

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS DE AQUINO

LICENCIATURA EN FILOSOFÍA Y LENGUA CASTELLANA

INVESTIGACIÓN MONOGRÁFICA

**LA EXPLICACIÓN CIENTÍFICA EN LOS MODELOS COSMOLÓGICOS
ARISTOTÉLICO-PTOLEMAICO Y COPERNICANO: ELECCIONES TEÓRICAS Y
VALORES EPISTÉMICOS**

**Estudiante
Carlos Rolando Palacios Céspedes**

**REQUISITO PARA OPTAR EL TÍTULO DE LICENCIADO EN FILOSOFÍA Y
LENGUA CASTELLANA**

Bogotá 2019

INDICE

Introducción	1.
EPISTEMOLOGÍA E HISTORIA DE LA CIENCIA: ELECCIONES TEÓRICAS, VALORES EPISTÉMICOS Y ELECCIONES TEÓRICAS.....	3.
INTRODUCCIÓN A LOS MODELOS COSMOGÓNICOS Y EMERGENCIA DE LOS DISCURSOS CIENTÍFICOS: LOS PRIMEROS MODELOS COSMOLÓGICOS.....	21.
Bosquejo Histórico: lo mitológico y lo racional	20.
La astronomía árabe medieval y cristiana	31.
MODELOS COSMOLÓGICOS	35.
El modelo conceptual del universo de las dos esferas	35.
Modelo de las esferas homocéntricas	40.
El modelo helenístico en astronomía	46.
El modelo de la astronomía copernicana	55.
Conclusión	61.
Índice de imágenes	67.
Bibliografía	68.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación, requisito de pregrado para la Licenciatura en Filosofía y Lengua Castellana, encuentra en el marco disciplinar de la Historia de la Ciencia una manera de profundizar en las reflexiones sobre el conocimiento humano y la configuración científica. En ella se adelanta un análisis de los modelos cosmológicos en tensión en los comienzos del pensamiento moderno: el modelo ptolemaico y el copernicano.

Se toman en cuenta desarrollos de algunos epistemólogos como Canguilhem, Koyré, Kuhn y Laudan, como expresiones de dos grandes tendencias en el campo, la francesa y la estadounidense, con el fin de problematizar el cambio científico en los paradigmas del renacimiento, aspecto crucial para entender la recepción de la revolución científica y las maneras como se entiende el cambio científico, aspectos cruciales en la reflexión sobre el conocimiento y la explicación científica.

La intención de la presente investigación es realizar una valoración epistemológica que tenga en cuenta la inconmensurabilidad, la discontinuidad y la complejidad del cambio científico, en este caso respecto de la revolución copernicana frente al modelo aristotélico-ptolemaico. En tal sentido, lo que se quiere mostrar es el conflicto de las elecciones racionales de estas dos teorías en su contexto histórico para poder comprender la apropiación o transición a la ciencia moderna.

En el primer capítulo se esboza el criterio disciplinar y el marco procedimental. Respecto del criterio disciplinar, se hace referencia al papel de la Historia de la Ciencia en su crítica al positivismo, su trabajo respecto a la epistemología, la propuesta de discontinuidad y algunas consideraciones respecto al progreso acumulativo científico, para dejar las bases teóricas que posibiliten en los capítulos siguientes realizar la comparación en donde se resalten los aspectos básicos elegidos desde los referentes kuhnianos y koyreanos. En el marco procedimental se presenta, a manera de propuesta investigativa, la formulación de los criterios entre los cuales se va a realizar la valoración epistemológica de los modelos, entre los cuales están los kuhnianos de precisión, coherencia, amplitud, simplicidad y fecundidad, además de unos criterios más comunes como el lógico, empírico, sociológico e histórico.

En el segundo capítulo se desarrolla un breve bosquejo histórico con el fin de realizar una contextualización que lleve al conocimiento de los referentes, como antesala para hacer comprensible la valoración de los conocimientos en los modelos ptolemaico y copernicano, con énfasis en sus modelos explicativos. El bosquejo tratará de las primeras cosmogonías, partiendo de lo mitológico a lo racional para destacar la manera como se da la explicación en el origen de las cosmologías greco-latinas, con una breve alusión a la interpretación árabe.

El tercer capítulo entra en materia con la exposición de los dos modelos: el modelo conceptual del universo de las dos esferas y el modelo de la astronomía copernicana. Al hacerlo intenta evidenciar las posturas teóricas ensambladas por los modelos, con los referentes teóricos puestos en práctica, sintetizados en la aplicación y justificación empírica, forjando una forma determinada de explicación. En la conclusión se muestran los logros de profundización y contrastación de criterios, en la valoración epistemológica planeada como fines del estudio.

Para finalizar, se mostrará de qué manera se presentaron los cambios científicos, su respuesta a la verificación, sus posibilidades de desmontar la manera simple y positivista de ver el progreso de la ciencia. Se hará un balance sobre los logros de adecuación empírica que pudiera predecir con precisión los fenómenos astronómicos, los modos como realizaron aproximaciones y descubrimientos hipotéticos, la posibilidad de que existan o no criterios contextuales para la elección de si una teoría es mejor que otra, la necesidad de llegar a una comprensión contextual de la explicación para lograr llegar a la inconmensurabilidad.

Se trata de realizar con los criterios una valoración epistémica que permita ver el nivel de explicación científica en los que se encontraban los dos modelos, ilustrando a su vez históricamente el contexto en el que se tomaban determinadas elecciones teóricas, justificando cada modelo desde su coherencia interna.

CAPÍTULO 1

EPISTEMOLOGÍA E HISTORIA DE LA CIENCIA: ELECCIONES TEÓRICAS, VALORES EPISTÉMICOS EN LA EXPLICACIÓN CIENTÍFICA

Este capítulo contiene un preámbulo y un tratamiento de tópicos. El preámbulo ofrece puntualizaciones sobre nociones básicas como *explicación*, *construcciones explicativas*, *explicación mítica*, *científica* y *asuntos explicativos comprometidos en la revolución científica*. Los tópicos refieren a observaciones sobre el nacimiento, papel y discusiones de la historia de la ciencia, alusiones al fenómeno de la revolución científica, anotaciones sobre las escuelas francesa y norteamericana y, una orientación desde un compendio historiográfico. A partir de este espectro se evidencian las consideraciones necesarias para la sustentación de las decisiones procedimentales.

Para Kuhn, al emerger las nuevas teorías científicas, los cambios pueden llegar a ser constructivos y reconstitutivos, lo que produce una asimilación en la ciencia normal que se activa haciendo que los científicos puedan explicar mayor número de fenómenos o esclarecer los ya conocidos con mayor precisión, descartando ciertas creencias y procedimientos previamente aceptados (Cf., Kuhn, 2000, p 112). Para Shapin, en cambio, la Revolución científica ha sido mal comprendida, asegurando que nunca existió y es más bien una certeza del mundo académico que los historiadores anunciaron como un acontecimiento irrevocable que cambió la visión del mundo (Cf., Shapin, 2000, p 17). Así, para Koyré se trata de mostrar las contiendas en el análisis de las evoluciones de las ideas científicas.

Puede decirse que la explicación es una actividad sumamente compleja, pero es primordial para saber “cualquier cosa”, por lo que es de vital importancia en el aprendizaje, es una forma de conocer lo desconocido relacionándolo con lo que ya conocemos. Buscamos explicaciones por nuestra necesidad de saber. Deseamos alcanzar, controlar cualquier conocimiento aclaratorio que nos pueda proporcionar facilidad en el aprendizaje, todo con el fin de constituir la mejor explicación científica, adecuada para la actividad investigativa que se ejerce (Cf., Bakker y Clark, 1994, p 13).

Explicar es responder a la pregunta: ¿por qué?, dar razón para haber llegado a entender algo de manera tal de poder ser capaz de hacer que otro entienda. Su desarrollo es circunstancial e intersubjetivo, en el cual juegan muchas variables que lo hacen complejo. Para no caer en la dificultad de la paradoja de “explicar la explicación”, ya que el término es indefinible, lo más que se puede hacer es presentar someramente los dos modelos cosmológicos paradigmáticos de explicación en medio de la consolidación científica moderna. Esto obliga a dar una valoración epistémica de las explicaciones en los dos modelos, es decir, la manera como se establece la ciencia normal en la explicación que éstos usaron para consolidar sus teorías (Cf., Bakker y Clark, 1994, p 13).

La explicación científica está en constante cambio y se ha venido consolidando en la historia del pensamiento una forma de realizar la actividad científica, una transformación de la manera de razonar y de perfeccionar el razonamiento. La racionalidad en el discurso mítico utiliza un tipo de explicación coherente y que cumplió con las necesidades del momento. Su validez se ve confrontada por la objetividad, necesidad apodíctica de la explicación que trasciende la creencia hacia un saber predictivo que asegura un poder sobre las cosas (Chaparro y Schumacher, 2003, p 20).

Los problemas epistémicos que plantea el mito al discurso filosófico evidencian un devenir hacia la explicación científica racional, aunque sea una necesidad dentro de la misma racionalidad proyectarse fuera del límite de la mirada racionalista. Se ha dado un perfeccionamiento de la explicación científica y su conceptualización, teniendo unas peculiaridades a través del tiempo, lo que permite a los epistemólogos e historiadores de la ciencia realizar investigaciones sobre el cambio científico en medio de las elecciones teóricas y valoraciones epistémicas.

Uno de los pilares donde se consolida la civilización occidental, de la cual nos hemos formado, es la ciencia moderna, un legado que nos atraviesa, nos determina, sesga nuestra visión del mundo y hemos naturalizado sin más. Pero hay que constatar que antes había una visión diferente de la naturaleza que se vino configurando a través de la historia de una manera irregular, de tal modo que la comprensión del origen y consolidación del pensamiento científico se puede hacer extraño y complejo.

La filosofía, particularmente desde la epistemología, no sólo se ha preocupado en estudiar los principios, los fundamentos y métodos del conocimiento humano, sino que también desde la Filosofía de la Ciencia se ha encargado de analizar los cambios científicos en sus teorías y prácticas, creando criterios de valoración.

Esto ha implicado sumergirse en la Historia de la Ciencia para investigar las diferentes formulaciones científicas en relación con sus descubrimientos y la manera como éstos cambian la mentalidad y la visión del mundo, por lo que es de vital importancia para todas estas disciplinas, para la epistemología y también la Filosofía de la Ciencia, el profundizar en el surgimiento de la ciencia moderna.

Los eventos más sugestivos en la Historia de la Ciencia son las revoluciones, estos sucesos a veces son duraderos y producen la renovación de los modos de pensamiento de una o varias disciplinas que, en algunos casos, pueden ser drásticas. La revolución que empezó en física por el desarrollo de Copérnico, en la astronomía originó una de las revoluciones más ricas de la historia del pensamiento “la nueva astronomía requirió la construcción de una nueva física, lo que obligó a enfrentarse a un problema astronómico y minar los fundamentos de la física aceptada” (Carman, C., 2010, p 214).

En el modelo ptolemaico la perspectiva de los pensadores de la Edad Media sobre el Universo físico estaba centrada en la Tierra y se diferenciaba en dos partes: la esfera terrestre, formada por la Tierra y todo lo sublunar, y la esfera celeste, que contenía la Luna, el Sol, los planetas y las estrellas. Cada lugar estaba hecho de un tipo distinto de material, tenía su propio conjunto de leyes físicas: había física terrestre y física celeste. La primera formada de los cuatro elementos: fuego, aire, agua y tierra. Y la segunda formada por el éter como el elemento fundamental (Cf., Shapin, 2000, p 44)

Como era característico de la visión de la época, cada uno de los objetos físicos poseía su lugar natural al cual se inclinaba a mantenerse y retornaba si le era admitido: la tierra hacia abajo, hacia el centro del Universo; el fuego hacia arriba, lejos del centro del Universo hacia la esfera de la Luna; el aire y el agua en posiciones intermedias. El eje del Universo no se admitía como el centro de la tierra, sino que los dos coincidían porque el

lugar natural hacia el cual la Tierra propendía a moverse es hacia el centro (Cf., Shapin, 2000, p 49).

La recepción de las hipótesis copernicanas ha hecho pensar que la teoría copernicana es más simple y precisa que la antigua astronomía que ponía a la tierra en el centro con sus círculos y epiciclos, pero en realidad la antigua podía dar cuenta de más fenómenos que la inventada por Copérnico. Es cierto que al asumir al Sol como el centro “Copérnico acabó con los epiciclos principales y la necesidad de las hipótesis *ad hoc* para explicar que Mercurio y Venus no se distancian del Sol. Podía predecir cuál de los dos planetas estaba más cerca del Sol: su sistema no era más preciso que la antigua teoría, pero mantenía el principio de movimiento circular para los cuerpos celestes” (Carman, C., 2010, p 211)

Preservó la idea de que los cuerpos celestes son transportados por esferas cristalinas como lo refiere el título de su obra. Sin embargo, al localizar a la Tierra en órbita alrededor del Sol, Copérnico acabó con la diferenciación aceptada entre las esferas sublunar y supralunar e hizo de la Tierra un cuerpo celeste, lo que alteró el concepto de cuerpo celeste socavando toda la mecánica terrestre (Cf., Carman, C., 2010, p 212).

Esta nueva concepción generó otro tipo de problemas como no poder explicar el hecho de que otros cuerpos terrestres tiendan a caer en la tierra, o por ejemplo que la Tierra no deja atrás su atmósfera, que una piedra lanzada hacia arriba cae derecha vertical hacia abajo. Esta nueva concepción astronómica obligó a hacer caso omiso a la idea de que se aplicaran diferentes leyes dinámicas a los cielos y a la Tierra (Cf., Carman, C., 2010, p 214).

En este sentido Copérnico no proporcionaba esa nueva dinámica, sólo después se completó la revolución que él inició, ya que no sólo debía elegir entre una teoría de los movimientos celestes más simple, sino también entre una física que parecía más simple.

Esto llevó a plantear en esta investigación un análisis de la explicación científica en los dos modelos cosmológicos más importantes en la historia del pensamiento científico, con el fin de analizar las elecciones teóricas y los valores epistémicos que emergen en medio de los paradigmas preponderantes de la época.

En este sentido, la presente investigación profundiza desde la corriente de Historia de la Ciencia planteada por Kuhn la forma como se asignan los valores epistémicos y las elecciones teóricas en los modelos cosmológicos aristotélico-ptolemaico y copernicano. La idea es hacer un barrido por algunos referentes históricos para así mostrar la manera como se dan las diferentes explicaciones científicas en el cambio epistémico.

La importancia del debate astronómico y las diferentes teorías de la gravitación universal que hace preciso exponer el surgimiento de la nueva ciencia con todos sus alcances, presenta de manera particular un interés para Latinoamérica y específicamente para Colombia, pues posibilita subrayar la necesidad de interrogarse por la forma como influyó en los pensadores españoles y particularmente a los que vinieron a enseñar en la Nueva Granada.

