

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Filosofía y Letras

Colegio de Letras Clásicas

La transformación de la idea de mundo en el Renacimiento.

Análisis del concepto de *movimiento* en Aristóteles, Ptolomeo y Copérnico

T e s i s

que para obtener el título de licenciada en Letras Clásicas

presenta

Estefanía Huelgas Morales

Asesor: Dr. René Ceceña Álvarez

Ciudad de México, 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central

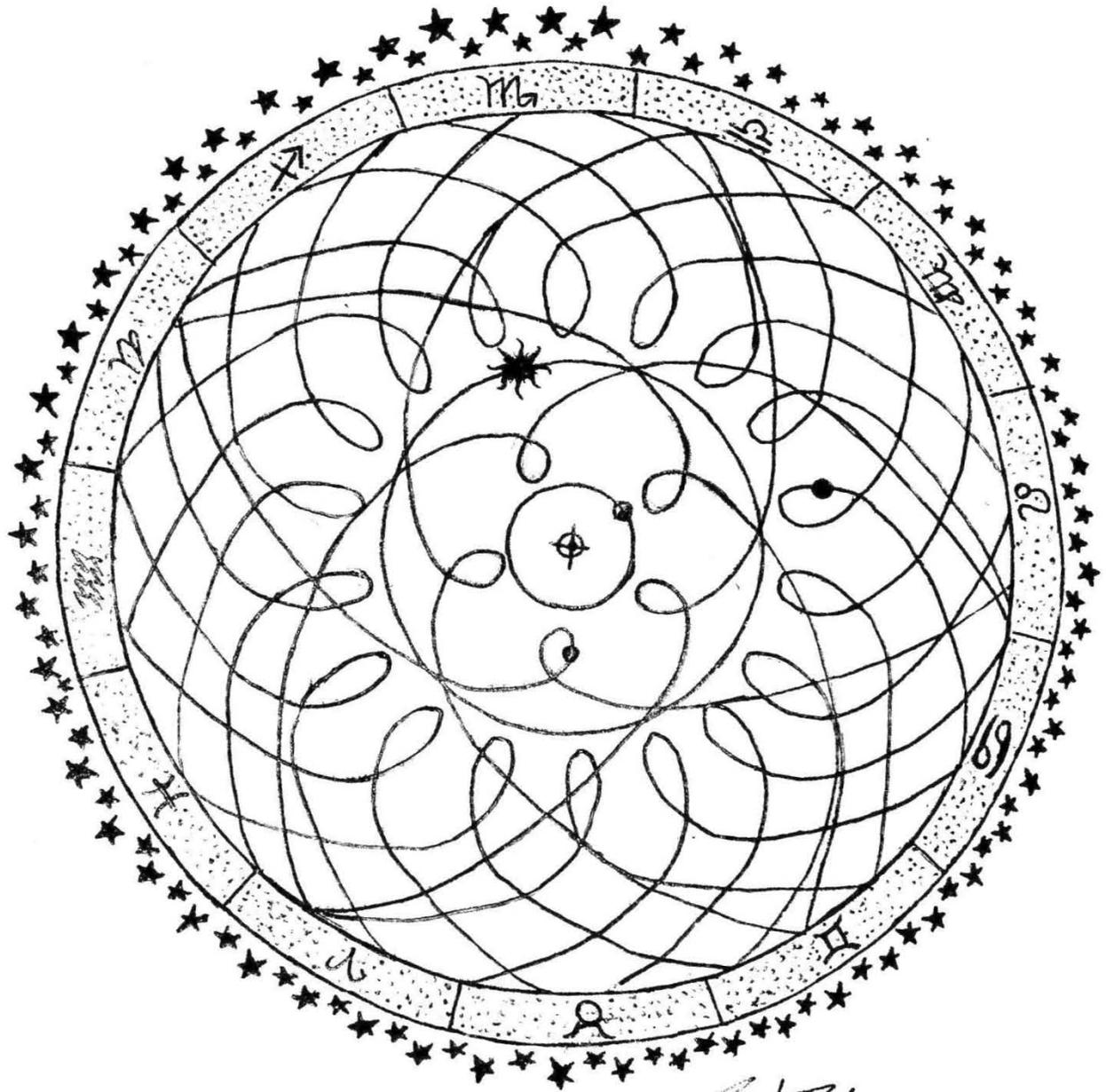


UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

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.



Prof. A. Aguiar

En memoria de Carlos Enrique Chávez Solís, cuya sonrisa brilla en mi mundo todavía.

Dedicatoria

A mi madre Claudia, por su apoyo incondicional y su infinito cariño, por ser un ejemplo a seguir de fortaleza, inteligencia y bondad, y porque no tengo manera de expresar el profundo agradecimiento que siento por tenerla cerca de mí, le dedico este trabajo y mi vida entera.

A mi padre Jorge, mi ídolo, por haber dirigido mi mirada al firmamento desde pequeña, por contagiarme día a día su curiosidad y entusiasmo por entender el mundo, por ser objeto de mi total admiración, por su enorme generosidad, apoyo y cariño.

A mi hermana Gabriela, por ser mi compañera, mi guía, mi dios. Por su cariño y por su apoyo, por siempre saber apaciguar mis angustias y avivar mi tranquilidad y felicidad, por llenar este mundo de alegría adondequiera que va.

A Mario, por ser mi fuente de motivación, de felicidad y de amor. Por estar a mi lado siempre. Porque gracias a él pude finalmente completar este trabajo. Porque no deja de maravillarme. Por todos los momentos que me permite vivir a su lado y por todos los que faltan.

Agradecimientos

Agradezco a Efraín, Efra, Quique y Pablo, por contagiarme, con sus conversaciones, el gusto por el estudio y el conocimiento del mundo. Gracias por su cariño y por darme la dicha y el honor de considerarlos *familia*.

A Jorge Pacheco Ozúa, por estar conmigo durante toda la carrera. Por esas pláticas que me devuelven a mi camino. Por ser mi compañero de vida.

A mis abuelos, tíos, primos y sobrinos. A Maricela Rodríguez España. Gracias a ustedes por su apoyo, cariño y compañía.

A todos mis amigos. Especialmente a Mariana Flores, Michelle Bruce, Fernanda Pérez, María del Pilar Rojas, Juan Bautista Climent, Mariana Sandoval, Isaac Delgado, Jerónimo Sainz y Pablo Sierra. A las familias Tejada Bassols, Covarrubias Castillo, Bassols de la Rosa, Mieres Cravioto, Castro y de Agüero Villacorta. A mis amigas y alumnas de Pole Dance School, en especial a Erandi Montes. A mis amigos de Transparencia Mexicana. A todos los que, directa o indirectamente, motivaron la realización de este trabajo.

A mi asesor, René Ceceña Álvarez, por estar dispuesto a compartir conmigo su inagotable conocimiento, impecable modo de razonamiento y su pasión por la historia de las ciencias, filosofía de las ciencias y la construcción de las ideas y conceptos.

A mis profesores y compañeros de la Facultad de Filosofía y Letras. A mis sinodales: el Dr. Omar Daniel Álvarez, la Dra. Luz Fernanda Azuela, la Dra. María Leticia López y el Mtro. Daniel Sefami, por sus atinadas observaciones, las cuales enriquecieron enormemente este trabajo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Filosofía y Letras. Al apoyo recibido por parte del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica, mediante los proyectos *Literatura científica, técnica y filosófica de la antigüedad clásica* (No. IN402311, dirigido por el Dr. Omar Daniel Álvarez Salas); y *La Geografía de Ptolomeo y la construcción de la idea renacentista de mundo: transmisión, traducción e interpretación en los siglos XV y XVI* (No. IA400513, dirigido por el Dr. René Ceceña Álvarez).

*En la ciencia como en el arte y en la vida,
sólo aquello que es realidad para la cultura,
es realidad para la naturaleza.*

Ludwig Fleck

Índice

1. Introducción.....	8
2. Continuidad y discontinuidad en las ciencias.....	18
2.1. Origen de la controversia	19
2.2. Dos posturas contrarias	21
2.2.1. Revolución científica	27
2.2.2. Respuesta continuista.....	35
2.3. Influencia y conceptos.....	42
3. Estilos de pensamiento	49
4. Sistemas del mundo.....	59
4.1. Cosmología griega.....	60
4.1.1. Aristóteles	72
4.1.2. Ptolomeo	78
4.2. Cosmología copernicana	85
4.2.1. <i>Sobre las revoluciones de los orbes celestes</i>	86
5. Movimiento	100
5.1. Definición.....	101
5.2. Extensión.....	105
5.3. Suposiciones.....	112
6. Deducción, experimentación y cosmología.....	123
7. Conclusiones	131
8. Bibliografía.....	136

1. Introducción

Mucho se ha discutido acerca de la herencia que el mundo occidental ha recibido de la Antigüedad clásica griega y latina, legado que puede reconocerse en numerosos y diversos aspectos que lo conforman, tales como la lengua, la literatura, la política o el arte. Así también, en el ámbito de la cosmología, entendida como el conjunto de creencias y explicaciones acerca del origen y de la conformación del universo, el pensamiento occidental tiene sus raíces y fundamentos en los planteamientos de los investigadores de la naturaleza en la antigua Grecia.

Desde los poemas homéricos, es posible extraer diferentes posturas cosmológicas implícitas en los textos, modos de estructurar y pensar el universo que se vislumbran en algunos pasajes de estas obras. Posteriormente, hacia el siglo VI a.C., en varias ciudades comerciales de la Jonia, en la costa de Asia Menor, aparece en la escena intelectual griega una serie de personajes que, entre otras grandes contribuciones, sentó las bases para dar una explicación de la realidad física que rodea al hombre y con ello del universo en el que vive, determinar qué es, de dónde surgió, de qué está hecho, qué forma tiene, cómo está constituido, y por reconocer un orden dentro del aparente caos. Asignar un lugar específico a la Tierra en dicho universo y concebir la forma de éste fue una de las cuestiones que tuvieron particular importancia durante esta primera época de exploración teórica del cosmos. De acuerdo con los documentos con los que contamos, los filósofos milesios fueron de los primeros en ofrecer una respuesta a dicho problema y argumentarla, describiendo al

universo como una esfera.¹ Esta idea de la esfericidad del universo fue retomada por la mayoría de los filósofos posteriores, quienes además esbozaron otras propuestas, entre las que sobresalen, por ejemplo, la del universo matemático y armonioso de Pitágoras; el ente esférico de Parménides; la teoría de las ideas, la materia, el espacio y el Demiurgo, de Platón; el planteamiento de la movilidad de la Tierra, tanto traslacional como rotacional; y el heliocentrismo de algunos discípulos de Pitágoras, y de pensadores como Filolao, Heraclides y Aristarco de Samos; pero, sobre todo, destaca la cosmología aristotélica, por su difusión y trascendencia posteriores (Evans, 1998) (Guthrie, 1953).

Es necesario hacer hincapié en el aristotelismo y su relevancia para el tema que aquí concierne, pues Aristóteles es uno de los personajes que más ha influido en el pensamiento occidental. Por un lado, según un amplio consenso, este filósofo fue el gran sistematizador del conocimiento griego anterior, ya que en sus trabajos se preocupó por abordar cada uno de los campos de conocimiento desarrollados hasta el momento, dotándolos de una estructura ordenada, sobre cuya base realizó algunas importantes aportaciones y creó también nuevos campos. Aristóteles, por ejemplo, fue el principal consolidador de la lógica formal, con lo cual se convirtió en el referente por excelencia para la construcción del conocimiento considerado válido en la filosofía posterior a él (conocimiento basado en razonamientos y demostraciones), en particular, durante toda la Edad Media y hasta la Escolástica, jugando un papel muy importante incluso en el apuntalamiento de las doctrinas religiosas.

Por otro lado, en algunos de sus tratados Aristóteles desarrolló un sistema cosmológico y, junto con él, proporcionó las bases físicas necesarias que lo sustentaran. Así

¹ Por ejemplo, de manera general, para Anaximandro de Mileto la Tierra es un cilindro que se encuentra en el centro de un universo esférico. Según Anaxímenes, existe una esfera cristalina que gira en torno a la Tierra.

pues, este sistema que poseía tan sólidos fundamentos se convirtió en el aceptado por la mayoría de los filósofos y astrónomos posteriores. Algunas de las características del *κόσμος* aristotélico, como el geocentrismo y el geostatismo, iban acompañadas del rechazo explícito del modelo pitagórico del cosmos que afirmaba la movilidad terrestre; con ello, Aristóteles comenzó un debate que se convirtió en una de las cuestiones más controversiales en la historia del pensamiento y de las ciencias (Granada, n.d.).

A pesar de los fuertes argumentos que el estagirita ofrecía para apoyar su postura, ésta no lograba resolver los problemas empíricos que suponía la observación de los planetas errantes, pues el movimiento aparente de estos astros no corresponde al movimiento circular uniforme aseverado por la teoría aristotélica de las esferas celestes. La cosmología de este filósofo no era suficiente para explicar los movimientos celestes y tampoco servía para predecir la posición de los astros, cosa que la astronomía sí era capaz de realizar.

El incremento de la práctica y observación astronómicas, y el perfeccionamiento de los instrumentos de medición provocaron que la cosmología filosófica griega se decantara en una cosmología de tipo astronómico. La obra titulada *Μαθηματικὴ σύνταξις*, comúnmente conocida por el nombre de *Almagesto*, escrita durante la época imperial, en el siglo II d.C., por Claudio Ptolomeo de Alejandría, representa, por un lado, el ejemplo más claro de esta cosmovisión astronómica de carácter matemático y, por el otro, la culminación y máxima representación del geocentrismo en la Antigüedad. En este tratado, la Tierra permanece inmóvil en el centro del universo; el Sol, la Luna, el resto de los planetas y las estrellas giran alrededor de ella, describiendo únicamente movimientos circulares y epicíclicos.

Sobre la base de procedimientos matemáticos y geométricos, Ptolomeo consigue describir el movimiento aparente de los astros y predecir sus posiciones futuras, mientras conserva los principales planteamientos cosmológicos aristotélicos, lo cual le ganó la aprobación de la mayoría de sus contemporáneos. A pesar de que numerosos pensadores habían situado a la Tierra en el centro del universo, Ptolomeo fue quien terminó la tarea de construir una argumentación geométrica-matemática que sustentara esta postura. El *Almagesto* se convirtió así en el texto astronómico utilizado por excelencia en las escuelas. De hecho, la importancia de esta obra fue de tal magnitud, que su éxito contribuyó a la desaparición de tratados astronómicos de autores anteriores, los cuales simplemente dejaron de ser copiados por considerarse obsoletos.

Posteriormente, con la llegada de la cristiandad y durante la Edad Media, la cosmología ptolemaica fue sustituida, aunque no del todo, por la cosmología teológica cristiana. Esto fue determinado en parte por el hecho de que la lengua griega fue cayendo en desuso en el Occidente europeo del Mediterráneo, pero gracias a las traducciones que los astrónomos árabes hicieron de los textos astronómicos, escritos en griego en su mayoría, y las traducciones posteriores al latín de estas obras, el mundo occidental pudo tener acceso a ellas más tarde, en el periodo denominado *Renacimiento*.

El aumento de las relaciones comerciales mediterráneas que se dio durante el siglo XV impulsó a la exploración de nuevas rutas comerciales hacia Oriente y Occidente. El descubrimiento de América por los españoles fue una consecuencia de esta situación, y trajo consigo el cuestionamiento y replanteamiento de la imagen del mundo y de los conocimientos aceptados y establecidos hasta el momento en materias como cartografía, geografía,

astronomía, etc. En las universidades se comenzaron a estudiar y discutir estas cuestiones y surgieron así nuevas concepciones.

Nicolás Copérnico, alrededor del año de 1536, elaboró un trabajo en el que se proponía incrementar la precisión y sencillez de los cálculos astronómicos. Como resultado, su modelo planteó una serie de problemas para otras disciplinas y su obra se convirtió en un foco de controversias, más allá, quizá, de la conciencia y voluntad del propio Copérnico. El debate, cosmológico y astronómico en un principio, sirvió de base para el desarrollo de discusiones físicas, filosóficas, religiosas, etc. (Kuhn, 1978). A este proceso se lo denomina comúnmente “revolución científica” o “revolución copernicana” y el detonador fue precisamente la publicación de la obra *Sobre las revoluciones de los orbes celestes*, de Nicolás Copérnico. La aceptación del sistema copernicano no sucedió de manera inmediata, sino que fue un complejo proceso de defensa contra los ataques de los que fue objeto, y de argumentación a su favor, proceso en el que intervinieron diversos personajes como Giordano Bruno, Iohannes Kepler y Galileo Galilei, entre otros.

Por otro lado, esta revolución ha sido considerada el origen tanto de la ciencia como de la filosofía moderna, a causa de la renovación de concepciones epistemológicas y ontológicas que provocó. Esto se debió a que, en numerosos puntos, el sistema copernicano difería de la cosmología, física y filosofía aristotélicas, y difería también de la astronomía ptolemaica, es decir, contradecía el conocimiento tradicionalmente admitido como válido en esa época. Por ello, el proceso de justificación de este modelo derivó en el surgimiento de una física y una filosofía nuevas, radicalmente antiaristotélicas, que pudieran explicar el cosmos y su funcionamiento. En otras palabras, derivó en la construcción de una nueva idea del mundo y su naturaleza. (Granada, n.d.)

Así pues, la investigación que se realizará en este trabajo estudiará la transformación de la idea de mundo entre Aristóteles, Ptolomeo y Copérnico. Por ello, resulta imprescindible tener en cuenta que el problema del cambio de la visión del mundo en la historia del pensamiento occidental astronómico ha sido un tema de constante discusión entre los historiadores de las ciencias, y no todos ellos concuerdan con que hubo una revolución científica en los siglos XVI y XVII.² Dichas discusiones se encuentran vinculadas a la manera en que los historiadores conciben el propio desarrollo científico, es decir, si lo consideran como un proceso continuo, o bien, como un proceso que se da a través de rupturas y discontinuidades.

Por otra parte, tal como se analizará en este trabajo, la transformación de la idea de mundo que puede observarse entre Aristóteles, Ptolomeo y Copérnico, y que ha sido defendida por numerosos historiadores de la ciencia, se relaciona directamente con el cambio de significado de algunos conceptos cosmológicos fundamentales, entre ellos, el concepto de *movimiento*. Por ello, en este trabajo se examinará la manera en que el *movimiento*, un concepto en común que utilizan los tres autores y que aparentemente significa lo mismo para todos, en realidad no designa lo mismo. Esta diferencia en la concepción del *movimiento* de Aristóteles, Ptolomeo y Copérnico resulta fundamental al explicar las diferencias en las cosmovisiones de los autores antes referidos.

Por otro lado, conceptos como *naturaleza*, *planeta*, *movimiento*, *infinito*, *universo*, etc., han sido utilizados repetidamente a lo largo de la historia del pensamiento astronómico

² El concepto de “revolución científica” fue desarrollado en primera instancia por Alexandre Koyré en su trabajo *Del mundo cerrado al universo infinito*, y este planteamiento fue continuado por Thomas S. Kuhn en *La estructura de las revoluciones científicas*.

occidental, y aparentemente conservan el mismo significado, no obstante, significan cosas diferentes para cada época y autor. En parte, por este motivo se ha dado origen a la historiografía del pensamiento científico en términos de continuidad o discontinuidad antes referida.

Así pues, para responder a las cuestiones mencionadas anteriormente y que son materia de este trabajo, la presente investigación se dividió en cinco ejes temáticos (capítulos) que se describen a continuación.

En el capítulo titulado *Continuidad y discontinuidad en las ciencias* se abordará la forma en que, según algunos historiadores de las ciencias, se construye el conocimiento científico: si lo hace a través de rupturas, o bien, si lo hace de manera continua. Como ya se dijo, la filosofía de la ciencia ha presentado, casi desde sus inicios, discusiones polémicas en cuanto a cómo se debe considerar y explicar el conocimiento, la ciencia y su desarrollo. En lo referente a la manera en que ocurre el avance científico, se pueden reconocer dos grandes posturas, el movimiento “continuista” y, contrario a éste, el movimiento “discontinuista”. El debate que se ha generado se relaciona con la forma en que una u otra postura considera el propio conocimiento. Según la opinión continuista, el conocimiento es acumulativo y se construye mediante la adición de nuevos conocimientos al conjunto de los ya existentes. Este carácter acumulativo tiene como consecuencia una visión lineal de la historia. El discontinuismo, por su parte, sostiene que el desarrollo científico se da a través de rupturas, destruyendo el conocimiento previo para construir otro diferente, reemplazando el viejo conocimiento por uno nuevo. Según algunos estudiosos, como Thomas S. Kuhn, estas rupturas no sólo cambian la manera de hacer ciencia, sino también cambia la propia visión de mundo de los científicos, que lo ven de un modo distinto desde su nueva forma de

investigación (Kuhn, 2006). Guiados por un nuevo paradigma,³ los científicos adoptan nuevos instrumentos, miran en lugares nuevos, ven cosas nuevas y diferentes cuando miran con instrumentos familiares en lugares en los que ya habían mirado (Kuhn, 2006). Para fines de este trabajo, importa especialmente la manera en que cambian los términos y conceptos científicos, así como su significado, según la tradición científica en la que se utilizan.

Así pues, el tema concerniente a este trabajo requiere elaborar la investigación en el marco de una perspectiva capaz de integrar distintos modos de razonar y pensar los fenómenos, superando el esquema de oposición entre continuidad y discontinuidad. Por ello, en el capítulo titulado *Estilos de pensamiento*, se hablará acerca de la metodología que ha sido denominada como “estilos de pensamiento” o “estilos de razonamiento”, desarrollada por filósofos de la ciencia como A.C. Crombie, Ian Hacking y Ludwik Fleck. Esta postura, a grandes rasgos, sostiene que en la construcción de conocimiento intervienen no sólo factores internos, concernientes a las ideas, sino también externos, y que el conocer es un proceso que debe ser considerado dentro de su contexto histórico y social determinado. Según la propuesta de los estilos de pensamiento, factores históricos, sociales, culturales o políticos, entre otros, son los que regulan el tipo de preguntas, las respuestas, las preocupaciones latentes o los instrumentos científicos utilizados.

Posteriormente, en el capítulo titulado *Sistemas del mundo*, se realizará una descripción de los sistemas cosmológicos de cada uno de los tres autores: Aristóteles, Ptolomeo y Copérnico. Para ello, se utilizarán las tres obras más importantes de éstos, en términos de cosmología: *Acerca del cielo*, de Aristóteles; *Almagesto*, de Claudio Ptolomeo;

³ El concepto de “paradigma” se abordará con más detalle en el capítulo *Continuidad y discontinuidad en las ciencias*.

y *Sobre las revoluciones de los orbes celestes*, de Nicolás Copérnico. Se realizará la descripción de sus planteamientos cosmológicos, de modo que se hagan explícitas sus bases epistemológicas, las implicaciones de sus propuestas, tras de lo cual se confrontarán sus posturas y se verá cómo se complementan.

La revolución científica copernicana es uno de los episodios más estudiados de la historia de las ciencias, pues, para muchos, transformó la actitud de Occidente en cuanto a su idea del mundo. Debido al modelo científico que rige nuestra sociedad actual, mucho se ha escrito sobre este periodo y la importancia de conocerlo, ya que, según algunos filósofos de la ciencia, pone de manifiesto la mutabilidad de las teorías científicas y de sus conceptos fundamentales (Kuhn, 1978). En este contexto, el concepto de “movimiento” constituye un concepto fundamental, incluso el más importante para diversos autores, para la comprensión de la realidad física, por ello en el capítulo titulado *Movimiento* se llevará a cabo un estudio comparativo de dicho concepto en los tres autores: Aristóteles, Ptolomeo y Copérnico. Se describirá, para cada autor, la definición del concepto, su extensión, y se explicarán las diferencias o similitudes en términos de las suposiciones fundamentales o elementos que cada uno de ellos da por hecho acerca de la naturaleza al hablar de movimiento. Se presentarán fragmentos de la *Física* de Aristóteles, el *Almagesto* de Ptolomeo y *Sobre las revoluciones de los orbes celestes*, en la lengua original de cada una de las obras utilizadas, con lo que se buscará enriquecer este análisis con un soporte filológico al respecto.

Como se mencionó anteriormente, se buscará responder al problema de la transformación renacentista de la idea de mundo mediante la perspectiva teórica de los estilos de pensamiento o de razonamiento. Por ello, en el capítulo *Dedución, experimentación y cosmología* se verá la manera en que el contexto histórico y cultural de los autores estudiados

en este trabajo definió su estilo de razonamiento, los criterios de construcción de conocimiento, los problemas y soluciones considerados válidos, y, con ello, sus concepciones del mundo.

De esta manera, el análisis del concepto de movimiento en Aristóteles, Ptolomeo y Copérnico, contribuirá a comprender en qué medida la “revolución copernicana” puede considerarse efectivamente una transformación en el desarrollo del pensamiento cosmológico occidental.

2. Continuidad y discontinuidad en las ciencias

Existe una creencia generalizada sobre el periodo comúnmente denominado “revolución científica”, según la cual el nombre de Copérnico se encuentra vinculado con una serie de ideas que suponen transformación, cambio radical e innovación. Al introducirse en el estudio de historia de las ciencias, resulta muy habitual encontrar que se considera a la obra de Nicolás Copérnico como el inicio de un proceso que significó un cambio radical en la historia del pensamiento, a manera de parteaguas.⁴ Según esta visión, se ha llegado incluso a plantear que el cambio no se limitó únicamente al ámbito de la ciencia y del pensamiento, sino que durante la Revolución Científica, se transformó fundamentalmente la sociedad occidental, la cual pasó de ser medieval a moderna.

No obstante, también es posible encontrar, por ejemplo, que en un libro titulado precisamente *The Scientific Revolution*, el autor Steven Shapin comienza con la siguiente afirmación: “There was no such thing as the Scientific Revolution, and this is a book about it” (Shapin, 1996, 1). Esta aseveración da cuenta de una opinión completamente contraria a la presentada anteriormente. Por un lado, se piensa en la Revolución Científica como un hecho histórico indiscutido, por otro lado, se niega su existencia. Esto se debe, entre otras cosas, a que existe controversia en cuanto a cómo se desarrolla la actividad científica, cómo concebir las transformaciones que se dan en ella, es decir, si considerarlas rupturas o no, y qué tan trascendentales son estos cambios. En otras palabras, ¿es la ciencia una empresa que se desarrolla de manera continua o discontinua? Resulta difícil definir cuál es el origen exacto

⁴ Por ejemplo, la Real Academia Española, para el adjetivo *copernicano* admite como cuarta acepción la siguiente definición: “Dicho de un cambio de comportamiento, de una manera de pensar, etc.: Muy marcados. *Giro copernicano*” (Real Academia Española).

de dicho debate, sin embargo, podemos intentar ubicarlo relativamente poco después del nacimiento de la propia historiografía de las ciencias como disciplina.

2.1. Origen de la controversia

Antonio Beltrán, en su libro *Revolución científica, renacimiento e historia de la ciencia*, ofrece un panorama muy completo del desarrollo de la historiografía de la ciencia, desde sus inicios hasta el siglo XX y de los principales ejes temáticos que han sido motivo de estudio en este campo. La historiografía de la ciencia es una disciplina joven y, para determinar sus orígenes, aún indefinidos, algunos especialistas nos remiten al siglo XVIII y al XIX con Auguste Comte, quien recibió una gran influencia del filósofo Francis Bacon del siglo XVII. Beltrán refiere que en el siglo XVIII, de manera general, se consideraba a la “razón europea” como causante del avance científico, conforme a la postura filosófica ilustrada en la que se sostenía el predominio de la razón humana y la creencia en el progreso humano, y no se otorgaba mayor importancia a las investigaciones históricas en el estudio de la ciencia y su desarrollo (Beltrán, 1998).

Posteriormente, en el siglo XIX, aunque ya se había comenzado a desarrollar más sensibilidad y conciencia histórica en el estudio de las ciencias, no se puede aún hablar de una disciplina en la que el rigor y los métodos de crítica histórica ni la obligación de acudir a las fuentes primarias constituyeran prácticas centrales. Por el contrario, comenzó a surgir la corriente filosófica positivista, la cual afirmaba que el único conocimiento auténtico es el científico y que éste se construye mediante la comprobación de teorías, verificando y analizando hechos reales empíricamente. El filósofo Auguste Comte, uno de los creadores de dicha corriente, comenzó a plantear como útil y necesario el estudio de la historia de la

ciencia para entender el desarrollo de la mente humana y con ello la historia de la humanidad; sin embargo, estos planteamientos estaban subordinados a su sistema filosófico positivista y los problemas históricos no eran su principal interés (Beltrán, 1998).

Fue George Sarton, a principios del s. XX, el mayor defensor de la historia de la ciencia como núcleo central de la historia de la humanidad, e incluso la dotó de una dimensión ética al presentarla como la historia de la buena voluntad y de la paz, capaz de enseñar a los hombres a ser veraces, a comportarse como hermanos y a ayudarse mutuamente. Sarton afirmaba que "la adquisición y sistematización del conocimiento positivo es la única actividad humana verdaderamente acumulable" (Beltrán, 1998, 5). Desde su perspectiva, el descubrimiento progresivo de la verdad tiene un orden lógico y además está ordenado en el tiempo.

Aunque hubo estudiosos que defendían el papel de los métodos históricos frente a los filosóficos, y que exigían la contextualización de la ciencia para estudiarla y poder escribir su historia, como Paul Tannery, estas ideas se vieron eclipsadas por el físico y filósofo de la ciencia Pierre Duhem, quien reivindicaba la historia de las ciencias de corte positivista. Duhem buscaba en la historia de las ciencias lo eterno, universal y estático, y favorecía el estudio del origen, las prioridades y filiación de los descubrimientos científicos (Beltrán, 1998).

En polémica con éste último y bajo la influencia de críticos del positivismo, como Léon Brunschvicg, entre otros, un grupo de historiadores, entre ellos Alexandre Koyré y Gaston Bachelard, mostraron una clara oposición a la historiografía de la ciencia continua y puramente lógica o interna de la ciencia, historiografía que buscaba la comprensión y

justificación de la ciencia contemporánea. Aunado a esto, la teoría de la relatividad y la cuántica, junto con el estallido de la primera Guerra Mundial, contribuyeron a que se pusiera en tela de juicio el optimismo tradicional y la idea de progreso positivista. Algunos historiadores, en su mayoría franceses, comenzaron a destacar las dificultades que conlleva la idea del desarrollo científico como acumulación de conocimientos y descubrimientos científicos. En el mundo anglosajón, continuó dominando la filosofía positivista, aunque de ésta hubo severos críticos, como Herbert Butterfield. De esta manera, inició la controversia entre la concepción de un desarrollo continuo de la ciencia y uno discontinuo (Beltrán, 1998) (Nickels, 2014).

Así pues, Alexandre Koyré planteó a la ciencia como un proceso de rupturas y discontinuidades, y su historiografía es contraria en algunos aspectos a la historiografía internalista y presentista. Es decir, por un lado, aunque la ciencia para Koyré sigue su propia lógica y está determinada por factores internos a ella, también intervienen factores externos en su desarrollo. Koyré sostiene que la historia de la ciencia es una historia de las ideas, pero también le da gran importancia al conocimiento del contexto histórico y del lenguaje de la época del evento científico que se está estudiando, con la finalidad de lograr la correcta descripción de éste y evitar así los anacronismos (Beltrán, 1998).

