que no son perceptibles en sí mismos, ya que lo único que es observable en el discurso galileano es la trayectoria resultante. Asimismo, estos movimientos no se perturban entre sí, sino que ejercen continuamente su influencia sobre el objeto, modificando sólo su desplazamiento resultante. En este sentido, Galileo también está haciendo una separación a nivel ontológico entre la causa y el efecto en su cinemática, debido a que los desplazamientos componentes son imperturbables entre sí e inobservables, mientras que la trayectoria global se observa y es perturbable. En los textos de Platón, los nexos causales entre las ideas son posibilitados por la inmutabilidad de éstas, y la proyección de éstos al mundo hace posible la investigación de la naturaleza. Por su parte, en el discurso galileano, la separación entre los movimientos constituyentes y la trayectoria resultante, aunada a la imperturbabilidad de los desplazamientos componentes, posibilita el análisis por separado de cada uno de éstos, lo que, a su vez, permite el análisis y conocimiento matemático del movimiento.

3. Anamnesis

En cuanto a cómo se genera el conocimiento, Platón afirma que el alma, gracias a su ir y venir desde el mundo de las ideas, lo sabe todo. Sin embargo, ésta olvida cuando se adhiere al cuerpo, por lo que el aprendizaje es, más bien, un proceso de remembranza. Esto es sustentado y exhibido claramente a partir de la fábula del esclavo en el *Menón*. Hay que puntualizar un aspecto importante que se desprende de esto: el saber existe independientemente del hombre.

En el caso de Galileo, la distinción entre extensividad e intensividad del conocimiento, y el hecho de que Dios conozca todas las proposiciones verdaderas instantáneamente, implican que

el saber es independiente del hombre. En ese sentido, Platón y Galileo convergen en su concepción del conocimiento. De igual manera, se hizo patente que en los *Diálogos acerca de los dos máximos sistemas del mundo*, Galileo está a favor de la teoría de la reminiscencia platónica, pues, además de mencionar explícitamente a Platón, Salviati hace recordar a Simplicio (al igual que Sócrates hizo recordar al esclavo cuál debe ser la longitud del lado de un cuadrado que hace duplicar el área de éste) que todos los cuerpos que se encuentran en un movimiento circular poseen un ímpetu que tiene una dirección hacia afuera del centro de la trayectoria.

4. La geometricidad del mundo

Se vio cómo Platón, en el *Timeo*, relató una cosmogonía basada en proporciones matemáticas, en donde el demiurgo tomó partes de lo mismo y de lo diferente para hacer una mezcla que luego cortaría en razones geométricas precisas. Se discutió que hay dos interpretaciones para este hecho: 1) la cognitiva, que arguye que estas proporciones son para que el alma del mundo pueda generar juicios, y 2) la cinética, que ve en la composición tan elaborada del alma del mundo un principio de movimiento, pues es a partir de estas razones que se explican los desplazamientos de los cuerpos celestes. En la presente tesis, se abogó a favor de que la segunda lectura es la correcta, debido a que las proporciones dotan de cohesión y estabilidad física al mundo.

Por otro lado, Galileo también se mira a sí mismo habitando un mundo esencialmente geométrico, pues para él, la naturaleza es un libro que está escrito en lenguaje matemático. La convergencia, en esta parte, radica en que ambos autores ven el mundo como algo estructurado matemáticamente. Sin embargo, el físico florentino hace más hincapié en esta cuestión, pues explica que esa geometricidad es la que posibilita el discurso matemático de la naturaleza.

5. Reducción de unas cualidades a otras y la utilización de entes mediales

Platón, luego de presentar la construcción del mundo en el *Timeo*, describe su dinámica. El movimiento, cómo ya se explicó, se da gracias al alma del mundo, la cual es un ente completamente inmaterial. Esta alma resulta tener una existencia intermediaria entre el mundo de las ideas y el universo sensible, ya que es inmutable, imperceptible e inmaterial. Sin embargo, repercute en el mundo fenoménico, pues mueve al mundo. Otro ente como éste es el espacio, el cual participa de

las ideas, pero no en el sentido en el que lo hacen los objetos, sino que funge como receptáculo de éstas. Al contener las Formas, el espacio se reestructura y genera poliedros perfectos, los cuales son las unidades fundamentales (átomos) de la materia. En ese sentido, tenemos otro ente medial, pues el espacio, al articularse en figuras geométricas precisas, es parte del mundo de las ideas. No obstante, también es el responsable de la existencia de la materia, cuya naturaleza es dinámica y eternamente cambiante. Estos entes funcionan como puentes entre ambos mundos, de tal forma que solventan la explicación de cómo se establece el nexo causal entre dos universos que están completamente escindidos. Hay que hacer énfasis en que, justo por estar entre ambas formas de ser, su estatus ontológico está indefinido.

En cuanto a la reducción de unas cualidades a otras, Platón toma la figura geométrica de los átomos y la asocia directamente con las percepciones macroscópicas que tenemos de la materia. En ese tenor, los átomos del fuego son tetraedros, los cuales, al tener ángulos pronunciados, si entran en contacto con la piel, producen la sensación de quemar. Lo notable aquí es que todas estas percepciones son reducidas a ser el producto de propiedades geométricas y de movimiento.