Esto con el fin de mostrar que estaban al día con respecto a los nuevos descubrimientos y avances científicos de la época, que los pensadores vinieron con sus propias convicciones teóricas y sus maneras de pensar ya delineadas por una tradición que se viene configurando durante siglos. El pensamiento colonial está trazado con una lógica que es preciso rastrear teniendo en cuenta su visión de la naturaleza, por lo que hay que realizar un breve bosquejo del proceso en que se ha venido entendiendo.

Tomando en cuenta el papel que han desempeñado las ciencias en la historia de nuestra civilización occidental y la importancia de la Historia de la Ciencia como mediadora en su comprensión e impulso se puede mostrar que a partir de la determinación de registrar el nacimiento de la ciencia, su impulso y formas de desarrollo como patrimonio de la cultura europea –aún con el reconocimiento de los aportes medio orientales-, ha hecho carrera el aspecto contextual, situacional o cultural en la orientación de la Historia de la Ciencia, al cual se ha definido como modo externalista de hacer Historia de la Ciencia, que intenta anteponer los motivos y sentar algunas relaciones entre cultura y Ciencia, con resultantes que han sido valoradas como ideológicas por las tendencias críticas de la modernidad, en tanto se aplican consecuentemente a la propia Historia de la Ciencia.

Koyré muestra que el estudio histórico de la ciencia obliga a profundizar en la evolución de las ideas científicas, pone de manifiesto las disputas con la realidad, deja ver sus

fracasos y sus victorias, para mostrar el brío con que el hombre ha luchado para la comprensión de lo real. Este empeño algunas veces ha sido un verdadero choque de los diferentes cursos que ha seguido la cosmovisión humana, hasta incluso trastocar la lógica del sentido común, rompiendo esquemas y cosmovisiones consolidadas en la sociedad (Cf., 1980, p. 1).

La Historia de la Ciencia no es sólo una recopilación de descubrimientos que se almacenan en una memoria, sino que también es el laboratorio de la epistemología, “trata de someter el espíritu humano a la experiencia, es decir, trata de hacer una teoría experimental del espíritu humano” (Canguilhem, 2009, p 14).

Desde este punto disciplinar se trata de realizar una crítica a la concepción positivista de la ciencia, la cual reduce el conocimiento a lo observable de manera que el objeto de la ciencia se convierte en establecer hechos y nexos entre los hechos, una mentalidad en la que las teorías no son más que instrumentos de sistematización y no entrañan nuevas teorías ni nuevas perspectivas.

El positivismo entiende la Historia de la Ciencia como la exposición de una sucesión de descubrimientos que avanzan quizá con lentitud, pero de manera progresiva hacia un cúmulo de conocimientos. Esta corriente sostiene una visión acumulativa de la ciencia desde una perspectiva histórica que debe ser criticada, por lo que esta propuesta investigativa tiende a buscar la discontinuidad entre la ciencia medieval y la moderna.

La Historia de la Ciencia tiene una inspiración filosófica, estudia la evolución y revolución de las ideas científicas, la lucha del espíritu con la realidad, dialéctica que evidencia cómo esta intelección se realiza de manera irregular y discontinua por medio de las mutaciones del intelecto humano en un itinerario de la mente en la verdad (Cf., Koyré, 1994, p 37).

La idea es realizar una crítica a los criterios de progreso científico que permita ver los autores del pasado desde un punto de vista inmanente, en el que se pudieran realizar análisis intrínsecos. En este sentido, se va a abordar el problema desde la visión internalista koireana, indicando que la tensión del valor de lo empírico y del mundo de las ideas en los

desarrollos de la Revolución Científica se debe a una mutación de las ideas filosóficas y no a los descubrimientos empíricos: los experimentos, las mediciones y las observaciones cuantitativamente precisas que proporcionaron la matematización de la naturaleza característica de esta revolución fueron más bien una consecuencia del cambio de mentalidad filosófica y no la causa.

En los criterios de elección y en la mirada al cambio científico, la comprensión de las transformaciones científicas tiende a realizar una interpretación de la historia metafísicamente motivada, la explicación filosófica tiende hacia lo racional celebrando el triunfo de la razón. La explicación histórica debe comprender el cambio, tener en cuenta las contradicciones de la razón, además de resaltar el carácter internista de la genuina Historia de la Ciencia, para así abordar de manera explícita de dónde salen los sistemas metafísicos y filosóficos de que dependen las mutaciones científicas (Cf., Koyré, 1994, p 29).

La revolución astronómica no ha sido independiente del desarrollo de la astronomía de observación, por lo que la Historia de la Ciencia debe tener como método de estudio el análisis textual detallado de los registros escritos de los autores del pasado, para dar una representación dinámica de las ideas científicas que tenga en cuenta las tensiones en las elecciones teóricas.

Sin embargo, la ciencia normal es acumulativa, por lo que el científico normal no busca la novedad, la articulación teórica y empírica del paradigma amplía el contenido informativo exponiéndola a rectificación, lo que hace entendible las anomalías a las que se enfrenta la comunidad científica (Kuhn, 2000, p 34).

Según Kuhn, cada época va delineando el significado del pensamiento científico al analizar la transición entre diferentes visiones de mundo durante una revolución: se trata de descubrir la naturaleza de la comunidad científica que avala determinados enunciados y define los problemas, con el fin de delimitar los que son legítimos y los métodos que se aplican en algún momento de la historia de una ciencia (Cf., Kuhn, 1982, p 133).

No es fácil ignorar los aspectos externos en la explicación del cambio científico, se concede un papel determinante a los factores psicológicos y sociales que actúan en las

comunidades científicas durante el proceso de aceptación del nuevo paradigma, lo que hace que la investigación del historiador permee en la historia los intereses y la escala de valores de su tiempo (Cf., Kuhn, 1982, p 133). A partir de estas ideas se inicia su reconstrucción renovando la historia, mostrando el pasado cambiante e inmutable. Con los paradigmas nuevos se da una reorientación en que, al cambiar de paradigma, la ciencia normal toma los datos anteriores para adecuarlos (Cf., Kuhn, 2000, p 36).

Es en este contexto investigativo donde se debate los procesos de elección de teorías, la decisión entre paradigmas rivales se logra mediante la articulación de un entramado argumentativo, con “técnicas de persuasión de argumentos y contraargumentos” (Kuhn, 1982, p 236).

Para el pensamiento moderno lo epistémico correspondía al ámbito de la racionalidad teórica y lo valorativo al ámbito de la racionalidad práctica, el pensamiento lógico es muy estricto en esta separación y en la afirmación de una neutralidad valorativa, reflejado en la distinción de contextos: “La ciencia tenía fines internos no valorativos y fines externos valorativos, lo que provocó la crisis de la concepción heredada, el surgimiento de la nueva ciencia que afirmó la existencia de valores epistémicos y la pluralidad valorativa en la ciencia” (Kuhn, 1982, p 321) .

El estudio de las características que hacen que una teoría sea consistente es uno de los interrogantes que Kuhn intenta solventar, mostrando la existencia de valores científicos más amplios como los puramente epistémicos, formulando estos cinco: precisión, coherencia, amplitud, simplicidad y fecundidad (Kuhn, 1982, p 318).

A partir de la aplicación de estos cinco criterios para evaluar la suficiencia de una teoría, se puede concluir que ninguno por sí sólo es suficiente para elegir entre paradigmas en pugna, ya que se pueden tener diferentes valoraciones respecto de una misma teoría a pesar de usar cada uno de los criterios. La elección de un individuo sobre varias teorías depende de una mezcla de factores subjetivos y objetivos, de criterios compartidos e individuales, ya que la estimación de un descubrimiento o una contribución científica no se realiza en función de un criterio único. La distinción entre reglas y valores muestra que los criterios de elección entre teorías funcionan como valores incompletos y no como reglas de decisión,

ya que la aplicación de valores al enjuiciar las innovaciones científicas no es determinista (Cf., Kuhn, 1982, p 328).

La racionalidad científica está subordinada a una diversidad de valores compartidos en cuya mezcla fluctuante provoca la elección de unas teorías por otras, no existe ningún algoritmo reglamentado de elección que pudiera clarificar sobre la mayor o menor científicidad o capacidad de resolución de problemas.

Los valores científicos van variando a través de la historia, como lo sustenta Kuhn, tanto por su gradación como por su expansión, por lo que algunos valores adquieren mayor importancia en determinadas circunstancias históricas. La racionalidad científica no se fundamenta en una metodología de la ciencia ni en una epistemología, sino que tiene que basarse en una axiología de la ciencia. Es en este sentido que las posturas de Kuhn han tenido gran trascendencia en la filosofía de la ciencia, junto a sus concepciones sobre los paradigmas, ya que el debate se ha centrado en los objetivos de la ciencia y su repercusión sobre las reglas metodológicas (Cf., Kuhn, 1982, p 345)

También han surgido posturas significativas como la de Larry Laudan, quien se ha dedicado a analizar los valores epistémicos en vez de las relaciones entre la ciencia y la ética. En su obra *Science and values* muestra la manera en que los valores éticos siempre están presentes en las decisiones de los científicos, preocupados por la moralidad ética más que por la racionalidad científica. En *El progreso y sus problemas*, muestra que la ciencia es por naturaleza una actividad de resolución de problemas, por lo que propone una teoría unificada de la racionalidad científica en la que se evalúen los problemas y las teorías. Para ello se fundamentó en la elección de las teorías más progresivas, que sintetizó sustentando que la racionalidad científica consiste en maximizar los problemas resueltos y en minimizar las anomalías. Para depurar su teoría del progreso científico, Laudan aborda dos cuestiones de vital importancia: la evaluación de problemas y la evaluación de teorías en tanto resolutorias de problemas. Teniendo en cuenta los cambios de criterios de evaluación en la historia que usan los científicos, afirmó un criterio de racionalidad basado en la idea de progreso en la que se prefiere la teoría que más se acerca a resolver el mayor número de problemas empíricos importantes, al tiempo que genera el menor número de problemas conceptuales y anomalías relevantes (Cf., Laudan, 1997, p 16).

El progreso en la racionalidad científica consiste en minimizar, tanto los problemas resueltos, como las anomalías. Una investigación es progresiva mientras maximice la relación entre beneficio epistémico y el coste epistémico (Cf., Laudan, 1993, p 13). Laudan sólo se ocupa de los valores epistémicos, la evaluación cognoscitivamente racional: verdad, coherencia, simplicidad y fecundidad predictiva. Por lo que, a la hora de evaluar filosóficamente las teorías, lo único que importa es la progresividad, como ya se había dicho, la adecuación y la eficiencia para resolver problemas epistémicos.

A diferencia de Laudan, para Kuhn las influencias externas entran en juego sólo durante las fases de cambio revolucionario, pero la autonomía institucional de la ciencia como razón crítica evidentemente nunca es más que parcial, ya que los dogmatismos y las innovaciones en las teorías científicas están condicionadas por normas e intereses distintos a los que son internos de autolegitimación de la ciencia.

Por esto en su libro *Beyond Positivism and Relativism* Laudan propone un sistema de evaluación que permitiría dar un diagnóstico de las metodologías científicas, con la intención de devolver una nueva garantía a la objetividad. Esto lo lleva a sostener que no existe una manera racional en la que pueda evaluarse ninguna propuesta científica, por lo que asume que no hay una única metodología para la ciencia, sino que existen criterios que sirven para la evaluación de teorías científicas concretas que muestren los procesos científicos (Cf., Laudan, 1978, p 12).

Esto llevó a Laudan a proponer y justificar reglas metodológicas asumiendo que no existe una metodología única, con nuevos criterios que arrojen varias conclusiones como aceptables, para así elegir entre las teorías con pautas diferentes que permitan decisiones correctas y no sólo guiadas por el método racional. Se debe explicar el proceso de la ciencia, ya que en el momento histórico presente estamos en un estado de la ciencia en el que se aceptan determinados valores epistémicos y se especifican, a partir de ellos, determinados métodos acartonados (Cf., Laudan, 1978, p 42).

En este contexto, si las intenciones respecto de las cuales se evalúan los principios metodológicos se transforman con el tiempo es porque los científicos juzgaron sus teorías desde valores diferentes a los nuestros, por lo que los enunciados tuvieron estándares y

metas diferentes, que provocan una valoración errónea si no se tiene un conocimiento de Historia de la Ciencia. Así es como se vuelve problemática la noción de progreso en la ciencia, ya que es difícil hallar la continuidad progresiva cuando se intenta evaluar teorías anteriores, por lo que es bastante difícil encontrar el progreso científico en la Historia de la Ciencia a no ser con una inadecuada evaluación de concepciones científicas partiendo de valores que no se sustentan y de objetivos que ni siquiera se perseguían (Cf., Laudan, 1978, p 42).

En este orden de ideas el progreso se evalúa desde las metas actuales, en ocasiones irracionales, por lo que antes de juzgar la Historia de la Ciencia a partir de nuestras propias metas, se requieren ciertos criterios de evaluación de estas metas, proponiendo a grandes rasgos: que las metas deben ser consistentes entre sí, que deben ser realizables, además deben ser consistentes con las prácticas, para que así deba haberse probado realizables en los casos canónicos de la ciencia pasada (Cf., Laudan, 1978, p 43).

Laudan profundiza la manera como en un momento determinado de la historia una ciencia cambia sus metas por otras, que deben ser realizables y, además, requieren una prueba de ello, es decir mostrar en la Historia de la Ciencia en qué casos el fin ha sido alcanzado.

Teniendo en cuenta esto, cualquier fin aceptable ya estará realizado en la historia pasada, lo que garantiza que encontraremos por lo menos un caso pasado que puede describirse a la luz de los fines actuales: una evaluación que se habrá dado en cada momento histórico pasado, en cada meta propuesta que guardará cierta continuidad con las anteriores, de modo de preservar logros (Cf., Laudan, 1978, p 45).

Esta limitación de reglas es necesaria, estos casos definen qué fines consideraremos racionales ya que, si se seleccionan los casos en los que deben hallarse realizados nuestros propios fines, el criterio es circular y se pone en conjunción con el criterio de la comunidad científica que acepta como tales, fines determinados (Cf., Laudan, 1978, p 46).

Del análisis de estos criterios que lleva a cabo Laudan para evaluar los fines de las teorías se concluye que, a veces, es posible dar razones para escoger metas y maneras

respecto de cómo es posible dar razones para seleccionar medios. De la misma manera que lo está la selección de medios, estas razones estarán soportadas en temas empíricos, al igual que se dan razones para cualquier enunciado científico. Si los miembros de una comunidad convienen en aceptar ciertas prácticas, teorías y soluciones, siempre que haya acuerdo, será posible resolver problemas en otros ámbitos. Sin embargo, esta posibilidad de resolver acuerdos no presupone criterios universales de racionalidad, por lo que estos criterios propuestos por Laudan no son aceptables de modo universal.