2.2. Dos posturas contrarias

Resulta claro que dentro de la filosofía de la ciencia ha habido polémicas en cuanto a cómo se debe considerar y explicar el conocimiento, la ciencia y su desarrollo. En lo referente a la manera en que ocurre el avance científico, se pueden reconocer dos grandes posturas historiográficas, el movimiento “continuista” y, contrario a éste, el movimiento

“discontinuísta”. El debate que se ha generado está relacionado con la naturaleza que una u otra postura atribuye al propio conocimiento. Según la opinión continuísta, el conocimiento es acumulativo y se construye añadiendo nuevos conocimientos al conjunto de los ya existentes. Este carácter acumulativo tiene como consecuencia una visión lineal de la historia. El discontinuísmo, por su parte, sostiene que el desarrollo científico se da a través de rupturas, destruyendo el conocimiento previo para construir otro diferente, reemplazando el viejo conocimiento por uno nuevo.

Al respecto, el filósofo Pierre Duhem, de orientación continuísta, niega la posibilidad de la existencia de cambios repentinos en el avance progresivo de la ciencia: “It [science] grows, but by increments. It advances, but by steps. No individual human intelligence, whatever its force or originality, will ever be able to produce a completely new doctrine at one stroke” (Duhem, 1991, 439). Duhem, tras rechazar la idea de un renacimiento luego de la Edad Media, afirma que la ciencia humana ha tenido muy pocos momentos de nacimientos repentinos o renacimientos y que, al analizar algo que parezca un descubrimiento único e inesperado, se concluirá que dicho descubrimiento fue resultado de muchos esfuerzos acumulados. Ninguno de estos esfuerzos fueron desperdicios, sino que cada uno contribuyó al resultado final y jugó un papel, ya sea grande o pequeño, en la formación del conocimiento o de la disciplina final. Cada gran pensador tuvo antecesores y sucesores, y todos colaboraron en el avance científico, aunque ninguno de los contribuyentes se imaginó el resultado final del edificio que estaba ayudando a construir. Para Duhem, en los planteamientos científicos hay tanto verdades como errores, pero poco a poco se van clarificando las ideas, los errores desaparecen y las verdades se vuelven más precisas y establecidas (Duhem, 1991).

Como se mencionó anteriormente, esta propuesta generó posiciones contrarias. Gaston Bachelard fue uno de los críticos más enérgicos de la postura continuista y en su obra *El materialismo racional* ofrece una serie de argumentos en contra de quienes afirman continuidad en la ciencia. En primer lugar, afirma que los partidarios del continuismo únicamente se concentran en el comienzo de la ciencia, que lentamente se separó de los conocimientos comunes, lo cual hace parecer que el proceso de construcción del saber fue continuo. No obstante, si tomaran en cuenta los tiempos nuevos en que los progresos científicos estallan por todas partes, entenderían que el avance científico se da a través de rupturas. Bachelard hace notar que hay momentos innovadores en que el descubrimiento tiene una pluralidad de consecuencias tan grande que provoca discontinuidad en el conocimiento (Bachelard, 1976).

En segundo lugar, critica que los filósofos continuistas atribuyen el mérito del progreso científico a una multitud de trabajadores anónimos, a una “atmósfera de influencias”. Esta atribución está equivocada, en opinión de Bachelard, pues la ciencia no es dogmática, sino que se compone de autocrítica, discusión e innovación (Bachelard, 1976).

Por otro lado, para Bachelard, si se toman en cuenta la ciencia antigua y la contemporánea, es evidente que se ha dado una ruptura entre conocimiento común y conocimiento científico. En otras palabras, se abandonó la filosofía natural para ser reemplazada por una disciplina científica especializada. La ciencia se convirtió de fácil a difícil, se identificaron dificultades reales y se eliminaron las falsas e imaginarias. Entre las dificultades de antaño y las del presente hay una total discontinuidad. Por ello, los continuistas caen en el relativismo al decir que la dificultad es relativa y que en todas las épocas los progresos científicos han sido, a su manera, difíciles (Bachelard, 1976).

Por último, desaprueba que el epistemólogo continuista juzgue la ciencia contemporánea con continuidad de las imágenes y de las palabras, lo cual es imposible pues el lenguaje de la ciencia se halla en estado de revolución semántica permanente. Esto es signo de ruptura, de discontinuidad de sentido y de una reforma del saber (Bachelard, 1976).

Por su parte, Alexandre Koyré, uno de los defensores más elocuentes del movimiento discontinuista, considera fundamental el estudio histórico de las ciencias para la comprensión de la evolución y revolución de las ideas, pues este tipo de estudio da cuenta de las batallas que el intelecto humano ha librado con la realidad, sus derrotas y sus victorias (Koyré, 1981).

Para Koyré, al estudiar históricamente la ciencia, es posible advertir que el camino hacia la comprensión de lo real condujo en ocasiones a una mutación en el intelecto humano. La Revolución Científica del siglo XVII, de la cual surge la física moderna, fue para este historiador una de las transformaciones decisivas más importantes en la historia de las ciencias, pues utiliza dicha revolución como ejemplo para proporcionar una serie de argumentos que apoyan su postura. Afirma que, a pesar de las apariencias de continuidad histórica, la física clásica no continúa la física medieval. El progreso científico, al menos en este caso, no se dio a raíz del combate de teorías erróneas, sino que tuvo que transformarse el marco de la misma inteligencia: se formó un nuevo concepto de movimiento y se sustituyó la noción de *κόσμος*, unidad cerrada de orden jerárquico, por la de universo, conjunto abierto ligado por la unidad de sus leyes (Koyré, 1981). Por su parte, la ley de la inercia implicó en su momento una “concepción del movimiento que determina la interpretación general de la naturaleza, implica una concepción completamente nueva de la misma realidad física” (Koyré, 1981, 150).

Este análisis conceptual pone de manifiesto “las ‘subestructuras filosóficas’, las ‘estructuras de pensamiento’ de los científicos del pasado desentrañando los límites de lo pensable en su época” (Beltrán, 1998, 18). Acerca de la ley de la gravedad, aparentemente sencilla para nosotros, Koyré sostiene que: “no resulta sencilla sino dentro de un cierto sistema de axiomas y a partir de un cierto conjunto de nociones [...] esa ley presupone e implica un cierto número de concepciones determinadas –concepciones del espacio, de la acción, del movimiento- que no son en modo alguno sencillas” (Koyré, 1981, 75). O bien, son nociones básicas y por lo mismo difíciles de adquirir.

El problema de los orígenes de la ciencia moderna y sus relaciones con la Edad Media sigue siendo una cuestión muy debatida, en la que continuistas y discontinuistas no han llegado a un acuerdo. En su obra *Estudios de historia del pensamiento científico*, Koyré realiza una fuerte crítica a la concepción de continuidad de Alistair Cameron Crombie, aunque él mismo la reconoce como la más elocuente. Crombie quiso demostrar que la ciencia moderna tiene su origen profundo en el método experimental medieval y en su aplicación de las matemáticas para explicar los fenómenos. Al respecto, Koyré defiende que la ciencia moderna desde Copérnico a Galileo y Newton, llevó a cabo una auténtica revolución contra el empirismo aristotélico (al que califica de estéril). Dicha revolución se basó en que las matemáticas son más que un medio formal para ordenar los hechos: son la clave misma de la comprensión de la naturaleza. Además, esta revolución fue fundamentalmente teórica, y su resultado no consistió en relacionar mejor los datos de la experiencia, sino en adquirir nuevas concepciones de lo que en realidad significaban dichos datos (Koyré, 1980).

La obra de Koyré determinó las transformaciones más importantes de la disciplina de la historiografía de la ciencia y tuvo enorme influencia en los principales historiadores de la

ciencia contemporáneos a éste. Es por ello que, a partir de las ideas de Koyré, Thomas S. Kuhn afirmó la existencia de una revolución historiográfica. De esta manera, en Estados Unidos comenzó la apropiación y desarrollo de este tipo de historiografía de la ciencia, nacida en Francia principios del siglo XX (Beltrán, 1998).

Kuhn, en *La estructura de las revoluciones científicas*, critica la visión tradicional que se tiene de la ciencia, como si esta empresa se desarrollara mediante un proceso acumulativo de esfuerzos individuales, de teorías y de métodos. Esta visión provoca, según Kuhn, que la historia de la ciencia se convierta en la narración lineal de los hechos, fechas y personas que realizaron los descubrimientos científicos o de los hechos que inhibieron o produjeron el avance de la ciencia. No obstante, afirma que “unos cuantos historiadores han venido encontrando cada vez más difícil desempeñar las tareas que les asigna la concepción del desarrollo-por-acumulación [*sic*]” (Kuhn, 2006, 58-59).

Kuhn destaca, por un lado, la dificultad para encontrar antecedentes directos de los conceptos científicos, y por otro que las creencias de antaño no eran consideradas menos científicas que las actuales. Afirma que si estamos dispuestos a admitir dichas creencias, ahora pasadas de moda, como “científicas”, debemos aceptar entonces que en la ciencia han tenido cabida creencias completamente incompatibles con las que tenemos actualmente (Kuhn, 2006).

Por otro lado, este autor plantea que el resultado de todas estas dudas y dificultades es una necesaria revolución historiográfica en el estudio de la ciencia. La cuestión de cuándo se inventó algo y quién fue el primero en concebirlo, es un tipo de preguntas inadecuado, pues la ciencia no se desarrolla mediante acumulación de descubrimientos e invenciones

individuales. La nueva historiografía de la ciencia, nos dice Kuhn, trata de mostrar la integridad histórica de esa ciencia en su propia época y contexto, y busca dejar atrás la concepción del desarrollo científico lineal y por acumulación de conocimientos (Kuhn, 2006).

2.2.1. Revolución científica

Para el momento en que Kuhn elaboró sus trabajos, ya era común hablar de “revoluciones” en cuanto a la ciencia. La Revolución Científica se convirtió en el eje principal de la nueva historia de la ciencia (Nickels, 2014), y la historiografía de la ciencia del siglo XX, desde Koyré, tomó este periodo (de los siglos XVI y XVII) como centro de su interés y de sus polémicas. Muchos historiadores, entre los cuales destacan Herbert Butterfield y Rupert Hall, basaron sus estudios en la Revolución Científica, y presentaron este periodo, de Copérnico a Newton, como un parteaguas de la historia de la humanidad (Beltrán, 1998). Filósofos de la ciencia como Thomas Kuhn y Paul Feyerabend sostenían la discontinuidad e “incommensurabilidad”⁵ de las teorías científicas. Afirmaban que las ciencias maduras están sujetas a cambios conceptuales importantes, incluso las ciencias modernas, tal y como lo han hecho en el pasado.

Acerca de la trascendencia de las aportaciones de Thomas Kuhn a la filosofía de la ciencia, Thomas Nickles dice: “Kuhn's is by far the most discussed account of scientific revolutions and did much to reshape the field of philosophy of science, given his controversial claims about incommensurability, rationality, objectivity, progress, and realism” (Nickels, 2014). Por este motivo y para comprender integralmente la concepción de

⁵ Este término se discutirá más adelante, en la sección *Influencia y conceptos*.

“revolución científica” kuhniana, es conveniente realizar una breve descripción de las ideas de este filósofo acerca de la ciencia.

El progreso científico⁶ según Kuhn, como ya se ha dicho, ocurre mediante revoluciones, y a partir de este planteamiento el filósofo se da a la tarea de describir la empresa científica desde sus inicios. Kuhn propone que toda ciencia tiene creencias heredadas y antecedentes de los cuales proviene. Por ello, para que una ciencia pueda emerger, primero deben responderse cuestiones fundamentales acerca del mundo: ¿De qué entidades se compone el universo? ¿Cuál es la relación entre dichas entidades? ¿Qué preguntas se pueden plantear legítimamente acerca de éstas? ¿Qué técnicas se pueden utilizar para responderlas? Tales asuntos se enseñan de manera rígida e inamovible, por lo cual la mente del estudioso está permeada por estos que, a su vez, dirigen su actividad. Una vez establecidas las respuestas a estas cuestiones fundamentales, durante un periodo “pre-científico”, es decir, antes de que una ciencia sea establecida como tal, ocurre una competencia entre varias escuelas rivales que adoptan una u otra de las teorías existentes, teorías todas ellas científicas, pero “incommensurables” entre sí (Kuhn, 2006).

En el periodo pre-científico no hay un punto de vista único aceptado por todos los estudiosos, y cada autor debe construir *ab initio* sus propios fundamentos, los cuales, aunque pueden considerarse “científicos” no llegan a ser plenamente ciencia. La elección de las observaciones y experimentos se realiza de manera relativamente gratuita y aleatoria, pues aún no cuenta con un conjunto normal de métodos para abordar el estudio de los fenómenos.

⁶ En la medida de lo posible, se ha evitado en este texto el uso del término “progreso” para referirse a la ciencia, pues el tema de si la ciencia progresa y, de ser así, de qué manera lo hace ha sido el centro de innumerables debates. Sin embargo, consideramos válido aplicarlo en el caso kuhniano, pues este filósofo defiende vehementemente que, en efecto, la ciencia progresa. Cf. el capítulo XIII “El progreso a través de las revoluciones”, de *La estructura de las revoluciones científicas*.

Esta es la manera en que se desarrolla una ciencia antes de adquirir su primer “paradigma” universalmente aceptado (Kuhn, 2006).

Para que una de las teorías rivales se convierta en la predominante, intervienen elementos arbitrarios, compuestos de casualidades personales e históricas, y de las creencias abrazadas por una comunidad científica en un momento dado (Kuhn, 2006). Este planteamiento kuhniano refleja una postura externalista de la historia de la ciencia: son factores externos los que intervienen en el desarrollo científico, factores ajenos a su lógica interna. Además, es posible notar que, para Kuhn, el conocimiento científico no proviene directamente de los fenómenos naturales percibidos por los sentidos, sino que, la comunidad científica y las condiciones históricas resultan esenciales en la construcción de éste.

Así pues, el camino al firme consenso o “paradigma” en la investigación es de gran complejidad, ya que en ausencia de éste todos los fenómenos parecen igualmente relevantes. La primitiva recolección de hechos es, como ya se ha dicho, una actividad en gran medida aleatoria que se limita a la multitud de datos obtenidos a través de las artes ya establecidas o métodos que no son considerados científicos según los estándares de hoy en día. Tal grado inicial de divergencia, en el que varias escuelas y teorías compiten entre sí, termina por desaparecer cuando alguna escuela pre-paradigmática alcanza el triunfo. A partir de este punto, se hace mucho más efectiva la actividad científica, pues el paradigma permite que los científicos, por un lado, ya no se dediquen a debatir sobre asuntos fundamentales y compartan un mismo “hilo conductor”; y por otro, que tengan la certeza de que se hallan en la vía de investigación correcta. Una vez aceptado un paradigma, la ciencia se convierte en un grupo de actividades estrictamente dirigidas (Kuhn, 2006).

Los paradigmas son el conjunto de leyes, teorías, aplicación e instrumentación que suministra modelos a partir de los cuales surgen tradiciones particulares y coherentes de investigación científica; ofrecen un criterio para elegir qué problemas serán reconocidos como propios de la comunidad científica y qué tipo de experimentos vale la pena hacer y cuáles no. Los paradigmas poseen dos características fundamentales: en primer lugar, carecen de precedentes equiparables en efectividad, por lo que son capaces de atraer a un grupo numeroso de partidarios, quienes terminan por alejarse de los modos rivales de actividad científica. En segundo lugar, son lo bastante abiertos como para dejar todo tipo de problemas por resolver. Para ser aceptada como paradigma, una teoría debe parecer mejor que sus rivales en la resolución de problemas (Kuhn, 2006).

Como consecuencia del surgimiento de un paradigma, la estructura de un grupo que trabaja en un campo determinado resulta afectada. Aquellos científicos que no dirijan su trabajo conforme al paradigma, serán ignorados por sus colegas. Asimismo, la llegada del paradigma provoca que el grupo antes interesado en el estudio de la naturaleza en general, se transforme en una disciplina bien definida, lo cual deviene en especialización. Igualmente, el científico que da por sentado un paradigma, ya no necesita construir desde el principio los fundamentos para su investigación, sino que le son ya proporcionados por el paradigma. De esta manera, la comunidad científica puede abordar problemas más concretos, que durante el periodo pre-científico. Kuhn afirma que una ciencia alcanza la madurez luego de la adquisición de un paradigma (Kuhn, 2006).

En la propuesta kuhniana, se llama *ciencia normal* a la investigación basada en paradigmas, esto es, en uno o más “logros” científicos que una comunidad científica particular reconoce

como fundamento de su trabajo en un momento determinado. Para suministrar ejemplos de estos logros, Kuhn nos dice:

La Física de Aristóteles, el Almagesto de Ptolomeo, los Principia y Optica de Newton, la Electricidad de Franklin, la Química de Lavoisier y la Geología de Lyell, junto con muchas otras obras, sirvieron durante algún tiempo para definir los problemas y métodos legítimos de investigación para las sucesivas generaciones de científicos (Kuhn, 2006, 70).

La ciencia normal es la actividad en la que la mayoría de los científicos ocupan gran parte de su tiempo y se establece en el supuesto de que la comunidad científica sabe cómo es el mundo. El éxito de la ciencia normal proviene en gran medida de la disposición científica a defender dicho supuesto, aunque por ello tenga que pagar en ocasiones un precio muy alto, como el de omitir o rechazar descubrimientos importantes sólo porque no coinciden con su visión. Por extraño que parezca, el objetivo de la ciencia normal es aumentar la amplitud y precisión con que se puede aplicar el paradigma, y no lo es producir novedades importantes o inesperadas. En este punto, la resolución de problemas dentro de la investigación normal se asemeja a resolver un rompecabezas: la solución ya está dada, y no se pretende llevar a cabo nuevos descubrimientos, sino lograr lo previsto, pero de un modo nuevo (Kuhn, 2006).

La ciencia normal es una empresa acumulativa y eficaz en la ampliación continua del alcance y precisión del conocimiento científico. Sin embargo, descubre reiteradamente fenómenos inesperados, los cuales intenta, por todos los medios, explicar a través de métodos y reglas paradigmáticos. Cuando un problema normal que habría de solucionarse mediante reglas y procedimientos conocidos, se resiste a ser resuelto, entonces la comunidad científica

se encuentra ante lo que Kuhn define como una “anomalía”. La novedad sólo se presenta a la persona, que sabiendo con precisión qué esperar, es capaz de reconocer que algo ha salido mal, esto es, sólo aparece la anomalía contra el trasfondo suministrado por el paradigma (Kuhn, 2006).

El paradigma no se rinde con facilidad ante cualquier anomalía, pero cuando una anomalía no puede resolverse a pesar de los numerosos intentos de los científicos que trabajan en el problema, comienzan a surgir teorías rivales e investigaciones extraordinarias, las cuales procuran dar una explicación factible a dicho problema. Esto provoca que la ciencia normal se extravíe una y otra vez, y que la profesión ya no pueda sostenerse mediante los métodos que estaba utilizando. Este periodo es el que Kuhn denomina “crisis” (Kuhn, 2006).

La asimilación de las novedades empíricas y teóricas fundamentales, al ser producidas involuntariamente mediante un conjunto rígido de reglas, supone la elaboración de otro conjunto de reglas distinto. Finalmente, la profesión adquiere un nuevo grupo de compromisos, una nueva base sobre la cual practicar la ciencia. Los episodios en los cuales se produce este nuevo conjunto y donde se destruye la tradición dominante, son a los que Kuhn denomina “revoluciones científicas”. Estas revoluciones exigen el rechazo por parte de la comunidad de una teoría científica en su día reverenciada, en favor de otra que es incompatible con ella (Kuhn, 2006).

Durante una revolución científica, ocurre un desplazamiento en los problemas susceptibles de examen científico y en las normas que dirigían la práctica de la ciencia normal con las cuales la profesión determinaba qué se habría de considerar legítimamente como un problema o una solución. Esto provoca que inevitablemente se ponga en entredicho gran

parte del trabajo científico que se había venido realizando de manera satisfactoria. Asimismo, durante un periodo revolucionario, se transforma la imaginación científica y el mundo en el seno del cual se lleva a cabo el trabajo científico. Kuhn nos dice que, al examinar los documentos de la investigación del pasado:

[...] el historiador de la ciencia puede sentir la tentación de proclamar que cuando cambian los paradigmas, el propio mundo cambia con ellos. Guiados por un nuevo paradigma, los científicos adoptan nuevos instrumentos, miran en lugares nuevos y, lo que resulta más importante, durante las revoluciones ven cosas nuevas y diferentes cuando miran con instrumentos familiares en lugares en los que ya antes habían mirado (Kuhn, 2006, 212).

Kuhn utiliza este planteamiento para argumentar que un descubrimiento nuevo no se limita a ser un mero añadido al acervo de conocimientos ya existente, sino que su integración dentro de la ciencia exige la reconstrucción de la teoría previa, y que dicha integración no ocurre hasta que la comunidad de profesionales haya reevaluado los procedimientos tradicionales y transformado su visión de los objetos a los que está acostumbrado. Este proceso rara vez lo lleva a cabo una sola persona, y no se produce de la noche a la mañana (Kuhn, 2006). De esta manera, Kuhn manifiesta su rechazo a la postura continuista y responde a una de las críticas más comunes del continuismo: la de la dificultad de establecer la fecha precisa en que una se lleva a cabo una revolución.

Los cambios en los paradigmas constituyen las revoluciones científicas y las sucesivas transformaciones de un paradigma a otro a través de revoluciones representan una constante de desarrollo de la ciencia madura. Este proceso, para Kuhn, es un indicador manifiesto de progreso científico (Kuhn, 2006).

La ciencia, nos dice el historiador, es progreso. Resulta una actividad en gran medida eficiente, pues la mayor parte del tiempo no hay escuelas rivales que pongan en tela de juicio sus objetivos y normas. Los científicos se concentran exclusivamente en fenómenos especializados y esotéricos, lo cual aumenta la efectividad de su actividad; trabajan tan solo para un público de colegas que comparte valores y creencias, por lo que pueden dar por sentado un único conjunto de normas sin preocuparse por la opinión de otro grupo o escuela (en cuestiones científicas, segregan a todos los demás grupos profesionales); resuelven un problema y pasan al siguiente con más rapidez que un grupo heterodoxo; concentran su atención en problemas que saben que serán capaces de resolver; no tienen por qué elegir los problemas debido a la necesidad urgente de solución (como sí lo hacen ingenieros, médicos o teólogos) (Kuhn, 2006).

“Es cierto que Koyré nos enseñó a ver a la historia de la ciencia como un proceso de rupturas y discontinuidades lleno de ramificaciones y callejones sin salida” (Beltrán, 1998, 18) y es precisamente Kuhn quien desarrolla ampliamente esta visión; sin embargo, muchos historiadores encontraron contradictoria la afirmación de Koyré de la existencia de revoluciones científicas por un lado, y por otro su idea del progreso científico como “progreso hacia la verdad”, pues ¿no significa el progreso hacia la verdad, un proceso acumulativo? Es en este punto donde, en opinión de Beltrán, Kuhn transforma profundamente la disciplina de la filosofía de la ciencia, pues para que estos dos planteamientos puedan llegar a conjuntarse, Kuhn nos exhorta a sustituir nuestra idea de la "evolución hacia lo que deseamos conocer" por la "evolución a partir de lo que conocemos", es decir, dejar de pensar que la ciencia nos conduce *hacia* algún lado (más cerca de la verdad), y pensar por el contrario, que se desarrolla *a partir* de un punto determinado.

Desde su nacimiento, el concepto de “revolución científica” ha sido reprobado y cuestionado por numerosos filósofos e historiadores de la ciencia, pues aunque la mayoría concuerda con que, dentro de la historia del pensamiento científico, hubo varios cambios importantes, éstos no pueden encajonarse como si se tratara de un solo evento (Nickels, 2014). El propio Thomas Kuhn se vio en la necesidad de redactar un epílogo en 1969 a la *Estructura*, en cual intenta rebatir algunas de las críticas hechas a su visión, entre ellas la acusación según la cual convierte a la ciencia en una empresa subjetiva e irracional, con tintes relativistas. Asimismo, se le cuestiona la dificultad de aplicar el concepto revolución científica legítimamente a otros campos de la ciencia distintos a la física, y, por otro lado, el hecho de que centre su interés únicamente en las revoluciones a gran escala (Kuhn, 2006).

2.2.2. Respuesta continuista

Los teóricos continuistas, desde Pierre Duhem, John Herman Randall y A.C. Crombie hasta Peter Dear, encontraron numerosos inconvenientes a la postura discontinuista y en particular, a la propuesta de la existencia de revoluciones científicas. Una de las principales dificultades señaladas fue la falta de éxito al momento de explicar de manera integral un periodo tan largo (150 años o más), junto con su gran variedad de cambios teóricos, metodológicos, prácticos, instrumentales, de organización social, etc. Por otro lado, también se objetó el problema que supone determinar una ruptura tajante entre la Edad Media y el Renacimiento, pues el análisis cuidadoso de este periodo revela que los personajes frecuentemente identificados como revolucionarios parecen tener un pie en las viejas tradiciones y se basan fuertemente en el trabajo de sus predecesores (Nickels, 2014). “Se iniciaba así una de las grandes polémicas de la historiografía de la ciencia en nuestro siglo [s. XX]” (Beltrán, 1998, 23).

Algunos seguidores de Pierre Duhem como A. Mieli, P. Brunet, E. Moody, M. Clagett y W. A. Wallace comenzaron a enfocar su atención en realizar revaloraciones de la Edad Media. Retomaron el movimiento historiográfico continuista y se ocuparon de diluir la Revolución Científica como tal, al reivindicar la importancia de las aportaciones científicas medievales y al reconsiderar el tema de los orígenes de la ciencia moderna. También algunos estudiosos del Renacimiento como F. A. Yates, P. Rossi, D. P. Walker, P. M. Rattansi, Allen C. Debus y Marie Boas Hall, contraponiéndose a la idea de rupturas en el desarrollo científico, empezaron a preocuparse por rescatar el pensamiento renacentista mágico-naturalista, el hermetismo y sus relaciones con el nacimiento de la ciencia moderna (Beltrán, 1998).

Betty Jo Teeter Dobbs, pone en tela de juicio la definición de I. B. Cohen de “revolución” como un ‘cambio repentino, radical y completo’, argumentando que la Revolución Científica no gozó de ninguna de estas características, sino que, por el contrario, la recepción del copernicanismo fue lenta, el proceso podría ser ubicado en un periodo de entre 150 y 500 años, la ruptura con el aristotelismo no fue completa y la mayoría de los héroes revolucionarios no pensaban como los científicos modernos lo hacen. Dobbs utiliza como ejemplo a Isaac Newton, cuyas preocupaciones intelectuales no tienen que ver con la física o las matemáticas, que son en lo que se basa su reputación actual, sino, por el contrario, sus intereses estaban más relacionados con la teología y alquimia (Osler, 2000).

Margaret Osler hace énfasis en este último punto en su obra *Rethinking the Scientific Revolution*. En su opinión, la historiografía tradicional ha fracasado en ofrecer una explicación integral del desarrollo científico, pues se ha incurrido en la equivocación, una y otra vez, de ignorar el contexto social e intelectual de los periodos científicos. Se ha tendido

a pensar la historia en los términos de los historiadores, por ello, la nueva historiografía se caracteriza por conceder cada vez más importancia al contexto en que se desarrollaron las ideas, y por respetar las presuposiciones y los conceptos propios de los actores históricos (Osler, 2000).

Esto nos conduciría inevitablemente, según Osler, a cuestionar el canon científico que ha sido construido por los historiadores de la ciencia. El canon se formó únicamente mediante el juicio de las generaciones posteriores al periodo estudiado, las cuales juzgaron a algunos científicos como genios y a otros simplemente los ignoraron. De esta manera se determinó cuáles figuras del pasado eran útiles o importantes para ser preservadas en la historia, y no fue gracias al mérito intrínseco o acrónico de sus ideas (Osler, 2000).

Osler explica que han surgido nuevas líneas de pensamiento desde el planteamiento de la Revolución Científica en 1960; sin embargo, sólo hasta ahora los historiadores de la ciencia se dan cuenta que en el establecimiento de la “nueva ciencia” del s. XVII jugaron un importante papel disciplinas no canónicas como la alquimia, la magia natural, o el hermetismo. Para poder asimilar a los actores históricos en sus propios términos y reconocer que la agenda de los antiguos era muy diferente a la de nuestros tiempos, los historiadores han tenido que aprender a cambiar sus propias presuposiciones sobre la naturaleza de la ciencia, y darse cuenta de que al momento de escribir historia, algunos aspectos de los científicos antiguos han sido privilegiados por su trascendencia en el mundo actual; sin embargo, es muy probable que individuos como Newton, no se reconocerían a sí mismos como científicos, sino como filósofos naturales. Estos personajes a menudo se dedicaban a temas que actualmente no se considerarían canónicos y compartían características e intereses

con algunos de sus contemporáneos, cuyos trabajos no han pasado a la posteridad como relevantes para la historia tradicional de la Revolución Científica (Osler, 2000).

Además de la inclusión en historia de la ciencia del estudio de disciplinas no canónicas, en opinión de Osler, también el análisis de las relaciones sociales en la empresa científica ha contribuido a minar el concepto tradicional de “revolución científica”. Sin embargo, planteamientos sociológicos como el de Robert Merton, adoptan la visión tradicional de “revolución científica” y buscan explicar el incremento de ciencia y tecnología en términos sociológicos, políticos y religiosos, pero no enfrentan con ello la narrativa predominante y generalmente aceptada de la revolución científica. Ubican la historia de la ciencia dentro de su contexto social, pero no mencionan la posibilidad de la influencia de dicho contexto en el contenido de la ciencia (Osler, 2000).

Con todo, entender al canon dentro de su contexto no quiere decir que no hayan ocurrido cambios en la manera en que los filósofos naturales concebían el mundo durante los siglos XVI y XVII. Sin embargo, Osler dice:

Not all disciplines underwent the same kinds of changes, and they did not all change at the same time. Individual thinkers appropriated ideas from a wide variety of sources and applied them to solve many different kinds of problems. They did not all share the same assumptions about how the world works or how we can find out about it. What we customarily refer to as science in the seventeenth century was not a single thing, and neither was the Scientific Revolution (Osler, 2000, 22).

Por su parte, Stephen Shapin señala que la mente de los historiadores está ya permeada por la noción de Revolución Científica como un momento favorable entre los años 1500 y 1700, en que la sociedad reordenó fundamentalmente su forma de pensar, transformó lo que sabía acerca de la naturaleza y redefinió sus objetos de investigación científica y filosófica. Esta visión está presente en las obras de Koyré, Butterfield y Rupert Hall, quienes consideran que dicha revolución ha sido el cambio más profundo alcanzado por la mente humana, y que provocó la transición del mundo medieval al mundo moderno (Shapin, 1996).

Este autor, en su libro titulado *The scientific revolution*, nos explica brevemente que la frase “revolución científica” no era común ni se utilizaba para referirse a los cambios intelectuales radicales antes de Koyré en 1939. La idea de “revolución” como ‘reordenamiento radical e irreversible’ se desarrolló a la par de la concepción unidireccional y linear del tiempo pues en la antigüedad una “revolución” significaba más bien un “ciclo”.⁷ Los filósofos franceses de la Ilustración del siglo XVIII contribuyeron a esta idea pues tenían el interés de representarse a sí mismos como actores subversivos y radicales de la cultura del antiguo régimen (Shapin, 1996).