En este mismo sentido, Galileo utiliza entes mediales. Cuando el físico florentino asocia una curva geométrica al desplazamiento, está volviendo ambiguo el estatus ontológico del término medio de su razonamiento. Esquematizándolo se puede ver lo siguiente: 1) la premisa mayor asegura que todos los proyectiles tienen una trayectoria parabólica; 2) la premisa menor es un teorema geométrico: en él, se demuestra que si dos parábolas siguen, una por arriba y otra por debajo de la semi-recta de 45° , ángulos que difieren en lo mismo de ésta, entonces tienen la misma amplitud, y 3) la conclusión que se saca de estos dos puntos es que si un móvil es lanzado por debajo de la recta de 45° con cierto ángulo, tendrá el mismo alcance que si se hubiera arrojado por arriba de esta línea con el mismo ángulo. En ese sentido, el término medio que conecta a las dos premisas y que avala la conclusión no tiene una forma de ser definida, puesto que en 1) se habla de una trayectoria física, mientras que en 2) se versa sobre un ente completamente matemático. Al igual que en el caso de Platón, esta ambigüedad ontológica es la que funciona como puente entre el universo sensible y el matemático, haciendo posible la geometrización.

Otro uso que Galileo hace de los entes mediales se encuentra en la demostración en la que prueba que la cohesión de los metales se da debido al *horror vacui* que sienten los infinitos átomos que los conforman. Para poder demostrar la existencia de una infinidad de corpúsculos y espacios vacíos que fundamenten su teoría sobre la cohesión metálica, Galileo identifica estos átomos con

puntos geométricos que carecen de extensión. De nuevo, estos corpúsculos se encuentran a la mitad del mundo fenoménico y el universo matemático, y es justo esta ambigüedad la que le permite llevar a cabo el tratamiento geométrico del problema.

De igual manera, al igual que Platón en el *Timeo*, Galileo reduce las percepciones del mundo sensible a cualidades geométricas y de movimiento. En eso radica la distinción entre cualidades primarias y secundarias que hace en *El ensayador*. Ahí, Galileo arguye que muchas impresiones que tenemos del mundo, en realidad, no existen. Las únicas propiedades que tienen una existencia real son las geométricas y las de movimiento, por lo que todas las percepciones macroscópicas, como los olores, los colores, las texturas, etc., pueden ser reducidas a ellas.

6. Informatividad

Por último, los dos discursos pueden enmarcarse en la dicotomía epistemológica que propone Zev Bechler en *Newton's Physics and the Conceptual Structure of the Scientific Revolution*, ya que ambos buscan el aumento del contenido explicativo al establecer una separación entre las causas y los efectos. En ese sentido, tanto Platón como Galileo acrecientan la informatividad -concepto que se discutió en el capítulo IV- de sus discursos a través de: 1) la separación entre causa y efecto; 2) conferirles un modo de ser a las causas que es distinto al de los efectos; 3) hacer a las causas inmutables, de tal forma que sean de fácil manejo al momento de utilizarlas en la explicación, y 4) la reducción de las cualidades del mundo sensible a propiedades geométricas y de movimiento.

No obstante el poder explicativo que estos discursos generan al tener estas características, aumentar la informatividad en los discursos implica el uso de entes que son intrínsecamente paradójicos y que funcionan como puentes que se construyen sobre la escisión que hay entre las causas y los efectos, fundamentando, así, la relación causal.

Con este trabajo se espera ofrecer mayor claridad en cuanto a las presuposiciones filosóficas que llevaron a Galileo a construir su física del movimiento y, con esto, que se haya vislumbrado un poco del quehacer científico en general y, en particular, del proceso de matematización de los fenómenos naturales.