En este caso lo que el acuerdo garantiza, en el contexto de Laudan, es una justificación de las creencias científicas que sólo puede tener validez respecto de los individuos entre los que el acuerdo se haya alcanzado, por lo que la racionalidad de una decisión estará limitada al grupo en el que esta decisión se haya tomado mediante razonamientos (Cf., Laudan, 1978, p 42).

Así las cosas, si se considera un grupo mayor en el que se presenten desacuerdos de metas, en él no existirán criterios objetivos de racionalidad justificable, por lo que la argumentación de las concepciones “quedaría limitada a grupos dentro de los cuales se alcanzarán acuerdos sobre metas” (Laudan, 1978, p 44).

El marco teórico de la metodología empleada en la presente investigación tiene que ver con el impulso que comienza a tener la Historia de la Ciencia, el cual se verá reflejado en la manera de hacer filosofía contemporánea. Sin embargo, para hacer más explícito el método y el trabajo de aplicación procedimental, se hace necesario realizar una contextualización disciplinar donde se explique la elección teórica frente a los modelos que se van a trabajar.

El avance de las ciencias experimentales en la época moderna desarrolló una actitud crítica en torno al conocimiento, el cual dio los lineamientos para postular una filosofía que investigara lo científico como construcción y práctica humana posible de ser analizada. Estas ciencias empíricas obtuvieron su desarrollo y madurez, logrando su propio estatuto científico y autonomía como rama del saber independiente de la filosofía, con la autonomía que evidenciaría el surgimiento de una nueva Filosofía de la Ciencia, la cual se encargara de la epistemología de la ciencia moderna, que en este caso específico sería este cambio científico y sus implicaciones (Cf., Fraile, 1947, p 27).

Un gran interés abrió paso a diversas tendencias de pensamiento y disciplinas: como la *epistemología*, disciplina encargada del análisis del concepto de ciencia y de las condiciones de validez del conocimiento científico. Por lo general esta categoría se usa de un modo amplio que incluye la gnoseología o teoría del conocimiento, teoría crítica del conocimiento científico, lo que implica el estudio de los principios y fundamentos del conocimiento humano. Estos asuntos se refieren a la determinación de la estructura lógica y metodológica de las ciencias, como también el estudio de la naturaleza y sus métodos propios. Las filosofías modernas de la ciencia aparecen en una gama de posturas con diferentes direcciones en función de diversas tendencias filosóficas, manteniendo su interés general del estudio de la estructura y métodos de la ciencia (Cf., Vargas Guillén, 2006, p 12)

Es conveniente comprender las etapas fundamentales del conocer humano para entender la constitución de las ciencias actuales, realizar un análisis de los diferentes métodos científicos y de la estructura gnoseológica de las ciencias en cada época con su momento por contextualizar, lo que lleva a esquematizar brevemente la manera como se ha pensado la explicación a través de la historia.

En este orden de ideas la presente investigación hace referencia a la antigua imagen del mundo que viene a consolidarse con el pensamiento griego, al nacimiento de las ciencias particulares o sus primeros esbozos. Sin instrumentos aptos para la observación y sin haber consolidado una teoría de la experimentación, los griegos acabaron por realizar un trabajo en ocasiones especulativo y pseudocientífico que hizo de la imagen del universo algo extraño, que la humanidad venía aceptando fundada en interpretaciones vulgares de los fenómenos naturales tal como aparecen a la percepción sensible. La explicación científica surge en un contexto muy peculiar, en una tendencia que con Aristóteles se consolida como el marco donde se dejan los principios de la apodicticidad de la ciencia, pilar de la construcción de la explicación con los principios de la lógica.

En esta etapa la imagen científica del mundo se fijó con algunos parámetros que vendrían a perfeccionarse en el modelo de las dos esferas, en una mezcla del sistema de Tolomeo y la física aristotélica, donde se sostuvieron ciertos principios sin comprobación

científica alguna, prevaleciendo posturas en la que la explicación se daba de manera tentativa con suposiciones.

En el medioevo este prolongado atraso en el progreso de la ciencia en campos como la astronomía y la física no debe atribuirse a la actitud especulativa y teológica de la Escolástica, cuanto a la falta de invención y pensamiento técnico para avanzar en la experimentación científica. Para De Olaso (1994, p 135), el pensamiento escolástico ya se daba cuenta de que las teorías físicas y astronómicas recibidas eran meras hipótesis y que era posible descubrir nuevos hechos que reclamaran distintas explicaciones a la que parecía imponerse por la observación. Se requería de la experiencia del sentido común del cual la inteligencia aprende, fuente e insumo de las deducciones intelectuales, para la observación de los hechos y de los fenómenos. Desde el comienzo del siglo XVI la formación progresiva de la ciencia llega con el derrumbe de ciertas concepciones antiguas, el quiebre lo realizan los hombres del renacimiento, con su deseo apasionado por el conocimiento de la naturaleza y el descubrimiento de nuevas formas de utilizar sus componentes.

La ciencia moderna constituye la creación de las ciencias actuales, que con su desarrollo desde la segunda mitad del siglo XIX y su crecimiento espectacular en el siglo XX con los descubrimientos de la física electromagnética y nuclear, se impuso sobre la filosofía hasta llegar a pensar en remplazarla. Sin embargo, no sólo estaba lejos de alcanzar el ideal de una explicación total del universo, sino que empieza su profunda crisis de principios, como su crítica a la valoración de sus resultados.

En el sentir de Urdanoz, los teóricos de la ciencia comienzan a abandonar el optimismo reinante tras ponerse en duda muchos principios y nociones fundamentales de las diversas disciplinas científicas, ya que empieza a consolidarse una nueva reflexión crítica sobre la crisis de la ciencia, la insuficiencia en la explicación acartonada y monolítica. Con el positivismo, que siempre intenta justificar sus principios y postulados, se comienza a poner en cuestión a través de una filosofía crítica de las ciencias la hegemonía reinante de la ciencia. El modelo sistemático del positivismo es criticado desde diferentes flancos, entre estos las corrientes de Historia de la Ciencia, ya que los historiadores ponen en duda la lectura histórica por la incertidumbre que genera la crisis de principios de la ciencia, estos asumidos por inconvertibles empiezan a ponerse en duda con el valor y alcance de sus

resultados. La visión acumulativa y progresiva se cuestiona, analizándose mejor la forma como se dan los cambios científicos y la manera como avanza la ciencia.

El panorama para Urdanoz (1997, p 46) está conformado por los pensadores franceses que fueron los primeros especialistas en avanzar en este campo, construyendo diferentes teorías sobre la filosofía de las ciencias. Viene una tradición científica desde Descartes y Fontenelle en el siglo XVI y XVII, pasando por el XVIII y el XIX con L. Pasteur y C. L. Bernard, influenciando a Comte y repercutiendo en pensadores como Henri Poincaré, con su convencionalismo.

Pierre Duhem desde la física, sostiene que la teoría no proporciona ninguna explicación de la realidad, ya que la ciencia física prescinde de esto y su misión es sólo dar una representación y clasificación ordenada de un conjunto de leyes experimentales. Emilio Meyerson, químico y teórico de la Filosofía de la Ciencia, en su obra *De la explicación de las ciencias*, postula que la coexistencia de principios opuestos en la ciencia se debe al hecho mismo de que existe un mundo exterior diverso a nosotros, resistente a la razón: en este sentido el progreso de la ciencia tendría que ver con una progresiva desmaterialización de los objetos externos para reducirlos a las formas matemáticas de nuestro conocer (Cf. Teófilo Urdanoz O. P. 1997, p 48).

Bachelard, uno de los más importantes en este grupo, considera que lo real se constituye mediante rectificaciones, sustentado en una teoría del conocimiento por aproximaciones sucesivas que forman una red con acercamientos más precisos. Koyré, figura también de este grupo de teóricos franceses de las ciencias, se mantiene en la línea de Bachelard y Cavaillès, sosteniendo que una Filosofía de la Ciencia debe elaborarse desde la perspectiva de la Historia de las Ciencias, analizando la historicidad del saber científico. Se apoya en Meyerson y en Duhem en la concepción de la identidad y la continuidad entre el sentido común y los procesos constitutivos de la ciencia: oponiéndose a cualquier reduccionismo de la explicación científica, según el cual la teoría sería concebida como una simple representación cómoda, sin valor de verdad intrínseca, pero a su vez se acerca a la concepción bachelardiana de discontinuidad histórica, de mutación intelectual que constituye la nueva ciencia (Cf. Teófilo Urdanoz O. P. 1997, p 54).

Lo que supone una teoría verdadera procede de una ruptura con la teoría anterior reconocida como falsa, aunque por ello esto sea un progreso respecto del estado preteórico. Canguilhem retoma algunos aspectos de la corriente bachelardiana de la conexión interna de la historia de las ciencias, exponiendo su teoría epistemológica, en especial su crítica a la evolución de la filosofía de la ciencia, según las mutaciones y cambios de conceptos que la ciencia plantea en su devenir específico (Cf. Teófilo Urdanoz O. P. 1997, p 57).

Kuhn en su artículo sobre *Racionalidad y elección de teorías* resalta su herencia de Hempel sobre la explicación científica, del cual dice haber aprendido a reconocer la actitud de un hombre que se esfuerza en que las distinciones filosóficas sean útiles para el avance de la verdad. Hempel compartió sus puntos de vista frente a la propuesta kuhniana, defendiéndola de ser tildada de sustentar la irracionalidad y relatividad de la elección de teorías. La discusión entre los dos sobre las circunstancias o el contexto en que se puede afirmar que ciertos criterios que usan los científicos comúnmente para evaluar teorías se fundamentan en bases racionales, muestra una propuesta que intenta encajar esa parte que no es racional pero que es indispensable en la explicación científica: las limitaciones impuestas por la experiencia en ausencia de buenas razones (Kuhn 2002, p 148).

Las cuestiones que tienen que ver con la racionalidad científica y la elección entre teorías rivales ha sido el centro de diversos debates, la tensión entre el modelo aristotélico-ptolemaico y el modelo de la astronomía copernicana ha sido una tónica en la historia de la ciencia. Sin embargo, la caracterización del conocimiento científico propuesta por Kuhn conlleva a sostener que los criterios de racionalidad son constructos históricos asociados a paradigmas específicos y sometidos a las variaciones de contexto, al igual que cualquier modelo paradigmático.

Con miras al marco procedimental hay que comenzar diciendo que las teorías y los modelos son herramientas conceptuales esquematizadas, con los cuales se intenta articular de manera sistemática los conocimientos que se logran por la experiencia a través del proceso de investigación. En este caso particular los dos modelos en que se pretende profundizar en la presente investigación contribuyen a tener una imagen o representación de diferentes lecturas de la realidad, haciendo referencia a ámbitos que pueden o no encajar

con aquello que intenta reproducir, son contrastables con la realidad, supuesto filosófico indispensable para la ciencia.

Como marco procedimental, para reforzar las características que da Kuhn sobre la valoración de una teoría, adicionalmente se van a utilizar los criterios más comunes de valoración epistémica para distinguir una teoría científica, desde los cuales poder evaluar a través de juicios hipotéticos los modelos en cuestión: criterios lógicos, empíricos, sociológicos e históricos (Ramón, 2006, p. 8). Los modelos científicos son un marco conceptual que se utiliza para explicar científicamente fenómenos, en este caso astronómicos. Estos criterios se van a utilizar para distinguir los modelos, con la intención de poder detectar el grado de científicidad, además de los problemas teóricos y sociales que implica este cambio científico. Los criterios que se van a tomar en cuenta son los lógicos, empíricos e históricos.

En los modelos, los criterios que se usan para diferenciar lo que es ciencia de lo que no lo es son los criterios lógicos como: la parsimonia, que consiste en usar las ideas más simples que no postulen cosas innecesarias; la consistencia lógica, que es la coherencia de la teoría, analizando la validez más que la verdad; la falsación o que sea falseable lógicamente, capacidad de que el modelo científico sea sometido a pruebas que lo contradigan; y, finalmente a condicionamientos límite explícitamente definidos con anterioridad de forma que esté claro si los datos concretos son relevantes para la verificación o falsación.

Los segundos criterios que se van a utilizar son los empíricos, en el sentido de evaluar si las posiciones de los modelos pueden ser empíricamente contrastables o que conduzcan a predicciones que sean constatables. Tomar en cuenta si tienen predicciones que estén verificadas o comprobadas para revisar si implican resultados que puedan ser recreados, con criterios para la interpretación de los datos como hechos.

Para la evaluación de los modelos también se van a utilizar criterios sociológicos en los que se analice las paradojas y anomalías sin resolver en base a las teorías preexistentes, si plantea nuevos problemas sobre los cuales los científicos pudieran trabajar desde un punto de vista externalista. También se considerará analizar de qué manera los modelos sugieren

nuevas formas de solución de problemas a partir de los descubrimientos, dando nuevos conceptos con definiciones de los cuales poder abrir la investigación a nuevas cuestiones.

Dentro de los criterios históricos que se van a usar, se trata de analizar si los modelos logran o superan el conjunto de parámetros de sus antecesores o revelan que algunos métodos dejados atrás son artefactos, o si puede explicar todos los resultados que se reunieron bajo teorías relevantes en forma de hechos. Si el modelo es consistente con todas las teorías adicionales preexistentes que han establecido su validez científica desde un punto de vista internalista de la ciencia, implica despojarlo de las influencias sociológicas para analizar sus cambios desde un punto de vista teórico.

Las teorías científicas pueden ser valoradas epistémicamente desde su consistencia, si son consistentes interna o externamente, si son parsimoniosas o económicas proponiendo conceptos o explicaciones, si son útiles en el sentido de descripción y explicación de los fenómenos observables. Empíricamente verificables y falsables, implicando de alguna forma un ejercicio de contrastación, en ocasiones basado en experimentos controlados y repetidos. Por lo que su análisis implica mirar la manera en que se han establecido correcciones y dinámicas cuando se hacen cambios en función del descubrimiento de nuevos datos, prospectiva que engloba algunas cosas que explican las teorías previas.

Estos criterios se van a utilizar dependiendo del análisis en cada modelo, de tal manera que se pueda realizar juicios de valor epistémico, en los cuales salgan a relucir los criterios en los cuales se pueda resaltar las variables de los modelos desde los cuales sopesar factores positivos y negativos.

Capítulo 2

Introducción a los Modelos cosmogónicos y emergencia de los discursos científicos: los primeros modelos cosmológicos

Bosquejo histórico: lo mitológico y lo racional

Como antesala al problema cosmológico se trata de abordar la explicación mítica del mundo, la cosmogonía, como un intento racional por entender el mundo, debido a que el discurso mítico tuvo un tipo de explicación diferente, disperso en narraciones y formas de saber peculiares, pero un tipo de explicación que suplía las circunstancias del momento. En este sentido, sus estratificaciones o escala de valores son diferentes, con un innegable nivel racional que tiene alto grado de coherencia del cual hay que resaltar su validez, a pesar de ser un complejo mecanismo metafórico (Cf., Chaparro, 2003, p 22).