Al igual que Osler, Shapin señala que muchos filósofos e historiadores ya se han cuestionado el concepto de revolución científica por la dificultad de identificar en el tiempo un evento específico en el cual suceda la ruptura, y junto con éste ha sido blanco de numerosas críticas la concepción de “método científico” como un ‘conjunto de procedimientos coherentes, universales y eficientes que generen conocimiento científico’.

⁷ Prueba de ello es el propio título de la obra maestra de Nicolás Copérnico: *De revolutionibus orbium coelestium*, el cual, el término *revolutio* se refiere a las trayectorias circulares de los cuerpos celestes alrededor del sol.

Cada vez más se afirma que el s. XVII no posee nada de revolucionario; por el contrario, muchos estudios han destacado la continuidad de la filosofía natural medieval durante el Renacimiento. Por otro lado, Shapin manifiesta la creciente insatisfacción por parte de los historiadores de la ciencia en la manera tradicional de tratar a las ideas, “as if they floated freely in conceptual space” (Shapin, 1996, 4), lo cual ha provocado, por un lado, la creciente insistencia de entender las prácticas humanas mediante las cuales se forman las ideas o conceptos, y por otro, estudiar las relaciones que hay entre los cambios científicos y los cambios políticos, religiosos y sociales. Esto es, situar a las ideas en su contexto social y cultural (Shapin, 1996).

Otro de los problemas de hablar de “revolución científica” que menciona Shapin es el hecho de que dicha revolución afectó únicamente a una pequeña élite científica, que no es en modo alguno representativa del pensamiento y conocimiento común, por lo cual fácilmente podría hacerse una historia del pensamiento de los siglos XVI y XVII sin siquiera mencionar la Revolución Científica. Por otro lado, aunque es comprensible la pretensión de dilucidar cómo se ha llegado desde el pasado hasta el presente y de buscar qué conexiones se tienen con el pasado, las historias de los ancestros entendidos como “antepasados” no son explicaciones de cómo era dicho pasado. Shapin reitera la importancia de entender a los actores históricos en sus propios términos (Shapin, 1996).

Así pues, en su obra, Stephen Shapin realiza un tratamiento de la ciencia como una actividad social que debe ser entendida en relación con el contexto en el que ocurre. Acerca de los llamados "factores intelectuales" (estos son ideas, conceptos, métodos y evidencias), Shapin menciona que deben ser estudiados junto con los "factores sociales" (es decir formas de organización, influencias políticas y económicas en la ciencia y usos y consecuencias

sociales de la ciencia). Dichos factores sociales no corresponden a factores “externos” a la ciencia, pues hay tanta sociedad y desarrollo interno del conocimiento científico dentro del laboratorio de un científico, como lo hay afuera (“There is as much society inside the scientist’s laboratory, and internal to the development of scientific knowledge, as there is outside”) (Shapin, 1996, 10).

Por otro lado, Shapin pretende mostrar que no hay una esencia única de la ciencia del s. XVII y que aquella época se caracterizó por la heterogeneidad cultural. Con esto, cuestiona la posibilidad de capturar todos los aspectos o cambios de la ciencia de ese entonces, pues habría que llevar a cabo el recuento de una gran multiplicidad de historias. Así pues, Shapin menciona el problema de la elección necesaria a la que tendrá que enfrentarse el historiador para determinar, dentro de esta diversidad de aspectos, cuáles son merecedores de ser relatados (Shapin, 1996).

Shapin afirma: “what we select inevitably represents our interests, even if we aim all the while to ‘tell it like it really was’. That is to say, there is inevitably something of ‘us’ in the stories we tell about the past” (Shapin, 1996, 10). Con esto, el autor exhorta a los historiadores de la ciencia a no cometer el error de dirigir su atención únicamente a los elementos del pasado que creen que trascendieron hasta nuestros días, como lo hacen los teóricos discontinuistas que defienden la existencia de la Revolución Científica. Al respecto, Chunglin Kwa en su libro *Styles of knowing* dice: “Historical narratives based on the Scientific Revolution have well-established merits. But they also have their flaws, such as a rather one-sided emphasis on the “world picture,” which is said to have undergone a profound shift, becoming mechanized or disenchanting” (Kwa, 2011, 3). Por esta razón, Shapin insiste en que la historia de la ciencia debe tratarse de abrir una ventana al pasado y de que la historia

cobre vida al proporcionar el sentimiento de cómo era tener cierto tipo de conocimiento en una época determinada, explicar cuáles eran las creencias, cómo se producía el conocimiento científico, mediante qué instrumentos y con qué fines (Shapin, 1996).

La historiografía de la ciencia se ha logrado consolidar como disciplina a través de las grandes polémicas del siglo XX, las cuales tuvieron como eje temático el análisis de la Revolución Científica del siglo XVII (Beltrán, 1998). No obstante, por todo el cuestionamiento del que ha sido objeto dicha concepción de revolución, recientemente el concepto de *revolución científica* ha pasado a describir un área de estudio más que un evento determinado (Nickels, 2014).

2.3. Influencia y conceptos

Ya sea que se simpatice con la concepción continuista de la ciencia, ya hacia la discontinuista, debe tenerse claro que no es posible liberarse “de un pasado que -con todos sus errores- sigue vivo en conceptos heredados, en las formas de concebir los problemas, en los programas de la enseñanza formal, en la vida diaria, en el lenguaje y en las instituciones” (Fleck, 1986, 67). La historia de la humanidad, en particular, la del conocimiento, presenta reiteradamente el relato de las influencias entre distintos filósofos o científicos. Se afirma la presencia de influencia de un pensador sobre otro, cuando el primero ejerce algún tipo de autoridad sobre el pensamiento del segundo. Leemos, por ejemplo que Kepler recibió influencia de los pitagóricos (Koestler, 2007) o que ideas neoplatónicas influyeron en Nicolás Copérnico (Kuhn, 1978).

Pierre Duhem, de acuerdo con su postura continuista, afirma que cada gran pensador tuvo sus predecesores y sucesores. En ocasiones, quienes formulan un nuevo descubrimiento

lo presentan como una verdad antes desconocida. No obstante, si eliminamos la pretensión de originalidad, tal descubrimiento no es sino la continuación de proposiciones antiguas, mantenidas y apoyadas por una gran tradición que demostró su riqueza. Cada una de estas proposiciones fue lentamente elaborada por una multitud de trabajadores anónimos mediante un proceso de investigación, experimentación, dudas, discusiones y contradicciones (Duhem, 1991).

Por su parte, Gaston Bachelard quien, como se ha mencionado anteriormente, se oponía ardientemente al continuismo, critica la idea de “influencia” dentro de la ciencia, pues sostiene que las “atmósferas” y las “influencias” entran en consideración para atenuar las discontinuidades en el progreso científico. Los historiadores se remiten a los más lejanos orígenes para encontrar las influencias, a las cuales se les hace atravesar siglos y continentes. Aunque los trabajadores forman grupos, equipos, escuelas y cooperan en la investigación, no obstante, la noción de influencia, dice Bachelard,

No tiene casi sentido en la transmisión de las verdades y de los descubrimientos en la ciencia contemporánea. [...] el genio de ciertos laboratorios está hecho a la vez de crítica y de innovación. La autocritica de los trabajadores de laboratorio contradice por todos lados todo lo que surge de una “influencia” (Bachelard, 1976, 327).

Para este autor, los científicos tienen conciencia de la imperfección de sus métodos y basan su actividad en la discusión y crítica, no en dogmas.

El concepto de influencia también es inevitablemente puesto en duda en la propuesta kuhniana de revoluciones científicas. Thomas Kuhn afirma que ante la creciente sensación

dentro de una comunidad científica de que el paradigma existente ha dejado de funcionar adecuadamente en la exploración de un aspecto de la naturaleza, dicha comunidad establece como objetivo modificar las prácticas y teorías establecidas por el paradigma. Por tanto, el éxito de las nuevas propuestas requiere del abandono parcial de un conjunto de creencias en favor de otro. La elección entre paradigmas rivales resulta ser “una elección en modos incompatibles de vida”. Para la asimilación de una nueva teoría científica se necesita el rechazo de la anterior (Kuhn, 2006).

Es a esta incompatibilidad a la que Kuhn denomina “inconmensurabilidad”, la cual ocurre luego de la transformación conceptual destructiva del paradigma anteriormente establecido. Aplicado a una teoría científica, Kuhn utiliza metafóricamente el vocablo *inconmensurabilidad*: ‘sin medida común’ quiere decir ‘sin lenguaje común’, pues no hay lenguaje al cual puedan traducirse sin resto o pérdida los conceptos de una teoría científica. La terminología y conceptos científicos cambian frecuentemente según la teoría en que aparecen, y cuando ocurre este tipo de cambio resulta imposible definir todos los términos de una teoría en el vocabulario de la otra. Esto se debe a que los significados son productos históricos, y evolucionan inevitablemente en el transcurso del tiempo. “Es sencillamente poco plausible que algunos términos cambien sus significados cuando se transfieren a una nueva teoría sin infectar los términos transferidos con ellos” (Kuhn, 1989, 101).

Las modificaciones acontecidas durante una revolución científica no entrañan únicamente la introducción de fenómenos o conceptos adicionales, sino que ocurre todo un desplazamiento de la red conceptual a través de la cual el científico ve el mundo. La tradición normal que surge de una revolución científica no es sólo incompatible con la anterior, sino que resulta “inconmensurable” con ella, pues al cambiar el paradigma dominante, cambia el

mundo al que se aplica su investigación. Kuhn compara esta “inconmensurabilidad” con el efecto que producen los experimentos psicológicos Gestalt (Kuhn, 2006).

El debate que se da entre paradigmas no puede resolverse mediante ciencia normal, puesto que los científicos discrepan en las cuestiones más fundamentales, como en determinar qué es un problema y qué una solución válida. Kuhn describe dichos debates como argumentaciones circulares o diálogos de sordos, en los cuales cada una de las partes satisface los criterios propios y omite los de la otra. Así pues, los paradigmas viejos y nuevos difieren en el contenido, pero sobre todo, en la ciencia que los produce, en sus métodos, problemas y normas de solución aceptadas. Para asumir los nuevos paradigmas, es necesaria la redefinición de la ciencia correspondiente (Kuhn, 2006).

La concepción de “inconmensurabilidad” produjo una serie de críticas, algunas a las cuales el propio Kuhn alude en su ensayo *Commensurabilidad, comparabilidad y comunicabilidad*. En primer lugar, se señala que los defensores de la “inconmensurabilidad” niegan la posibilidad de establecer puntos en común entre teorías de diferentes tradiciones, sin embargo, realizan a menudo comparaciones en sus estudios, lo cual resulta incongruente pues hablar de diferencias y comparaciones presupone que se comparten algunos puntos. En segundo lugar, de acuerdo con la idea de “inconmensurabilidad”, es imposible traducir teorías antiguas a un lenguaje moderno; pero luego, los historiadores que afirman “inconmensurabilidad” caen en contradicción al reconstruir las teorías de la ciencia antigua, por ejemplo, la de Aristóteles o Newton, sin separarse del lenguaje moderno (Kuhn, 1989).

Para los fines que persigue el presente trabajo, resulta conveniente considerar la presencia de influencia griega aristotélica y ptolemaica en el pensamiento de Copérnico,

pues, aunque este autor pertenecía a un momento histórico y cultural completamente distinto al de Aristóteles y Ptolomeo, resulta evidente que estaba inmerso casi por completo en la tradición astronómica característica de estos griegos. Como dice Margaret Osler: “I maintain that thinkers appropriate ideas from the traditions within which they work and use them in their own contexts to solve the particular problems that concern them” (Osler, 2000, 6). Sin embargo, es posible detectar diferencias en su uso de los conceptos y términos astronómicos. La “inconmensurabilidad” no se contrapone con la influencia, pues, aunque los modos de percibir el mundo entre Aristóteles, Ptolomeo y Copérnico sean incompatibles, la influencia no sólo se manifiesta en la idea de mundo, sino también en los métodos, instrumentos, problemas y en el lenguaje y conceptos, aspecto que compete a este trabajo. Así pues, es imperativo para este trabajo recurrir a un esquema capaz de superar la esta aparente incongruencia entre continuismo y discontinuismo en las ideas de los autores, en la que es clara, por un lado, la influencia entre ellos, y por otro la transformación de la idea de mundo.

Respecto de la influencia conceptual, como se mencionó al principio de esta sección, Ludwik Fleck menciona que el pasado se hereda a través de lenguaje y de los conceptos. “No existe ninguna *generatio spontanea* de los conceptos, sino que están determinados por sus antepasados” (Fleck, 1986, 67). Así pues, el concepto científico es el resultado del desarrollo histórico del pensamiento. La formación de los conceptos científicos deviene tanto de un trabajo sintético como analítico de una comunidad de investigación organizada, determinada por el saber popular y mantenida durante generaciones. Para Fleck, los contenidos científicos están condicionados y son explicables histórico-conceptual, psicológica y sociológico-conceptualmente (Fleck, 1986). No obstante, el significado que se le da a un concepto en una época no es, ni lógica ni fácticamente, la única solución posible, sino que dicho significado

está determinado por la historia. Por este motivo, toda teoría del conocimiento, para Fleck, debe realizar investigaciones históricas y comparativas (Fleck, 1986).

Por su parte, en su ensayo *Commensurabilidad, comparabilidad y comunicabilidad*, Thomas Kuhn también habla sobre los conceptos, específicamente sobre el cambio conceptual que se da en teorías rivales, y que provoca incommensurabilidad entre dichas teorías. Kuhn menciona que los significados “son productos históricos, y cambian inevitablemente en el transcurso del tiempo cuando cambian las demandas sobre los términos que los poseen” (Kuhn, 1989, 100-101). Cuando los términos se transfieren a una nueva teoría cambian sus significados y, a su vez, inevitablemente modifican los términos relacionados y transferidos con ellos. Lo anterior es de gran importancia para el tema que aquí concierne, pues en este trabajo se estudiará la manera en que un concepto que utilizan en común tres autores de diferentes épocas, que aparentemente significa lo mismo para los tres, en realidad no denota lo mismo, lo cual tiene implicaciones importantes en términos de cosmología.

Sobre la importancia de los conceptos en el estudio del pensamiento, W.K.C. Guthrie también plantea la necesidad de entender los conceptos y la lengua de una determinada comunidad para lograr comprender la historia de su pensamiento. Este autor se refiere particularmente a la cultura griega de la Antigüedad, y menciona que el lenguaje y el pensamiento se encuentran estrechamente relacionados, actuando el uno sobre el otro. Así pues, “las palabras tienen su historia y sus asociaciones, las cuales constituyen, para quienes las emplean, una parte muy importante de sus significado, sobre todo porque sus efectos son inconscientemente sentidos más que aprehendidos intelectualmente” (Guthrie, 1953, 10). Es posible conocer los supuestos inconscientes de la época griega antigua, la cual se aleja

geográfica, temporal y culturalmente de la nuestra, si se estudia la manera en que los griegos mismos usaban sus palabras, en todos sus contextos y situaciones (Guthrie, 1953).

3. Estilos de pensamiento

La perspectiva metodológica de los “estilos de pensamiento”, que ha sido desarrollada por autores como Ludwik Fleck, Alistair C. Crombie e Ian Hacking con diferencias que señalaremos en su momento, resulta una perspectiva conveniente para la explicación de las diferencias cosmológicas en Aristóteles, Ptolomeo y Copérnico. Dicha perspectiva supone que, a lo largo del desarrollo científico, han existido distintos estilos de pensamiento y/o razonamiento, los cuales han sido determinados por factores externos a la ciencia, como la cultura. Esto quiere decir que una época histórica determinada posee un conjunto de creencias, compromisos o disposiciones morales, intelectuales y culturales, el cual le permite al científico de dicha época plantear cierto tipo de preguntas, respuestas, explicaciones, evidencias, demostraciones e instrumentos, que se consideren válidos, en concordancia con ese “estilo de pensamiento”. Las creencias sobre la naturaleza y la ciencia existentes en un determinado periodo histórico, combinadas con las posibilidades técnicas, regulan los problemas, las preguntas, su aceptabilidad y los tipos de explicaciones que se dan a los fenómenos (González, n.d.).

Para el objeto de estudio del presente trabajo, es decir, la transformación de la idea de mundo en el Renacimiento, la postura de los estilos de pensamiento ofrece una solución posible al problema de la continuidad y discontinuidad científica pues, conforme a esta perspectiva, el pensamiento y particularmente las ciencias, en su desarrollo histórico, no responden a un esquema excluyente entre continuidad y ruptura, sino que distintos estilos de pensamiento pueden coexistir, dando lugar a las configuraciones singulares del pensamiento en cada momento de su devenir. En otras palabras, bajo la perspectiva de los estilos de

pensamiento, es posible plantear, por un lado, que Copérnico retoma la metodología astronómica y algunos elementos de la cosmovisión de la Antigüedad, pero que al mismo tiempo su modelo supone una transformación en la manera de pensar el universo. Por esta razón, en el presente capítulo, se profundizará en la perspectiva de los estilos de pensamiento.

En los años sesentas, la mayoría de los historiadores de las ciencias llevaban a cabo sus estudios suponiendo que la ciencia sigue una línea autónoma de desarrollo, sin hacer referencia alguna a la intervención de factores sociales o culturales en la construcción de conocimiento. Posteriormente, comenzaron a surgir historiadores de las ciencias con una inclinación sociológica. Los historiadores con posturas externalistas comenzaron a oponerse a los internalistas⁸ y hubo cambios en las perspectivas para hacer estudios en historia, sociología, lingüística, antropología, literatura y cultura (Kwa, 2011).

El historiador Alistair Cameron Crombie propuso que la historia de las ciencias debe ser una forma de antropología intelectual comparativa que se hace del pasado, una historia de las ideas que estudia a una sociedad y su visión, enmarcadas dentro de una cultura particular.⁹ Este tipo de estudio social se centra en los compromisos morales e intelectuales, y disposiciones de dicho pueblo con respecto a la ciencia, la naturaleza y lo que debe o debería hacerse. Los compromisos mencionados anteriormente se refieren al contexto en el

⁸ A grandes rasgos, la visión internalista sostiene que la ciencia sigue su propia lógica y se encuentra determinada por factores internos; mientras que la visión externalista afirma que son elementos externos a la ciencia los que intervienen en la construcción del discurso científico.

⁹ En este sentido, la historia planteada por Crombie, es una historia de corte internalista; sin embargo, para Crombie la explicación histórica es fundamental para entender el desarrollo científico, sus cambios y continuidades. El historiador destaca el papel de estos compromisos definidos por cada cultura y de los estilos de pensamiento como motores del cambio de la historia de las ideas. Aunque, para Crombie, la racionalidad científica es estática y constante, existen cambios en el plano de las ideas. Estos cambios surgen a partir de las variaciones de los compromisos morales e intelectuales de una cultura, con respecto a la naturaleza, la ciencia, lo que debe o debería de hacerse. La historia internalista de las ciencias de Crombie está basada en los cambios de las ideas, no obstante, enmarca dichas ideas dentro del contexto externo de la historia, constituido por los compromisos intelectuales y morales del pueblo en cuestión. (González, n.d.)

cual se mueven las ideas de los científicos, es decir, a las diferentes maneras de evaluar la naturaleza, el propósito de su existencia y la acción humana correcta. Los compromisos intelectuales y morales de una sociedad provocan una variedad de juicios, valores y disposiciones, tales como el hábito de contemplar, de oponerse a los cambios, de anticipar la innovación o el conservadurismo, de estar preparado para refutar o defender teorías, leyes o doctrinas, y de repensar ciencias aceptadas y alterar estos hábitos. Los compromisos intelectuales y morales hacia las creencias sobre la naturaleza determinan el tipo de preguntas, respuestas, explicaciones, evidencias, demostraciones e instrumentos que el científico utiliza para su actividad; y, por otro lado, conforman una estructura de pensamiento que Crombie denomina “estilo científico”. Crombie establece seis diferentes estilos de pensamiento científico: 1) la postulación; 2) el método experimental; 3) el modelo hipotético; 4) el método taxonómico; 5) el análisis estadístico y el método de probabilidad de expectativas y elección; y 6) la derivación histórica (González, n.d.).

Por otro lado, Crombie señala que la concepción de la naturaleza está condicionada por el lenguaje, pues éste, por un lado, limita el pensamiento y, por otro lado, abre nuevos horizontes. Crombie resalta que todo lenguaje tiene una lógica intrínseca, por medio de la cual identifica la experiencia con nombres, crea concepciones y relaciones entre conceptos. De esta manera, sugiere la conveniencia del análisis filológico en el estudio de la elección de las palabras para nombrar conceptos científicos (González, n.d.).

A este respecto, Ludwik Fleck, en su obra *La génesis y desarrollo de un hecho científico*, también destaca la importancia del lenguaje en el estudio del desarrollo científico. En esta obra, a partir de conceptos como “sífilis”, Fleck establece una serie de consecuencias epistemológicas que, en conjunto, presentan su teoría de las ciencias: la teoría del estilo de

pensamiento y del colectivo de pensamiento (Arrizabalaga, n.d.). Según la postura de Fleck, cualquier suceso de la historia de las ideas debe investigarse (tal como lo hace con el concepto de “sífilis”) como un resultado del desarrollo y de la coincidencia de algunas líneas colectivas de pensamiento (Fleck, 1986). Fleck destaca la relación entre el conocimiento científico y los factores externos que transforman el estilo de pensamiento, los cuales son determinantes de los cambios científicos. En esta obra, Fleck se preocupó por establecer los factores que determinaron la variedad y el cambio en las percepciones y reacciones de distintas sociedades ante algunas enfermedades (Arrizabalaga, n.d.).

Con este estudio, Ludwik Fleck pretendía mostrar que los conceptos científicos se transforman a lo largo de la historia como resultado de cambios en los estilos de pensamiento de las comunidades científicas. Estos cambios están condicionados por factores lingüísticos, psicológicos, sociológicos, y están determinados por la sofisticación progresiva de las ideas científicas, dentro de un determinado estilo de pensamiento (Arrizabalaga, n.d.). Asimismo, al igual que en las estructuras sociales, cada época tiene concepciones dominantes, en las que se perciben huellas de las concepciones del pasado y principios de las del futuro (Fleck, 1986).

Fleck señaló que todo lo que había sido considerado sabido por una comunidad, en opinión de sus autores respectivos, era comprobable, aplicable, evidente y sistemático; mientras que los sistemas ajenos eran considerados contradictorios, indemostrados, inaplicables y fantásticos. Por ello, el autor menciona la necesidad de asumir una visión menos egocéntrica y más general, la de la epistemología comparada. Asimismo, Fleck subraya que muchas concepciones científicas ahora aceptadas están fundamentadas en “protoideas”, mismas que, en su tiempo, no estuvieron basadas en el tipo de prueba

considerada hoy en día como válida. No es posible determinar si estas protoideas, sacadas de su contexto temporal, eran falsas o correctas, pues corresponden a otro colectivo de pensamiento, a otro estilo de pensamiento. Es decir, para el pensamiento científico de hoy, resultarían inadecuadas, pero para sus creadores eran correctas. El desarrollo de pensamiento es rápido y continuamente se producen mutaciones del estilo de pensamiento. Así pues, las tareas primordiales de la teoría comparativa del conocimiento de Fleck son: investigar cómo las concepciones y las ideas pasan de un estilo de pensamiento a otro, cómo emergen como protoideas y cómo se mantienen, gracias a estructuras persistentes y rígidas. Por medio de esa comparación y de la investigación de las relaciones de estas concepciones es posible comprender nuestra época (Fleck, 1986).

Fleck menciona que, una vez formado un sistema de opiniones estructuralmente completo y cerrado, éste persistirá tenazmente frente a todo lo que le contradiga. La comunidad científica no sólo se comportará con cautela frente a las innovaciones, sino que procederá activamente. En primer lugar, algo que contradiga al sistema será impensable para la comunidad¹⁰; en segundo lugar, la anomalía que se presente permanecerá inobservada; por otro lado, si se observa esta anomalía, se guardará silencio al respecto, es decir, aunque los expertos conozcan la existencia de una anomalía, lo ocultarán al público general puesto que se opone a las ideas dominantes; asimismo, las anomalías se intentarán explicar en términos que no contradigan al sistema; además, aunque en efecto se trate de una anomalía, únicamente se verán y describirán las circunstancias que corroboren al sistema dominante.

¹⁰ En este punto, Fleck utiliza como ejemplo las críticas que realizaron los contemporáneos de Cristóbal Colón a la posibilidad de la existencia de antípodas que caminaran “con los pies hacia arriba y la cabeza hacia abajo”. Fleck menciona que la absolutización de conceptos como “arriba” y “abajo” causó la dificultad de creer en esta posibilidad. Dicha dificultad desaparece con la concepción relativista del espacio. (Fleck, 1986, p. 75)

La tendencia a la persistencia de los sistemas de ideas demuestra que estos sistemas deben considerarse como estructuras independientes, marcadas por un estilo de pensamiento, y que no se trata de una mera suma de enunciados, sino que muestran, de manera congruente, características del estilo que determinan y condicionan (Fleck, 1986).

Para Fleck, el conocer no es un proceso individual, sino el resultado de una actividad social, de un colectivo organizado portador del saber, ya que el estado del conocimiento de cada momento de la historia excede por mucho la capacidad de cualquier individuo. En otras palabras, todas las ideas son resultado de un esfuerzo colectivo, organizado que abarca la división de trabajo, la colaboración, el trabajo de preparación, la ayuda técnica, el intercambio recíproco de ideas, la polémica, entre otras actividades. Los pensamientos pasan de un individuo a otro, transformándose cada vez un poco, pues cada individuo establece diferentes relaciones con ellos, no obstante, el pensamiento que circula no es de ningún individuo, sino del colectivo (Fleck, 1986).

En cuanto al conocimiento, Fleck sostiene que la frase “alguien conoce algo” no tiene sentido *per se*, sino que le falta un segundo término: “alguien conoce algo sobre la base de un estado determinado de conocimiento”, “como miembro de un medio cultural determinado”, “en un estilo de pensamiento determinado o “en un determinado colectivo de pensamiento”. Lo anterior limita la posibilidad de conocer a la condicionalidad social, ya que la palabra “conocer” sólo tiene significado en relación con un colectivo de pensamiento. Por ello, el conocimiento existe siempre que exista un intercambio de ideas entre varios individuos, y nadie en sí mismo posee un conocimiento de lo que es físicamente posible o imposible (Fleck, 1986).

Por otro lado, la idea de progreso científico acumulativo está diluida en la visión de Fleck. El autor subraya que cada teoría científica representa la adición de algunos detalles y la pérdida de otros, y cada teoría propone nuevos problemas y nuevos campos de conocimiento (Arrizabalaga, n.d.).

El filósofo Ian Hacking también sostiene que, a lo largo de la historia, ha habido diferentes “estilos de pensamiento” o, mejor dicho, de “razonamiento”, como él mismo los llama. Menciona que tomó la palabra “estilo” del título de la obra de Crombie, *Styles of Scientific Thinking in the European Tradition* (1994),¹¹ y hace referencia a los seis estilos de pensamiento de Crombie, mencionados anteriormente. En opinión de Hacking, existen modos de razonamiento que tienen comienzos y trayectorias de desarrollo específicos, y afirma que es posible percibir claramente estos estilos gracias al acervo de textos de la antigüedad a los que tenemos acceso y que evidencian dichos estilos. (Hacking, 2002)

En la obra *Historical Ontology*, Hacking expone que el estilo de razonamiento determina los criterios para establecer la verdad o la falsedad de una proposición. Para Hacking, considerar verdadera o falsa una afirmación depende de la manera en que razonamos acerca del problema:

Consider Hamlet's maxim, that nothing's either good or bad but thinking
makes it so. If we transfer this to truth and falsehood, it is ambiguous
between (a) nothing which is true is true, and nothing which is false is

¹¹ Hacking justifica su apropiación del concepto “estilo” de Crombie con su deseo de plantear un problema relativista desde una postura racional y positivista de la ciencia como la de Crombie, la cual habla de acumulación y evolución del pensamiento, y no de revolución e inconmensurabilidad como la kuhniana. (Hacking, 2002, 159)

false, but thinking makes it so, and (b) nothing's either true-or-false but thinking makes it so. It is (b) that preoccupies me (Hacking, 2002, 160).

Así pues, para Hacking los estilos de razonamiento están determinados por la historia: mientras que la verdad de una proposición depende de los datos con los que se cuenta, el hecho de que dicha proposición sea candidata a ser verdadera o falsa, es consecuencia de los eventos históricos (Hacking, 2002).

Hacking resume las características de su postura de la siguiente manera (Hacking, 2002):

- Existen diferentes estilos de razonamiento. Éstos emergen durante momentos específicos y tienen distintas trayectorias de maduración. Mientras unos nacen, otros mueren. Muchos de estos estilos pueden percibirse en nuestra propia historia.
- Afirmar la verdad o falsedad de una proposición es consecuencia del estilo de razonamiento en el que ésta ocurre.
- Muchas categorías de posibilidad de lo falso o verdadero dependen de factores históricos, especialmente el desarrollo de ciertos estilos de razonamiento.
- No es posible establecer si un estilo de razonamiento es mejor o peor que el nuestro, pues las proposiciones mediante las cuales razonamos, cobran sentido únicamente por el método de razonamiento empleado.

Hacking da cuenta de una postura que podría ser interpretada como relativista, en la que la verdad o falsedad de una afirmación es relativa. Sin embargo, afirma que los estilos de razonamiento no deben criticarse en este sentido, pues no proponen la relatividad en la

verdad de una proposición, sino que una proposición es falsa o es verdadera, pero este valor de verdad-falsedad depende de su estilo de razonamiento (Hacking, 2002).

En *Historical Ontology*, Hacking explica que algunos filósofos de la corriente positivista como Auguste Comte, Moritz Schlick y Michael Dummett proporcionaron los fundamentos para el planteamiento de los estilos de razonamiento.¹² Sin embargo, actualmente, las discusiones filosóficas sobre conocimiento, inconmensurabilidad, indeterminación de la traducción o esquemas conceptuales, no tratan sobre los criterios de definir la verdad o falsedad de un conocimiento. Por ello, Hacking establece la necesidad de desarrollar la perspectiva de los estilos de razonamiento (Hacking, 2002).

Una vez que ha surgido un estilo, éste permanece y retiene su identidad, no obstante, estos estilos no son inalterables. Un estilo se compone de muchas partes heterogéneas, y establece conexiones entre los criterios para determinar la verdad, la falsedad, la racionalidad, la posibilidad, la deseabilidad, la aceptabilidad y la plausibilidad de las cosas. Cada uno ha seguido su propio patrón de desarrollo y ha tenido varias alianzas con otros estilos. Por ejemplo, el estilo deductivo con el experimental, el experimental con el estadístico, el estadístico con el evolucionario, etc.

Los filósofos que sostienen la existencia de los estilos de pensamiento pretenden demostrar que no existe sólo una forma de racionalidad científica en Occidente, sino varias (Kwa, 2011). Por ejemplo, los griegos admiraban el pensamiento euclidiano, mientras que los pensadores del siglo XVII pusieron el método experimental como una nueva base para la

¹² Por ejemplo, Hacking menciona que la bivalencia (un concepto positivista) es la posibilidad de aplicarle dos valores, verdadero o falso, a un enunciado o proposición.

construcción de conocimiento; asimismo, todas las ciencias sociales modernas hacen uso, al menos en parte de la estadística. Esto supone la existencia de diferentes estilos de pensamiento, los cuales han alcanzado su madurez en distintos momentos y en diferentes maneras (Hacking, 2002).