Bibliografía

- Aristóteles. (1995). *Acerca el cielo*. Madrid: Gredos.
- Aristóteles. (1995). *Física*. Madrid: Gredos.
- Aristóteles. (1988). *Metafísica*. Madrid: Gredos.
- Aristóteles. (1995). *Tratados sobre lógica (Órganon) II: Sobre la interpretación, Analíticos primeros, Analíticos segundos*. Madrid: Gredos.
- Aristóteles. (2000). *Sobre las líneas indivisibles, Mecánica*. Madrid: Gredos.
- Bechler, Z. (1991) *Newton's Physics and the Conceptual structure of the Scientific Revolution*. Boston: Kluwer academic publishers.
- Bechler, Z. (1999) *Three Copernican Revolutions*. Haifa: Haifa University Press & Zmora Bitan.
- Burt, E.A. (1925). *The Metaphysical Foundations of Modern Physical Science*. London: Kegan.Paul, Trench, Trubner & CO., LTD.
- Camerota, M., y Helbing, M. (2000). "Galileo and Pisan Aristotelianism: Galileo's "De Motu Antiquiora" and the Quaestiones de Motu Elementorum of the Pisan Professors". En *Early Science and Medicine*, 5(4), 319-365.
- Cornford, F. M. (1935). *Plato's Cosmology: The Timaeus of Plato*. Indianapolis: Hackett Publishing Company.
- Crombie, A. C. (1990). *Science, Art and Nature in Medieval and Modern Thought*. London: The Hambleton Press.
- De Caro, M. (1992) "Galileo's Mathematical Platonism". En G. Czermark (ed.), *Philosophy of Mathematics*, Hoelder –Pichler-Tempsky, Wien, 1-9
- De Caro, M. (2017) On Galileo's Platonism, Again. En: Pisano R., Agassi J., Drozdova D. (eds.) *Hypothesis and Perspectives in the History and Philosophy of Science*. Springer, Cham.
- Drake, S. (1976). "The Evolution of De Motu (Galileo Gleanings XXIV)". En *Isis*, 67(2), 239-250.
- Fermi, L., y Bernardini, G. (1961). *Galileo and the Scientific Revolution*. New York: Dover publications.
- Finocchiaro, M. A. (2008). *The Essential Galileo*. Indianapolis: Hackett Publishing Company.
- Finocchiaro, M.A. (2010). *Defending Copernicus and Galileo*. Las Vegas: Springer.

- Galilei, G. (2003). *Diálogos acerca de dos nuevas ciencias*. Buenos Aires: Losada.
- Galilei, G. (1967) *Dialogue Concerning the Two Chief World Systems Ptolemaic & Copernican*. Berkeley: University of California Press.
- Galilei, G. (1914). *Dialogues Concerning Two New Sciences*. New York: Dover Publications.
- Gibb, H.A.R., Kramers, J.H., Lévi-Provençal, E. y Schatch, J. (1960). “Alflatun”, en *Encilopaedia of Islam vol. 1 (A-B)*. Leiden: E.J. Brill.
- Hatfield, G. (1990). “Metaphysics and the new science”. En D. Lindberg & R. Westman (eds.), *Reappraisals of the Scientific Revolution*. Cambridge: Cambridge University Press. pp. 93-166.
- Handschin, J. (1950). “The “Timaeus” Scale”. En *Musica Disciplina*, 4(1), 3-42.
- Hutton, S. (2012). “Renaissance Platonism”. En F. González, D. Nails, H. Tarrant (eds.), *The Bloomsbury companion to Plato* (pp. 278-281).
- Johansen, T. K. (2004). *Plato’s Natural Philosophy: a Study of the Timaeus-Critias*. New York: Cambridge University Press.
- Kirk, G.S., Raven J.E., y Schofield M. (2008). *Los filósofos presocráticos*. Madrid: Gredos.
- Koyré, A. (2016). *Estudios galileanos*. Ciudad de México: Siglo Veintiuno Editores.
- Koyré, A. (1943). “Galileo and Plato”. En *Journal of the History of Ideas*, 4(4) 400-428.
- Kretzmann, N., Kenny, A., Pinborg, J., y Stump E. (1988). *The Cambridge History of Later Medieval Philosophy*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kristeller, P. O. (1966). “Marsilio Ficino as a Beginning Student of Plato”. En *Scriptorium*, 20 (1), 41-54.
- Kristeller, P. O. (1961). “The Platonic Academy of Florence”. En *Renaissance News*, 14(3), 147-159.
- Koestler, A. (1959). *The Sleepwalkers*. New York: The Macmillan Company.
- Leask, I. (2016). “Perfoming Cosmic Music: Notes on Plato’s Timaeus”. En *REA: A Journal of Religion, Education and the Arts*, 10, 14-27.
- Machamer, P. (2006). *The Cambridge Companion to Galileo*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Panza, M., y Sereni A. (2013). *Plato’s Problem: an Introduction to Mathematical Platonism*. New York: Palgrave Mcmillan.

Moody, E. A. (1951). "Galileo and Avempace: The Dynamics of the Leaning Tower Experiment (I)". En *Journal of the History of Ideas*, 12(2), 163-193.

Museo Galileo (2017), *Galileo's Library*. Recuperado de: http://biblioteca.imss.fi.it/acquisti/biblioteca_galileo.pdf

Platón. (1988). Diálogos 2. *Gorgias, Menéxeno, Eutidemo, Menón, Crátilo*. Madrid: Gredos.

Platón. (1988). *Diálogos 3. Fedón, Banquete, Fedro*. Madrid: Gredos.

Platón. (1988). *Diálogos 4. República*. Madrid: Gredos.

Platón. (1988). *Diálogos 6. Filebo, Timeo, Critias*. Madrid: Gredos.

Power, E. J. (1964). "Plato's Academy: A Halting Step toward Higher Learning". *History of Education Quarterly*, 4(3), 155-166.

Seeger, R. J. (1966). *Galileo Galilei, his Life and his Works*. Oxford: Pergamon Press.

Siorvanes, L. (1996). *Neo-platonic Philosophy and Science*. Edinburg: Edinburg University Press.