Como ya ha sido demostrado por los antropólogos, la mayoría de las culturas antiguas se preguntaron por la estructura del universo y la relacionaron con sus dioses, tal vez respondiendo a la necesidad psicológica profunda de enmarcar en algún orden el desarrollo de sus actividades cotidianas. Estos esquemas de relación con la naturaleza integran a los seres humanos con el universo haciéndolos sentir como en su propia casa, consolidando un determinado punto de vista sobre el mundo para darle un significado a sus actos (Cf., Chaparro, 2003, p 23).

Esto requirió una creación heterogénea de lenguajes, con una producción colectiva de enunciados, con otras fronteras entre los saberes, una división diferente de las facultades y otra manera distinta de concebir una situación y de significarla. Al encausarse el discurso mítico quedan latentes los aires teológicos, con preguntas que buscan una explicación en tanto que intentan narrar los avatares del alma, trata de responder desglosando el origen del mundo o la relación de los vivos con un más allá después de la muerte: sirve de explicación dentro de una racionalidad de otro orden (Cf., Chaparro, 2003, p 34).

Los pioneros de la cosmogonía realizaron unos intentos tentativos por explicar el mundo, creando unos conceptos a través del discurso mítico que, expresados a través de un

lenguaje particular, son resultado del pensar empírico en un contacto directo con la naturaleza y sus señales. Las primeras indagaciones cruzan lo mitológico y lo observacional, entre los babilónicos había tesis como que un gran río circunda la tierra, la de un gran disco que flota en el océano en cuyo centro se erigía la montaña del mundo, explicando el paso del día y la noche como que el sol y la luna circulaban en medio de la montaña: en el mundo pasaba el Eufrates y el Tigris, el Ganges y el Nilo, y todo estaba cubierto por una bóveda en la que se movían los dioses de las estrellas. En la concepción del mundo de los egipcios el Nilo es el centro, los dioses separaron el cielo de la tierra y el resultado fue el mundo (Unceta Gómez, 2009, p 209).

Sin embargo, aunque estas necesidades psicológicas se dan en la mayoría de los casos, las cosmologías que se alimentan de dichas necesidades han cambiado dependiendo de las diversas sociedades o civilizaciones. En realidad, sólo las civilizaciones occidentales que descendieron de la Grecia helénica buscaron la coherencia inteligible de lo real, pensaron de manera abstracta el orden cósmico en relación con los asuntos humanos, y vincularon sus preguntas sobre la estructura del universo con el naciente saber filosófico-científico, y no sólo con la observación sistemática de los cielos. En Grecia fue donde se dio la primera cosmología científica.

Esta cosmología exigía una visión coherente del mundo, una solución conveniente de los fenómenos observados para canalizar el deseo universal de un mundo tranquilizador, tratando de dar explicaciones científicas (Cf., Kuhn, 1984, p 30). Esta combinación de exigencias hace que la observación juegue un papel primordial en las hipótesis de elaboración.

El hombre intentó interpretar los fenómenos del cielo mediante explicaciones mitológicas, con argumentaciones causales y observacionales de los fenómenos: el cielo es semiesférico, impenetrable, bronceo y sólido, la tierra aparece plana con un horizonte circular.

Las concepciones primitivas sobre la estructura del universo de culturas como la egipcia, india y babilónica, estaban determinadas ante todo por las creencias culturales asociadas a los fenómenos terrestres, por acontecimientos que repercuten en los creadores de tales

sistemas (no se fragmentó la unidad hombre-cosmos). Aunque estas culturas realizaron profundas y complejas observaciones de los fenómenos celestes, estas observaciones no propiciaron un modelo cosmológico que hiciera posible la explicación y no solo la predicción de las regularidades e irregularidades celestes:

"...si previsión y predicción equivalen a ciencia, nada es más científico que la astronomía babilónica. Pero si se ve en el trabajo científico sobre todo un trabajo teórico, y se cree que no hay ciencia allí donde no hay teoría, se rechazará la ciencia babilónica, y se dirá que la cosmología científica tiene sus principios en Grecia, puesto que fueron los griegos quienes por primera vez concibieron y formularon la exigencia intelectual del saber teórico: superar los fenómenos, es decir, formular una teoría explicativa del dato observable; algo que los babilonios no hicieron nunca" (Koyré, 1978, p 77).

Desde otro punto de vista, las culturas helénicas son las únicas que han tenido la necesidad de ofrecer una cosmología que fusione una física y una astronomía. Esta fusión sigue siendo hoy muy importante, pero como se verá más adelante, no siempre se ha mantenido.

De manera similar se puede rastrear en los orígenes del pensamiento griego la concepción popular de la naturaleza del mundo: en las referencias homéricas se muestra el cielo como una semiesfera sólida, similar a un cuenco en la *Iliada*; en la hesiódica *El Tártaro bronceíneo* como el cielo, simetría entre el inframundo y el supramundo en *Teogonía*; y finalmente en el vasto río de Océano fluía en torno al borde del disco terrestre (Cf., Kirk, Raven y Schofield, 1999, p 27).

El modelo helénico se preocupó por dar razón a los movimientos variados del sol y de las estrellas. Sobre el sol intentó explicar: ¿por qué el sol viaja durante el día a lo largo del cielo?, ¿por qué la cantidad de horas luz cambia de un día a otro a lo largo de las estaciones?, ¿por qué el sol no aparece y se oculta en el mismo lugar siempre por el este y el oeste, sino que en algunas épocas del año sale o se pone más al norte o más al sur? (Cf, Moreno, 1997, p 14)

"Con respecto a las estrellas algunas de las preguntas a las que quiso encontrar explicación fueron: ¿qué son las estrellas?, ¿por qué se encuentran en posiciones constantes (con respecto a sí mismas)? ¿por qué tienen un ciclo de movimientos regulares? ¿por qué en las latitudes boreales medias algunas estrellas se ocultan en

el horizonte y otras no? Para encontrar respuesta a estas preguntas fue necesario la creación de un esquema gráfico con una de las siguientes dos posibilidades: el movimiento del horizonte o el movimiento de los cuerpos celestes. La mayoría de los griegos, entre ellos Aristóteles optaron por la estabilidad de la tierra y el movimiento regular de los cuerpos celestes y por la preferencia de lo circular y de lo esférico. En general, prefirieron las cosmologías que mejor satisfacían las exigencias cosmológicas de un universo finito, eterno, diferenciado y autosuficiente. Para ello fue necesario plantear un universo jerarquizado” (Cf, Moreno, 1997, p 14).

Utilizaron algunos epítetos metálicos que dieron la impresión de solidez y brillo, localizando la parte inferior del espacio existente entre la tierra y el cielo hasta las nubes llamada aire o neblina; la parte superior la llamaron éter, aire superior brillante concebido como ígneo (Cf, Moreno, 1997, p 14).

Quizá esta sea la motivación de la postura de Tales, quien en este contexto puede considerarse como los intentos propiamente racionales de explicar el mundo. Las referencias de Homero a Océano como origen de todas las cosas podría tener un origen que no es griego, quizá de versiones babilónicas y egipcias que consideraban que la tierra estaba en estado de desecación o de emergencia de las aguas primigenias (Cf., Kirk, Raven y Schofield, 1999, p. 31). La invención del gnomon, un reloj del sol primitivo consistente en una varilla graduada que se levanta verticalmente, logró la invención del calendario solar con aplicaciones diversas.

En la cosmología de Tales la tierra flota sobre el agua, fuente de todas las cosas, principio constitutivo material originario. Las razones fisiológicas usadas por Tales como prueba, que los seres vivos dependen del agua para la alimentación y que el esperma es húmedo, no sólo sustentan que el agua es principio constitutivo, sino que también sustenta una concepción del mundo como algo vivo y animado, todas las cosas están llenas de dioses, atribuyendo alma hasta a la piedra magnética (hilozoísmo).

Anaximandro diseñó el primer bosquejo del mundo e imaginó el primer globo celeste representando la tierra como un cilindro, localizando en la parte más profunda el submundo, ya que detrás de la bóveda celeste ardía fuego y a través de unos agujeros traslucían las llamas, las estrellas. El movimiento era eterno y los mundos infinitos, unos nacen y otros perecen, la transformación en el cosmos estaba relacionada con la divinidad,

poder vital y movimiento de lo indeterminado “Dice que la tierra tiene una forma de cilindro, dado que su espesor lo calculaba como de un tercio de su anchura, asumiendo su forma curva, redonda y parecida a un fuste de columna” (Kirk, Raven y Schofield, 1999, p. 198)., ya que según él caminamos sobre la superficie de la Tierra plana, que está en reposo a causa de su equilibrio, ya que nada la sostiene. Sostiene que desde lo caliente y lo frío lo eterno se distanció del apareamiento de este mundo y que de ello se originó una esfera de fuego en torno al aire que circunda la tierra como la corteza en torno a un árbol, cuando se rompió en trozos y se cerró en ciertos círculos se formaron el sol y la luna (Cf., Kirk, Raven y Schofield, 1999, p. 199).

La cosmogonía de Anaxímenes explica el desarrollo del mundo a partir del aire, cuando se contrae nace la tierra completamente plana que en consecuencia cabalga por el aire. Sostiene que el sol es tierra y que debido a su rápido movimiento logra el suficiente calor, los cuerpos celestes provienen de la tierra por la humedad que de ésta surge, cuando la exhalación se rarifica nace el fuego y de su elevación es que surgen las estrellas. En su cosmología la tierra es plana y cabalga sobre el aire ilimitado, es ancha y poco profunda; de naturaleza ígnea al igual que los demás cuerpos celestes lanzados fuera por el aire condensado y resistente, los cuerpos celestes se mueven en su derredor, como un casquete que girara en torno a nuestra cabeza (Cf., Kirk, Raven y Schofield, 1999, p. 226).

Jenófanes sostiene que “el sol y las estrellas provienen de las nubes” (Kirk, Raven y Schofield, 1999, p. 254) que se encuentran en ignición, formadas de diminutos pedazos de fuego que se aglomeran y “al juntarse forma muchos soles y lunas a lo largo de las regiones y secciones de la tierra” (Kirk, Raven y Schofield, 1999, p. 254). La tierra es infinita y no está rodeada ni por aire ni por el cielo, todas las cosas se componen de tierra y hay innumerables soles y lunas. Esto lo lleva a sostener que el sol avanza *ad infinitum* pero que da la impresión de que se mueve circularmente debido a la distancia (Cf., Kirk, Raven y Schofield, 1999, p. 255).

En Heráclito “el mundo es un fuego perdurable, algunas de sus partes siempre están extintas y constituyen las otras dos masas importantes del mundo: el mar y la tierra. Los cambios entre el mar, la tierra y el fuego se equilibran mutuamente, el fuego puro o etéreo tiene una capacidad directiva” (Kirk, Raven y Schofield, 1999, p. 288), por lo que este

cosmos heracliteano no lo realizó Dios ni ningún hombre, sino que siempre fue y será fuego eterno, que se enciende y se agota según medida. En la astronomía heracliteana los cuerpos celestes son cubetas de fuego, alimentadas por exhalaciones procedentes del mar, “cubetas giratorias cuya parte cóncava está dirigida hacia nosotros, las exhalaciones resplandecientes forman las llamas que son los cuerpos celestes, la más brillante es la del sol, por eso es nuevo cada día” (Kirk, Raven y Schofield, 1999, p. 292). El mundo en este contexto es engendrado y destructible, en un momento es fuego y en otro es este tipo de cosmos (Cf., Kirk, Raven y Schofield, 1999, p. 288).

Mientras tanto Parménides no nos da una justificación razonable por haber puesto a la luz y la noche como principios cosmológicos, quizá siguiendo el modelo de Hesíodo en la *Teogonía*. Sin embargo, hay fragmentos de una posible introducción a los cielos donde hace referencia a los límites de los astros, el cielo circundante y cómo la necesidad encadenó al cielo. En ellos se habla de una extraordinaria teoría de coronas o anillos, donde sustenta que éstos están llenos de “Los anillos más estrechos están llenos de fuego puro, y los que están contiguos de noche, aunque tienen en su interior una parte inyectada de fuego, en el centro está la diosa que lo gobierna todo, que rige el nacimiento y la unión de todas las cosas, impulsando la hembra a unirse con el macho y al macho, asimismo, a unirse con la hembra” (Kirk, Raven y Schofield, 1999, p. 370).

Los anillos parmenídeos están

“enrollados unos sobre otros, compuestos, el uno de lo raro y el otro de lo denso, hay otros formados de luz y oscuridad. Lo que les rodea a guisa de pared es sólido por naturaleza, debajo hay un anillo ígneo. La parte central de los anillos mezclados es la causa primaria del movimiento y del nacimiento de la diosa que lo gobierna todo, justicia y necesidad. El aire convertido en vapor a causa de la presión de la tierra, es su separador, por lo que el éter es la parte más exterior que circunda todo, colocado en lo que llamamos cielo” (Cf., Kirk, Raven y Schofield, 1999, p. 370).

Empédocles realizó el esbozo general del ciclo del cambio tal como se desarrolla en el estadio cósmico, una cosmología de la esfera en la que el mundo está siendo ordenado por el amor motor de los elementos, la discordia prevalece y produce una vez más el movimiento en la Esfera. El abismo inferior del torbellino de la discordia tuvo en su centro amor, todas las cosas convinieron en la unidad bajo su acción, se congregaron a su voluntad

que mientras se mezclaba dejaba cosas incorruptibles (Cf., Kirk, Raven y Schofield, 1999, p. 419)

Con Filolao de Crotona y el pitagorismo del siglo V se establece que “el fuego es el centro del universo denominándolo el hogar del mundo, la casa de Zeus, madre de los dioses, altar y vínculo con la naturaleza” (Kirk, Raven y Schofield, 1999, p 482). Para esta escuela el centro es por naturaleza primario y en torno a él danzan diez cuerpos divinos: “en primer lugar la esfera de las estrellas fijas, después los cinco planetas, luego el sol y sucesivamente la luna, la tierra y la anti-tierra, y por último el fuego del hogar que tiene su posición en torno al centro” (Kirk, Raven y Schofield, 1999, p 482). Cuando se mueven producen un sonido que tiene las mismas relaciones con las concordancias musicales, admitiendo que el sonido emitido por el movimiento circular es armónico (Cf., Kirk, Raven y Schofield, 1999, p 484).