El análisis de los estilos de pensamiento de la ciencia muestra que cada uno de estos estilos implica ciertas suposiciones metafísicas y que sus expectativas de lo que puede alcanzarse son diferentes. Por ejemplo, el pensamiento deductivo supone optimismo sobre la posibilidad de conocer el mundo y una afinidad entre el cósmos y la mente humana (Kwa, 2011).

4. Sistemas del mundo

Uno de los objetivos principales de este trabajo es analizar el concepto de movimiento y sus implicaciones cosmológicas en el pensamiento de Aristóteles, Ptolomeo y Copérnico, particularmente en los textos *Física*, *Acerca del cielo*, *Almagesto* y *Sobre las revoluciones de los orbes celestes*, de manera que pueda observarse qué elementos se transformaron desde la Antigüedad clásica con Aristóteles y el periodo imperial con Ptolomeo, hasta el Renacimiento con Copérnico, y la forma distinta de entender y estructurar el mundo en los tres autores.

Puesto que se realizará un análisis comparativo conceptual del significado del *movimiento* en los tres autores, con la finalidad de determinar cómo, cada uno de ellos, utiliza, entiende y relaciona el movimiento con otros conceptos cosmológicos, qué elementos comparten y en cuáles difieren, y de qué manera se relaciona esto con la transformación de la idea de mundo en el Renacimiento, es necesario realizar una descripción general de los planteamientos cosmológicos de éstos. Por ello, en esta sección se desarrollará un panorama general de los sistemas del mundo de Aristóteles, Ptolomeo y Copérnico, y se incluirá como antecedente una exposición de la cosmología y astronomía griegas, desde la época jónica hasta Platón. Así, se buscará explicitar las ideas y principios de Aristóteles, Ptolomeo y Copérnico sobre el universo, principios que, luego de un análisis detallado, es claro que estos autores entienden de manera distinta.

A lo largo de este capítulo se hará referencia reiteradamente a la cosmología griega; sin embargo, resulta problemático hablar de “cosmología griega” como si fuera posible conjuntar en un mismo término todo el pensamiento cosmológico de los griegos de la

Antigüedad. Esto se debe a que hablar de “los griegos” es referirse a una gama de personajes que, por un lado, vivieron en periodos de tiempo muy distantes entre sí y en contextos sociales y culturales muy diferentes unos con otros; y por otro lado, se debe a que frecuentemente formulaban planteamientos que se contraponían con los de otros griegos. No obstante, algo que tuvieron en común la mayoría de los autores de habla griega en la Antigüedad, particularmente quienes se dedicaron a la filosofía natural y a estudiar aspectos cosmológicos, fue la tendencia a buscar en el cielo la respuesta a la manera en que se encuentra estructurado el universo (Kuhn, 1978).

Esta inclinación a examinar el cielo puede parecer muy natural en la actualidad, pues hoy en día no se cuestiona que la cosmología está determinada por la astronomía: si se quiere conocer la estructura del universo, es necesario y común remitirse a detalladas observaciones cuantitativas de distancias entre los cuerpos celestes, magnitudes de éstos, etc. Sin embargo, ha habido numerosas cosmovisiones que no han requerido de esta tecnificación para ser aceptadas. Las cosmologías primitivas de las civilizaciones antiguas que han sido oscurecidas por la cosmología astronómica técnica y abstracta, por ejemplo, la egipcia, la india y la babilonia, se centraban sobre todo en el ámbito terrestre. La costumbre de recurrir al aspecto celeste para dilucidar la configuración del cosmos y hacerlo mediante observaciones sistemáticas y precisas, ocurre únicamente en las sociedades occidentales que descienden de la antigua Grecia (Kuhn, 1978).

4.1. Cosmología griega

Así pues, la cosmología en la antigua Grecia estuvo siempre estrechamente vinculada a la astronomía, con todo y las diferencias de época y contextos socio-culturales de los

autores griegos. James Evans en su obra *The history and practice of ancient astronomy*¹³ proporciona una división de la astronomía griega en tres diferentes tradiciones: la tradición literaria, la tradición filosófica y la tradición científica (Evans, 1998). Para los fines de este trabajo, resulta conveniente conservar dicha organización, pues los dos autores griegos que se analizarán más adelante, Aristóteles y Ptolomeo, son los máximos representantes de las tradiciones griegas filosófica y científica, respectivamente.

Desde la época de Homero y, posteriormente, de Hesíodo, los poemas narraban la manera en que el universo se estructuraba según la concepción de cada autor, y a su vez proporcionaban información astronómica precisa en algunos pasajes. Esto da cuenta del conocimiento e interés que poseían los griegos en aquel tiempo por los cuerpos celestes y sus movimientos. Algunos poetas cantaron a los trabajos del campesino y del marinero, los cuales se valían en gran medida de la observación del firmamento. Además de las obras de Homero y Hesíodo, los *Fenómenos* de Arato (275 a.C.) representa otro de los ejemplos fundamentales del tipo de poesía astronómica o cosmológica. Esta tradición se mantuvo en el mundo latino con los *Fastos* de Ovidio, las *Geórgicas* de Virgilio, los *Carmina aratea* de Cicerón, el *Astronomicon* de Manilio y con *De re rustica* y *De arboribus* de Columela (Evans, 1998). No obstante, la tradición cosmológica literaria se vio rápidamente sucedida por la filosófica con el nacimiento de la filosofía griega en el s. VI a.C. y no representa la tradición más influyente para la época en que Copérnico escribió su obra, por lo cual no se profundizará en ella en este trabajo.

¹³ Se trata de uno de los textos referentes sobre astronomía en la Antigüedad, y quizá el más completo y más actualizado. Asimismo, esta obra es de las más comprensibles y útiles sobre el tema, de acuerdo con una reseña realizada por A.R. Upgren de la Wesleyan University de Connecticut. (tomado de <https://www.buffalolib.org/vufind/Record/1041815/Reviews>, fecha de consulta 19/04/16)

Fue durante el siglo VI a.C. en algunas ciudades en la costa de Asia Menor donde nació la filosofía griega como un intento de explicarse el universo, su origen, su naturaleza, las causas de su movimiento y la naturaleza de los cuerpos celestes, entre otros temas (Guthrie, 1953). En la ciudad de Mileto, el pensamiento racional empezó a emerger del mundo mitológico (Koestler, 2007). Tales, Anaximandro y Anaxímenes comenzaron a cuestionarse sobre el elemento o materia fundamental del que se componía el universo, cuál era el lugar que ocupaba la Tierra dentro del cosmos, etc. Específicamente Anaximandro, situó a la Tierra en el centro de un universo esférico, razón por la cual, al ser equidistante al centro de todos los puntos de la esfera, no había ninguna razón para que la Tierra cayera en una dirección más que en otra (Guthrie, 1953).

En este punto, resulta indispensable enmarcar esta visión geocéntrica de los griegos de esa época dentro del contexto histórico, político y social, en que surgió la ciencia griega, o filosofía natural, en la que las preocupaciones de tipo astronómico desempeñaron un papel fundamental. La astronomía griega del periodo milesio tiene una deuda indiscutible con la astronomía babilónica, pues los griegos tomaron de ésta métodos, datos, observaciones e instrumentos; sin embargo, la ciencia astronómica griega tiene características que la diferencian en gran medida de la astronomía babilónica y que la convirtieron en una práctica original: la ubicación en el espacio del orden del *κόσμος*; la representación geométrica de la organización del universo, de las posiciones, distancias, dimensiones y movimientos de los astros; y el carácter profano de la ciencia astronómica griega, libre de religión. Esta geometrización del mundo implica un cambio en las perspectivas cosmológicas míticas que hasta ese momento se habían tenido. La simetría y esfericidad del mundo ya no supone privilegio de ningún elemento sobre los demás (Vernant, 1992).

Esta organización simétrica del *κόσμος* comenzada por los filósofos jonios se relaciona directamente con el marco político y social en que se desarrolló la cultura griega (desde la época arcaica hasta la época clásica), es decir, el de la ciudad-estado, *πόλις*. La caída de la monarquía micénica, provocada por las invasiones dóricas, trajo consigo la estructuración social en *πόλεις*, y supuso la ruptura con figuras de poder como el *βασιλεύς* y el *ἄναξ*. Se crea un espacio social enteramente nuevo donde la imagen del rey, dueño y señor de todo poder, se reemplaza por la idea de funciones sociales especializadas que equilibran la sociedad. El poder, *ἀρχή*, ya no se centraba en un solo individuo, sino que fue puesto en el centro, *ἐν τῷ μέσῳ*, y las decisiones se comenzaron a discutir en la plaza pública. Es en este contexto en el que se desarrolla una visión del mundo geométrica, como la de Anaximandro, en la que ningún poder físico está situado en una posición determinante (Vernant, 1992).

Así pues, dentro de este contexto, durante el siglo VI a.C., Pitágoras de Samos,¹⁴ luego de mudarse a Crotona aproximadamente en el año 530 a.C., fundó ahí una hermandad de aparente carácter religioso, a la que instituyó una nueva doctrina filosófica, la cual ejerció una enorme influencia en las ideas de los filósofos posteriores, especialmente en Platón. A diferencia de los pensadores jónicos, a quienes puede considerarse materialistas, en el sentido de que, según Aristóteles, se enfocaron en la materia o sustrato que constituye el cosmos, los pitagóricos por su parte, centraron su interés en la estructura y proporciones del universo, a

¹⁴ Pitágoras de Samos es un personaje que, debido al carácter aparentemente religioso de su doctrina, se encontraba rodeado de leyendas milagrosas, por lo cual en ocasiones es difícil descubrir su verdadera vida y enseñanzas. Asimismo, es sabido que la orden pitagórica realizaba prácticas secretas conocidas únicamente por los iniciados, lo cual también complica el acercamiento a sus creencias. Por otro lado, en la Antigüedad hubo la tendencia a atribuir las doctrinas de toda la escuela a su fundador, lo cual dificulta reconocer las ideas del propio Pitágoras o de la escuela en sus primeros tiempos (Guthrie, 1953).

lo que aplicaron un modelo aritmético-geométrico. Mientras que los jonios son considerados filósofos de la materia, los pitagóricos lo son de la forma.¹⁵

Algunos historiadores han llegado a afirmar que la visión pitagórica del mundo se mantiene incluso hasta la actualidad, lo cual se ve reflejado en muchos aspectos de la vida cotidiana, por ejemplo, en algunas palabras como “filosofía”, “armonía” y “cifra”. Esta influencia frecuentemente se ha atribuido al carácter unificador de la filosofía pitagórica, pues Pitágoras se encargó de reunir en una misma doctrina la religión y la ciencia, las matemáticas y la música, la medicina y la cosmología, el cuerpo, la mente y el espíritu (Koestler, 2007).

Por otro lado, el descubrimiento pitagórico de que las escalas musicales obedecen a simples relaciones numéricas que pueden expresarse aritméticamente como razones entre dos números enteros fue sin lugar a dudas uno de los descubrimientos más importantes para el desarrollo de la ciencia posterior, pues representa la primera reducción exitosa de cualidad a cantidad, que sentó las bases para cuantificar la experiencia humana, a tal grado que es considerado en ocasiones como el inicio de la ciencia. A su vez, este descubrimiento está basado en la creencia de la existencia de un orden inherente, de una organización numérica en la naturaleza del sonido, y se manifestó como un orden en la naturaleza del universo. Al respecto, Conford asegura:

¹⁵ Para la división de los filósofos griegos en “filósofos de forma” y “filósofos de materia”, véase Guthrie, 1953. A grandes rasgos, Guthrie plantea que los pensadores se sienten atraídos por una u otra de las dos vertientes, y que el pensamiento de una época se inclina más a una que a otra. Esto tiene que ver con el temperamento de los filósofos, con sus experiencias, y con las influencias de otros filósofos, entre otros factores. Los filósofos de la forma y los de la materia son dos tipos diferentes de hombres y, por tanto, sus respuestas a las preguntas serán de géneros diferentes. Al responder a la pregunta ¿qué es la realidad?, los pensadores jonios primero y después los atomistas contestaron en términos de materia, mientras que los pitagóricos, Sócrates, Platón y Aristóteles, en términos de forma. Esta división de los filósofos de la materia y filósofos de la forma, según Guthrie, es la más fundamental.

La infinita variedad cualitativa del sonido es sometida a orden por ley, exacta y sencilla, de la razón cuantitativa. El sistema así establecido aún contiene el elemento ilimitado en los intervalos vacíos que dejan entre sí las notas; pero lo ilimitado no es ya un continuo desordenado: está confinado dentro de un orden, de un kosmos, por la imposición del límite o medida (Guthrie, 1953, 44-45).

Por ello, para los pitagóricos los números eran sagrados y las nociones de orden, proporción y medida cobraron gran importancia en su filosofía. Se preocupaban principalmente por las nociones cuantitativas debido a la firme creencia de que la esencia de las cosas está determinada por la proporción en la que sus elementos se combinan y no por una naturaleza intrínseca. Estas convicciones derivaron en la concepción de armonía como el equilibrio y el orden que constituyen la ley del mundo.

En medicina, se procuraba el límite y el orden en beneficio de la salud. El bienestar del universo depende de la correcta combinación (*κρᾶσις*) de los elementos, es decir que éstos se encuentren en estado de armonía. Lo mismo se atribuía a la salud del ser humano, al ser éste una pequeña reproducción del macrocosmos, por ello se aplicaban estas ideas a la ingesta de alimentos, para conservar la salud o restablecerla en caso de enfermedad, buscando las relaciones cuantitativas correctas, tal como lo muestran los tratados de Hipócrates (s. V-IV) (Guthrie, 1953).

Asimismo, para Pitágoras, el del hombre y el del universo eran el mismo aliento de vida. Por un lado, el universo es uno, eterno y divino, mientras que los hombres son varios, divididos y mortales; no obstante, el alma de los hombres es inmortal puesto que es un fragmento atrapado en el cuerpo humano, de la esencia divina del universo. Al igual que otras

sectas místicas como la de Orfeo, los pitagóricos tenían la creencia de que el alma humana, luego de la muerte, transmigraba de cuerpo en cuerpo, hasta que se conseguía la completa purificación y volvía a unirse al espíritu universal al cual pertenece. La originalidad pitagórica radica en los medios utilizados para llegar a dicha purificación, los cuales consistían en el éxtasis derivado del conocimiento y entendimiento de la naturaleza armónica y proporcionada del cosmos, pues el filósofo que estudia el *κόσμος* se hace *κόσμιος*, ordenado en su propia alma. Con base en el supuesto del parentesco que posee el hombre con el *κόσμος*, para identificarnos y dirigirnos hacia él debemos conocer su manera de actuar y de ser (Guthrie, 1953; Koestler, 2007).

Las enseñanzas pitagóricas conferían una enorme importancia a la forma o estructura como objeto propio de meditación y se exaltaba la idea de límite. Según sus principios, el mundo es divino y bueno, es un todo y es viviente, pues es limitado y obedece a un orden, lo cual se puede apreciar en los movimientos astrales, así como en las estaciones, entre otros fenómenos. En la filosofía pitagórica, el universo es esférico, como también lo es la Tierra, en torno de la cual giran los planetas produciendo notas musicales que dependían de la órbita de cada planeta en términos numéricos. A este planteamiento se le conoce como “armonía de las esferas”, y fue retomado por diversos filósofos a lo largo de la historia, incluso hasta ya bien entrado el Renacimiento (Koestler, 2007).¹⁶

Las críticas severas a la filosofía pitagórica, fueron provocadas entre otros factores, por el descubrimiento de los números irracionales; no obstante, su idea de que las relaciones matemáticas contienen la clave para descifrar la naturaleza del universo y de que los números

¹⁶ Un ejemplo de la manera en que la tradición latina retoma esta idea de la armonía de las esferas, puede encontrarse en el libro VI de la *Republica* de Cicerón.

son una herramienta de sabiduría sobrevivió a través de los siglos. Diversos pensadores que recibieron influencia pitagórica, como Filolao, Heráclides y Aristarco de Samos (a quien la tradición ha atribuido el sobrenombre de “Copérnico griego”), propusieron teorías de suma importancia para el desarrollo de la ciencia posterior, como la movilidad de la Tierra, tanto traslacional como rotacional, así como el heliocentrismo (Koestler, 2007).

Por otro lado, aproximadamente un siglo después, Platón y sus discípulos desarrollaron una doctrina que adoptó en gran medida el pensamiento pitagórico. A este respecto, el diálogo platónico titulado *Timeo* representa uno de los ejemplos más evidentes de la influencia pitagórica en la filosofía de Platón, y es posible observar que el personaje Timeo se encuentra más o menos dentro de la tradición pitagórica.¹⁷ En el discurso, ciertamente Timeo expone una postura cosmológica, aunque algunos estudiosos de este diálogo han señalado reiteradamente la dificultad de extraer de él la verdadera doctrina platónica acerca del origen y estructura del mundo.

Por un lado, la dificultad mencionada se remonta a la Antigüedad, pues ya existía el cuestionamiento sobre el verdadero autor del *Timeo* y se creía que la autoría del diálogo pertenecía a un ecléctico del s. V, partidario de una mezcla entre materialismo jónico y pitagorismo. A pesar de que esta hipótesis ya ha sido descartada, refleja la falta de claridad del origen y contenido del diálogo. Por otro lado, la creación del mundo en *Timeo*, por ejemplo, también era objeto de múltiples debates por parte de los discípulos de Platón, pues

¹⁷¹⁷Lisi refiere que la cronología dramática de esta obra se lleva a cabo a finales de los años veinte del siglo V a.C. y que Timeo, el interlocutor, es proveniente de Lócride, lo cual lo coloca dentro de la doctrina pitagórica, aunque no se mencione explícitamente su filiación filosófica (cf. p. 134).

diferían acerca de si esta explicación cosmogónica debía interpretarse de manera literal o sólo alegórica.

Aunado a esto, el *Timeo* es un diálogo de carácter político más que cosmológico, pues su estructura depende de una perspectiva teleológica por parte de Platón, en la que la finalidad es explicar la creación del hombre y establecer un estado político de acuerdo con la naturaleza humana (Lisi, 1992). Como sostiene Francisco Lisi en su introducción a este diálogo: “Sólo en segunda instancia es el *Timeo* una cosmología. Forma parte de un proyecto político” (Lisi, 1992, 146). En este sentido, la exposición cosmológica platónica busca establecer una analogía entre el mundo de las ideas y este mundo, y entre este mundo (macrocosmos) y el del hombre (microcosmos), para fundamentar la ética y la política con argumentos basados en la naturaleza, mientras se refiere también a la física.

Asimismo, hay quien se ha dedicado a hacer la relación entre el *Timeo* y la *República* de Platón, pues en esta obra se explica la relación entre el hombre y la *πόλις*, y en aquél la del hombre y el mundo, lo cual se puede apreciar en la charla inicial de este diálogo, cuando se habla sobre el estado ideal (*Timeo*, 17a-27b).

El *Timeo* se ha considerado en ocasiones como una obra de índole “oscura”, pues no aclara sus propios principios y por ello no es posible entender cabalmente su contenido. Hay en él diversos pasajes que aluden a la dificultad de comprender la cosmología en él expuesta, por ejemplo, en el párrafo 28c, *Timeo* dice: “Descubrir al hacedor y padre de este universo es difícil, pero, una vez descubierto, comunicárselo a todos es imposible”; también en 53d se menciona que “sólo dios, y aquél entre los hombres que es amado por él, conoce los principios de los cuatro elementos” (Platón, 1992, traducción de Francisco Lisi). Con estas

insinuaciones, se alude sutilmente a una doctrina superior pero no se expresa abiertamente. Por otra parte, tampoco se explican los problemas metafísicos del ser, el no ser y el devenir. En opinión de Lisi, son tres los tipos de limitaciones señaladas por Platón para entender su cosmología: la proveniente del objeto, la del discurso, y la de los potenciales receptores. Esto indica que la exposición cosmológica en esta obra es sólo parcial, y que va dirigida a una audiencia conocedora de la filosofía platónica, como los miembros de la Academia, y no al público general.¹⁸

Con todo, es posible rescatar de esta obra algunos elementos del pensamiento platónico acerca del universo, pues una vez concluida la exposición antes mencionada acerca del estado ideal con la que comienza el *Timeo*, el texto continúa con una disertación cosmológica sobre la creación del mundo: de su cuerpo y alma. Platón describe algunas características del mundo:

❖ Cuerpo (30c-34b)

- Es bello, porque es siempre y no deviene. Platón hace la diferencia entre lo que siempre es y no deviene, y lo que siempre deviene y nunca es. Sostiene que el mundo es perfecto, bueno, estable, inmutable y eterno.
- Fue generado, pues se puede captar mediante la percepción sensorial. La causa de esta generación es el Demiurgo inteligente.

¹⁸ Cf. Lisi, 1992, p. 130

- Se creó con base en un modelo eterno, pues el mundo es bello y su creador bueno, y porque este universo es el más bello de los seres generados y aquél Demiurgo la mejor de las causas. Fue generado de acuerdo con lo que se capta por el razonamiento y la inteligencia.
- Es semejante al Demiurgo, pues el demiurgo es bueno y quería que todo fuera lo mejor posible.
- Fue conducido del caos al orden, por la semejanza que posee con el Demiurgo. De esta manera le fue establecido un límite.
- El Demiurgo colocó razón en el alma del mundo, y a su vez dicha alma fue puesta en el cuerpo, para que ésta obra fuera la más bella y mejor por naturaleza. Pues entre todos los seres, los que poseen razón son más bellos que los que no la tienen. Y, a su vez, es necesario que la razón se genere en algo sin alma. Así, el mundo llegó a ser un ser viviente, provisto de alma y de razón, de cual los demás ζῶντες forman parte.
- Es único, contiene todo y no hay nada fuera de él. Es entero y está constituido de cuerpos enteros.
- Está compuesto de los cuatro elementos: fuego, tierra, agua y aire, unidos (φιλία, indisolublemente, en igual proporción).
- Es inmutable, no envejece y no enferma.
- Es esférico, misma distancia del centro a todos sus puntos.
- Es suave y liso.
- Tiene movimiento giratorio circular, propio de su cuerpo, el cual está privado de los seis movimientos restantes. Su movimiento es circular y uniforme alrededor del mismo punto.

- Fue engendrado como un dios feliz, gira en círculo, es único, solo y aislado, y por su virtud puede convivir consigo mismo y no necesita de ningún otro. Se conoce y ama suficientemente a sí mismo.

❖ Alma (34b-37)

- Fue engendrada antes del cuerpo,
- Es dueña y gobernante del cuerpo.
- El Demiurgo la compuso de lo mismo, de lo otro y la mezcla de estos dos elementos.
- Está dividida en un círculo de lo mismo (es decir, el de la esfera de las estrellas fijas) y de lo otro, que a su vez fue dividido en siete círculos interiores, desiguales entre sí, que se mueven con un movimiento ordenado.
- Fue colocada primero en el centro del mundo y luego extendida por la superficie de éste, cubriéndolo en su totalidad.
- Una vez unida al cuerpo, tiene la posibilidad de alcanzar el conocimiento de todos los objetos, sean estos sensibles o inteligibles, gracias a las características de sus componentes.
- Posterior al alma, el Demiurgo creó el tiempo para que el universo fuera imagen móvil de la eternidad.

A continuación, Platón se dedica a describir la creación del resto de los seres divinos: los cuerpos celestes, los planetas y sus movimientos en los siete períodos del círculo de lo otro, las estrellas fijas y su esfera, correspondiente al círculo de lo mismo, y finaliza con la creación de la Tierra. De esta manera, Timeo explica el origen del mundo, y con ello el ascenso de éste desde un estado caótico y desordenado hasta un *κόσμος*, que es la mejor imagen posible del mundo ideal.

Lo que se expone en este diálogo es relevante para la discusión que atañe a este trabajo, pues los planteamientos expuestos en el *Timeo* tuvieron una recepción significativa en la Antigüedad y Edad Media. Las posturas descritas en el diálogo fueron retomadas por un sinnúmero de filósofos como los discípulos de la Academia, Aristóteles,¹⁹ Teofrasto, las escuelas filosóficas del helenismo (estoicismo y epicureísmo), el escepticismo, Cicerón, Numenio, Plutarco, el neoplatonismo y algunos pensadores medievales. (Lisi, 1992)

4.1.1. Aristóteles

Así pues, tanto Pitágoras como Platón fueron algunos de los pensadores que contribuyeron a sentar las bases para la cosmología griega²⁰ y establecieron la necesidad de dotar al universo de armonía, orden y límite. Son éstas algunas de las ideas que Aristóteles retoma de sus predecesores y que desarrolla en su propia filosofía, la cual constituye una de las más influyentes en la historia del pensamiento occidental.

Al inicio de este capítulo, se mencionó la división de la astronomía griega realizada por James Evans en *The history and practice of ancient astronomy*: la astronomía literaria, la filosófica y la científica (Evans, 1998). La tradición astronómica filosófica se ocupa de las causas fundamentales de las cosas, de la naturaleza y origen de los cuerpos celestes, de las causas y características de su movimiento, de la forma de la Tierra y su posición en el cosmos, etc. De esta vertiente de la astronomía griega, Evans hace una subdivisión:

¹⁹ Aunque por lo general se aparta de Platón, Aristóteles se refiere a él en repetidas ocasiones y su doctrina está muy influenciada de la física y ontología del *Timeo*. (Lisi, 1992)

²⁰ Esta cosmología no fue la única que se originó entre los griegos, pero sí la más trascendente en términos de su influencia posterior.

- Escuela estoica, de la cual Posidonio es el máximo representante. Para esta escuela, el *κόσμος* se contrae y expande en un espacio infinito y vacío.
- Escuela atómica, con Leucipo y Demócrito.²¹ Esta corriente propone que el universo se conforma de átomos, los cuales viajan en un espacio vacío e infinito.
- Escuela aristotélica, de la cual nos ocuparemos a continuación.

A diferencia de los filósofos jónicos (y posteriormente los atomistas), quienes contestaban en términos de materia a la pregunta ¿qué es la realidad?, Aristóteles, al igual que los pitagóricos, Sócrates y Platón, respondía en términos de forma (Guthrie, 1953). Asimismo, en *Los filósofos griegos*, Guthrie clasifica a Aristóteles como un filósofo perteneciente a dos vertientes de la filosofía griega: la práctica y la especulativa-científica. La práctica se refiere al estudio del hombre mismo y sus relaciones con sus semejantes, de su naturaleza y su lugar en el mundo, incluyendo los aspectos ético y político. La especulativa-científica consiste en los esfuerzos para explicar el universo y las leyes que lo rigen. Para Guthrie, lo que motiva la especulación científica acerca de la naturaleza del universo es la mera curiosidad, mientras que la filosofía práctica tiene una finalidad de averiguar cómo pueden mejorarse la vida y conducta humanas.

Así pues, en su carácter especulativo-científico, Aristóteles desarrolló en algunos de sus tratados, como en *Acerca del cielo*, un sistema cosmológico y, por otro lado propuso un sistema físico para explicar dicha cosmología. Por ello, el sistema cosmológico aristotélico

²¹ Posteriormente Lucrecio.

se convirtió en el aceptado por la mayoría de los filósofos y astrónomos contemporáneos y posteriores a él, durante siglos, pues se apoyaba en sólidos fundamentos físicos.

Acerca del cielo

La estructura y configuración del *κόσμος* aristotélico se expone parcialmente en obras como *Física* y *Metafísica*, pero fundamentalmente en los dos primeros libros de *Acerca del cielo*. Como se mencionó anteriormente, Aristóteles construye sus argumentos con base en la teoría del movimiento natural, desarrollada en la *Física*, y concluye que el *κόσμος* posee las características de finitud, unicidad, perfección, esfericidad, composición heterogénea, jerarquía, eternidad y geocentrismo, las cuales se describen a continuación:

- Finitud. En primer lugar, Aristóteles argumenta que el cielo realiza un movimiento circular en un tiempo limitado, y al no ser posible que un cuerpo infinito recorra una distancia infinita en un tiempo finito, se deduce la finitud del cielo. En segundo lugar, se refiere la imposibilidad de la existencia de un cuerpo infinito, pues no existe un peso infinito. Por otro lado, elementos infinitos tendrían una magnitud infinita, lo mismo sus movimientos y los lugares en los que se trasladan. Sin embargo, esto no es posible, pues aquello en lo que no hay centro ni extremo, ni arriba ni abajo, no constituye lugar para cuerpos en traslación. De este modo, se manifiesta la necesaria finitud del cosmos, cuyo límite exterior corresponde a la esfera de las estrellas fijas (I, 5-7).
- Unicidad. Se afirma la imposibilidad de que existan cielos múltiples, debido a la naturaleza del movimiento de los cuatro elementos. Los elementos graves como agua y tierra se mueven hacia el centro del universo y los leves como el aire y el fuego se alejan de él. Si existieran varios universos, la tierra de éstos se desplazaría hacia arriba en su

propio mundo y el fuego hacia el centro, y lo mismo le ocurriría a nuestra tierra y nuestro fuego. Así pues, se concluye que este cielo es único y fuera de él no existen ni se generan cuerpos. (I, 8-9)

- Perfección. Puesto que existen tres dimensiones en este mundo (arriba-abajo, adelante-atrás, derecha-izquierda), todas las cosas quedan definidas por el tres.²² Así pues, todos los cuerpos que pueden dividirse en tres son igualmente perfectos pues poseen todas las dimensiones, por lo cual este mundo es necesariamente perfecto (I, 1). Por otro lado, el cielo es perfecto pues su movimiento, al ser circular, es imagen de la perfección, ya que no tiene principio ni fin y es incesante a lo largo del tiempo infinito. Asimismo, el universo es perfecto por ser el lugar donde reside la divinidad y por poseer una forma esférica (II, 1).
- Esfericidad. La argumentación construida por Aristóteles se fundamenta en la teoría de las figuras geométricas. La primera de las figuras planas es el círculo, por lo tanto, el primero de los sólidos es la esfera. Así pues, ya que “la primera figura corresponde al primer cuerpo y el primer cuerpo es el que se halla en la extrema rotación del mundo, lo que se mueve rotatoriamente será de modo necesario esférico” (Aristóteles II, 4, 287a, traducción de M. Candel). Por esta razón, también las capas que están debajo de la esfera extrema serán esféricas. Otro argumento a favor de la esfericidad, es que no puede ocurrir que el universo contenga líneas rectas, pues cuando una figura con líneas rectas se somete a rotación no ocupa nunca un mismo lugar, y deja espacios vacíos, lo cual no puede ocurrir para el universo, pues al ser único el mundo y contenerlo todo no puede haber algo fuera de él (ni vacío). Por otro lado, la rotación celeste es la medida de todos los

²² Esto es una doctrina pitagórica, según el propio Aristóteles.

movimientos, y al ser una medida es la más pequeña, por lo tanto, la más rápida que existe para que una cosa vuelva a su punto de partida. Debido a esto, si el mundo rota en círculo y se mueve más rápido que cualquier otra cosa, es necesariamente esférico. También se afirma la esfericidad de la superficie del agua, la cual envuelve a una Tierra esférica y está rodeada por una capa esférica de aire, y así sucesivamente hasta llegar a la esfera de las estrellas fijas (II, 4). Por último, se argumenta que las partículas de tierra se comprimen unas a otras en su desplazamiento hacia el centro del universo. Al desplazarse de todos lados por igual, con ángulos iguales, desde los extremos hacia un único centro, la masa resultante será similar por todas partes, esto es característica geométrica de la esfera (II, 14).