La cosmogonía de Anaxágoras sostiene que la tierra es plana “Pues el aire y el éter se separan de la masa circundante, infinita en número” (Kirk, Raven y Schofield, 1999, p 519), ya que “lo denso y lo húmedo, lo frío y lo oscuro se juntaron donde ahora está la tierra, mientras que lo cálido, lo raro, lo seco y lo brillante salieron del éter” (Kirk, Raven y Schofield, 1999, p 519). Con respecto a la cosmología sostuvo que el sol le da el resplandor a la luna, mostró que “el arco iris es la reflexión del sol en las nubes” (Kirk, Raven y Schofield, 1999, p 531), que “la tierra tiene forma plana y se mantiene suspendida donde está, debido a su tamaño, a la inexistencia del vacío y al aire, que es muy fuerte y la sostiene flotando sobre él... El sol, la luna y todas las estrellas son piedras ígneas que la rotación del éter lleva consigo en su movimiento, debajo de las estrellas hay ciertos cuerpos invisibles para nosotros, que son arrastrados circularmente en la unión del sol y de la luna” (Kirk, Raven y Schofield, 1999, p. 532).

En la cosmogonía de Diógenes de Apolonia “todo estaba en movimiento y se rareficcó en algunos lugares y en otros se hizo denso; donde lo denso se concentró en su movimiento centrípeto formó la tierra y los demás seres de la misma manera; las partes más ligeras, en cambio, ocuparon las zonas superiores” (Kirk, Raven y Schofield, 1999, p 619). Con respecto a la cosmología afirma que “los cuerpos celestes son semejantes a la piedra pómez; los considera los orificios de respiración del mundo son ígneos. Con los cuerpos

celestes giran piedras invisibles que caen con frecuencia a la tierra y se extinguen, como la estrella pétrea que cayó en ignición en Egospótamos” (Cf., Kirk, Raven y Schofield, 1999, p. 619).

Es en el *Timeo* donde Platón plantea una cosmología, dando una explicación del universo como un todo, cosmos que fue fabricado por los dioses a partir del modelo de lo inteligible en un material sensible, así los dioses son buenos y nos hicieron lo más perfecto posible. En la exposición del universo como un todo, se explica sus fundamentos, su estructura, su organización, los elementos que lo componen y su dinámica propia, con una explicación de la generación de todos los seres vivientes: desde el origen del mundo hasta el de los mortales. Los dioses crearon los cuerpos para las almas inmortales imperfectas que el demiurgo había hecho como término de su labor ordenadora, por lo que el cuerpo y el alma están sujetos a corrupción. Por ésta, los vivientes imperfectos están sometidos a enfermedad, ignorancia y vicio, lo que hace que se obre por fuera del bien, causa originaria de la maldad.

En la exposición de *Timeo* el discurso avanza de mayor a menor, de lo general a lo particular y de la unidad a la multiplicidad de una manera mística, se aclara los principios fundamentales de este primer logos acerca de la creación, distinguiendo al ser eterno, el devenir que nunca es y nace y muere continuamente y la causa del devenir. “El primer ámbito pertenece al modelo de lo eterno, el segundo al mundo sensible y el tercero al demiurgo inteligente” (Platón, 1997, p 142), por lo que el universo es caracterizado por un ser viviente dotado de razón. Al describir la creación del resto de los cuerpos divinos, describe la creación de los planetas y sus movimientos en el cielo en los siete periodos del círculo de lo otro, las estrellas fijas y su esfera, correspondiente al círculo de lo mismo del alma del universo, finalizando con la creación de la tierra (Cf., Platón, 1997, p 174 30c a 34b).

Eudoxo fue el primero en seguir las enseñanzas platónicas al realizar una propuesta con grandes aportes matemáticos para la ordenación del universo como un sistema de esferas homocéntricas cuyos movimientos al girar en torno a ejes diferentes tenían que explicar las estaciones y retrogradaciones de los planetas. “Los datos observacionales con los que contaba eran escasos, lo que le llevó a resultados erróneos fácilmente perceptibles; sus

hipótesis fueron perfeccionadas por Calipo, calculando la duración del año en 365 $\frac{1}{4}$ días” (Euclides, 2000, p 248).

En cuanto a Aristóteles, sus incursiones en la astronomía son más de carácter perspicaz, en el sentido de que su aporte consiste en realizar críticas de las posiciones de los astrónomos anteriores. Sin embargo, fundamentándose en análisis propios, configuró con sus interpretaciones un universo finito, único y eterno, de forma esférica, en el que se representó un movimiento circular que hacía referencia a un quinto elemento, el éter (Cf., Aristóteles, 2008, p 17).

Así entendido, en el universo convive un mundo sublunar sujeto a movimientos imperfectos y limitados, y otro mundo supralunar en el que se produce sólo el movimiento circular perfecto y eterno. Con esto retomó la idea de que el centro del universo en movimiento sería la tierra, sustentado en el sistema de las esferas homocéntricas, ampliando el número a 55. Esto lo llevo a transformar el sistema de Eudoxo cambiando las esferas geométricas en cuerpos físicos, en esferas materiales concéntricas unidas entre sí.

El modelo cosmológico aristotélico representa cierta síntesis de dos paradigmas cosmológicos precedentes, el que ve en el movimiento de la materia el efecto de un impulso inmanente y otro que niega a la materia capacidad de movimiento y organización sin la actuación de un principio trascendente.

La verosimilitud y el mayor grado de empirismo y coherencia en comparación con los modelos anteriores, su concordancia con los fenómenos como el geocentrismo, la oposición circular-rectilíneo entre los movimientos supralunares y la oposición gravedad-levedad como causas intrínsecas de los cuerpos, hacen de la teoría la mejor consolidada sobre el cielo y su composición: al considerarlo en su tercer sentido, como *universo*, establece su finitud, unicidad y eternidad.

Se plantea el por qué de la rotación del primer ciclo de Este a Oeste, el cielo como ser vivo proveído de movimiento, por lo que tiene un arriba, abajo, derecha, izquierda, delante y atrás. En este sentido lo concibe como girando en un sentido preciso, empezando por los lados peores hacia los mejores. Toda esfera tiene necesariamente un centro inmóvil, por lo

que tiene que existir un cuerpo propio de ese centro, la Tierra, que está en reposo. La Tierra posee sólo movimientos ascendentes, trascendentes y limitados, ya que no sobrepasa los límites respectivamente formados por el centro y por la periferia del mundo (Cf., Aristóteles, 2008, p 23).

Los componentes subordinados por su imperfección de estar sometidos a cambios substanciales que sólo son posibles porque las esferas celestes no tienen un movimiento único otros en sentido inverso que dan lugar a las alternancias del día y la noche, verano e invierno y demás en medio de la generación y la corrupción. Esta distinción abre para el estagirita el paso a la definición del cielo como espacio sideral, ya que la esfericidad del universo y de los astros muestran que su movimiento no es independiente, sino que se ocasiona por el movimiento de las esferas portadoras en las que se hallan insertos, caracterizando la tierra como esférica e inmóvil por su ubicación natural en el centro del cosmos. Sin embargo, sustenta que son muchos los modos de explicación propuestos acerca del movimiento y el reposo de la tierra (Cf., Aristóteles, 2008, p. 29).

Casi contemporáneo a Aristóteles fue Heráclides Póntico, quien sostuvo que “el cambio de la noche y el día tenía que ver con el giro de la tierra en su propio eje, además que Mercurio y Venus no se mueven en torno a la tierra sino en epiciclos en torno al sol como satélites suyos” (Euclides, 2000, p 250).

Con respecto a los *Fenómenos* de Euclides, “los astros se desplazan circularmente, que están sujetos en un cuerpo y que la vista dista lo mismo de las circunferencias” (Euclides, 2000, p 264). Sus análisis geométricos aplicados a los movimientos astronómicos lo llevan a sustentar que el mundo es esférico y gira uniformemente en torno a su eje: “la tierra está en medio del mundo y ocupa la posición del centro en relación con el mundo” (Euclides, 2000, p 270). En términos geométricos, sustenta que “en una circunvolución del mundo el círculo que pasa por los polos de la esfera será dos veces perpendicular al horizonte” (Euclides, 2000, p 271).

Entre sus proposiciones a modo geométrico, sustenta que cada uno de los astros no errantes que hacen levantes y ponientes se levanta y se pone en el mismo punto del horizonte, además de concebir que los signos del zodiaco se levantan y se ponen en

segmentos del horizonte desiguales, ya que en los segmentos mayores los signos de junto al ecuador, en otros menores los inmediatos a estos, en los más pequeños los signos de junto a los trópicos, y en los segmentos iguales los que distan lo mismo del círculo ecuatorial (Cf., Euclides, 2000, p 266).

Plinio el Viejo en su *Historia Natural* sostiene que el mundo y lo que se ha llamado cielo, hay que creer que es igual a la divinidad y es eterno e inmutable, inconmensurable, no ha sido engendrado y jamás va a perecer. Concibe su forma redondeada como un globo perfecto, en un movimiento eterno e incesante girando con indescriptible rapidez en el intervalo de 24 horas. Respecto a los elementos, propone cuatro: el más elevado es el fuego, el siguiente el hálito o aire, que gracias a esta energía se sostiene la tierra en su posición central, estando contrapesada por el cuarto elemento, el agua. La tierra y el cielo están sostenidas por el mismo hálito que los siete astros, separados a unas distancias fijas a los que llamamos errantes por su movimiento a pesar de que son los menos errantes de todos. En medio de ellos se desplaza el sol, de un tamaño y poder extraordinarios, rector de las estaciones y la tierra, de los propios astros y del cielo, alma y mente de todo el universo, árbitro o divinidad primordial de la naturaleza, proporciona la luz a las cosas y aleja las tinieblas, oscurece y da resplandor a los astros, disipa la tristeza del cielo. Las estrellas clavadas en el cielo, no están asignadas a cada uno como lo concibe la astrología, sino que la naturaleza de los objetos celestes según Plinio es eterna ya que forman un entramado y están determinadas por su entramado (Cf., Plinio, 1999, p 139).

La astronomía árabe medieval y cristiana

Las circunstancias sociales produjeron un desplome de la investigación científica, por lo que los primeros en retomarla fueron los árabes, quienes en un principio se limitaron a estudiar respetuosamente el *Almagesto* de Ptolomeo, pero el método usado allí para derivar inicialmente esos modelos de las apariencias estaba implícito y nadie sabía cómo hacerlo.

El respeto a Ptolomeo era tal que, aunque en el siglo IX obtuvieron mejores parámetros solares, como la precisión de los equinoccios, creyeron que simplemente eran variables y

no constantes, lo que se habría tornado patente por el transcurso de cerca de un milenio (Solis y Serrés, 1991, p 74).

Los astrónomos islámicos no sólo se dedicaron a traducir los textos de los clásicos de Grecia y Roma, sino que desempeñaron un papel importante en la revolución copernicana, manteniendo vivo el saber astronómico y científico en la Edad Media, estudios que interesaron a matemáticos y científicos, por lo que en el Corán tiene abundantes alusiones a al Sol, la Luna y las Estrellas.

En el califato abasí, en donde los primeros califas de Bagdad pusieron al frente de su Casa de la Sabiduría a un astrónomo llamado Yaya Belmansum, quien llama a los más destacados científicos de la época, haciendo uso de los medios materiales y de los mejores libros a su disposición: entre los que se encontraba Muhamad al-Fazari, constructor de astrolabios; Al-Farghani o el Alfargano, quien diseñó un tratado de astronomía traducido al latín y utilizado en la Europa del siglo XVI; Al-Juarismi con su tratado de álgebra y algoritmos; Abumassar, astrólogo experto en cometas; Thabit ibn Qurrá, uno de los mayores geómetras, traductor y comentador de los clásicos griegos, determinando la altitud del Sol en la duración del año solar; Al Biruli quién sostuvo una teoría geocéntrica, dedicado a la proyección cartográfica y enciclopédica (Vernet, 1974, p 46).

Alpeltragio, Al Bitruji o también llamado El Petruchí, fue un cosmólogo andalusí que llevó al punto más especializado en el modelo aristotélico-ptolemaico en la andalusí del siglo XI, que influyó a Copérnico en la traducción de Miguel Escoto en su crítica a Ptolomeo en su obra Kitab al-hai'a en Toledo en el año 1217: este modelo celeste era el modelo de esferas homocéntricas.

La toma de Toledo fue el inicio del auge cultural, convirtiéndose en uno de los focos culturales más grandes de la época, promovido y protegido también por Alfonso X el Sabio, quien retoma la idea de convertir esta ciudad en un centro de las ciencias y de las artes como los príncipes árabes. Uno de sus principales intereses fueron las ciencias cosmológicas, creando las *Tablas Alfonsíes*, que registran las observaciones realizadas al firmamento en Toledo desde el 1 de enero de 1263 a 1272 (Torres López, 2009, p 748).

La recepción de la física aristotélica y las matemáticas ptolemaicas se mezclaron volviéndose una exigencia su conocimiento como lo representa el sabio *hakim*, además de pensadores como al-Bi Runi, que multiplicaban barrocamente epiciclos sobre epiciclos interesados más por mantener los modelos forzando un poco para ajustar a movimientos circulares y uniformes.

Ibn al-Haytam escribió un libro titulado *Dudas sobre Ptolomeo* protestando porque el epiciclo sobre deferente daba a los astros un movimiento que no era realmente una circunferencia, mientras que el ecuate hacía que sus movimientos no fuesen realmente uniformes, señalando enfáticamente que Ptolomeo no había dado con la verdadera constitución del mundo, por más que sus modelos imitasen aceptablemente las apariencias (Cf. Serrés y Solís, 1991, p 74)

Los astrónomos de Maragha, la capital mongol en Persia, lograron inventar modelos no ptolemaicos que eran matemáticamente precisos y físicamente menos objetables por el descubrimiento del Nasir ad Din at-Tusi:

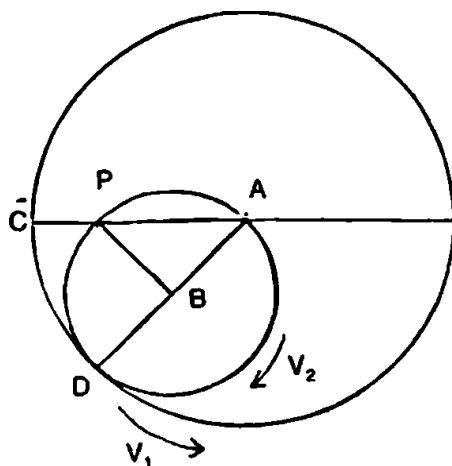


Figura 1: El par de at-Tusi. Si $AE = 2BA$ y si $V_2 = 2V_1$, el punto P oscila por el diámetro CE.
Extraído de Sellés y Solís.

Copérnico tuvo noticia de esta escuela, en ocasiones usó sus modelos implementándolos en su teoría, aunque los demás astrónomos de la época continuaron desentendiéndose de la coherencia física. Sin embargo, el observatorio de Samarcanda, en el siglo XV fue el punto más alto de la astronomía árabe, en el que se usaron cuadrantes de hasta 40 metros con los que fabricaron extraordinarias Tablas que no llegaron a Europa hasta el siglo XVIII.

Los cristianos continuaron el trabajo de los árabes con tres siglos de retraso, por lo que hasta el siglo XII no empezaron a estudiar los clásicos y hasta el siglo XV no dominaron esta técnica. Existían presiones por la reforma del calendario pues Sosígenes había calculado el año para el calendario juliano con un error de 11, 25 minutos, lo que evidenció con el paso del tiempo había hecho que fecha de la primavera se corriera entrada el día 11 de marzo, descuadrando con la fecha de la Pascua. La tecnificación de la navegación oceánica producida por los portugueses, demandaba mejores Tablas y exigía al trabajo astronómico. El neoplatonismo había dado importancia a la astrología como la vía mística que promovía la estructura matemática del mundo físico, lo que intensificó la tendencia copernicana a tratar por igual los problemas físicos y matemáticos.

Una de las tesis por las cuales debatían las propuestas copernicanas era que el movimiento terrestre produciría una variación en la posición de las estrellas, la paralaje, que no se observa.

Copérnico se fundamentó de las mismas preocupaciones de muchos árabes del siglo XI y los astrónomos de Maragha, los modelos no ptolemaicos de Ibn ash-Shatir y de ash-Shirazi o al-Urdi parecen haber influido, teniendo en cuenta que este autor estuvo en la Bolonia de finales del XV y en Padua, de manera que tuvo que enterarse y conocer las traducciones griegas realizadas en Maragha (Cf. Sellés y Solís, 1991, p 77).

CAPÍTULO 3

MODELOS COSMOLÓGICOS

En este capítulo, a partir de la exposición de los dos modelos: el modelo conceptual del universo de las dos esferas y el modelo de la astronomía copernicana, se evidencian las posturas teóricas ensambladas por los mismos. Se utilizan los elementos de análisis extraídos de los referentes teóricos como marco procedimental de manera que, sintetizados en la aplicación y justificación empírica, se lleven a la explicación prometida en la propuesta investigativa, como aporte nuclear de la presente investigación.

El modelo conceptual del universo de las dos esferas

La observación de los fenómenos astronómicos se ha realizado históricamente desde diferentes interpretaciones y en relación con múltiples motivos, por lo que la cultura helénica optó por escoger el esquema cosmológico de las dos esferas, que dejará marcado el pensamiento cosmológico posterior por mucho tiempo. A pesar de que en la antigüedad se hicieran propuestas cosmológicas que concebían el movimiento constante del universo, la mayor parte de los filósofos griegos sostuvieron que el universo se encontraba delimitado por una esfera gigantesca que se encontraba en rotación y que consigo llevaba las estrellas. Que se mantenían inmóviles sus posiciones, mientras la rotación de la esfera más pequeña que la anterior permanecía inmóvil en el centro.

Esta concepción del universo fue llamada el “universo de las dos esferas”, posición que filósofos y astrónomos debatieron desde diferentes perspectivas, sacando a relucir especulaciones sobre la existencia de mecanismos cosmológicos que explicaban el movimiento del Sol y los planetas. En este sentido, esta concepción no es una cosmología, sino un marco estructural en el cual cuadrar concepciones globales sobre el universo. Este marco daría luz a un gran número de sistemas astronómicos y cosmológicos diferentes, contrarios durante los diecinueve siglos que separan el siglo IV antes de nuestra era y la época de Copérnico (Cf., Kuhn, 1978, p 55).

En este sentido, el “universo de las dos esferas” abre un marco estructural en el que se encuadran las diferentes concepciones del universo, ámbito que sería acogido en los diecinueve siglos posteriores, con explicaciones técnicas dadas por sus defensores para su validación. Partiendo de estas explicaciones el cielo es dibujado como una bóveda, en la que las estrellas parecen moverse en conjunto y estaban incrustadas en ésta girando alrededor de la Tierra inmóvil cada 24 horas. En este modelo, el Sol y la Luna giran alrededor de la Tierra mientras ésta no se mueve, sustentados en que los marineros ven el mástil de un barco desapareciendo en la lejanía del mar tras haberlo hecho el casco de la embarcación.

La mayoría de pensadores griegos creían que la tierra era una pequeña esfera inmóvil suspendida en el centro de una esfera en rotación más grande y que llevaba junto a sí a las estrellas: el sol se desplazaba entre las dos esferas, por lo que más allá de la esfera exterior no había nada, ni espacio, ni materia (Cf., Kuhn, 1978, p 55).

En general, el universo de las dos esferas estaba constituido por una esfera interior para el hombre y otra esfera exterior para las estrellas. Una ilustración de este esquema cosmológico nos lo ofrece enseguida la figura número 2, que evidencia la esfericidad de la tierra en este modelo, con dimensiones exageradas, limitadas por un plano (rayado). Se representa el horizonte por el centro de la esfera estelar, poniendo los círculos horizontales como trayectorias seguidas por puntos particulares de la esfera durante la rotación cotidiana. Esos círculos diarios de estrellas se han representado en un trazo mientras son visibles para el espectador y en discontinuo cuando están localizadas por debajo de su horizonte. Los círculos superior e inferior son los de dos estrellas que se encuentran con el horizonte sólo en un punto (Cf., Kuhn, 1985, p 60). “El círculo superior es el círculo cotidiano de la estrella circumpolar más meridional, el círculo inferior es el trazado por la estrella más septentrional de las visibles para el observador, situado en A” (Kuhn, 1985, p 60).

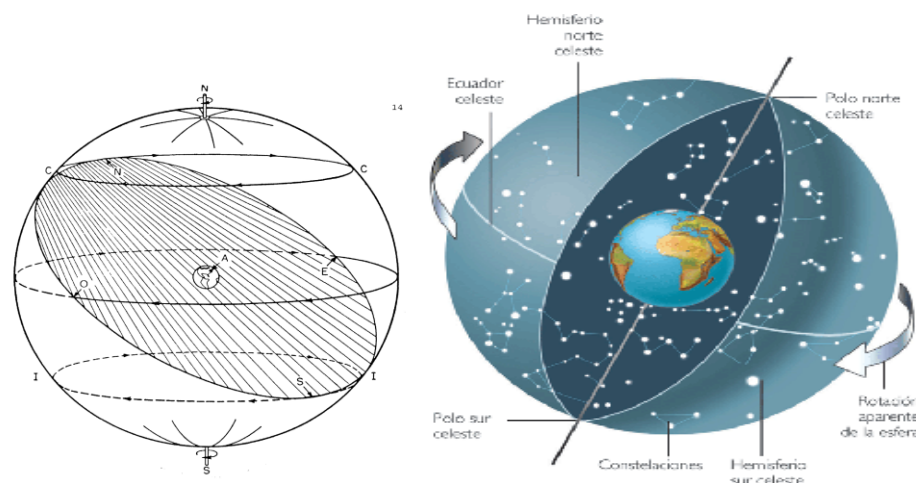


Figura 2 y 3: “Funciones astronómicas del universo de las dos esferas. El círculo exterior es una sección recta de la esfera estelar que gira regularmente de oeste a este alrededor del eje NS. El observador situado en el punto A puede ver toda la parte de la esfera situado por encima del plano de horizonte SONE, rayado en el diagrama. Si este esquema estuviera dibujado a escala, la tierra tuviera unas dimensiones mucho más reducidas y el plano de horizonte sería tangente a la tierra en el punto de observación A.” (Kuhn, 1978, p 212)

Este modelo del universo no contenía la única teoría astronómica de la antigüedad. Existían otras teorías rivales como la teoría atómica de Leucipo y Demócrito, la teoría Pitagórica del movimiento de la tierra, la teoría de rotación de la tierra de Heráclides de Ponto o la teoría heliocéntrica de Aristarco de Samos. Precisamente hay que anotar al respecto, como dice Kuhn que "todas las cosmologías que rivalizan con el universo de las dos esferas tomaban como premisa el movimiento de la tierra, y todas (excepto la de Heráclito) admiten que la tierra está en movimiento como un cuerpo celeste entre muchos otros" (Kuhn, 1978, p 74).

Sin embargo, había razones muy fuertes para rechazar estas teorías desde el sentido común o desde lo que es más compatible con lo que sugieren los sentidos, ellas se prestaban menos a desempeñar las funciones exigidas por un esquema astronómico-cosmológico. En efecto, las funciones lógico-económicas, psicológicas y productivas de una cosmología se satisfacían mejor desde el modelo del universo de las dos esferas.

Este universo sigue proporcionando hoy su función lógica a pesar de no corresponder con la actual astronomía, como afirma Kuhn:

“las observaciones celestes conocidas por los antiguos astrónomos y utilizadas por los navegantes modernos son consecuencias lógicas del modelo de las dos esferas, representante o no para ellos dicho

modelo la realidad. La actitud del científico, su fe en la "verdad" del esquema conceptual, no afecta para nada las posibilidades lógicas del esquema para proporcionar un compendio económico"¹ (Kuhn, 1978, p 68).

El problema de la verdad influye el criterio sobre el funcionamiento de los esquemas conceptuales alterando la explicación científica: la economía, la satisfacción cosmológica y psicológica como exigencias del argumento de coherencia lógica. El resumir cómodamente los hechos observados para explicarlos y comprenderlos, además de darles explicación para entender por qué son los que son, es lo que permite una valoración epistémica del modelo. No es posible sostener que un esquema es definitivo, por lo que los esquemas conceptuales no se limitan a explicar lo ya conocido, sino que dejan abierto también para intentar clasificar lo desconocido.

Desde el punto de vista lógico, el modelo de las dos esferas explica los movimientos de las estrellas porque pueden ser deducidos a un modelo simple. En este sentido la complejidad se hace mínima: esta reducción lógica hace parte de los componentes esenciales de la explicación, repercutiendo en el criterio lógico de la parsimonia, el usar las ideas más simples que no postulen cosas innecesarias.

Con respecto a la consistencia lógica y la coherencia de la teoría, contemplando la validez y la verdad, hay que decir que el modelo es coherente y consecuente en la formulación de sus presupuestos, derivando consecuencias probables sin ser concluyentemente verdaderas. Del modelo se puede decir que tiene un alto grado de validez a pesar de que contenga hipótesis mal fundadas, aunque también hay que resaltar su grado de falsabilidad, hasta el punto de haber posiciones filosóficas heliocentristas como la de Aristarco de Samos.

Los datos recogidos por el modelo de las dos esferas fueron puestos a prueba con condicionamientos límite, definidos por el mismo paradigma, de forma que los resultados fueron relevantes para la verificación, aunque muchas observaciones no fueron comprobadas empíricamente.

¹ El anterior fenómeno se puede ilustrar con el empleo de recursos como los epiciclos y los deferentes, cuyo cuestionamiento será muy importante para la propuesta copernicana.

Los criterios empíricos para la valoración epistémica fueron sustentados a través de herramientas como el *gnomon*, aparatos que utilizaron para la comprobación empírica de los eclipses y demás fenómenos astronómicos. Respecto de la aplicación de las teorías trigonométricas y geométricas para la predicción de los fenómenos se puede decir que no tenían el resultado de contrastación preciso, pero con ellas se lograron predicciones aproximativas que permitieron recrear hipotéticamente el espacio y el comportamiento de algunos astros.

Con respecto a los criterios sociológicos, el modelo de las dos esferas planteó problemas que abrieron el espacio investigativo desde los que se trabajó para poder predecir los fenómenos astronómicos: el problema de la circularidad como el movimiento perfecto en la naturaleza planteó una base para poder llegar a ciertas anomalías sin resolver de los movimientos celestes. Esto implicó una influencia externa social desde la cual se vio afectada la teoría, repercutiendo en la visión teórica por los descubrimientos de esta hipótesis.

Como criterio histórico cabe notar que ya con el planteamiento del modelos, se rompe con la explicación irracional de los movimientos de los astros, buscando una explicación racional a través de la regularidad y constancia de los datos empíricos. Así, a partir de este modelo de las dos esferas sugirió una nueva forma de solucionar y utilizar el movimiento de los astros, con la intención de lograr una conveniencia de los datos de la naturaleza. Esto implicó una influencia interna que produce la búsqueda de la periodicidad, como una constante intrínseca de la teoría.

En relación con las características kuhnianas de las teorías, este modelo cumple parcialmente con la precisión, ya que desarrolla consecuencias deducibles del modelo, aunque no puede predecir fenómenos astronómicos. Respecto a la coherencia, el modelo retoma las posiciones anteriores con cierta validez, pero no bajo una concepción de adecuación entre la teoría y los fenómenos astronómicos, por lo que carecía de verdad y sus afirmaciones eran, en su mayoría, de forma tentativa. Las consecuencias del modelo se extienden más allá de las observaciones, por lo que respecto a la amplitud, el modelo intenta ir más allá de los datos observables, abriendo paso a subteorías diferentes a las que

se destinó desde un principio, siendo un modelo fecundo con nuevos resultados para posibilitar descubrimiento de nuevas relaciones no observadas antes.

Modelo de las esferas homocéntricas

A partir del esquema conceptual del universo de las dos esferas y sin salirse totalmente de él, surgió la teoría de las esferas homocéntricas. En efecto, la primitiva concepción del universo de las dos esferas no pudo explicar de una manera satisfactoria las variaciones posicionales del movimiento del sol, ni las irregularidades del movimiento de los planetas, como las retrogradaciones y ni siquiera el porqué de la posición de cada planeta con respecto a las estrellas en los diferentes días, meses o años. Este esquema conceptual no se había planteado todavía el problema de los movimientos irregulares de los planetas (Cf., Kuhn, 1978, p 89).

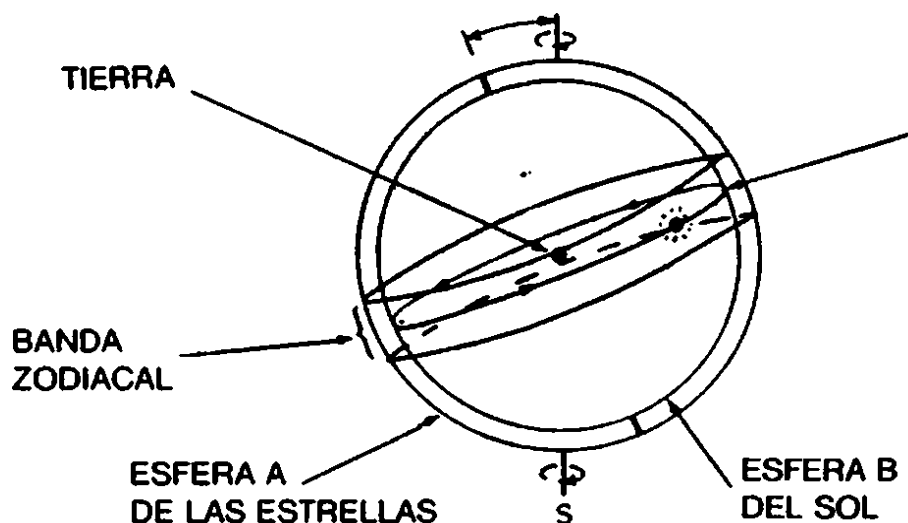


Figura 4: Modelo homocéntrico solar. La esfera A posee el movimiento de las estrellas, girando a Occidente una vez al día sobre un eje orientado al Polo estelar. La esfera B, que lleva al sol en su ecuador, gira anualmente en sentido contrario sobre un eje engastado en la esfera A con cuyo eje forma un ángulo de 23 y medio grados. Desde la Tierra, el Sol parece avanzar lentamente hacia el Oriente a lo largo del año (casi 1 grado diario) por el medio de las constelaciones del Zodiaco. Extraído de Sellés y Solís.