- Composición heterogénea. En el κόσμος aristotélico, la región sublunar está constituida por los cuatro elementos (tierra, agua, aire y fuego) lo cual, por la naturaleza de sus movimientos, le da la característica de ser cambiante, corruptible e imperfecta. Por su parte, la región supralunar se compone de éter, sustancia superior y divina, responsable de que los cielos sean inmutables y perfectos. El cuerpo etéreo que se encuentra en movimiento circular ni por naturaleza ni por fuerza va hacia el centro o se aleja de él. Aquel elemento no tiene levedad ni gravedad, es ingenerable e incorruptible, es inalterable por lo que no aumenta ni disminuye²³ (I, 2-3).
- Jerarquía. En términos de jerarquía, la cima de esta estructura cosmológica correspondería para Aristóteles a la sustancia incorpórea, a la divinidad suprema, es decir, al motor inmóvil, mientras que el nivel inferior del universo es el mundo sublunar habitado por el hombre. Sobre el motor inmóvil, se dice que es el límite de todo el cielo,

²³ Incluso se menciona que ningún hombre ha registrado cambio alguno en el cielo.

que es eterno, inmortal y divino. Por ello, la esfera de las estrellas fijas permanece inalterable, impasible y perfecta, con un movimiento incesante, mientras que el mundo terrestre es cambiante e imperfecto (I, 9).

- Eternidad. Aristóteles expone la imposibilidad de que el universo se haya creado y que pueda transformarse, y lo define como un *κόσμος* ingenerado e incorruptible. Aristóteles manifiesta la contradicción que supone afirmar que algo que es, en algún punto no haya sido. Plantea que no hay mayor motivo ahora que antes, por el cual el universo se extinga precisamente ahora, habiendo existido siempre antes, y tampoco hay razón por la cual se genere después de no existir durante un tiempo. En otras palabras, sería imposible que lo que existe previamente como eterno se destruya después, o lo que previamente no existe llegue después a ser eterno (I, 10-12).
- Geocentrismo. Aristóteles menciona algunas de las teorías existentes sobre la Tierra, sobre su forma y posición, y se dedica a refutarlas, particularmente critica la teoría que sostiene la movilidad terrestre. Para ello, describe los movimientos que tienen los cuerpos y sus elementos por naturaleza. Como se mencionó anteriormente, Aristóteles sostiene que el movimiento natural de la tierra es el desplazamiento hacia el centro del universo, lo cual percibimos como hacia abajo. Si, como algunos afirman, la Tierra se desplazara lo haría forzosamente pues su naturaleza siempre la lleva hacia el centro. Sin embargo, no es posible que un movimiento forzado sea eterno, y el movimiento que vemos en la bóveda celeste es eterno, por ello la Tierra no es la que se mueve, sino el cielo. Por otro lado, si se desplazara, habría un desplazamiento de donde salen y se ponen los astros, no obstante, los astros siempre aparecen y se ocultan en los mismos lugares. Asimismo, se

utiliza el argumento basado en los eclipses lunares, pues durante este fenómeno, se ve la sombra cóncava de la esfera de la Tierra (II, 13-14).

La cosmovisión aristotélica, va acompañada, como ya se mencionó, del rechazo explícito de la cosmovisión de algunos pitagóricos y, por otra parte, de pensadores como Filolao, Heráclides Póntico o Aristarco de Samos, quienes sostenían la movilidad terrestre. A pesar de los fundamentos físicos con los que Aristóteles apoya su postura, seguía existiendo el problema que ocasionaba la observación de los planetas errantes, pues el movimiento aparente de estos astros no corresponde al movimiento circular uniforme aseverado por este filósofo. Así pues, esta cosmología no lograba dar una solución que explicara los movimientos celestes y tampoco era eficaz para predecir la posición de los astros. La astronomía, por su parte, sí lograba resolver estos problemas.

4.1.2. Ptolomeo

Para la astronomía griega temprana, Atenas fungió como centro intelectual;²⁴ sin embargo, después de las conquistas de Alejandro Magno, Alejandría tomó el lugar de Atenas, y posteriormente se convirtió en la principal ciudad intelectual del Egipto Greco-Romano. El carácter intercultural de la ciudad y la interdisciplinariedad que se generó en sus escuelas, convirtió a Alejandría en el lugar donde concurría todo aquel que quisiera estudiar matemáticas o ciencia, y poseía, entre otras ventajas, probablemente la mejor biblioteca de la antigüedad (Toomer, 1998).

²⁴ La tradición científica de la astronomía griega comenzó desde épocas muy tempranas. Ya en el siglo V a.C. Metón y Eutecmón hacen un calendario de estrellas para mejorar los calendarios civiles. Acerca de la tradición científica en la astronomía griega temprana Cf. Evans, 1998.

La cosmología griega filosófica se fue transformando en una cosmología de tipo astronómico y científico debido al aumento en la observación y práctica astronómicas y al perfeccionamiento de los instrumentos utilizados para medir. Asimismo, el desarrollo de la geometría con Euclides, Arquímedes y Apolonio, entre otros, provocó la matematización de la astronomía griega, hecho que había empezado con Anaximandro y con Pitágoras.²⁵

De esta manera, los astrónomos griegos comenzaron a adoptar los procedimientos y resultados astronómicos babilonios recabados en la biblioteca, y los conjuntaron con una metodología propia que, a diferencia de la babilónica, basada en reglas aritméticas, utilizaba reglas geométricas para la astronomía. Evans considera que el éxito de la astronomía griega radica en la aplicación de la geometría a los problemas de astronomía y cosmología.²⁶ Por otro lado, la astronomía griega buscó incorporar los principios físicos aristotélicos a los problemas astronómicos. Tal fue el caso de Hiparco de Alejandría, y posteriormente de Claudio Ptolomeo de Alejandría (Evans, 1998).

Ptolomeo, una de las figuras más sobresalientes en la historia de la ciencia, fue un matemático, astrónomo, geógrafo y físico que vivió aproximadamente del año 100 al 175 d.C., y su trabajo floreció en el año 150 d.C. (Toomer, 1998).²⁷ El desarrollo de la teoría

²⁵ Algunas de las fuentes para la historia de la astronomía griega son: *Almagesto* de Ptolomeo (la fuente más importante y completa); algunos tratados pequeños más antiguos usados en las escuelas; libros de texto griegos de la era cristiana de autores como Gémino, Teón de Esmirna y Cleomedes; textos de escritores latinos como Plinio y Vitruvio; y papiros del Egipto greco-romano. Muchas de estas fuentes tienen mezcla de tradiciones, literaria, filosófica y científica. (Evans, 1998)

²⁶ Como en el caso de Aristarco de Samos.

²⁷ Como matemático y astrónomo, desarrolló y sistematizó la obra de Hiparco. Su más grande aporte a la matemática es la exposición de la trigonometría esférica creada por Hiparco. Ptolomeo construyó una tabla de cuerdas para arcos que subtienden ángulos en forma creciente, de 1/2 a 180 grados, calculados cada medio grado. Esto equivale a una tabla de senos para ángulos de 1/4 de grado hasta 90 grados calculados cada 1/4 de grado. Ésta es la parte más permanente de su obra, pues, aunque el paso del tiempo haya superado su sistema astronómico y su mapa universal, la base de la trigonometría, expuesta por Hiparco y por Ptolomeo, continúa inalterable hasta el día de hoy. (Farrington, 1969)

planetaria griega propuesta por Ptolomeo dominó la astronomía hasta el siglo XVI, y se expone en una de las obras más importantes de la historia de la ciencia, titulada *Almagesto*.

Almagesto

Μαθηματικὴ σύνταξις, texto conocido comúnmente por el nombre *Almagesto*, fue escrito en el siglo II d.C., por Claudio Ptolomeo de Alejandría durante la época imperial, en el reinado del emperador romano Antonino (138-161 d.C.). Esta obra representa la culminación y máxima representación de la astronomía científica de carácter matemático, y es una exposición completa de la astronomía matemática, tal como los griegos entendían el término (Toomer, 1998).

En esta obra, el Sol, la Luna, los planetas y las estrellas se mueven alrededor de la Tierra, la cual permanece inmóvil en el centro del universo. Los movimientos descritos por los astros son únicamente circulares y epicíclicos. Ptolomeo consigue explicar los movimientos de los cuerpos celestes y predecir sus posiciones futuras, mientras conserva los principales planteamientos cosmológicos aristotélicos, valiéndose de procedimientos matemáticos y geométricos. Este astrónomo construyó una argumentación geométrico-matemática completa que sustentaba el geocentrismo y con ello ganó la simpatía de la mayoría de sus contemporáneos. Su obra fue utilizada como manual en las escuelas hasta un milenio después de haber sido escrita (Farrington, 1969).

La estructura del *Almagesto* es lógica y didáctica. Comienza con un breve tratamiento de la naturaleza del universo y con la exposición de la teoría trigonométrica necesaria para el resto del tratado. Prosigue con la explicación de aspectos de la astronomía esférica, relacionada con la posición del observador en la Tierra, y posteriormente expone la teoría del

movimiento del Sol y la Luna, la naturaleza de los eclipses, el catálogo de estrellas fijas, y la teoría planetaria. (Toomer, 1998)

El libro primero del *Almagesto* contiene elementos importantes del pensamiento cosmológico ptolemaico. En él se expone la esfericidad de los cielos y la Tierra, el geocentrismo del *κόσμος*, la dimensión terrestre y su inmovilidad, y la existencia de dos diferentes movimientos primarios de los cielos:

- Esfericidad de los cielos y su movimiento circular. Ptolomeo menciona que ya los antiguos tenían conocimiento de este aspecto porque veían las estrellas moverse de este a oeste en círculos siempre paralelos unos con otros. Por otro lado, es imposible que los astros se muevan al infinito en movimiento rectilíneo, pues no podríamos verlos regresar a su posición inicial. Si el movimiento no fuera esférico, las distancias desde la Tierra hacia los astros variarían, los tamaños y distancias mutuas de las estrellas variarían para el observador. Los cielos son más grandes que todas las cosas y las contienen. El éter compone a los cuerpos celestes, pues es el elemento cuyas partes son más similares entre sí, y este tipo de cuerpos tienen superficies con partes iguales entre ellas.
- Esfericidad de la Tierra. La salida y puesta de los astros y los eclipses, especialmente los lunares, no ocurren simultáneamente para personas en distintos lugares. La diferencia en la hora en que ocurren es proporcional a la distancia entre los lugares. Asimismo, cuando se navega, se ven las cosas como si emergieran o se sumergieran mientras uno se aleja o se acerca, esto se debe a la esfericidad del agua que cubre a la Tierra.
- Geocentrismo. Si la Tierra no estuviera en el centro, es decir, si estuviera recorrida hacia arriba, abajo, izquierda, derecha o en diagonal, o no habría equinoccios, o no ocurrirían

justo entre el solsticio de verano e invierno; en el solsticio de verano el día es tan largo como la noche en el de invierno; no habría seis constelaciones arriba del ecuador y seis abajo; en los equinoccios la sombra del *gnomon*²⁸ no haría una línea recta al atardecer en un plano paralelo al horizonte; durante los eclipses lunares, la Luna y el Sol no estarían necesariamente diametralmente opuestos, y habría eclipses lunares muy a menudo, pues la Tierra muy frecuentemente se metería entre ellos, no sólo cuando están diametralmente opuestos, sino en intervalos menores que un semicírculo.

- La Tierra tiene la proporción de un punto en los cielos. Pues los tamaños de los astros y las distancias entre ellos son iguales desde cualquier punto de la Tierra en el que se encuentre el observador; *gnomones* colocados en cualquier lugar de la Tierra operan como el centro real de los cielos, esto es, las sombras de las trayectorias causadas por los astros concuerdan con la hipótesis matemática que explica el fenómeno como si ellos en verdad pasaran por el punto central real de la Tierra; el horizonte del observador divide a la esfera en dos partes iguales.
- La Tierra no tiene movimiento. El movimiento de los objetos pesados es hacia el centro del universo, y puesto que la Tierra ocupa el centro del universo, vemos a los objetos caer. El ángulo de caída de cualquier objeto hacia la Tierra es recto al plano tangente de la esfera en el punto de la intersección de ese radio y la tangente. Hay quienes piensan que es paradójico que la Tierra tenga tanto peso y no se mueva, pero hay que tener en cuenta que tiene el tamaño de un punto en relación con el resto del universo, por lo que

²⁸ Instrumento para realizar observaciones astronómicas que consistía, básicamente, en una varilla que permitía observar la manera en que cambiaba la sombra provocada por la luz solar, proyectada por el movimiento terrestre a lo largo del día.

es en realidad más pequeña y es comprimida igualmente desde todas las direcciones a una posición de equilibrio por los cielos. Como las cosas pesadas caen hacia la Tierra, pero estas son muy pequeñas a comparación con la masa total de la Tierra, esta se puede quedar inmóvil, aún con el impacto de estos pesos tan pequeños, y puede recibir a los objetos que caen. Además, la Tierra es tan pesada que caería mucho más rápido que las demás cosas y estas se quedarían atrás flotando en el aire y muy rápidamente la Tierra saldría de los cielos. Algunos pensadores han afirmado que los cielos permanecen inmóviles mientras que la Tierra se mueve de Este a Oeste y aunque no existe ningún fenómeno celeste que contradiga esta hipótesis, es posible descartarla al considerar lo que ocurriría aquí en la Tierra y en el aire.

- Dos movimientos distintos en el *κόσμος*. Uno que mueve todo de Este a Oeste y lo rota con un movimiento inalterable y uniforme en círculos paralelos entre ellos. Sin embargo, es posible notar que algunos astros no se mueven siguiendo el ecuador celeste, sino siguiendo otro círculo: la eclíptica. Este círculo está definido y dibujado por el movimiento del Sol y es recorrido por la Luna y los planetas que se mueven cerca de él. Hay que suponer que este segundo movimiento diferente sucede en los polos del círculo inclinado que hemos definido (eclíptica) en la dirección opuesta al primer movimiento.

Así pues, el *Almagesto* es una fuente histórica importante como testimonio de las observaciones, teorías y procedimientos astronómicos antiguos, pero, sobre todo, lo es por la influencia que ejerció en la astronomía posterior durante la Antigüedad y Edad Media, tanto en el mundo islámico como en el cristiano. Fue el libro de texto para estudiantes de

astronomía avanzados en las escuelas de Alejandría en la Antigüedad Tardía²⁹, y hasta los siglos XVIII y XIX en Europa (Toomer, 1998).

Después de Ptolomeo, la astronomía pausó su actividad durante aproximadamente seiscientos años y resurgió en el mundo islámico, alrededor del año 800 d.C. El interés árabe por la astronomía griega en los siglos VIII y IX, permitió entre otras cosas la conservación y transmisión del texto al que tenemos acceso hoy en día, pues mientras todo conocimiento del *Almagesto* se perdió en Europa a principios de la Edad Media, el griego original continuó siendo copiado en el imperio bizantino de Oriente. Gracias a esto, el *Almagesto* fue traducido al sirio, en primer lugar, y luego varias veces al árabe. En el siglo XII había ya numerosas versiones árabes, que encontramos bajo el nombre al-mjsty, derivado de la forma griega *megíste*, que significaba “el más grande”, se sobreentiende “tratado”³⁰ (Toomer, 1998).

Posteriormente, se realizaron algunas traducciones del griego o del árabe al latín. La traducción del árabe al latín realizada por Gerardo de Cremona en Toledo y completada en 1175 representó el principal canal de recuperación del *Almagesto* en el mundo occidental, y en ésta se basaban los textos de astronomía de la época, tal es el caso del comentario al *Almagesto* de Peurbach-Regiomontanus. Asimismo, la traducción de Gerardo de Cremona fue la primera versión impresa en Venecia, alrededor del año 1515. Desde el siglo XV comenzaron a llegar a Occidente algunos manuscritos del texto griego, y ya para el siglo XVI se dio la diseminación del texto griego, impreso en Basel por Hervagius en el año 1538. No

²⁹ Así lo demuestran los comentarios que realizaron Papo y Teón de Alejandría, en siglos posteriores a Ptolomeo. (Evans, 1998)

³⁰ Esta forma fue incorrectamente vocalizada a al-majasti, pasando al latín medieval como *almagestum*, de donde proviene nuestra palabra *almagesto*. (Toomer, 1998)

obstante, es preciso notar que junto con la proliferación del texto griego del *Almagesto* se dio también la caída del sistema ptolemaico frente al copernicano (Toomer, 1998).

Ptolomeo es considerado el más grande representante de la astronomía griega de la Antigüedad y su obra es una exposición del auge griego en la adopción de sistemas abstractos de observación astronómica, rasgo que ha trascendido en la astronomía hasta nuestros días.

4.2. Cosmología copernicana

Como se mencionó anteriormente, la recepción de este bagaje ideológico por parte de la actualidad occidental se debe en gran medida a la conservación por parte del mundo islámico de los textos astronómicos griegos durante la Edad Media, etapa en la cual la cosmología ptolemaica fue sustituida en Occidente, aunque no del todo, por la teológica cristiana. La lengua griega fue cayendo en desuso en el Occidente europeo, pero gracias a las traducciones que los musulmanes hicieron de los textos astronómicos, en su mayoría escritos en griego, el mundo occidental pudo tener acceso a ellos más tarde, a finales del medievo y durante el periodo denominado Renacimiento.

Durante el siglo XV, comenzaron a realizarse mayor número de exploraciones de nuevas rutas comerciales hacia Oriente y Occidente, pues incrementaron las relaciones comerciales entre las ciudades mediterráneas. Así pues, ocurrieron descubrimientos geográficos importantes, tal como el descubrimiento de América por los españoles, de manera que comenzó a hacerse crítica y cuestionamientos a los conocimientos tradicionalmente aceptados en el ámbito de la geografía, astronomía, cartografía, etc. A medida que aumentaban los estudios y discusiones en este sentido en las universidades, comenzaron a surgir nuevas teorías (Kuhn, 1978).

Ya en el siglo XVI, aproximadamente en el año 1536, un astrónomo polaco identificó la necesidad de incrementar la precisión y sencillez de los cálculos astronómicos: Nicolás Copérnico. Como ya se mencionó, el modelo planteado por Copérnico supuso una serie de problemas para otras disciplinas, generando controversia y debate. Sus trabajos sirvieron de base para el desarrollo de posteriores discusiones cosmológicas, físicas, filosóficas y religiosas (Kuhn, 1978), y para, en opinión de algunos autores, transformar la idea que se tenía del mundo.

4.2.1. *Sobre las revoluciones de los orbes celestes*

Si bien el trabajo de Copérnico propició el surgimiento de nuevas posturas astronómicas y cosmológicas, este autor realizó sus investigaciones apegándose en gran medida a las posturas cosmológicas, físicas y metodológicas de Aristóteles y Ptolomeo. Por ello, en este sentido, puede considerársele heredero directo de la tradición científica de la Antigüedad. Sin embargo, es necesario considerar que Copérnico recibió esta herencia luego de haber transcurrido casi dos milenios, en los cuales la ciencia y teología fueron integradas por los pensadores medievales, quienes también desarrollaron la crítica escolástica. Asimismo, durante el Renacimiento surgieron nuevas corrientes de pensamiento y formas sociales. Kuhn afirma que para entender a cabalidad la aportación copernicana, debe comprenderse la obra de este astrónomo dentro del amplio medio ambiente intelectual de la época, en el cual el neoplatonismo y a la tradición escolástica permitieron a Copérnico realizar su sistema. Todos estos elementos, según afirma Kuhn, se combinaron para “cambiar la actitud que tenían los hombres de la época copernicana frente a la herencia científica que aprendían en las universidades” (Kuhn, 1978, 183).

Así pues, *Sobre las revoluciones de los orbes celestes* no es en sí misma una obra innovadora, sino que continúa las obras de los antiguos y retoma numerosos aspectos de la tradición; no obstante, orientó el pensamiento científico hacia caminos diferentes. Su difusión provocó un enfoque de la astronomía planetaria distinto del que se tenía en la Antigüedad; aportó una solución más simple y precisa al problema del movimiento de los planetas y una forma distinta de deducir los movimientos de los astros.

En el prefacio de su obra *Sobre las revoluciones de los orbes celestes*, Copérnico menciona algunos de los aspectos que lo condujeron a creer necesaria una innovación y a rechazar ciertos planteamientos de la astronomía y cosmología antigua, esto es: la falta de consenso entre las investigaciones de los matemáticos acerca del movimiento de los cuerpos celestes; la inseguridad acerca de los movimientos del Sol y la Luna; la imposibilidad de deducir la exacta duración del año; la variación entre los principios y demostraciones utilizados para explicar las revoluciones de los astros errantes; la existencia de dos teorías astronómicas distintas ambas aceptadas, esto es, las esferas homocéntricas utilizadas por Aristóteles, y por otro lado, los epiciclos de Ptolomeo; la poca efectividad de ambas posturas para explicar los fenómenos; la incertidumbre en cuanto a la forma del mundo; la incongruencia del sistema ptolemaico, en el que se omiten elementos necesarios y se admiten otros irreales y extraños; la imposibilidad de verificar las aseveraciones del sistema ptolemaico y su falta de precisión (Copérnico, 1982). Lo que Copérnico encontraba aberrante no fue la cosmología ni la filosofía, sino la astronomía matemática de Ptolomeo, y su intención de modificar a esta última fue lo que lo llevó a proponer el movimiento de la Tierra (Kuhn, 1978).

De esta manera, Copérnico se convirtió en el primer astrónomo renacentista en rechazar la tradición científica establecida y, a pesar de que el sistema copernicano tenía precedentes en la Antigüedad,³¹ el sistema matemático basado en el movimiento terrestre carecía de antecedentes. Copérnico dio cuenta de la solución que representaba el movimiento terrestre a problemas astronómicos, y fue el primero en dedicarse a la exposición matemática detallada de las consecuencias astronómicas que se derivaban del movimiento de la Tierra (Kuhn, 1978).

En el libro primero de *Sobre las revoluciones de los orbes celestes*, Copérnico argumenta a favor de su sistema, evidenciando su estrecha dependencia de los conceptos y leyes aristotélicos y escolásticos, y demuestra la dificultad de distanciarse de las corrientes de pensamiento dominantes en su época. En los capítulos 1 a 11 de este libro primero, Copérnico describe las características de su sistema cosmológico:

- Esfericidad del mundo. El astrónomo menciona que la esfera es la forma más perfecta y la que mejor se adapta a contener a las demás, pues de todos los sólidos es la de mayor volumen, porque los demás cuerpos, como el Sol, la Luna y hasta las gotas de agua, tienen esa forma (I, 1, 1a).
- Esfericidad de la Tierra. Esto es evidente por la manera en que los objetos se desplazan hacia el centro terrestre (las aguas, como la tierra, van siempre hacia abajo); y por cómo la posición de los astros cambia si el observador se desplaza por la superficie de la Tierra, por ejemplo, las diferencias de hora entre quienes observan eclipses desde diferentes lugares. Asimismo, en las navegaciones se atestiguan

³¹ Tal es el caso, por ejemplo, de Aristarco de Samos.

fenómenos que demuestran la esfericidad terrestre, como la percepción de que la tierra emerge o se sumerge, a medida que un barco se acerca o aleja de ella. La tierra es finita y esférica (I, 2, 1a-1b).

- La tierra junto con el agua forma un globo. Tanto el centro de gravedad de la tierra como su magnitud tienen el mismo centro, esto es, el globo es esencialmente terrestre. Este argumento se alimenta de la refutación a la teoría ptolemaica, por lo que Copérnico habla del fracaso de Ptolomeo para explicar la realidad del mundo, ejemplificando esto con los descubrimientos geográficos que ocurrieron en aquella época, como el hallazgo de América en 1492. Por otro lado, la sombra de la Tierra que se proyecta en la Luna durante los eclipses lunares es redonda, lo cual apoya la teoría de la esfericidad terrestre. Con todo esto, el astrónomo concluye que la tierra y el agua se apoyan conjuntamente en un solo centro de gravedad y que este centro es el de la magnitud total de la tierra, la cual siendo más pesada que el agua, llena con agua sus partes deprimidas, por lo cual hay menor cantidad de agua que de tierra, aunque la superficie aparezca más cubierta con agua³² (I, 3, 1b-2a).
- El movimiento de los cuerpos celestes es regular, circular y perpetuo. Esto se debe a que el movimiento en círculos es el movimiento natural de la esfera. Por ello, los astros expresan y mantienen su forma, la del cuerpo más simple, no poseen ni

³² Según Kuhn, el objetivo de Copérnico al realizar esta afirmación, es el de reforzar la movilidad terrestre, pues, pues el elemento tierra se rompe menos fácilmente que el del agua cuando se mueve, en consecuencia es más plausible el movimiento de un globo sólido que el de uno líquido. Copérnico dirá en el capítulo 8 que la tierra se mueve naturalmente según un círculo porque es esférica, por esto necesita demostrar que tanto la tierra como el agua son esenciales en la composición esférica y que ambas pueden participar de su movimiento natural. Esto es interesante porque Copérnico demuestra su conocimiento acerca de los recientes viajes de exploración y las subsiguientes correcciones que debían llevarse a cabo en los escritos geográficos de Ptolomeo. (Kuhn, 2006)

principio ni fin y siempre presentan un aspecto inmutable. Por otro lado, los astros son seres que se hicieron conforme al óptimo de los órdenes posibles. No obstante, el Sol con sus movimientos circulares provoca no sólo los días y las noches, sino también las estaciones, en lo cual se reconocen varios movimientos, pues no puede ser que un cuerpo celeste simple se mueva desigualmente en una misma órbita. Asimismo, los planetas presentan también irregularidades en su movimiento pues andan errantes: vagando unas veces hacia el sur, otras hacia el norte. Por ello son llamados “planetas”,³³ y a veces se presentan más cercanos a la tierra y a veces más lejanos. Así pues, resulta necesario establecer la verdadera relación entre la Tierra y el cielo, “para que no ocurra que por mirar lo que está más alto, ignoremos lo que está más cerca y por el mismo error atribuyamos a los cuerpos celestes, lo que es propio de la Tierra” (I, 4, 2b-3a).³⁴ De esta manera, Copérnico, a la vez que manifiesta inconformidad con la teoría astronómica tradicional, también expone un razonamiento de corte aristotélico y escolástico, en el que da cuenta de que sólo un movimiento circular puede explicar la repetición regular de todos los fenómenos celestes una vez transcurridos determinados intervalos de tiempo fijo. Por este motivo, sería imposible distinguir completamente el universo copernicano del tradicional. Para Kuhn, Copérnico busca romper con la tradición, pero es en esta ruptura en donde más clara y estrechamente demuestre su dependencia con la misma, pues se mantiene aristotélico dentro de la disidencia propia (Kuhn, 1978).

³³ Del lat. planeta, -ae; a su vez del verbo griego *πλανάω*, que significa: deambular, vagabundear, errar, etc. (Liddell, Henry George Scott, 1940) (Lewis & Short, 1879)

³⁴ Trad. Domènec Bergadà.

- La Tierra no está en el centro del universo. Copérnico afirma que hay razones astronómicas importantes para suponer que la Tierra no está en el centro del universo y que, de hecho, ésta se mueve lejos de ese centro. Menciona que, si bien la Tierra no ocupa el centro del universo, sí se encuentra a una distancia pequeña de él, en comparación con la dimensión total de la esfera estelar. Así pues, las irregularidades que se perciben en los movimientos de los planetas errantes se deben a que sus círculos se rigen por un centro distinto a la Tierra, lo cual explica el motivo de que en ocasiones se vean más cercanos y a veces más lejanos (I, 5, 3a-3b).
- Magnitud pequeña de la Tierra con respecto de la del cielo. Mediante demostraciones geométricas, Copérnico expone que la Tierra y su órbita son pequeñas en comparación con la inmensidad del cielo. La Tierra no está en el centro del mundo, sin embargo, su distancia al centro es casi insignificante sobre todo en relación al tamaño de la esfera de las estrellas fijas (I, 6, 4a-4b).
- Movimiento terrestre e inmovilidad del cielo. Copérnico señala que la Tierra posee dos movimientos, al mismo tiempo que gira sobre su propio eje, lo hace también sobre su órbita.³⁵ Argumenta que el movimiento aparente es relativo y que puede ser consecuencia de que, o bien se mueva el espectador, o bien lo que está fuera de éste. En otras palabras, el movimiento que observamos puede ser resultado de nuestro propio movimiento en sentido contrario de aquello que vemos. Esto es lo que ocurre a causa de la revolución terrestre diaria sobre su propio eje, mientras la Tierra gira de

³⁵ En este punto, para argumentar a favor de su sistema, Copérnico se refiere a Cicerón, quien había escrito que algunos pitagóricos sostenían la movilidad terrestre. Tal es el caso de Heráclides, Ecfanto e Hicetas de Siracusa. Por su parte, Filolao afirmó que la tierra se mueve con más de un movimiento y que es un astro más. (Copérnico, 1982)

oeste a este. Por otro lado, si el cielo es el receptáculo de todas las cosas existentes, es más razonable atribuir movimiento al contenido antes que al continente (I, 5, 3a-3b). Mediante este razonamiento, en el que se dota a la Tierra de movimiento sobre su eje y sobre una órbita, Copérnico logra explicar cualitativamente algunas irregularidades en los movimientos aparentes de los astros, como la retrogradación y las variaciones en los lapsos de tiempo que toma a los planetas moverse por la eclíptica, y lo hace prescindiendo completamente de los epiciclos (I, 6, 4a-4b). Para su siguiente argumento, Copérnico menciona la imposibilidad de demostrar que el universo es finito y, por otro lado, la gran posibilidad de que, finito o infinito, éste contenga todos los cuerpos, mientras que fuera del cielo no haya nada. Cualquiera que sea la respuesta, Copérnico afirma que este cielo contenedor de todo permanece inmóvil, y atribuye el estudio y disertación de estas cuestiones a los filósofos de la naturaleza. Lo seguro para él es que la Tierra está limitada por sus polos y por una superficie esférica, y que por naturaleza posee una movilidad en círculos congruente con su forma esférica, pues resulta más razonable pensar que, en vez de deslizarse todo el mundo, cuyos límites se ignoran y no se pueden conocer, la revolución diaria aparentemente del cielo es más bien la de la Tierra (I, 7, 5a-5b). Para argumentar a favor del movimiento terrestre, el astrónomo afirma que para los navegantes parece que aquello que está fuera de la nave se mueve, pero es la nave la que en realidad se mueve. Lo mismo ocurriría con la Tierra: las cosas contenidas en ella (como los navegantes dentro del barco) se mueven con ella (I, 7, 5a-5b). Además, Copérnico intenta transformar el argumento aristotélico sobre la jerarquía celeste y nos dice que cuanto más noble y divino se considera el estado de inmovilidad e inmutabilidad que el de mutabilidad e inestabilidad, mucho más adecuadas son estas últimas

características a la Tierra que al universo, pues ésta es considerada imperfecta, mientras que el cielo es perfecto (I, 7, 5a-5b). Por último, ya se dijo que el cielo es tan grande a comparación con la Tierra, que parece infinita su magnitud para los sentidos de los espectadores. No obstante, esto no quiere decir que la Tierra debe estar quieta en medio del mundo. Resulta más plausible que la Tierra, una mínima parte del universo, dé la vuelta en un lapso de veinticuatro horas, a que lo haga todo el universo con su inmensidad. Hay quienes sostienen que el centro es inmóvil y que las cosas cercanas a él se mueven menos, pero esto no prueba que la Tierra esté quieta en medio del mundo (I, 6, 4a-4b). Sobre el tipo de movimiento que tiene la Tierra, Copérnico menciona que las cosas que se mueven en una órbita más pequeña avanzan más rápido que las de órbita más grande. Prueba de ello es el intervalo de tiempo en el que Saturno (el mayor de los errantes) completa su giro, esto es, en el año 30, mientras que la Luna, astro más cercano a la Tierra lo hace en un periodo de un mes. La Tierra parece completar su revolución en el espacio de tiempo de un día y una noche (I, 6, 4a-4b).

- La Tierra es un planeta. Tiene varios movimientos por lo cual podemos equipararla con los planetas errantes, lo cual es evidente debido a las irregularidades en los movimientos aparentes de los planetas. Si la Tierra se mueve alrededor del centro del universo lo hará igual que los demás planetas (I, 9, 7a-7b).
- El Sol es el centro del mundo. Si transferimos el movimiento del Sol a la Tierra, concediendo inmovilidad al Sol, la salida y puesta de las estrellas fijas se mantendrían inalterables y será evidente que las estaciones, retrogradaciones y progresiones de los planetas suceden no por el movimiento de éstos, sino por el de la Tierra. Por lo tanto,

es necesario admitir que el Sol ocupa el centro del mundo, lo cual se demuestra con sólo mirar. Esta es la mejor posición para el Sol, pues le permite iluminar todo lo que existe al mismo tiempo³⁶ (I, 9, 7a-7b).

- El universo se compone de esferas. Estas esferas se ordenan de la siguiente manera: la esfera de las estrellas fijas, luego la de Saturno, Júpiter, Marte, la Tierra rodeada por la Luna, Mercurio o Venus, y la esfera más interna es la del Sol, el cual está colocado cerca del centro del mundo. Acerca de Venus y Mercurio, Copérnico explica que, como dice Platón, al ser los cuerpos celestes oscuros y sólo brillar a causa de la luz del Sol, si estuvieran por debajo del Sol, brillarían hacia él y nosotros no los veríamos, o bien, lo eclipsarían. No obstante, ya que esto no sucede, es posible aseverar que estos planetas no pasan por debajo del Sol. El autor cita a Marciano Capella³⁷ quien explicó que Mercurio y Venus se mueven alrededor del Sol, por lo cual estos planetas no se separan más lejos del Sol que lo que les permite la curvatura de sus revoluciones. Por otro lado, Capella afirmó que ni Mercurio ni Venus envuelven a la Tierra, sino que tienen círculos opuestos. Para Copérnico, estos hechos son suficientes para demostrar que el Sol se halla en el centro y que este centro es el mismo para Tierra, Venus y Mercurio. El Sol permanece estático, entonces cualquier movimiento que parezca del Sol se debe más bien de la Tierra. La distancia entre la Tierra y el Sol imperceptible en relación con la inmensidad de la esfera de las estrellas

³⁶ Kuhn explica que, por la influencia de la corriente filosófica neoplática, Copérnico le otorga al Sol una importancia especial, pues equipara a este astro con una divinidad, y esto permite que pueda llegar a considerarlo el centro del universo (Kuhn, 1978).

³⁷ Copérnico alude a la enciclopedia que escribió este autor.

fijas. Asimismo, Copérnico habla de la posibilidad de medir la longitud de las esferas por el tiempo que tardan en recorrer una vuelta al Sol (I, 10, 7b-10a).

- La Tierra tiene tres movimientos. En primer lugar, Copérnico refiere la rotación, *νοχθήμερον*, causante de día y noche, de oeste a este, describe el ecuador. En segundo lugar, se describe un movimiento de inclinación anual del eje terrestre, el cual traza la eclíptica alrededor del Sol en dirección de oeste a este, esto es, en orden del zodiaco. Viaja entre Venus y Marte, en conjunto con sus asociados, por ello el Sol parece moverse a través del zodiaco con un movimiento semejante. El ecuador y el eje de la Tierra, tienen una inclinación variante con este círculo que va a través de los signos, y a su plano. Este movimiento está relacionado con las estaciones, solsticios y equinoccios. Por último, se describe el movimiento anual terrestre del sistema copernicano, movimiento que ocurre en el orden inverso a los signos zodiacales, y en dirección opuesta del movimiento del centro. Tanto este como el movimiento anterior de la eclíptica, son movimientos iguales en duración, distintos en dirección. El resultado es que el eje de la Tierra y el ecuador, el más grande de los paralelos de latitud en ella, dan la cara casi a la misma porción de los cielos, como si éstos permanecieran sin movimiento. Mientras, el Sol parece moverse a través de la oblicuidad de la eclíptica con el movimiento del centro de la Tierra, como si fuera el centro del universo, pues hay que recordar que, a comparación con la esfera de las fijas, la distancia entre el Sol y la Tierra es muy pequeña. Copérnico lleva a cabo demostraciones geométricas³⁸ (I, 11, 10a-12a).

³⁸ En esta sección, el autor menciona a los astrónomos griegos Filolao y Aristarco, quienes hablan del movimiento terrestre, y a quienes Aristóteles refuta posteriormente. Por otro lado, se ofrece una versión de la

Hasta ahora se ha desarrollado la manera en que los pensadores griegos de la Antigüedad, cuyos trabajos han llegado hasta la actualidad, explicaban la estructura del universo mediante observaciones del cielo, sin importar las diferencias de época, corriente filosófica, o enfoque de estos autores. De esta manera, la cosmología occidental que descende de la cosmología griega ha estado ampliamente determinada por la astronomía.

Desde el siglo VI a.C., los filósofos griegos jonios intentaron dilucidar la composición del universo y su organización, las leyes por las cuales se regían los movimientos de los astros, la posición de la Tierra en el mundo, etc. Por su parte, los pitagóricos se dedicaron a estudiar las relaciones entre el mundo y las matemáticas, el orden y la armonía de la naturaleza, la forma perfecta de sus componentes, la geometría, límites y proporción de sus partes, y establecieron dogmas que rigieron los planteamientos cosmológicos posteriores, por ejemplo, el círculo (o la esfera) como característica inmanente del universo y de su movimiento. Por otro lado, los filósofos pitagóricos exaltaron la divinidad y bondad del mundo, su esfericidad y la de los cuerpos que lo integran.

En su cosmología, durante el siglo V, Platón retomó de los pitagóricos los planteamientos de belleza y perfección. En el diálogo del *Timeo*, Platón manifiesta que el mundo fue generado por una divinidad bella y buena, el Demiurgo inteligente, quien lo creó a su propia semejanza, por lo cual es eterno, perfecto, único, inmutable e incorruptible. El universo platónico se compone de los cuatro elementos y es esférico, suave, liso, y los cuerpos contenidos dentro de él describen movimientos circulares uniformes.

carta de Lysias a Hiparco, la cual constituye una alabanza a los pitagóricos y también un vituperio a quienes los contradijeron.

Estas ideas de perfección, esfericidad y armonía, fueron conservadas por Aristóteles en el s. IV a.C., pero éste desarrolla una cosmología propia congruente con su filosofía y su física. En las obras *Física*, *Metafísica* y *Acerca del cielo*, el Filósofo describe su sistema y confiere al universo las características de finitud, unicidad, perfección, esfericidad, composición heterogénea, jerarquía, eternidad, geostatismo, geocentrismo. Además, rechaza los planteamientos de algunos filósofos que sostenían la movilidad terrestre. Los fundamentos de este sistema se construyeron de manera sólida, en gran medida apoyándose en las teorías aristotélicas físicas y del movimiento, lo cual contribuyó a que este sistema se convirtiera en el aceptado por la mayoría de los filósofos y astrónomos posteriores. Sin embargo, la propuesta cosmológica de Aristóteles flaqueaba, pues era insuficiente para darle explicación a los movimientos celestes, particularmente a los de los planetas errantes. Por ello, la actividad astronómica no cesó en los siglos siguientes, sino que se incrementó con la esperanza de poder dar respuesta a tales problemas.

Para el siglo II d. C., época del Egipto greco-romano, en la ciudad de Alejandría incrementaron los estudios científicos astronómicos y se desarrollaron nuevos y más precisos instrumentos de medición. Las escuelas y bibliotecas se vieron enriquecidas por la multiculturalidad de la ciudad, y los astrónomos pudieron tener acceso a documentos antiguos que contenían información sobre astronomía y metodologías babilónicas sobre la observación de los astros y sus posiciones. Durante este periodo, con Claudio Ptolomeo, la matematización de la astronomía griega y del sistema geocéntrico griego alcanzaron su auge al incorporar, en la medida de lo posible, los principios físicos aristotélicos a los problemas astronómicos y al explicar el mundo mediante la geometría y las matemáticas. La obra titulada *Almagesto* escrita por Ptolomeo es el testimonio más acabado de este tipo de

cosmología científica matemática. El texto describe el sistema ptolemaico, según el cual el mundo es una esfera, la Tierra es un pequeño punto dentro de los cielos, que permanece inmóvil en el centro del universo, el Sol, la Luna, los planetas y las estrellas giran alrededor de ella en círculos y epiciclos, mientras que los cielos se mueven con un movimiento circular uniforme y eterno.

Ptolomeo ejerció una enorme influencia y autoridad en la astronomía posterior, durante toda la Edad Media y hasta siglos XVIII y XIX. De hecho, el trabajo de Nicolás Copérnico en el siglo XVI, si bien generó nuevas ideas acerca de la estructura y leyes mediante las que se rige el *κόσμος*, está fuertemente inscrito dentro de la astronomía tradicional de Aristóteles y Ptolomeo. No obstante, aportó una mejor y más precisa solución en términos de simplicidad al viejo problema del movimiento planetario. Copérnico dota al universo de las siguientes características: esfericidad tanto del cielo como de la Tierra; movimiento circular y eterno de los cuerpos celestes; la Tierra no está en el centro del universo, sino el Sol; el universo se compone de esferas; la magnitud terrestre es diminuta en comparación con la del cielo; la Tierra posee tres tipos de movimientos, mientras que el cielo permanece inmóvil, lo cual explica el movimiento aparentemente irregular de los astros.

De manera general, el sistema cosmológico de Copérnico difiere del aristotélico y del ptolemaico únicamente en la posición y movilidad terrestre, y en la inmovilidad celeste, sin embargo, mantiene numerosos elementos de sus predecesores: la forma y magnitud de la Tierra; la forma del universo; el movimiento circular de los cuerpos celestes; la explicación de los movimientos aparentes mediante herramientas geométricas como epiciclos y ecuantas; y el universo compuesto de esferas. Por esta razón, historiadores de la ciencia en algunas ocasiones han argumentado, de manera muy elocuente, que Copérnico no hace sino continuar

la cosmología de la Antigüedad.³⁹ No obstante, en el siguiente capítulo se analizará la manera en que la concepción distinta de movimiento de cada uno de los autores, es decir, Aristóteles, Ptolomeo y Copérnico, será un elemento determinante que abrirá la posibilidad a Copérnico de plantearse una ordenación del *κόσμος* distinta de la que se tenía, y de proponer formalmente una alternativa al sistema tradicional, con lo cual, inevitablemente manifestará una idea de mundo diferente de la tradicional.

³⁹ Tal es el caso de los historiadores de orientación continuista que han estudiado este periodo.

5. Movimiento

El objetivo de este capítulo es analizar el concepto de movimiento, de manera que se pueda establecer las similitudes y diferencias de este concepto en Aristóteles, Ptolomeo y Copérnico. Este análisis contribuirá a la comprensión de la cosmovisión de cada uno de los autores, pues el concepto de movimiento se relaciona directamente con su idea del mundo y es, de hecho, el concepto que fundamenta dichas cosmovisiones. El análisis se llevará a cabo a partir de las obras *Física* y *Acerca del cielo* de Aristóteles, el *Almagesto* de Ptolomeo y *Sobre las revoluciones de los orbes celestes* de Copérnico.

Para la realización de este análisis se consideraron principalmente tres categorías conceptuales: “definición”, “extensión” y las “suposiciones” que hay detrás de las concepciones de *movimiento* que tienen los autores de quienes trata el presente trabajo. La elección de dicha metodología responde a la pretensión de examinar a detalle las partes constitutivas de un “concepto”, de manera que sea posible conocer sus características y extraer, así, conclusiones. La “definición” consiste en aquello que entiende el autor por movimiento: “qué es”. La “extensión” comprende todas aquellas cosas que abarca el concepto de movimiento, en otras palabras, cualquier cosa que el autor considere movimiento (se puede preguntar, por ejemplo, si hay cosas que cuenten como movimiento para Aristóteles que para Copérnico no y viceversa). Para la extensión, se tomará en cuenta la definición de movimiento y se establecerá qué cosas satisfarían o no esa definición en cada autor. En la categoría de “suposiciones” se analizarán las creencias que cada autor da por hecho en la definición y en la extensión del concepto de movimiento, es decir, las ideas sobre la estructura y funcionamiento del mundo. De esta manera, el análisis se enfocará primero en las

diferencias en definición y extensión, para posteriormente explicar tales diferencias en términos de las suposiciones de los autores acerca del mundo.

5.1. Definición

La explicación aristotélica acerca del movimiento se encuentra, en su mayoría, en la *Física*, libro III, y su definición de movimiento se expone particularmente en los fragmentos 201a 10-11, 27-29 y 201b 4-5: “ἕκαστον γένος τοῦ μὲν ἐντελεχείᾳ τοῦ δὲ δυνάμει, ἢ τοῦ δυνάμει ὄντος ἐντελέχεια, ἢ τοιοῦτον, κίνησις ἐστὶν [...]” (201a 10-11)⁴⁰; “ἢ δὲ τοῦ δυνάμει ὄντος <ἐντελέχεια>, ὅταν ἐντελεχείᾳ ὄν ἐνεργῆ οὐχ ἢ αὐτὸ ἀλλ’ ἢ κινητόν, κίνησις ἐστὶν.” (201a 27-29)⁴¹; “[...] οὗ δυνάμει ὄντος <ἐντελέχεια>, ἐχθρα φανερόν ὅτι κίνησις ἐστὶν” (201b 4-5).⁴²

Aristóteles sostiene que hay dos distintas modalidades del ser, actualidad y potencialidad, *ἐντελέχεια* y *δύναμις*, y el movimiento, *κίνησις*, o en ocasiones *μεταβολή*, es la transición entre ambas. Es decir, cualquier objeto de la naturaleza “es” algo y “puede llegar a ser” algo. Por ejemplo, el animal cuadrúpedo, felino que maúlla es “en acto” un gato, y al mismo tiempo es “en potencia” un gato anciano. En este caso, se llamaría *κίνησις* al proceso de envejecimiento por medio del cual un gato actualiza lo que es en potencia, y llega a ser un gato anciano. El envejecimiento es uno de los ejemplos con los que El Filósofo explica el significado de *κίνησις*: “ὅτι δὲ τοῦτο ἔστιν ἢ κίνησις, ἐντεῦθεν δῆλον. ὅταν γὰρ τὸ οἰκοδομητόν, ἢ τοιοῦτον αὐτὸ λέγομεν εἶναι, ἐντελεχείᾳ ἢ, οἰκοδομεῖται, καὶ ἔστιν τοῦτο

⁴⁰ “Y puesto que distinguimos en cada género lo actual y lo potencial, el movimiento es la actualidad de lo potencial en cuanto a tal [...]” (trad. Guillermo R. de Echandía)

⁴¹ “El movimiento es, pues, la actualidad de lo potencial, cuando al estar actualizándose opera no en cuanto a lo que es en sí mismo, sino en tanto que es movable.” (trad. Guillermo R. de Echandía)

⁴² “[...] el movimiento es la actualidad de lo potencial en tanto que potencial.” (trad. Guillermo R. de Echandía)

οικοδόμησις· ὁμοίως δὲ καὶ μάθησις καὶ ἰάτρευσις καὶ κύλισις καὶ ἄλσις καὶ ἄδρυνσις καὶ γήρανσις”⁴³ (201a 15-19).

Como Aristóteles mismo menciona (201b 33- 202a 2), es difícil captar la esencia del movimiento, pues se percibe como un acto pero que está incompleto; por otro lado, también puede resultar oscuro este pasaje si no se está familiarizado con la teoría física de Aristóteles. Más adelante, en el apartado *Suposiciones*, se abordará el tema con mayor detalle.

➤ Definición de movimiento para Aristóteles: Actualidad de la potencialidad.

Por su parte, Claudio Ptolomeo no ofrece en el *Almagesto* una definición precisa del movimiento; sin embargo, en el prefacio del libro I, realiza afirmaciones que permiten inferir algunas características del movimiento. En el párrafo 1,1.5 10-13, Ptolomeo refiere: “πάντων γὰρ τῶν ὄντων τὴν ὕπαρξιν ἔχόντων ἕκ τε ὕλης καὶ εἶδους καὶ κινήσεως χωρὶς μὲν ἑκάστου τούτων κατὰ τὸ ὑποκείμενον θεωρεῖσθαι μὴ δυναμένου, νοεῖσθαι δὲ μόνον [...]”⁴⁴

A partir de lo anterior, puede deducirse que, para el autor, el movimiento es una cualidad propia de todas las cosas existentes, y que se encuentra en conjunto con la forma y la materia.

⁴³ “Que esto es el movimiento se aclara con lo que sigue. Cuando lo construible, en tanto que decimos que es tal, está en actualidad, entonces está siendo construido: tal es el proceso de construcción; y lo mismo en el caso de la instrucción, la medicación, la rotación, el salto, la maduración y el envejecimiento.” (trad. Guillermo R. de Echandía)

⁴⁴ “Pues todas las cosas se conforman de materia, forma y movimiento; pero no es posible que cada uno de éstos sea observado en su substancia por separado, sino sólo pensado ” (trad. Estefanía Huelgas Morales)

Asimismo, en el prefacio Ptolomeo describe la filosofía teórica y realiza una diferenciación de sus partes, distinguiendo los objetos de estudio de cada una de estas partes.

Sobre la física y las matemáticas menciona lo siguiente:

τὸ δὲ τῆς ὑλικῆς καὶ αἰεὶ κινουμένης ποιότητος διερευνητικὸν εἶδος περὶ
τε τὸ λευκὸν καὶ τὸ θερμὸν καὶ τὸ γλυκὺ καὶ τὸ ἀπαλὸν καὶ τὰ τοιαῦτα
καταγιγνόμενον φυσικὸν ἂν καλέσειε τῆς τοιαύτης οὐσίας ἐν τοῖς
φθαρμοῖς ὡς ἐπὶ τὸ πολὺ καὶ ὑποκάτω τῆς σεληνιακῆς σφαίρας
ἀναστρεφομένης τὸ δὲ τῆς κατὰ εἶδη καὶ τὰς μεταβατικὰς κινήσεις
ποιότητος ἐμφανιστικὸν εἶδος σχήματός τε καὶ ποσότητος καὶ
πηλικότητος ἔτι τε τόπου καὶ χρόνου καὶ τῶν ὁμοίων ζητητικὸν
ὑπάρχον ὡς μαθηματικὸν [...] ⁴⁵ (1, 1.5 19 - 1, 1.6 3).

En este pasaje, el movimiento se trata como una cualidad de las cosas materiales, especialmente de las que se encuentran en la Tierra, en la región sublunar. También es una cualidad de las cosas que poseen forma, y es una característica que permite que las cosas pasen de un lugar a otro. Por otro lado, es objeto de estudio de ambas disciplinas, tanto de la física como de las matemáticas.

En el resto del libro I, la mayoría de las veces la palabra *κίνησις* se utiliza para designar variaciones de lugar y posición de los objetos, por ejemplo: “[...] δεῦτερον δὲ περὶ

⁴⁵ “Puede llamarse *física* al tipo [de filosofía teórica] que investiga la cualidad material y siempre en movimiento, al cual concierne lo “blanco”, lo “caliente”, lo “dulce”, lo “suave” y cosas de tal clase; tal esencia se encuentra principalmente entre los cuerpos destructibles y debajo de la esfera giratoria lunar. El tipo [de filosofía teórica] que expresa la cualidad en formas y movimientos de un lugar a otro, y que se dedica a investigar la figura, la cantidad, la magnitud, el lugar, el tiempo y cosas como éstas, [puede llamarse] *matemáticas*. ” (trad. Estefanía Huelgas Morales)

τῆς ἡλιακῆς κινήσεως καὶ τῆς σεληνιακῆς καὶ τῶν ταύταις ἐπισυμβαινόντων διεξελθεῖν.”⁴⁶
(1,1.9 3-5).

➤ Definición del movimiento para Ptolomeo: el movimiento es una cualidad de todas las cosas existentes, junto con la forma y la materia, y se relaciona principalmente con el lugar en que se encuentran dichas cosas.

A este respecto, al igual que Ptolomeo, Copérnico no realiza una descripción formal del movimiento, no obstante, se refiere a este concepto reiteradamente. En el texto *Sobre las revoluciones de los orbes celestes*, la palabra *motus* aparece para designar cambios en sentido locativo. Por ejemplo, así inicia el capítulo cuarto: “Quod motus corporum coelestium sit aequalis ac circularis, perpetuus, vel ex circularibus compositus. Post haec memorabimus corporum caelestium motum esse circularem. Mobilitas enim Sphaerae, est in circulum volvi [...]”⁴⁷ (I, 4, 2b).

Otro pasaje que arroja información para determinar el sentido en que Copérnico entiende el movimiento es el siguiente: “Omnis enim quae videtur secundum locum mutatio, aut est propter spectatae rei motum, aut videntis, aut certe disparem utriusque mutationem. Nam inter mota aequaliter ad eadem, non percipitur motus, inter rem visam dico, et videntem”⁴⁸ (I, 5,3b).

⁴⁶ “En segundo lugar, debe discutirse acerca del movimiento solar y lunar, y de las cosas que acompañan a estos [movimientos].” (trad. Estefanía Huelgas Morales)

⁴⁷ “Que el movimiento de los cuerpos celestes es uniforme, circular, o compuesto de movimientos circulares, y uniforme. Reparemos ahora en que el movimiento de los cuerpos celestes es circular. En efecto, el movimiento [natural] de la esfera es girar en círculos [...]” (trad. Doménec Bergadá)

⁴⁸ “En efecto, todo cambio de posición aparente proviene del movimiento de la cosa vista o del movimiento del espectador o de movimientos desiguales de ambos, espectador y objeto, pues cuando dos móviles gozan de

En el fragmento anterior, el movimiento está entendido como un cambio de posición, cuya apreciación depende del espectador y del objeto en movimiento.

➤ Definición de movimiento para Copérnico: cambio de posición de un objeto.

Es importante tomar en cuenta que la manera en que Aristóteles entiende el movimiento es amplia y compleja, y en esta sección se ha analizado únicamente una definición general. No obstante, es posible notar que la definición de movimiento de Aristóteles abarca una gama más extensa de fenómenos que las definiciones de Ptolomeo y Copérnico. Los dos últimos no abordan el tema expresamente y prácticamente sólo utilizan el concepto en sentido de traslación. Así pues, mientras que para Aristóteles el movimiento significa cualquier paso de la actualidad de un objeto hacia su potencialidad, para Ptolomeo el movimiento es una cualidad de las cosas relacionada con su lugar y para Copérnico es un cambio de posición.

5.2. Extensión

Al hablar de movimiento, Aristóteles se refiere a todo tipo de cambio, como se muestra a continuación:

Ἐπεὶ δ' ἡ φύσις μὲν ἐστὶν ἀρχὴ κινήσεως καὶ μεταβολῆς, ἡ δὲ μέθοδος
ἡμῖν περὶ φύσεώς ἐστι, δεῖ μὴ λανθάνειν τί ἐστὶ κίνησις· ἀναγκαῖον
γὰρ ἀγνοουμένης αὐτῆς ἀγνοεῖσθαι καὶ τὴν φύσιν. διορισσάμενοις δὲ
περὶ κινήσεως πειρατέον τὸν αὐτὸν ἐπελθεῖν τρόπον περὶ τῶν ἐφεξῆς.

movimientos iguales y paralelos es imposible percibir un movimiento relativo del uno respecto del otro". (trad. Doménec Bergadá)

[...] καὶ πρῶτον, καθάπερ εἶπαμεν, περὶ κινήσεως. ἔστι δὴ [τι] τὸ μὲν ἐντελεχεία μόνον, τὸ δὲ δυνάμει καὶ ἐντελεχεία, τὸ μὲν τόδε τι, τὸ δὲ τοσόνδε, τὸ δὲ τοιόνδε, καὶ τῶν ἄλλων τῶν τοῦ ὄντος κατηγοριῶν ὁμοίως. τοῦ δὲ πρὸς τι τὸ μὲν καθ' ὑπεροχὴν λέγεται καὶ κατ' ἔλλειψιν, τὸ δὲ κατὰ τὸ ποιητικὸν καὶ παθητικόν, καὶ ὅλως κινητικόν τε καὶ κινητόν· τὸ γὰρ κινητικὸν κινητικὸν τοῦ κινητοῦ καὶ τὸ κινητόν κινητόν ὑπὸ τοῦ κινητικοῦ. οὐκ ἔστι δὲ κίνησις παρὰ τὰ πράγματα· μεταβάλλει γὰρ αἰεὶ τὸ μεταβάλλον ἢ κατ' οὐσίαν ἢ κατὰ ποσὸν ἢ κατὰ ποιὸν ἢ κατὰ τόπον, κοινὸν δ' ἐπὶ τούτων οὐδὲν ἔστι λαβεῖν, ὡς φαμέν, ὃ οὔτε τόδε οὔτε ποσὸν οὔτε ποιὸν οὔτε τῶν ἄλλων κατηγορημάτων οὐθέν· ὥστ' οὐδὲ κίνησις οὐδὲ μεταβολὴ οὐθενὸς ἔσται παρὰ τὰ εἰρημένα, μηθενὸς γε ὄντος παρὰ τὰ εἰρημένα. ἕκαστον δὲ διχῶς ὑπάρχει πᾶσιν, οἷον τὸ τόδε (τὸ μὲν γὰρ μορφὴ αὐτοῦ, τὸ δὲ στέρησις), καὶ κατὰ τὸ ποιόν (τὸ μὲν γὰρ λευκὸν τὸ δὲ μέλαν), καὶ κατὰ τὸ ποσὸν τὸ μὲν τέλειον τὸ δ' ἀτελές. ὁμοίως δὲ καὶ κατὰ τὴν φορὰν τὸ μὲν ἄνω τὸ δὲ κάτω, ἢ τὸ μὲν κοῦφον τὸ δὲ βαρύ. ὥστε κινήσεως καὶ μεταβολῆς ἔστιν εἶδη τοσαῦτα ὅσα τοῦ ὄντος.⁴⁹ (200b

12- 201a 9).

⁴⁹ “Puesto que la naturaleza es un principio del movimiento y del cambio, y nuestro estudio versa sobre la naturaleza, no podemos dejar de investigar qué es el movimiento; porque si ignorásemos lo que es, necesariamente ignoraríamos también lo que es la naturaleza. Y después de que hayamos determinado qué es el movimiento, hemos de intentar investigar de la misma manera los problemas posteriores. [...] Comencemos, pues, como hemos dicho, por el movimiento. Las cosas –algunas sólo en acto, otras en potencia y en acto- son o un <esto> o una cantidad o una cualidad, y de la misma manera en las otras categorías de lo que es. En cuanto a las que son relativas a algo, se dicen según el exceso o el defecto, o según la actividad o la pasividad, o, en general según su capacidad de mover o de ser movida; porque lo que puede mover es tal con respecto a lo que puede ser movido, y lo que puede ser movido es tal con respecto a lo que puede mover. Ahora bien, no hay movimiento fuera de las cosas, pues lo que cambia siempre cambia o sustancialmente o cuantitativamente o cualitativamente o localmente, y, como hemos dicho, no hay nada que sea común a tales cambios y no sea un <esto> o una cantidad o una cualidad o alguna de las otras categorías. Así pues, no hay movimiento ni cambio fuera de lo que hemos dicho, ya que no hay ninguno que se encuentre fuera de lo que hemos dicho. Cada una de estas categorías está presente en las cosas de dos maneras: por ejemplo, con respecto a un <esto>, en su

A partir de este fragmento, es claro que *κίνησις* y *μεταβολή* son dos conceptos estrechamente relacionados que pueden ser incluso sustituibles uno por el otro. Son expuestos, ambos, como resultado de la acción de la *φύσις*, y como imprescindibles en el estudio de ésta. Asimismo, el autor menciona la dependencia que existe entre moviente y movido, es decir, el ser movable está determinado por el moviente y viceversa, lo cual tiene que ver con la extensión del concepto del movimiento, pues, según este fragmento, para asignarle a algo la característica de movimiento tiene que relacionársele con un segundo término de referencia (lo moviente es moviente en tanto que mueve otra cosa).

Por otro lado, tanto movimiento como cambio son característicos de todos los seres y se manifiestan en las categorías del ser, por lo cual, es posible identificar los distintos tipos de movimiento y cambio, que son: sustancial, cualitativo, cuantitativo y local. Este aspecto del movimiento, vuelve a abordarse en el libro V, capítulo 2, en el cual Aristóteles confirma lo anterior y profundiza en el tema. Luego de hablar acerca de las distintas posibilidades en que se manifiestan los cambios, es decir, la generación, la destrucción y el cambio de un sujeto a un sujeto, el autor expone:

ἐπει δὲ πᾶσα κίνησις μεταβολή τις, μεταβολαὶ δὲ τρεῖς αἰ εἰρημέναι,
τούτων δὲ αἰ κατὰ γένεσιν καὶ φθορὰν οὐ κινήσεις, αὗται δ' εἰσὶν αἰ
κατ' ἀντίφασιν, ἀνάγκη τὴν ἐξ ὑποκειμένου εἰς ὑποκείμενον
μεταβολὴν κίνησιν εἶναι μόνην. τὰ δ' ὑποκείμενα ἢ ἐναντία ἢ μεταξὺ
(καὶ γὰρ ἡ στέρησις κείσθω ἐναντίον), καὶ δηλοῦται καταφάσει, τὸ
γυμνὸν καὶ νωδὸν καὶ μέλαν. εἰ οὖν αἰ κατηγορίαι διήρηται οὐσία

forma o su privación; con respecto a la cualidad, en lo blanco o negro, con respecto a la cantidad, en lo completo o lo incompleto; y de la misma manera con respecto al desplazamiento en el arriba o el abajo, lo pesado o lo ligero. Por consiguiente, las especies del movimiento y del cambio son tantas como las del ser.” (trad. Guillermo R. de Echandía)

καὶ ποιότητι καὶ τῷ ποῦ [καὶ τῷ ποτε] καὶ τῷ πρὸς τι καὶ τῷ ποσῷ καὶ
τῷ ποιεῖν ἢ πάσχειν, ἀνάγκη τρεῖς εἶναι κινήσεις, τὴν τε τοῦ ποιοῦ καὶ
τὴν τοῦ ποσοῦ καὶ τὴν κατὰ τόπον.⁵⁰ (225a 34- 225b 9).