A Platón se le atribuye el haber planteado por primera vez este problema en su libro el "Timeo", con su famosa pregunta: ¿Cuáles son los movimientos uniformes y ordenados que pueden ser tomados como hipótesis para explicar los movimientos aparentes de los

planetas? (Kuhn, 1978, p 89). La primera respuesta a esta pregunta fue dada por Eudoxo, quien ideó un sistema en el que cada planeta se hallaba situado en la esfera interior de un grupo de dos o más esferas, interconectadas y concéntricas, cuya rotación simultánea, en determinadas direcciones y velocidades y en torno a diferentes ejes, reproduce el movimiento observado del planeta (El sistema es metafóricamente parecido a una "cebolla", en la cual sus diferentes capas tienen movimientos diferentes). Las esferas son homocéntricas porque tienen como centro común la tierra. En este sistema el sol y la luna necesitaban de cuatro o cinco esferas (Cf., Kuhn, 1978, p 89).

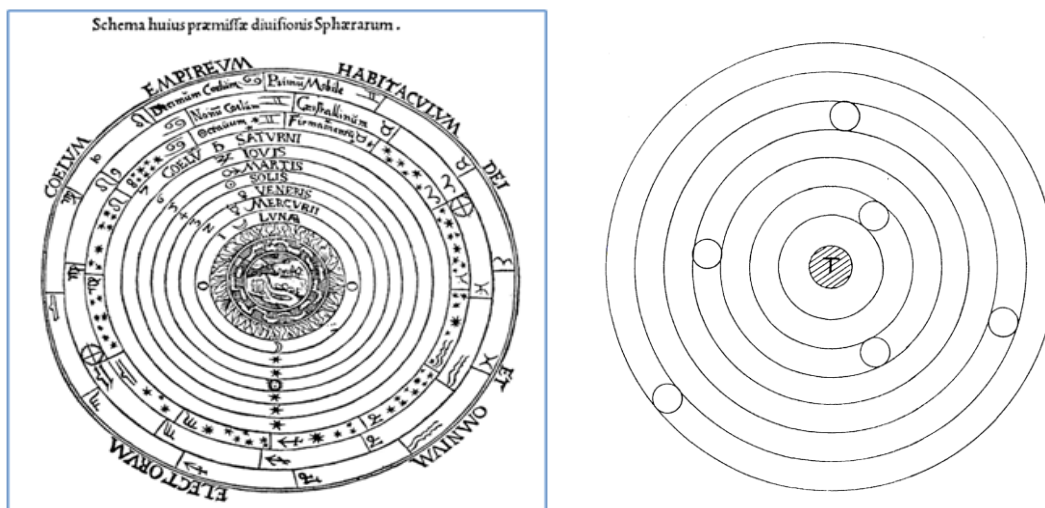
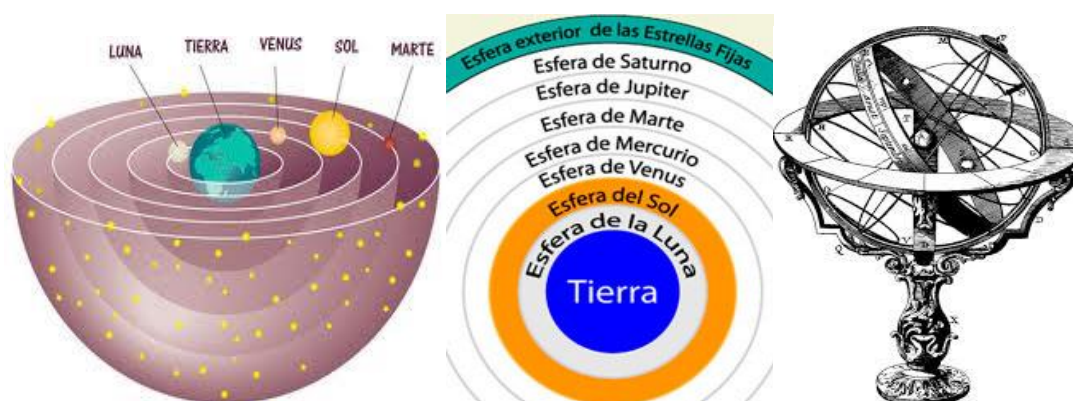


Figura 5: Idea plana y general de un simple esquema de las esferas homocéntricas. La tierra T está en el centro y los demás pequeños círculos corresponden a cuerpos celestes. Hay múltiples variaciones del esquema, según el número de círculos concéntricos indispensables y los distintos movimientos de cuerpos celestes, que se necesitan explicar. Por supuesto que los movimientos de los círculos concéntricos, en los modelos propuestos en la época, encajaban no de una forma plana como en la figura, sino tridimensional².

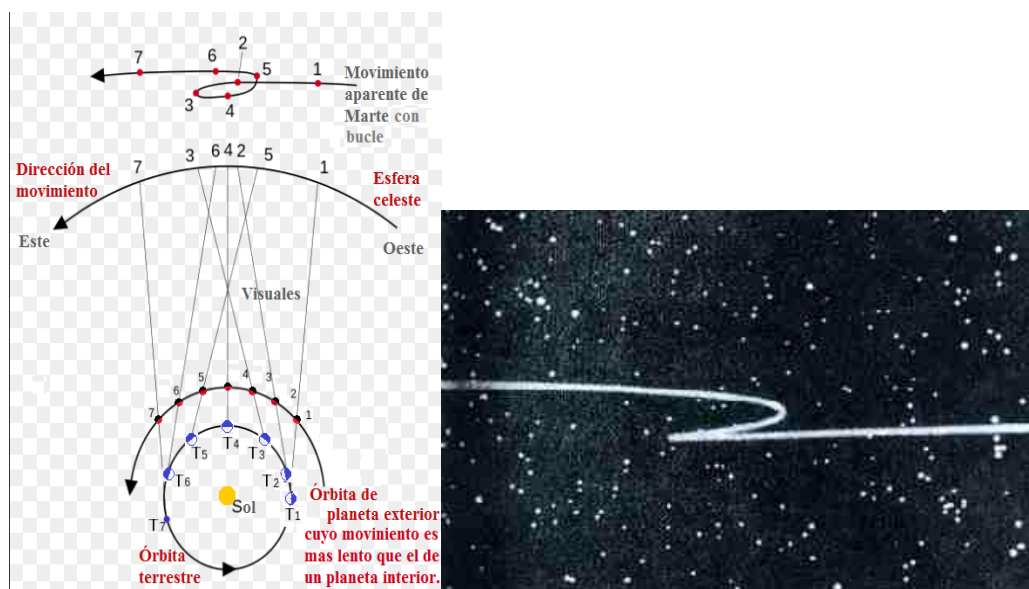
El gran problema que ofrece este sistema es que, al colocar a cada planeta sobre una esfera o un conjunto de esferas determinadas, las distancias entre los planetas y la tierra son invariantes. Sin embargo, la observación muestra que cuando los planetas retrogradan, aparecen mucho más brillantes, es decir, parecen haberse aproximado a la tierra. Estas variaciones de brillo conducirán a Apolonio, Hiparco y finalmente Ptolomeo a hacerle arreglos a la teoría de las esferas homocéntricas (Cf., Kuhn, 1978, p 94).

² Extraído de: <https://losapuntesdefilosofia.wordpress.com/acerca-de/cursos-antiores/curso-2018-2019/filosofia-lo-de-bachiderato/unidad-5-las-cosmovisiones-y-la-filosofia-de-la-naturaleza/>

Este modelo con el que Eudoxo intentaba solucionar el problema de Platón, consistía en realidad en un sistema de 27 esferas homocéntricas, con las que se intentaba dar una explicación a los movimientos de los cuerpos celestes, todos ellos dispuestos en torno a la Tierra: la primera esfera contenía la Luna y la última las estrellas fijas, estos cuerpos fijos que se mueven en bloque sin perder sus posiciones relativas (Cf., Kuhn, 1978, p 94).



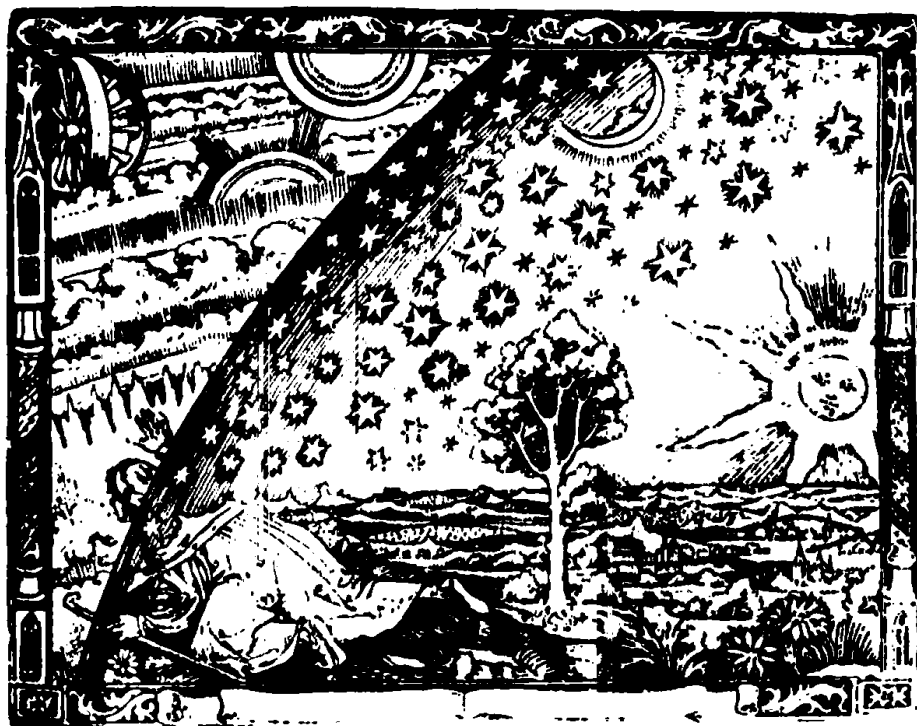
Figuras 6, 7 y 8 son unas representaciones gráficas de la manera como los griegos empezaron a crear su cosmología argumentada racionalmente³.



³ Tomado de: <http://lotofagos-island.blogspot.com/2011/09/la-astronomia-la-cosmologia-y-la.html>
<http://fundacionorotava.org/bachillerato/filosofia/aristoteles/la-fisica-de-aristoteles-ix-caracteristicas-del-pr/>
<https://www.jotdown.es/2015/08/el-cosmos-pertenece-a-los-griegos-y-ii/>

Figuras 9 y 10: es la gráfica de predicción de los movimientos de Marte, esquema sacado de la recolección de datos empíricos, que se pueden ver en la figura 10, vista del firmamento del movimiento acelerado del planeta⁴.

Pero antes de esta modificación, Aristóteles trató de perfeccionar esta teoría. Lo que hizo Aristóteles no fue perfeccionarla desde el punto de vista matemático, sino que, guiado por intereses ante todo cosmológicos y físicos, propuso mecanismos para salvar sus postulados fundamentales del "plenum" en el espacio finito y el movimiento local autosubsistente de las esferas celestes. En efecto, Aristóteles agregó más caparazones al modelo de Eudoxo y Calipo (postuló 55 caparazones). Estos caparazones eran formaciones cristalinas de éter, dimensionales, que se unían unas con otras (sin dejar ningún vacío) para dar las relaciones mecánicas con el fin de mantener en rotación todo el conjunto de caparazones. En este sentido, como el universo estaba lleno, las esferas estaban en contacto, lo que llevaba a que el rozamiento de unas con otras transmitía movimiento a todo el sistema. Bastaba solo el movimiento de una esfera (la esfera de las estrellas), para que se moviese todo el universo. De esta manera, Aristóteles transformó el conjunto de esferas en una pieza de relojería celeste impulsada por el primer motor.



⁴ Tomado de: <http://bdigital.unal.edu.co/1700/5/guia3.pdf>

Figura 11: El problema planteado por Arquitas, amigo de Platón, con respecto a la finitud del universo es que, llegado a su límite, siempre se podía extender la mano más allá. La respuesta de los aristotélicos es que tal cosa sería imposible, dado que más allá del límite no existe el lugar. De Camille Flammarion. *L'atmosphère* (1886). Extraído de Sellés y Solís (1997), p 62.

Respecto a los criterios para la valoración epistémica, el modelo de las esferas homocéntricas presenta una simplicidad desde el punto de vista lógico muy sólido, aunque hay que resaltar la postulación de cosas innecesarias, como la cantidad de esferas y la multiplicidad de artificios del sistema. A pesar de esto, la aplicación de la matemática ofrece cierta rigurosidad científica que hace compatible el modelo con el método científico, a pesar de que el método demostrativo no da cuenta de los fenómenos con exactitud. En este sentido se puede decir que no hay coherencia total con la teoría con respecto a la validez y la verdad, por lo que no es falseable, ya que no puede ser sometido a pruebas que lo contradigan ni lo verifiquen.

Respecto a los criterios empíricos, el modelo no puede realizar las contrastaciones empíricas con verificaciones precisas, por lo que la mayoría de las formulaciones no eran constatables con precisión, la mayoría de las representaciones se realizaban de manera conjetural. Sin embargo, los resultados de los datos empíricos podían ser recreados, lo que supone cierta regularidad que fue usada con el fin de llegar a conjeturas interpretables como datos útiles para nuevas búsquedas investigativas.

En relación con el criterio sociológico, la propuesta se contrasta con las hipótesis astronómicas de la época, planteando nuevos problemas científicos en comparación con las conjeturas babilónicas o egipcias. Las anomalías sin resolver de éstos últimos paradigmas cosmológicos son solucionados a través de hipótesis que son susceptibles de demostración, lo que supone una importancia de la explicación científica. Sin embargo, las anomalías sin resolver sobre el movimiento de los astros, hizo que se sustentaran en argumentos engañosos del sentido común, que abrían espacio a la imaginación con suposiciones peculiares. Esto abrió vetas a interpretaciones con formas extrañas de solucionar nuevos problemas surgidos de premisas falsas, apareciendo nuevos conceptos que debían redefinirse. Las influencias externas respecto a los nuevos descubrimientos, creó nuevas exploraciones teóricas que en ocasiones influenciaron hipótesis, la creación de artefactos de la geometría para la medición produjo anomalías en las teorías.