Acerca de la denominación para cada tipo de movimiento, Aristóteles escribe:

ἢ μὲν οὖν κατὰ τὸ ποιὸν κινήσεις ἀλλοιώσεις ἔστω· (226a 26-27) [...] ἢ δὲ
κατὰ τὸ ποσὸν τὸ μὲν κοινὸν ἀνόνημος, καθ' ἑκάτερον δ' αὐξήσεις καὶ
φθίσεις, ἢ μὲν εἰς τὸ τέλειον μέγεθος αὐξήσεις, ἢ δ' ἐκ τούτου φθίσεις. ἢ δὲ
κατὰ τόπον καὶ τὸ κοινὸν καὶ τὸ ἴδιον ἀνόνημος, ἔστω δὲ φορὰ
καλουμένη τὸ κοινόν.⁵¹ (226a 29-33).

Como se mencionó anteriormente, construcción, instrucción, medicación, rotación, salto, maduración y envejecimiento son algunos de los ejemplos que Aristóteles ofrece del movimiento, con lo cual, además de lo expuesto en las páginas precedentes, es posible notar que el sentido con el que Aristóteles utiliza el concepto de movimiento es bastante amplio.

➤ Extensión de movimiento para Aristóteles: el concepto movimiento comprende cualquier cambio de cualidad, cantidad, lugar y sustancia.⁵²

⁵⁰ “Puesto que todo movimiento es un cambio, y ya se ha dicho que sólo hay tres clases de cambios, y puesto que los cambios según la generación y la destrucción no son movimientos sino cambios por contradicción, se sigue entonces que sólo el cambio que sea de un sujeto a un sujeto puede ser un movimiento. En cuanto a los sujetos, o son contrarios o son intermedios; pues la privación ha de entenderse como un contrario, y puede expresarse mediante un término positivo, como <desnudo>, <blanco>, <negro>. Así pues, si las categorías se dividen en sustancia, cualidad, lugar, tiempo, relación, cantidad, acción y pasión, tiene que haber entonces necesariamente tres clases de movimientos: el cualitativo, el cuantitativo y el local.” (trad. Guillermo R. de Echandía)

⁵¹ “Al movimiento cualitativo lo llamamos *alteración* [...] Para el movimiento cuantitativo no tenemos un nombre común, y según sea el caso lo llamamos <aumento> o <disminución>: un aumento es un movimiento hacia una magnitud completa, y una disminución lo es desde esa magnitud completa. En cuanto al movimiento local no tenemos un nombre común, ni tampoco particular para designarlo; lo llamaremos en general <desplazamiento> [...]”. (trad. Guillermo R. de Echandía)

⁵² La concepción de *κίνησις* como *μεταβολή* es anterior a Aristóteles y puede identificarse en algunos textos como los fragmentos de Parménides y en el *Teeteto* de Platón.

En cuanto a la extensión del concepto de movimiento en el primer libro del *Almagesto* de Ptolomeo, resulta evidente que el autor utiliza *κίνησις* únicamente con un sentido locativo, tal y como se muestra a continuación:

[...] καὶ ὅτι ἡ γῆ τῷ μὲν σχήματι καὶ αὐτὴ σφαιροειδῆς ἐστὶν πρὸς αἴσθησιν ὡς καθ' ὅλα μέρη λαμβανομένη, τῇ δὲ θέσει μέση τοῦ παντὸς οὐρανοῦ κεῖται κέντρῳ παραπλησίως, τῷ δὲ μεγέθει καὶ τῷ ἀποστήματι σημείου λόγον ἔχει πρὸς τὴν τῶν ἀπλανῶν ἀστέρων σφαῖραν αὐτὴ μηδεμίαν μεταβατικὴν κίνησιν ποιουμένη.⁵³ (1, 1.9.19-1, 1.10.1).

Otro ejemplo: “Κατὰ τὰ αὐτὰ δὲ τοῖς ἔμπροσθεν δειχθήσεται, διότι μηδ' ἦντινοῦν κίνησιν εἰς τὰ προειρημένα πλάγια μέρη τὴν γῆν οἷόν τε ποιεῖσθαι ἢ ὅλως μεθίστασθαί ποτε τοῦ κατὰ τὸ κέντρον τόπου.”⁵⁴ (1,1.21.9-12) En ambos fragmentos, la palabra *κίνησις* denota un cambio de lugar, y está referida al movimiento terrestre o, en este caso, a su inmovilidad.

Por otro lado, en el prefacio, Ptolomeo realiza una alabanza a las matemáticas en la cual expresa que esta disciplina es capaz de contribuir a las otras dos partes de la filosofía teórica, es decir a la teología y la física:

⁵³ “[...] y que la tierra es de forma esférica según la percepción sensorial, cuando se toma como una porción entera; en colocación, [la tierra] yace en medio tal como un centro; en dimensión y en distancia, ésta tiene la razón de un punto en comparación con la esfera de las estrellas fijas, sin realizar ningún movimiento de lugar en lugar.” (trad. Estefanía Huelgas Morales)

⁵⁴ “Puede demostrarse, conforme a los mismos [argumentos] que los anteriores, que no es posible que [la tierra] realice ningún movimiento en las direcciones oblicuas antes mencionadas, o que en absoluto cambie en algún momento su lugar en el centro.” (trad. Estefanía Huelgas Morales)

[...] τό τε γὰρ θεολογικὸν εἶδος αὕτη μάλιστ' ἂν προοδοποιήσῃε μόνη γε
δυναμένη καλῶς καταστοχάζεσθαι τῆς ἀκινήτου καὶ χωριστῆς
ἐνεργείας ἀπὸ τῆς ἐγγύτητος τῶν περὶ τὰς αἰσθητὰς μὲν καὶ κινούσας
τε καὶ κινουμένας, αἰδίου δὲ καὶ ἀπαθεῖς οὐσίας συμβεβηκότων περὶ
τε τὰς φορὰς καὶ τὰς τάξεις τῶν κινήσεων· πρὸς τε τὸ φυσικὸν οὐ τὸ
τυχὸν ἂν συμβάλλοιτο· σχεδὸν γὰρ τὸ καθόλου τῆς ὑλικῆς οὐσίας
ἴδιον ἀπὸ τῆς κατὰ τὴν μεταβατικὴν κίνησιν ιδιοτροπίας
καταφαίνεται, ὡς τὸ μὲν φθαρτὸν αὐτὸ καὶ τὸ ἄφθαρτον ἀπὸ τῆς
εὐθείας καὶ τῆς ἐγκυκλίου, τὸ δὲ βαρὺ καὶ τὸ κοῦφον ἢ τὸ παθητικὸν
καὶ τὸ ποιητικὸν ἀπὸ τῆς ἐπὶ τὸ μέσον καὶ τῆς ἀπὸ τοῦ μέσον.⁵⁵ (1,1.7
4-17).

En este fragmento, se hace una diferenciación entre las cosas divinas y las que no lo son, a las primeras se les atribuyen movimiento circular y a las segundas en línea recta. Así pues, el concepto movimiento engloba el desplazamiento en círculo (rotación) o en línea recta (arriba, abajo, adelante, atrás). Por otro lado, Ptolomeo relaciona el movimiento con el peso o ligereza de las cosas, con su actividad o pasividad y con la dirección hacia la cual se desplazan. Además, es importante notar que el movimiento de lugar en lugar (*μεταβατικὴ κίνησις*)⁵⁶ es lo que permite conocer la naturaleza de las cosas, y éste puede ser estudiado por

⁵⁵ “Pues ésta [disciplina] (las matemáticas) puede en gran medida preparar el camino para la parte teológica [de la filosofía teórica], pues es la única que puede inferir bien la actividad inmóvil y separada, con la cercanía a los atributos relacionados con las substancias, por un lado perceptibles, tanto movientes como movidas, y por otro eternas e inmutables, [atributos relacionados] con los traslados y con los ordenamientos de los movimientos. También para la física, [las matemáticas] pueden contribuir no al azar. Pues casi lo propio de la substancia material en general se da a conocer por las cualidades peculiares de su movimiento de lugar en lugar. De este modo, [puede distinguirse] lo destructible y lo indestructible [por su movimiento] en línea recta o en círculo, y lo pesado y lo ligero, o lo pasivo y lo activo, [por su movimiento] hacia el centro o fuera del centro.” (trad. Estefanía Huelgas Morales)

⁵⁶ El verbo *μεταβαίνω* indica la acción de pasar de un lugar a otro. (Liddell, Henry George Scott, 1940)

las matemáticas, que es lo que de hecho hace el propio Ptolomeo en el *Almagesto*: describir matemáticamente las trayectorias y movimientos de los cuerpos celestes.

➤ Extensión de movimiento para Ptolomeo: el concepto de movimiento comprende cualquier tipo de acción mediante la cual un objeto pasa de un lugar a otro.

Por su parte, para argumentar a favor del movimiento terrestre, Copérnico menciona: “His sane et similibus causis aiunt terram in medio mundi quiescere, et proculdubio sic se habere. Verum si quispiam volvi terram opinetur, dicet utique motum esse naturalem, non violentum”⁵⁷ (I,8, 5b). Con esta afirmación, el autor contrapone el verbo *quiescere*, cuyo significado es “reposar”, permanecer “quieto” o “inactivo”, con la palabra *motus* y el verbo *volvere*, que significa andar, circular, girar, dar vueltas. De esta manera, es notorio que *motus* se usa una vez más en sentido de lugar

Otro ejemplo del uso y la extensión del movimiento en *Sobre las revoluciones de los orbes celestes*, es: “Quoniam fluitante sub tranquillitate navigio, cuncta quae extrinsecus sunt, ad motus illius imaginem moveri cernuntur a navigantibus, ac vicissim se quiescere putant cum omnibus quae secum sunt”⁵⁸ (I, 8, 6a).

➤ Extensión de movimiento para Copérnico: el concepto de movimiento comprende cualquier tipo de acción mediante la cual un objeto pasa de un lugar a otro.

⁵⁷ “Por éstas y otras razones similares, afirman que la Tierra permanece inmóvil en el centro del universo y que no hay ningún género de duda al respecto. Pero si alguno opinara que la Tierra se mueve, ciertamente diría que su movimiento es natural, no violento.” (trad. Domènec Bergadá)

⁵⁸ “Cuando un navío flota en un mar encalmado, sus tripulantes creen que todas las cosas exteriores están en movimiento mientras que ellos y todo cuanto hay en la nave permanece en reposo, pero en realidad es ésta la que se mueve.” (trad. Domènec Bergadá)

Así pues, acerca de la extensión del concepto de movimiento en los tres autores de los que trata este trabajo, es posible encontrar diferencias significativas. Para Aristóteles, el movimiento, en cuanto a que se refiere a la cualidad de las cosas mediante la cual éstas pasan de lo actual a lo potencial, comprende cualquier tipo de cambio, que puede ser de cualidad, cantidad, lugar y sustancia. Para Ptolomeo, al igual que para Copérnico, el cambio al que se le identifica como movimiento es únicamente la acción mediante la cual un objeto pasa de un lugar a otro, es decir, cambio de lugar. A partir de lo anterior, es posible notar que el movimiento para Aristóteles no sólo abarca una gama más amplia de fenómenos, sino que se encuentra, en mayor medida que para Ptolomeo y Copérnico, vinculado a la naturaleza misma de los objetos movientes. Esta diferencia en la concepción de movimiento de los tres autores repercute fundamentalmente en sus ópticas sobre el mundo, tal como se analizará en la siguiente sección.

5.3. Suposiciones

A pesar de haber sido discípulo de Platón, Aristóteles no lograba conciliar su propio sentido común con la filosofía platónica de las ideas ni con la postura de que el mundo en el que vivimos no es real. Por ello, en un esfuerzo por apartarse de sus maestros, Aristóteles se inclinó por el estudio de los hechos empíricos con un punto de vista regido por el sentido común. La filosofía de Aristóteles era un intento de comprender el mundo natural (Guthrie, 1953).

Explicar el cambio y el movimiento era la tarea más importante para Aristóteles, y la que requería más estudio y dedicación. Por esta razón, Aristóteles renuncia a la filosofía de las "ideas" de Platón, pues ésta no ayudaba a explicar los fenómenos del movimiento y del cambio. En un mundo lleno de alteraciones e inconsistencias, la intención de Aristóteles era buscar en qué radicaba la estabilidad (Guthrie, 1953).

A pesar de su tendencia a oponerse a Platón y Sócrates, en lo fundamental Aristóteles nunca deja de ser platónico y de presentar un pensamiento dirigido hacia la aspiración. Su punto de vista era teleológico, es decir que buscaba la verdadera causa o explicación de las cosas en su finalidad, no en el principio. Asimismo, Aristóteles conserva la convicción platónica de que la realidad reside en la forma y no en la materia. Es decir, para lograr comprender qué es el mundo no debe indagarse de qué está hecho, si no cómo está hecho y de qué manera se manifiesta su esencia (Guthrie, 1953).

El carácter teleológico de la filosofía aristotélica se manifiesta en su idea de Dios. El Dios aristotélico es el ente relacionado con la creencia de que la actividad del mundo natural existe por influencia de una finalidad o una perfección. Para él, la escala de valores al hacer una comparación no puede ser relativa, sino que se necesita un modelo de perfección mediante el cual pueden ser juzgadas las cosas. Por ello, el filósofo plantea que cada cosa existente en este mundo debe tener un padre o autor que la engendre y que le sirva de modelo. Dicho modelo, o Dios, ha existido desde la eternidad y es la representación de la absoluta perfección de la forma pura. Cuando una criatura hace lo mejor posible para su propia forma específica, puede decirse que imita la perfección de Dios, y la *φύσις* es aquello que la impulsa. La naturaleza tiene como finalidad (*τέλος*) asemejarse a esta divinidad (Guthrie, 1953).

Para comprender cabalmente el uso aristotélico del concepto de *movimiento*, en términos de su punto de vista teleológico, resulta conveniente remitirse a lo que el historiador W.K.C. Guthrie llama la teoría final del movimiento de Aristóteles, en su introducción a *Acerca del cielo*. Según Guthrie, para Aristóteles un objeto no puede moverse por sí mismo, y todo lo que se encuentra en movimiento es movido por algo más. No hay movimiento que se genere sin causa alguna, ni existen motores que sean a su vez movidos. Esto se debe a que el movimiento está definido como la actualización de una potencialidad, y el agente de actualización está en actualidad con respecto al movimiento en cuestión. En otras palabras, el agente debe encontrarse en el estado hacia el cual el movimiento del paciente está tendiendo. A partir de este razonamiento se plantea que la causa del movimiento debe ser algo capaz de provocarlo mientras se mantiene inmóvil. A esta causa del movimiento se le denomina como motor inmóvil,⁵⁹ o el Dios aristotélico. (Guthrie, 1942) La divinidad aristotélica ha de ser eterna y perfecta al igual que el universo. Así mismo, Dios es la primera causa a la cual deben su ser todas las causas del movimiento y de cambio de este mundo. Esto explica por qué Aristóteles consideraba que Dios es la causa que mantiene en movimiento giratorio a los cuerpos celestes.

En la sección *Definición* de este capítulo, se expuso la definición del movimiento para Aristóteles, según la cual el movimiento es la actualidad de una potencialidad. Aristóteles utiliza la palabra *ἐντελέχεια* para referirse a dicha actualidad. Es necesario comprender esta

⁵⁹ El principio del movimiento aristotélico parece encerrar una contradicción, pues en ocasiones, Aristóteles lo plantea como auto-generado, a veces como un motor externo, esto es, como un movimiento inmanente o como un movimiento trascendente (el motor inmóvil). Guthrie explica en la introducción a *Acerca del cielo*, que la doctrina del motor inmóvil fue un desarrollo y no una contradicción de la doctrina de la causa interna del movimiento. (Guthrie, 1942)

palabra fundamental en el concepto aristotélico del movimiento. *Ἐντελέχεια* es un sustantivo que significa “completo”, “realidad completa”, y que encierra el sentido de “alcanzar” o de “llegar a un final”. Este sustantivo se compone de la preposición *ἐν* y de la palabra *τέλος*, que quiere decir “realización”, “cumplimiento”, “consumación”, “fin”, “más alto grado”, “cima”, “perfección”. A partir de esto, se evidencia la filosofía teleológica de Aristóteles una vez más, es decir la explicación de los fenómenos mediante la acción de una naturaleza de la finalidad (Sachs, n.d.).

Así pues, Aristóteles encuentra en la idea de la divinidad perfecta y del motor inmóvil la estabilidad de la naturaleza y la explicación de cómo funciona el mundo, necesaria para la mente humana. Por otro lado, sobre este mismo razonamiento, incorpora la idea de potencialidad, *δύναμις*, a su concepción de movimiento (Guthrie, 1942).

Los predecesores de Aristóteles habían planteado el problema de cómo concebir el movimiento y el cambio⁶⁰ por lo cual Aristóteles optó por solucionarlo presentando dos acepciones del ser: ser potencial y ser actual. Guthrie, en *Los filósofos griegos*, ejemplifica este punto con el caso de un embrión, que es un pedazo de materia que “puede” ser un hombre, es decir, el embrión es un *substratum* privado de la forma “hombre”. Ese pedazo de materia es en actualidad un embrión, y es también un hombre en potencia. Esta visión dinámica de la naturaleza, fundamentada en los conceptos de *δύναμις* (potencialidad) y *ἐνέργεια* o *ἐντελέχεια* (actualidad) domina todo el sistema aristotélico (Guthrie, 1953). El movimiento es esa transición hacia la potencialidad, es el hecho de hacer “actual” algo que

⁶⁰ Heráclito, Parménides, Empédocles, Anaxágoras y Demócrito, entre otros, trataron el tema del movimiento y algunos de ellos encontraban problemas para explicarlo, por ejemplo, la dificultad de confiar en nuestros sentidos como testigos de la naturaleza. Cf. Guthrie, *Los filósofos griegos*, “El problema del movimiento”.

es “potencial”, como el hecho de que un embrión haga actual su potencialidad de ser hombre. La *δύναμις* necesita un estímulo externo para desarrollarse, y tal incentivo es Dios. El Dios aristotélico no contiene el elemento de potencialidad, por lo cual no puede experimentar movimiento, y se caracteriza por ser inmóvil, inmutable, eterno y perfecto. En resumen, la *κίνησις* se entiende como el proceso de desarrollarse y adquirir actualidad. Dios despierta las fuerzas latentes de la naturaleza, que busca alcanzarlo e imitarlo, y la *δύναμις* es el impulso de la naturaleza para realizar la forma y función debida (Guthrie, 1953).

El principio del movimiento de las cosas se encuentra dentro de los objetos naturales y de su potencia, que es la capacidad natural que se realiza en el acto del movimiento mismo. Sin embargo, un objeto en movimiento puede estar realizando su capacidad natural o un movimiento forzado contrario a su naturaleza. Así pues, el movimiento tiene tres distintas manifestaciones: 1) la natural; 2) la guiada por el moviente externo, que energiza la naturaleza del movido por la virtud de él mismo haber alcanzado la meta a la cual el último se inclina; y 3) la fuerza externa que mueve a lo movido de manera innatural (Guthrie, 1942).

Por otro lado, el movimiento natural, especialmente el de lugar, está relacionado con la materia de la cual se compone el elemento desplazado, y depende de esta materia. Aristóteles menciona algunas generalidades sobre la pesadez y la levedad en el libro cuarto de *Acerca del cielo*. En éste, refiere que lo leve es aquello que se desplaza hacia arriba, mientras que lo pesado es aquello que se desplaza hacia abajo, entendiendo “arriba” como la extremidad del universo, y “abajo” como su centro. Los elementos de los que se componen los cuerpos naturales de la región sublunar son tierra, agua, aire y fuego. Cada cuerpo que se desplaza hacia su lugar propio se dirige hacia su propia forma específica. Por esta razón las cosas graves, compuestas de tierra y agua se desplazan hacia el centro, mientras que las leves,

compuestas de aire y fuego se alejan de él. Por su parte, los cuerpos celestes, en la región supralunar, están compuestos de éter, *αἰθήρ*, cuyo movimiento natural es el circular, asociado a la eternidad, a la inmutabilidad y a la perfección. Este razonamiento explica el sistema del mundo aristotélico, su estructura y funcionamiento.

Por su parte, Claudio Ptolomeo en el *Almagesto* también supone que la causa del movimiento de los cuerpos celestes es una deidad, el motor inmóvil. En el prefacio del libro I, al referirse las distintas ramas de la filosofía teórica, menciona que la teología estudia a una deidad, la primera causa del primer movimiento del universo: el motor inmóvil. Por otro lado, refiere que los cielos se mueven como una esfera y que de todos los cuerpos el éter es el que tiene sus partes mejores y más parecidas entre sí. Además, dice que las cosas pesadas caen hacia la Tierra, pero estas son muy pequeñas a comparación con la masa total de la esta. Por ello, la Tierra se puede quedar inmóvil a pesar del impacto de estos pesos tan pequeños y de recibir a los objetos que caen. Con estas afirmaciones, es posible notar que Ptolomeo entiende el movimiento de lugar de manera similar a como lo hace Aristóteles, en la que el movimiento natural de los objetos tiene que ver con el elemento del que están compuestos. Es quizá por este motivo que los sistemas cosmológicos de Aristóteles y Ptolomeo presentan semejanzas en algunos de sus elementos (Ptolomeo, 1998).

Ptolomeo expresa una gran admiración y atribuye importancia a la disciplina matemática. Menciona que, mientras en otras disciplinas resulta difícil llegar a un acuerdo, en las matemáticas el tipo de pruebas que se ofrecen (aritméticas y geométricas) se obtienen mediante métodos indiscutibles y son las únicas que pueden proveer un conocimiento seguro e indudable sobre la naturaleza. Las matemáticas, para Ptolomeo, tratan acerca de las cosas divinas y celestes y, dado que se dedican a la investigación de lo eterno e inalterable, pueden

ser ellas mismas también eternas e inalterables. La ciencia matemática es la mejor para contribuir con la teología, porque es la única capaz de realizar una buena aproximación a la naturaleza de la actividad de lo inmóvil, y los matemáticos son amantes de la contemplación de lo eterno e inalterable (Ptolomeo, 1998).

Bajo estos preceptos, Ptolomeo conserva en lo fundamental la visión aristotélica de la física, y particularmente del movimiento. Sin embargo, hay que recordar en este punto que Ptolomeo no entiende lo mismo que Aristóteles por *movimiento*. Para Ptolomeo el movimiento únicamente denota cambio de posición en sentido local; una de las razones por las cuales, el movimiento que sugiere para las esferas celestes no es el movimiento esférico que proponía Aristóteles, sino un movimiento circular compuesto a su vez de otros círculos llamados epiciclos. Ptolomeo usa dichos epiciclos para explicar los movimientos aparentes de los astros, los cuales describe matemáticamente, pues es la única manera, de estudiar precisa e inequívocamente la naturaleza, según su concepción. (Ptolomeo, 1998) En otras palabras, el sistema ptolemaico, mediante estos recursos y explicaciones matemáticas (como los epiciclos), pretende “salvar los fenómenos”, es decir, ofrecer una explicación acorde con la filosofía aristotélica, pero que consiga resolver convincentemente el problema de los movimientos aparentes de los astros, el cual dicha filosofía no era capaz de solucionar.

Por su parte, Copérnico menciona en el libro primero de *De revolutionibus orbium coelestium* que el movimiento de los cuerpos celestes es perpetuo, regular y circular, o compuesto por movimientos circulares, pues éste es el movimiento natural de la esfera. Según lo que percibimos, todo el universo se mueve de este a oeste a causa del movimiento de la revolución cotidiana, la cual sucede en el lapso del día y la noche. Además, se observan otros movimientos de oeste a este, contrarios a la revolución cotidiana. Por ejemplo, las

revoluciones del Sol, la Luna y los cinco planetas, cuyos ejes no son los de la revolución diurna, sino los del Zodiaco. Los movimientos de estos cuerpos no aparentan ser regulares: el Sol y la Luna a veces parecen lentos, a veces rápidos, mientras que los planetas a veces se detienen, regresan, se acercan o se alejan de la Tierra.⁶¹ En este punto, Copérnico explica que estas irregularidades se mantienen y las vemos repetirse, puesto que los cuerpos celestes se mueven según una ley fija. Si los movimientos de los planetas no fueran circulares, no veríamos que sus irregularidades son a la vez constantes, pues sólo los movimientos circulares tienen la característica de repetirse (el objeto que se mueve en círculo regresa siempre al punto de partida) (Copérnico, 1982).

Asimismo, Copérnico sustenta su sistema con base en la cosmología y en la teoría del movimiento de Aristóteles. Explica que existen tres opciones para las anomalías en el recorrido de los planetas, Sol y Luna: una inconstancia de la fuerza motriz (del motor inmóvil); una fuerza externa (*βία*); o su propia naturaleza (*φύσις*). No obstante, cualquiera de las opciones anteriores es imposible porque los cuerpos celestes fueron hechos por Dios, conforme al óptimo de los órdenes posibles. Por lo tanto, debe admitirse que los movimientos del Sol, la Luna y los planetas son regulares y que nos parecen irregulares porque la Tierra no ocupa el centro de los círculos a través de los cuales ellos se mueven. De esta manera, Copérnico manifiesta la necesidad de establecer la verdadera relación que hay entre la Tierra y el cielo.

⁶¹ Copérnico se remite a la etimología de la palabra planeta para mostrar la irregularidad del movimiento de éstos. La palabra *planeta* proviene del verbo griego *πλανάω*, que significa extraviar, desviar, andar errante. (Liddell, Henry George Scott, 1940)

El razonamiento anterior muestra el argumento cosmológico tradicional aristotélico y escolástico, según el cual los cuerpos celestes se limitan a moverse de manera circular, pues sólo un movimiento circular o una combinación de estos movimientos pueden explicar la repetición regular de todos los fenómenos celestes. Al respecto, Thomas Kuhn menciona que resulta imposible distinguir el universo copernicano del tradicional, y que Copérnico en algunos aspectos es más aristotélico que muchos de sus predecesores y contemporáneos (Kuhn, 1978).

En los capítulos subsiguientes del *Sobre las revoluciones de los orbes celestes*, Copérnico sugiere que, dado que la Tierra es una esfera como los demás cuerpos, debe también participar de los movimientos circulares. Este razonamiento es contradictorio con el postulado aristotélico de que la Tierra ocupa el centro del universo y se encuentra inmóvil, por estar compuesta de un elemento pesado (Kuhn, 1978). Así, Copérnico asocia la movilidad terrestre, no con su elemento, sino con su forma. Ya que la Tierra tiene una superficie esférica, le corresponde un movimiento por naturaleza congruente con su forma, el circular. En vez de deslizarse todo el mundo, cuyos límites se ignoran, la revolución diaria que aparentemente es la del cielo, es más bien la de la Tierra .

Por otra parte, Copérnico refuta algunos argumentos de Ptolomeo sobre la inmovilidad terrestre y el geocentrismo. En el *Almagesto*, Ptolomeo menciona que, si la Tierra se moviera, las cosas que están en ella se quedarían atrás, flotando, mientras ella sigue su camino. Por esto, Copérnico propone que los objetos terrestres, además del movimiento rectilíneo (de caer y elevarse), participan de otro movimiento. Los cuerpos que están en la Tierra cuentan con la misma naturaleza del todo ya que están hechos en parte de Tierra, por lo cual se mueven con ella. Utiliza el ejemplo de los navegantes que dentro de un barco

observan que todo lo demás se mueve, pero, en realidad, son ellos los que están en movimiento en conjunto con el barco.

Copérnico manifiesta la creencia de que el estado de inmovilidad y de inmutabilidad es noble y divino, y contrapone este estado al movimiento rectilíneo, considerado imperfecto y de menor jerarquía. Por ello, Copérnico plantea que el estado de mutabilidad e inestabilidad es más congruente con la naturaleza de la Tierra que con la celeste, divina y perfecta. En este sentido, es posible notar que Copérnico conserva el precepto aristotélico de la jerarquía del *κόσμος*, conforme la cual el mundo supralunar es más noble que el sublunar.

Las suposiciones mencionadas anteriormente muestran que Copérnico conserva algunas características de la visión aristotélica del mundo. Sin embargo, las suposiciones en cuanto al movimiento, demuestran que Copérnico concibe la naturaleza del universo de una manera diferente a la de Aristóteles. En primer lugar, para Copérnico el “movimiento” no es igual al “cambio”, sino es únicamente “cambio de lugar”. Por otro lado, el movimiento no depende totalmente de la composición de los cuerpos, ni de sus elementos, por lo que considera viable plantear que la Tierra se mueve. Esto es una clara contradicción con el concepto de movimiento de Aristóteles según el cual la Tierra por ser grave cae al centro del universo y se queda inmóvil, pues es el movimiento que le corresponde por naturaleza. Por otro lado, a diferencia de Aristóteles, Copérnico considera el marco de referencia al hablar del movimiento, y hace una distinción entre el movimiento aparente y el movimiento real, es decir, entiende por movimiento algo relativo, que depende del observador (Copérnico, 1982).

Para Aristóteles, el movimiento es el objeto fundamental de la física, el estudio de la naturaleza, pues la naturaleza es principio de movimiento y cambio. Para conocer la

naturaleza hay que entender y definir al movimiento. Todo el sistema cosmológico de Aristóteles depende de su concepto de movimiento, pues el movimiento natural de los elementos pone a la Tierra en el centro, inmóvil, mientras los planetas, compuestos de éter, giran alrededor de ella.

En el caso de Ptolomeo y Copérnico, el movimiento, determina la cosmología de una manera tan profunda como en Aristóteles, pero entienden por *movimiento* algo distinto de lo que significaba para el Filósofo. Ambos lo utilizan casi únicamente en su sentido local para explicar los movimientos aparentes de los astros. El interés de ambos autores ya no es el de explicar físicamente los fenómenos, sino matemáticamente. El concepto de movimiento es distinto en Aristóteles, Ptolomeo y Copérnico, tomando en cuenta la definición, la extensión y las suposiciones contextuales de los tres. Esto se refleja claramente en el sistema cosmológico de los tres autores, quienes difieren también en los procedimientos utilizados en sus trabajos, en la comprensión del conocimiento mismo, en los objetivos de su actividad intelectual y en su concepción del mundo.

6. Deducción, experimentación y cosmología

La concepción de la ciencia en Occidente fue inicialmente determinada por los griegos, quienes tenían al menos dos tradiciones de investigación principales, una se basaba en la geometría euclidiana y otra en el método médico de observación, medición y prueba. Según A.C. Crombie, la lógica aristotélica, particularmente la ontología de la sustancia y el atributo, durante siglos impuso sobre la ciencia de Occidente una forma de demostración en la que se relacionan la causa al efecto. Esta lógica explicaba la existencia y el comportamiento de las cosas a partir los atributos que las caracterizan. Tal razonamiento se aplicaba no sólo a la naturaleza, sino también a nociones morales y filosóficas⁶² (González, n.d.). Lo anterior explica uno de los motivos por el cual los griegos consideraban el método deductivo como la única manera de producir conocimiento genuinamente científico pues, bajo este razonamiento, puede deducirse la explicación de los fenómenos a partir de sus características y atributos. El estilo deductivo griego influyó la ciencia posterior hasta el siglo XVII, y puede considerarse como uno de los mayores logros científicos de la filosofía griega. La deducción se expone principalmente en las obras *Timeo* de Platón, *Analytica Posteriora* de Aristóteles y *Elementa* de Euclides. De hecho, *Analytica Posteriora* se considera uno de los textos que más influyó en la historia de las ciencias en Occidente (Kwa, 2011). Al respecto, en su obra *Styles of Knowing*, Chunglin Kwa menciona:

⁶² Los filósofos naturales y matemáticos del siglo XIV combatieron esta concepción de causalidad y desarrollaron una nueva concepción de causalidad, la cual ya no expresaba la causalidad en el lenguaje del sujeto-predicado (sustancia-atributo), sino en funciones algebraicas. Además, desarrollaron una terminología latina nueva para expresar cantidades esenciales como la velocidad, la aceleración, la velocidad instantánea, entre otras.(González, n.d.)

The ancient Greeks established the concept that scientific explanation, in the ideal case, means inferring or deducing a natural phenomenon from a higher-order principle. Even today, deduction is the most important form of scientific explanation and is central to our image of good, fundamental science (Kwa, 2011, 12).

El estilo de razonamiento deductivo es muy sólido y se basa en la hipótesis, la cual no necesita experimentación. Los griegos veían una relación obvia entre deducción y verdades eternas. La geometría de Euclides es deducida de un conjunto de postulados, que debía ser lo más breve posible. Por su parte, Arquímedes también realiza su trabajo mediante la deducción. El método deductivo y las matemáticas estuvieron estrechamente relacionados desde el comienzo, y permanecen así. Las matemáticas de la antigua Grecia estaban limitadas al plano de la geometría, aunque de vez en cuando incursionaban en la tercera dimensión, como en el trabajo de Arquímedes. Los argumentos geométricos también se utilizaban como modelos para todas las formas de argumentación, y la frase “más geométrico”, llegó a significar “en un sentido estrictamente deductivo” (Kwa, 2011).

Aristóteles afirma que el único conocimiento que califica como científico es el que puede ser demostrado a partir de principios (*ἀρχαί*), de los cuales podemos estar seguros de su veracidad, y los cuales son también los causantes de los fenómenos que experimentamos. Estos primeros principios no pueden ser probados, pero Aristóteles, de manera optimista, busca encontrarlos mediante la observación y la intuición (Kwa, 2011). Un ejemplo de esto es la derivación de algunos elementos de la cosmología aristotélica a partir de los principios físicos del movimiento de este

autor, tal como se analizó en el capítulo *Movimiento* (subcapítulo *Suposiciones*) del presente trabajo.

Así pues, Aristóteles, a pesar de no haberse formado propiamente dentro de las escuelas jónica y pitagórica, se vio fuertemente influido por los planteamientos de éstas. La escuela jónica se preocupaba por las primeras causas, principios materiales y por la filosofía natural, mientras que la pitagórica utilizaba las matemáticas, los teoremas y las pruebas para generar conocimiento. Platón, por ejemplo, propuso sólidos fundamentos para usar las matemáticas al momento de describir los fenómenos naturales. En su visión, las figuras geométricas, los números y las proporciones matemáticas están presentes en la naturaleza, como parte de una estructura racional impuesta por el Demiurgo en nuestro mundo desordenado. Platón creía que todos los campos de conocimiento práctico, como el comercio, la navegación, la construcción, la medicina y la milicia, se fundamentaban en el medir, contar y pesar, y afirmaba también que la ciencia conducía al control racional del mundo. Lo anterior se debía, en parte, a la creencia en que la existencia de una verdad eterna en la naturaleza, independiente de todas las incertidumbres de la vida humana, garantizaba la posibilidad de acceder al conocimiento de dicha naturaleza.⁶³ Por otra parte, Aristóteles se oponía a las escuelas filosóficas griegas sofista y atomista. Por ejemplo, para los atomistas, el nivel más profundo de realidad consistía en los átomos, mientras que para Aristóteles consistía en principios abstractos (Kwa, 2011).

⁶³ A este respecto, Kwa menciona que la creencia en dicha verdad eterna garantizaba también una buena vida, por lo cual la ética platónica está modelada a partir del método deductivo.

Así pues, no solo es posible notar la importancia del estilo de razonamiento deductivo en el pensamiento de Aristóteles, sino también su tendencia a privilegiar el empirismo y la observación de los fenómenos particulares, para sustentar sus afirmaciones acerca de la naturaleza. En la *Física*, los primeros principios de Aristóteles siempre están ligados a la experiencia.⁶⁴

Como se analizó en el capítulo *Movimiento*, Aristóteles utiliza un razonamiento deductivo para explicar los fenómenos, en numerosos aspectos al menos de su cosmología. Fue partir de él que la tradición científica, desde la Edad Media hasta el presente, tomó el marco de referencia deductivo para la ciencia (Kwa, 2011).

Durante la Edad Media, el estilo deductivo permaneció en varios científicos y filósofos naturales, aunque surgieron otras metodologías, como la analógica (en teología). Incluso luego de periodo cristiano, durante el cual se perdió la idea de conocimiento basado en primeros principios, permaneció la explicación deductiva de los fenómenos naturales como la base óptima en la investigación científica. En cuanto a las matemáticas, el contar y calcular, pertenecían al campo de la aritmética, una de las disciplinas académicas del *quadrivium* medieval. La música, que también estaba dentro del *quadrivium*, era considerada matemática aplicada. Por otro lado, durante

⁶⁴ Por esta razón, filósofos como Wolfgang Wieland han interpretado que la organización científica deductiva en Aristóteles no es un método científico para el descubrimiento, sino una estrategia didáctica para exponer el conocimiento de manera ordenada. Esto contradice la visión tradicional que se tiene de Aristóteles y su razonamiento deductivo, al proponer que no necesariamente creía que el mundo tiene una estructura deductiva, o que la ciencia puede descubrir esa estructura. (Kwa, 2011)

la Edad Media se proporcionaron las bases para la experimentación, pero el método experimental aparece hasta Renacimiento (Kwa, 2011).

La aparición de diferentes estilos de razonamiento durante el Renacimiento está relacionada con el resurgimiento de la cultura de la Antigüedad en la Edad Media, siglo XII y posteriores. La crítica a la filosofía escolástica que se llevó a cabo en las universidades medievales, como en la Sorbona de París, condenaba muchas doctrinas aristotélicas, como la eternidad del mundo. Algunos filósofos medievales tuvieron un papel fundamental en el declive de la filosofía de Aristóteles a finales de la Edad Media. Guillermo de Ockham, por ejemplo, sostuvo que, contrariamente a las enseñanzas del Filósofo, los fenómenos deben ser explicados con la menor cantidad de suposiciones posible. No obstante, el ideal deductivo permaneció en cada disciplina de investigación de la naturaleza, pero ya no se requirió de una unidad conceptual entre todas las disciplinas, que las enmarcara dentro de una misma concepción global. El desarrollo del concepto de ley natural liberó el pensamiento deductivo de la estructura aristotélica global (que abarcaba todas las disciplinas), y permitió hacer uso de la generalización a niveles más bajos. Asimismo, el reconocimiento del papel de la experiencia en la ciencia provocó los inicios de la “lógica de la experimentación”. Lo anterior propició que, en este sentido, durante el Renacimiento se dejara de lado la escuela aristotélica y que se retomaran otras escuelas antiguas, como el estoicismo y el neoplatonismo (Kwa, 2011).

En el caso del neoplatonismo, la adopción de la filosofía de las “ideas” de Platón en el siglo XV llevó a los filósofos neoplatónicos a pasar desde el cambiante y corruptible mundo de la vida cotidiana, al mundo del espíritu eterno, con las

matemáticas como instrumento, pues las matemáticas eran consideradas imagen de lo eterno y real, y la clave divina del alma humana y del mundo. Los humanistas del Renacimiento perdieron todo interés por la física, y los científicos, influenciados por éstos, iniciaron una búsqueda de simples regularidades geométricas y aritméticas en la naturaleza (Kuhn, 1978).

Por otro lado, en el pensamiento neoplatónico una fuente de luz ilumina continuamente sin apagarse, y aunque esto sea falso en cuanto a las cosas terrestres, se cumple en el Sol y las estrellas, que son cuerpos eternos. Esto llevó a los neoplatónicos y humanistas, como Marsilio Ficino, a desarrollar un culto al Sol, pues equipararon a Dios con el Sol (Kwa, 2011).

La crítica aristotélica y el neoplatonismo, son algunos de los elementos que permitieron el desarrollo de diferentes estilos de razonamiento para la construcción de conocimiento durante el Renacimiento, además del estilo deductivo. Por ejemplo, el estilo inductivo, basado en la experiencia, el hipotético analítico y el taxonómico (Kwa, 2011).

El filósofo Chunglin Kwa menciona que las nociones de “estilo de razonamiento” y “paradigma” kuhniano están estrechamente ligadas. Kuhn ofreció una manera exitosa de conceptualizar los cambios en la ciencia y mostro, por ejemplo, que en la transición del sistema ptolemaico al copernicano puede observarse un cambio en la visión del mundo, y que una nueva teoría conduce a una nueva imagen de la realidad. En este ejemplo, la nueva imagen de la realidad no solo quiere decir que, para los copernicanos, el Sol reemplazó a la Tierra como centro del

universo, sino que los copernicanos tenían la disposición de, por ejemplo, ver cambios en los cielos, contrariamente a los predecesores y oponentes en el campo de la astronomía, para quienes los cambios en el universo eran impensables. Asimismo, Kwa propone enriquecer la visión kuhniana y expresa:

Kuhn related such changes in worldview to an emphasis on observations that were problematic for the old theory, even though the supporters of the old theory saw every reason to believe that these problems could be solved. [...] There is nothing wrong with Kuhn's analysis. But it is possible to expand on it. At the same time that the new experimental style emerged, for instance, the status of scientific knowledge changed substantially. Copernicans had not only a new scientific worldview, but also new aspirations for the cultural significance of that worldview. Even if we assume that science, culture, and society are not a monolithic whole, they are clearly interrelated in countless ways. In fact, they are dynamically interrelated: a change in one component can place pressure on the internal structure of another, and bring about changes there as well. At the very least, we can conclude from this that a style involves more than just a mode of representation (Kwa, 2011, 7-8).

Así pues, bajo la perspectiva de los estilos de pensamiento o razonamiento, es posible ofrecer una solución al problema del cambio científico durante la época de Copérnico. A lo largo de este capítulo, se describieron los estilos de razonamiento en los cuales se encontraban la tradición aristotélica, ptolemaica y copernicana, y el conjunto de creencias, compromisos morales, intelectuales y culturales que poseían, los cuales los llevaron a plantear preguntas, respuestas y explicaciones determinadas a los problemas científicos de su momento. La

metodología de razonamiento con la cual se establecían los criterios de la validez del conocimiento científico, era en gran medida diferente para Aristóteles y para Copérnico. Mientras Aristóteles se basaba en el método deductivo para realizar sus estudios, para Copérnico tenía más sentido razonar de manera inductiva, experimental y matemática. Ptolomeo se encuentra en medio de ambos. A causa de esto, Copérnico consideró pertinente ofrecer una explicación diferente al problema de la astronomía y de los planetas errantes, la cual estuviera en concordancia con su estilo de razonamiento. Lo anterior muestra una clara divergencia en el desarrollo del conocimiento cosmológico y astronómico en el Renacimiento, en comparación con el de la antigua Grecia.

7. Conclusiones

Los historiadores de las ciencias han encontrado dificultad en establecer la manera en que éstas se desarrollan, es decir, si lo hacen de manera continua y acumulativa, o si lo hacen mediante rupturas y reestructuraciones del pensamiento. En cuanto a la Revolución Científica, en este trabajo se ha discutido la manera en que algunos historiadores consideran este periodo como un hecho histórico incuestionable; por otro lado, hay quienes niegan la existencia de dicha Revolución.

Quienes afirman continuidad en la ciencia, han argumentado, entre otras cosas, que los descubrimientos científicos ocurren gracias a esfuerzos colectivos, pues cada conocimiento, aparentemente nuevo, tiene antecedentes en la historia del pensamiento. Tal es el caso, por ejemplo, de la teoría atómica de Dalton y de los planteamientos de Demócrito, Leucipo y otros griegos de la Antigüedad, quienes ya habían hablado sobre la existencia de pequeñas partículas indivisibles, componentes de todo cuanto existe en la naturaleza. Además, cuando se estudia un descubrimiento aparentemente revolucionario, no es posible determinar el momento exacto de su ruptura con la tradición. Por ejemplo, es imposible establecer la fecha precisa en que la creencia de inmovilidad terrestre fue sustituida por la de movilidad.

Actualmente, los historiadores de las ciencias conceden cada vez más importancia al contexto en que se desarrollaron las ideas, e intentan respetar las presuposiciones y los conceptos propios de los pensadores a quienes estudian, pues se había tendido a ignorar el contexto histórico, social y cultural en que se desenvuelve la actividad y el conocimiento científicos. Además de la lógica interna de las ideas, intervienen también factores externos

(sociales, históricos, culturales, políticos, etc.) en el desarrollo científico. Así pues, cuando se estudia históricamente la ciencia, es posible percatarse de que el esfuerzo por comprender la realidad condujo en ocasiones a una transformación del pensamiento.

De manera general, el sistema cosmológico copernicano, en efecto, difiere del aristotélico y del ptolemaico aparentemente únicamente en la posición y movilidad terrestre, y en la inmovilidad celeste. Aunque Copérnico mantuvo algunos elementos de la tradición astronómica griega y se apropió de ideas de estas tradiciones dentro de las cuales trabajó, ciertamente tomó estos elementos e ideas tradicionales y los utilizó en su propio contexto para resolver problemas particulares que le preocuparon. No obstante esta apropiación, es posible detectar diferencias importantes en su uso de los conceptos y términos astronómicos y físicos, especialmente en el concepto de *movimiento*, el cual se analizó en este trabajo.

El concepto de *movimiento* es distinto en Aristóteles, Ptolomeo y Copérnico, tomando en cuenta la definición, la extensión y las suposiciones físicas de los tres autores. Para Aristóteles, la naturaleza es principio del movimiento y del cambio, por ello la física, disciplina que en el pensamiento aristotélico se dedica a estudiar la naturaleza, necesariamente debe investigar el movimiento. Como se describió en este trabajo, debido a la definición que Aristóteles hace del movimiento, “actualidad de la potencialidad”, para este autor, cualquier tipo de cambio cualitativo, cuantitativo, sustancial y local es movimiento. Por otro lado, Aristóteles explica que, a grandes rasgos, existen dos tipos de movimiento: el natural y el violento. Es el movimiento natural de los elementos el que permite situar a la Tierra en el centro del *κόσμος*, mientras los planetas, al estar compuestos de éter, *αἰθήρ*, giran circularmente alrededor de ella.

En Ptolomeo, el concepto de movimiento, si bien se asemeja al aristotélico, presenta diferencias con respecto a éste. Ptolomeo conserva los principales planteamientos físicos de Aristóteles; sin embargo, en miras de explicar matemáticamente los fenómenos celestes, se ve obligado a admitir, por ejemplo, un movimiento diferente al movimiento circular uniforme para los cuerpos celestes: el movimiento epicíclico de los astros. Por otro lado, únicamente se emplea el término *κίνησις* para referirse al cambio de posición y de lugar de los objetos, particularmente, al traslado de los planetas, a diferencia de Aristóteles, quien consideraba que cualquier cambio era movimiento. Lo anterior denota una concepción diferente a la aristotélica de la realidad física y cosmológica.

En el caso de Copérnico, se utiliza el término *motus* únicamente en su sentido local para explicar los movimientos aparentes de los astros. Para Copérnico, no resultaba especialmente importante mantener una congruencia entre la cosmología y sus causas físicas, sino únicamente establecer simples regularidades geométricas en la naturaleza que pudieran explicar los hechos empíricos. En su estilo de razonamiento no prevalecía la deducción. De esta manera, para Copérnico la esencia y naturaleza de los elementos ya no determinaban su movimiento, por lo cual le fue posible plantear que la Tierra era un planeta más y que se movía alrededor del Sol.

La terminología, los conceptos científicos y sus significados son productos históricos, y evolucionan inevitablemente en el transcurso del tiempo. (Kuhn, 1989). Las modificaciones acontecidas durante la Revolución Copernicana no supusieron únicamente la explicación de los fenómenos de una manera distinta, o la mejor comprensión de la realidad, sino que ocurrió todo un desplazamiento de la red conceptual a través de la cual los científicos veían el mundo.

Al menos en el caso de la Revolución Copernicana, el marco mismo del conocimiento humano se vio afectado por un cambio fundamental, formando un nuevo concepto de *movimiento* y transformándose la idea de *κόσμος* poco a poco. El resultado de esta revolución, fundamentalmente teórica, fue desarrollar nuevas concepciones de lo que realmente significaban los datos y las observaciones con los que se contaba y no únicamente la introducción de fenómenos o conceptos adicionales.

En el Renacimiento, aparentemente el lenguaje continuó siendo el mismo y hasta el objeto de estudio de la física, pues también la *nuova scienza* se propuso estudiar la naturaleza de las cosas y el movimiento. No obstante, cambió el sentido de palabras como *movimiento*, *naturaleza*, *fenómeno*, *materia*, *potencia* y *energía*, y ya no significaban lo mismo que antaño (Echandía, 1995).

Así pues, la imagen del mundo de los griegos se vinculaba estrechamente a las condiciones históricas, políticas, sociales y culturales que trajo consigo el advenimiento de la *πόλις*, pues esta organización política permitió que se sustituyeran las antiguas relaciones jerárquicas de dominación y sumisión por un nuevo tipo de relación social: la isonomía, *ἰσονομία*, la cual impone un orden igualitario a todos los elementos que constituyen la naturaleza, donde ninguno gobierna sobre otro. Junto con la *ἰσονομία* la visión geométrica de un universo, situado en un espacio homogéneo y simétrico, permitió concebir a la Tierra inmóvil en el centro del universo (Vernant, 1992).

El análisis del concepto de movimiento reveló que, para los copernicanos, no sólo el Sol reemplazó el lugar que antes ocupaba la Tierra como centro del *κόσμος*, sino que también se desarrolló un modo distinto de representación del mundo. El nuevo estilo experimental, el

surgimiento del neoplatonismo y las críticas a los planteamientos aristotélicos le permitieron a Copérnico tener la disposición de admitir el movimiento terrestre. Factores históricos, culturales y sociales fueron los que permitieron un cambio en la ciencia y con ello en el conocimiento aceptado como válido para la época.

Los tres sistemas cosmológicos estudiados a lo largo de este trabajo son diferentes de los científicamente admitidos en la actualidad; no obstante, eran comprobables y evidentes, en opinión de sus autores respectivos. Además, cada uno llegó a recibir una aceptación tan decidida como la que hoy en día se concede a las creencias científicas sobre el universo, pues se pensó, tal como se piensa en la actualidad, que las propuestas de estos autores aportaban respuestas plausibles a cuestiones que parecían importantes. Por otro lado, todos los planteamientos y teorías que contradecían a aquellos sistemas llegaron a ser considerados contradictorios e indemostrados. Lo anterior sugiere que, en el desarrollo científico, cada momento histórico ha tenido distintos criterios de aceptación y validación del conocimiento. Por esta razón, definir dichos criterios puede resultar una tarea importante en la comprensión de la actividad científica, y, de igual manera, puede servir al historiador de las ciencias como un indicador efectivo que permita determinar si la ciencia progresa y de qué manera lo hace.

8. Bibliografía

Primaria

ARISTÓTELES, Immanuel Bekker (ed.) (1831–1870). *Aristotelis Opera edidit Academia Regia Borussica*. Berlín: Berolini. Retrived August 15, 2016, from: Thesaurus Linguae Graecae.

ARISTÓTELES. (1942). *On the heavens*. Cambridge: Harvard University Press.

ARISTÓTELES. (1995). *Física*. Madrid: Editorial Gredos.

ARISTÓTELES. (1996). *Acerca del cielo; Meteorológicos*. Madrid: Gredos.

COPÉRNICO, N. (1982). *Sobre las revoluciones (De los orbes celestes)*. (C. Minguez & M. Testal, Eds.). Madrid: Editora Nacional.

COPÉRNICO, N. (1543). *De revolutionibus orbium caelestium*, fac-sim. de : Norimbergæ, J. Petreium. Retrieved August 15, 2016, from: https://la.wikisource.org/wiki/Liber:De_revolutionibus_orbium_coelestium

PTOLOMEO, J. L. Heiberg (ed.) (1898-1903) *Claudii Ptolemaei Opera quae exstant omnia, Syntaxis Mathematica*, 2 vols. Leipzig, Teubner, 1898.

PTOLOMEO, C. (1998). *Ptolemy's Almagest*. (G. J. Toomer, Ed.). Princeton: Princeton University Press.

Secundaria

ARRIZABALAGA, J. (n.d.). La teoría de la ciencia de Ludwik Fleck (1896- 1961) y la historia de la enfermedad. Retrieved November 25, 2015, from http://digital.csic.es/bitstream/10261/33538/1/Arrizabalaga_87-88_Teoria_Ciencia_Ludwick_Fleck.pdf

BACHELARD, G. (1976). *El materialismo racional*. Buenos Aires: Paidós.

BARNES, J., *The Presocratic Philosophers*, Londres y Nueva York, 1982, con puntos de vista de la lógica moderna.

BELTRÁN, A. (1998). *Revolucion científica, renacimiento e historia de la ciencia*. México: Siglo XXI.

BLUMENBERG, Hans, *The Genesis of the Copernican World*, Cambridge, MIT Press, 2000.

BRAHE, Tycho, *Opera omnia*, edición de J. L. E. Dreyer, Copenhague, 1913-1929.

BRUNO, Giordano, *Sobre el infinito universo y los mundos*, tr. Miguel Ángel Granada, Madrid, Alianza Editorial, 1998.

_____, *La cena de las cenizas*, Alianza Editorial, 1993.

COHEN, S. M., CURD, P., Y REEVE, C. D. C., *Readings in ancient Greek philosophy from Thales to Aristotle*, Indianapolis 1995

COMES, Mercè, *Al-Sûfî como fuente del libro de la "Ochava Espera" de Alfonso X*, M.

Comes et al. (eds.), en "Ochava espera" y "Astrofísica". *Textos y estudios sobre las fuentes*

árabes de astronomía de Alfonso X, Barcelona, Agencia Española de Cooperación Internacional / Universidad de Barcelona, pp. 11-113.

CONCHE, M., *Anaximandre. Fragments et témoignages*, Paris 1991.

COPERNICO, Nicolás, *De hypoteseibus motuum coelestium a se constitutis commentariolus*, en: L. Prowe, *Nicolaus Copernicus*, Osnabrück, Otto Zeller, 1967.

DIELS, H. y W. KRANZ, *Die Fragmente der Vorsokratiker*, 7ª ed., Berlín 1954.

DREYER, J. L., (1953) *A History of Astronomy from Thales to Kepler*. Second edition, originally published as *History of the Planetary Systems from Thales to Kepler*. 1905. New York: Dover.

DUHEM, P. (1991). *The origins of statics : The sources of physical theory*. Dordrecht: Kluwer Academic.

ELENA, Alberto, *Las quimeras de los cielos. Aspectos epistemológicos de la revolución copernicana*, Madrid, Siglo XXI, 1985.

EVANS, J. (1998). *The history and practice of ancient astronomy*. New York: Oxford University Press.

FARRINGTON, B. (1969). *Ciencia griega* (3rd ed.). Barcelona: Icaria Editorial.

FLECK, L. (1986). *La génesis y desarrollo de un hecho científico. Introducción a la teoría del estilo de pensamiento y del colectivo de pensamiento*. Madrid: Alianza Editorial.

FURLEY, D., *The Greek Cosmologists*, Cambridge 1987.

GALILEI, Galileo, *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo, ptolemaico y copernicano*, tr. Antonio Beltrán Marí, Madrid, Alianza Editorial, 2011.

GONZÁLEZ, A. (n.d.). A. C. Crombie y las definiciones de historia de la ciencia, los estilos de pensamiento científico de la tradición Europea y los compromisos morales e intelectuales. Retrieved November 4, 2015, from https://www.academia.edu/6824466/A._C._Crombie_y_las_definiciones_de_historia_de_la_ciencia_los_estilos_de_pensamiento_científico_de_la_tradición_Europea_y_los_compromisos_morales_e_intelectuales

GRANADA, M. A. (n.d.). Giordano Bruno Y El Final De La Cosmología Aristotélica, 97–118.

GRANADA, Miguel A., *El umbral de la modernidad*, Barcelona, Herder, 2000.

GOW, James, *A Short History of Greek Mathematics*, Cambridge, Cambridge University Press, 1884, pp. 323.

GUTHRIE, W.K.C., *A history of Greek philosophy*, Cambridge University Press, Cambridge, 1962. (Traducción al español por Alberto Medina González, *Historia de la filosofía griega*, Gredos, Madrid, 1984)

GUTHRIE, W. K. C. (1953). *Los filósofos griegos. De Tales a Aristóteles*. México: Fondo de Cultura Económica.

HACKING, I. (2002). *Historical Ontology*. London: Harper Universisty Press.

HEILEN, Stephan, *Problems in translating ancient Greek astrological texts*, Annette Imhausen y Tanja Pommerening (eds.), en *Writings of Early Scholars in the Ancient Near East, Egypt, Rome, and Greece*, Berlin/ New York, De Gruyter, 2010, pp. 436.

- KAHN, C. H., *Anaximander and the Origins of Greek Cosmology*, Nueva York 1960
- KEPLER, Iohannes, *Epitome of Copernican Astronomy, IV and V; The Harmonies of the World, V*; en *Great Books of the Western World*, vol. 16, ed. por Robert Maynard Hutchins, Charles Glenn Wallis (trad.), Chicago, Encyclopaedia Britannica/ University of Chicago, 1952, pp. 1085.
- KEYSER, PAUL y Georgia Irby-Massie (eds.), *The encyclopedia of ancient natural sciences. The Greek tradition and its many heirs*, Abingdon, Routledge, 2008, pp. 1062.
- KOESTLER, A. (2007). *Los sonámbulos. Origen y desarrollo de la cosmología*. México: Consejo Nacional para la Cultura y las Artes.
- KOYRÉ, A. (1980). *Estudios de historia del pensamiento científico*. México: Siglo XXI.
- KOYRÉ, A. (1981). *Estudios galileanos*. México: Siglo XXI.
- KUHN, T. S. (1978). *La Revolución Copernicana. La astronomía planetaria en el desarrollo del pensamiento occidental*. Barcelona: Editorial Ariel.
- KUHN, T. S. (1989). *Commensurabilidad, comparabilidad y comunicabilidad*. In *¿Qué son las revoluciones científicas? y otros ensayos* (p. 151). Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica.
- KUHN, T. S. (2006). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica.
- KWA, C. (2011). *Styles of Knowing. A New History of Science from Ancient Times to the Present*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.
- LAKATOS, Imre, *The Methodology of Scientific Research Programmes [Philosophical Papers Vol. I]*, Cambridge, Cambridge University Press, 1989.

LONG, A. A. (ed.), *The Cambridge Companion to Early Greek Philosophy*, Cambridge 1999.

LEWIS, C. T., & Short, C. (1879). *A Latin Dictionary. Founded on Andrews' edition of Freund's Latin dictionary. revised, enlarged, and in great part rewritten*. Oxford: Clarendon Press.

LIDDELL, Henry George Scott, R. (1940). *A Greek-English Lexicon, revised and augmented throughout by Sir Henry Stuart Jones with the assistance of Roderick McKenzie*. Oxford: Clarendon Press. Retrieved from <http://www.perseus.tufts.edu/hopper/text?doc=Perseus:text:1999.04.0057>

MÍNGUEZ, Carlos, *Claudio Ptolomeo*, Madrid, Biblioteca Filosófica, Ediciones del Orto, 1997.

_____, “Prefacio al Almagesto de Ptolomeo”, en *La filosofía de los científicos*, ed. Juan Arana, Sevilla, 1995.

NEUGEBAUER, Otto, *The exact sciences in antiquity*, Rhode Island, Brown University Press, 1970, pp. 240.

NICKELS, T. (2014). Scientific Revolutions. In *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Summer 201). Retrieved from <http://plato.stanford.edu/entries/scientific-revolutions/>

OSLER, M. J. (2000). *Rethinking the Scientific Revolution*. Cambridge: Cambridge University Press.

O'MEARA, D., *Pythagoras revived: Mathematics and Philosophy in the Late Antiquity*, Oxford 1989.

PEUCER, K., *Hypotheses astronomicae, seu theoricis planetarum. Ex Ptolemaei et alliorum veterum doctrina ad observations Nicolai Copernici, et canones motuum ab eo conditos accomodate*, Wittenberg, Johannes Schwertel 1571.

PEURBACH, G., *Novae theoricis planetarum*, Venecia, Giordano Ziletti, 1558.

PIÑEIRO, Mariano Esteban, *La astronomía en la España del primer tercio del siglo XVII* [en línea], Instituto de Historia Simancas, Grupo de Historia de la Ciencia/ Universidad de Valladolid, [fecha de consulta: 19 de junio de 2013], disponible en: <http://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/ABBB1123-3F29-415C-BD61-30CA705BBA13/34880/esteban2007.pdf>

PLATÓN. (1992). Timeo. In *VI Filebo, Timeo, Critias*. Madrid: Gredos.

PTOLOMEO, *The Almagest by Ptolemy*, Catesby Taliaferro (trad.), en *Great Books of the Western World*, vol. 16, ed. por Robert Maynard Hutchins, Chicago, Encyclopaedia Britannica/ University of Chicago, 1952, pp. 1085.

PTOLOMEO, *Las hipótesis de los planetas*, traducción de José García Blanco y Aurora Cano Ledesma, Alianza Editorial, 1987.

RAVEN, E. y G.S. KIRK, *The presocratic philosophers: Critical history with a selection of texts*, Cambridge University Press, Cambridge, 1962. (Traducción al español por J. García Fernández, *Los filósofos presocráticos: Historia crítica con selección de textos*, Gredos, Madrid, 1969).

REINHOLD, J., *Theoricis novae planetarum Georgii Purbachii Germania b Erasmo Reinholdo Salveldensi pluribus figuris auctae, et illustratae scholiis quibus studiosi*

praeparentur, ac invitentur ad lectionem ipsius Ptolemaei, Wittenberg, Johannes Luft, 1542.

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. (2014). *Diccionario de la lengua española* (23° ed.). Madrid: Espasa. Retrieved from <http://www.rae.es/obras-academicas/diccionarios/diccionario-de-la-lengua-espanola>

ROBINSON, T.M., *Heraclitus: Fragments*, Toronto 1987.

SARTON, George, *Ciencia antigua y civilización moderna*, México, Fondo de Cultura Económica, 1960.

SACHS, J. (n.d.). Aristotle: Motion and its place in nature. Retrieved from <http://www.iep.utm.edu/aris-mot/>

SHAPIN, S. (1996). *The Scientific Revolution*. Chicago, IL: University of Chicago Press.

STOKES, M. C., *One and many in presocratic Philosophy*, Cambridge, Mass. 1971

THESLEEF, H., *The Pythagorean texts of the Hellenistic Period*, Abo 1965.

TOULMIN, Stephen y June Goodfield, *La trama de los cielos*, tr. Néstor Míguez, Buenos Aires, Eubea, 1963.

VERNANT, J.-P. (1992). *Los orígenes del pensamiento griego*. Barcelona: Paidós Studio.

VLASTOS, G., *Studies in the Presocratic Philosophy*, Londres 1975 (recopilación de trabajos de uno de los mayores especialistas en el tema).