Dentro de los criterios históricos el modelo superó y logró dar explicaciones a mayor número de fenómenos astronómicos, rompiendo con los criterios anteriores como que no tenían en cuenta la circularidad. En cierto sentido el modelo de las esferas homocéntricas dio una solución al problema de los planetas, aunque con Calipo se añade aún más esferas intermedias, pues Eudoxo sostenía la existencia de tres esferas para el Sol y la Luna y cuatro para cada una de los planetas, además de las estrellas fijas, lo que hacía un total de 27.

En los distintos periodos de rotación, al explicar la retrogradación, lo que se hace es suponer la invariabilidad de las distancias de los planetas a la tierra, ya que al retrogradar el brillo de los planetas aumenta, lo que muestra que están más cerca de la tierra. En este sentido, el modelo es capaz de explicar datos que se reunieron, mostrando consistencia interna con sus hipótesis, estableciendo validez científica.

En relación a las características kuhnianas que hacen que una teoría sea buena, este modelo cumple parcialmente con la precisión, ya que explica a través de la matemática ciertos fenómenos astronómicos, aunque no llega a una exactitud apodíctica. La teoría tiene cierta coherencia, ya que sigue el camino de teorías anteriores, aunque no cumpla el criterio de simplicidad al crear demasiados artificios para la explicación teórica. Respecto a la característica de la amplitud, este modelo abre paso a una lectura distinta que hace que muchos teóricos creen nuevas esferas que expliquen diferentes fenómenos astronómicos. En relación con la característica de simplicidad, como ya se había dicho en el criterio lógico, presenta cierta sencillez y coherencia lógica, pero el multiplicar caparazones como en el caso de Calipo, hace que los fenómenos se tomen aislados y cuando se asumen en conjunto se vuelven confusos. Sin embargo, hay que decir que la teoría fue fecunda, ya que hizo que se investigaran los diferentes caparazones con los que se postulaba el movimiento planetario, siendo tomado por muchos teóricos astronómicos para crear su propio modelo, por lo que en este sentido dio lugar a nuevos resultados y relaciones no observadas antes.

El modelo del helenístico en la astronomía

No solo subsistió en la antigüedad la preocupación por dar una explicación física de los movimientos celestes, también subsistió la preocupación astronómica por convertir en apariencias las irregularidades de los movimientos celestes manifiestas a los sentidos. Esta última preocupación sobresalió especialmente en los científicos helenistas que heredaron la ciencia griega.

Poco antes de la muerte de Aristóteles, Alejandro Magno formó un gran imperio con la totalidad de Asia Menor, Egipto y Persia hasta orillas del Indo. Guiado por su amor al saber griego y oriental fundó toda una cultura y con ella, una revolución intelectual que fue denominada "Helenismo". Esta cultura helenística hundió la relevancia sociopolítica de las "Polis", al concentrar el poder en las manos de los nuevos monarcas y al ir quitando poco a poco sus libertades y su autonomía a las ciudades-estado (Reale, Antiseri, 1988, p 204).

Con estos nuevos cambios, el griego se transforma en súbdito, después de haberse proclamado ciudadano, cambiando los valores como concebían las antiguas virtudes cívicas a dar más importancia a determinados conocimientos técnicos que no pueden tener todos, ya que exigen estudios y disposiciones especiales, por lo que se transforma el antiguo contenido ético por el conocimiento propiamente profesional. (Cf., Reale, Antiseri, 1988, p 204).

Como resultado de lo anterior, el nuevo ambiente intelectual se centró en metrópolis comerciales y cosmopóliticas como Pérgamo, Rodas y Alejandría; donde, gracias a los Ptolomeos se fundó la Biblioteca y el Museo. En estas metrópolis, la confrontación entre diversas culturas produjo diversas ciencias particulares, menos especulativas y más matemáticas que la ciencia helénica.

Hombres como Arquímedes, Apolonio de Perga, Hiparco, Euclides, Teofrasto, etc., produjeron obras a la altura intelectual de las obras de la Grecia clásica, pero con orientaciones diferentes. En general, la característica esencial de la ciencia helenística fue la especialización y la autonomía, llevadas a cabo con una explícita puesta entre paréntesis del trasfondo filosófico y de muchos prejuicios religiosos.

Sin embargo, la ciencia helenística no se transformó en técnicas aplicadas, ya que a pesar de lo anterior ella "...fue lo que fue, porque a pesar de cambiar el objeto de la indagación si lo comparamos con el de la filosofía (atendiendo a las partes, más bien que al conjunto), conservó el espíritu de la antigua filosofía, el espíritu contemplativo que los griegos llamaban teórico" (Reale y Antiseri, 1988, p 266).

Tal vez, la vertiente científica que abrieron los científicos helenistas no redundará en una nueva cosmología científica, sino hasta que los científicos del final del renacimiento y comienzos de la edad moderna, recojan la llama de algunos helenistas, especialmente de Arquímedes, en el caso de Galileo.

El anterior contraste de tradiciones (entre la cultura helénica y la helenística y al interior de las mismas culturas), lo ilustra muy bien la astronomía del medioevo. Su marco de referencia cosmológico es producto de la tradición helénica, especialmente de Aristóteles. La tradición matemática de Hiparco y Ptolomeo pertenece a la tradición helenística. Entre estas dos tradiciones no hubo una compatibilidad total, pues mientras la astronomía aristotélica iba estrechamente ligada a una sólida unidad cosmológica, la astronomía, por ejemplo, de Ptolomeo era un conglomerado de artificios matemáticos, no con el interés de construir o mejorar una cosmología, sino sobre todo con el interés de salvar los hechos de los movimientos irregulares del sol y los planetas. Lo anterior se ve en concreto en el aparente conflicto entre las esferas de la cosmología aristotélica y los epiciclos y deferentes de la astronomía ptolemaica.

...Sin embargo, cuando desarrollaban sistemas matemáticos para predecir las posiciones de los planetas, los astrónomos helenísticos no se preocuparon casi nunca por la posibilidad de construir contrapartidas mecánicas para sus edificios geométricos. La realidad física de los caparzones esféricos y los mecanismos que aseguraban el movimiento de los planetas eran para los astrónomos helenísticos, como máximo, problemas secundarios. En pocas palabras, los científicos helenísticos aceptaban sin ningún malestar aparente una tácita y parcial separación entre la astronomía y la cosmología. Según su punto de vista, un método matemático satisfactorio para prever la posición de los planetas no tenía por qué hallarse en completo acuerdo con las exigencias psicológicas de verosimilitud cosmológica (Kuhn, 1978, p 149)

Ptolomeo, digno científico helenístico, con quien se alcanzó la mejor síntesis astronómica de la antigüedad y aún de la Edad Media, tal vez permitió esta ruptura entre la astronomía física y la matemática influenciado por su creencia e interés por la astrología,

pues desde este punto de vista era muy importante saber calcular las posiciones de los planetas para poder deducir sus consecuencias astrológicas y era inútil saber cómo, física y realmente, los planetas llegan a un lugar dado.⁵

Lo primero que observaron en la bóveda celeste estrellada fue que los puntos de luz no mudaban sus posiciones relativas, las llamaron fijas porque el conjunto giraba de Este a Oeste a lo largo de la noche en torno a un punto hoy próximo a la Polar, a un ritmo de una vuelta por día. Esa bóveda de puntos fijos era el trasfondo de todos los demás fenómenos terrestres, por lo que el sol, la luna y los planetas hacen parte de ese movimiento diario, pero tienen además un movimiento propio que dura un año y que va de Oeste a Este.

El caso del Sol es más sencillo, debido a que su movimiento no es más que el movimiento anual de la Tierra proyectado sobre él, pero el caso de los astros errabundos es más complejo ya que esa proyección del movimiento terrestre posee un movimiento anual propio real. La consecuencia sobre lo que se ve desde la tierra constituye un gran problema consistente en que: los movimientos de latitud, arriba y debajo de la banda zodiacal provocados porque los planos que tienen la órbita de la Tierra y de los planetas se cortan formando un pequeño ángulo, de modo que en el planeta está unas veces por encima y otras por debajo de la eclíptica, que es el supuesto camino del Sol entre las fijas; luego están los movimientos en longitud, de Oeste a Este en torno a la Tierra, que se replican periódicamente de manera regular, ya que si se dividen los 360 grados de una vuelta completa por los días que se emplea en ello, se tiene la mitad del movimiento diario del planeta, siendo el movimiento medio real si los planetas fueran exactos, pero la primera anomalía que presentan es una variación de la velocidad orbital que se podía trabajar con una excéntrica y un ecuante.

⁵ No podemos olvidar que Ptolomeo fue el autor del libro de astrología más importante de su época: el "Tetrabiblos". Este libro desempeñó en el campo de la astrología (astrología judicial) una función análoga a la que desempeñó el "Almagesto" en el campo de la astronomía (astrología natural). Ptolomeo fue igualmente famoso por los dos libros

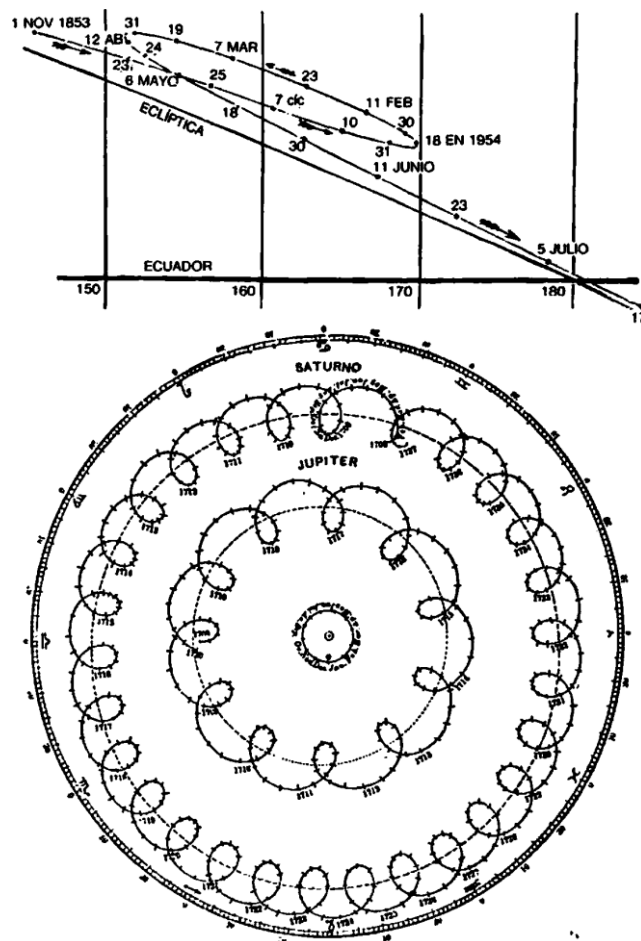


Figura 12 y 13: Las gráficas muestran el movimiento de los planetas desde la eclíptica, intentando predecir los movimientos desde la geometría. Extraído de Sellés y Solís (1997), p 67.

Esta relación entre la física y la astronomía se complejizó más y fue fermento de nuevos cambios cuando los escolásticos juntaron a Aristóteles y Ptolomeo en la misma tradición. Aunque la teoría de las esferas homocéntricas no es tan compatible con la teoría astronómica de Ptolomeo, la mayoría de la gente cultivada en el medioevo, entre ellos los astrónomos, con poca visión histórica, mantuvieron su creencia en una versión bastarda de las esferas de Aristóteles, en la que se servían de epiciclos, deferentes y excéntricas para explicar el movimiento de cada planeta en el interior de su propia cáscara (Cfr. Kuhn, 1978, p 119). Ellos tal vez adoptaron esta postura al preocuparse más por mantener la solidez cosmológica de la filosofía Aristotélica y la fertilidad astronómica del sistema de Ptolomeo que, por procurar un armazón más estético del movimiento de los cuerpos celestes, problema esencial sólo para los neoplatónicos.

Ciertamente, sin entrar a considerar las razones por las que Apolonio, Hiparco y Ptolomeo, se motivaron para la creación de una nueva teoría astronómica, ellos dieron solución a problemas, en el movimiento de los planetas, a los que la teoría de las esferas homocéntricas no podía responder. En efecto, la teoría creada por ellos dio por primera vez y con gran simplicidad, explicación a la variación de la intensidad del brillo de los planetas. Con la introducción de los artificios geométricos de los epiciclos, deferentes, excéntricas y ecuanes, la nueva teoría explicó las irregularidades que había podido explicar y que no había podido explicar la teoría de las esferas homocéntricas.

Esta teoría fue tan eficaz en las funciones económica y predictiva, que poniendo los círculos unos sobre otros y haciéndolos girar a velocidades diferentes, se podía dibujar cualquier curva cerrada. Y poniendo un número suficiente de ellos se podía dibujar todo lo que se quiera: se podía construir incluso una línea recta o un movimiento en elipse; y todo esto, manteniéndose fiel a casi todas las regularidades exigidas por la cosmología aristotélica.

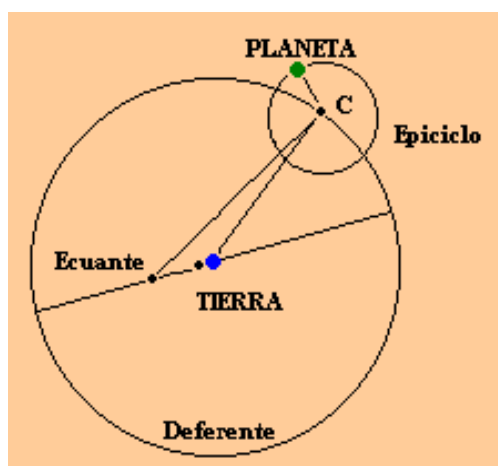


Figura 14: Gráfica donde se analiza geoméricamente las posiciones de los planetas respecto a la tierra, usando el epiciclo, el ecuante y el deferente⁶.

De manera más precisa, Apolonio aportó los epiciclos mayores y las excéntricas con centro móvil, Hiparco añadió los epiciclos menores y las excéntricas con centro fijo, y Ptolomeo aportó los ecuanes⁷.

⁶ Imagen extraída de: <http://www.espacial.org/astronomia/observaciones/retrogradacion1.htm>

Los “epiciclos mayores” (como el de la figura), explican las grandes irregularidades, como el movimiento de retrogradación y el cambio en la intensidad de brillo en los planetas. Los “epiciclos menores”, que son epiciclos sobre epiciclos, explican los pequeños desacuerdos cuantitativos entre la teoría y la observación.

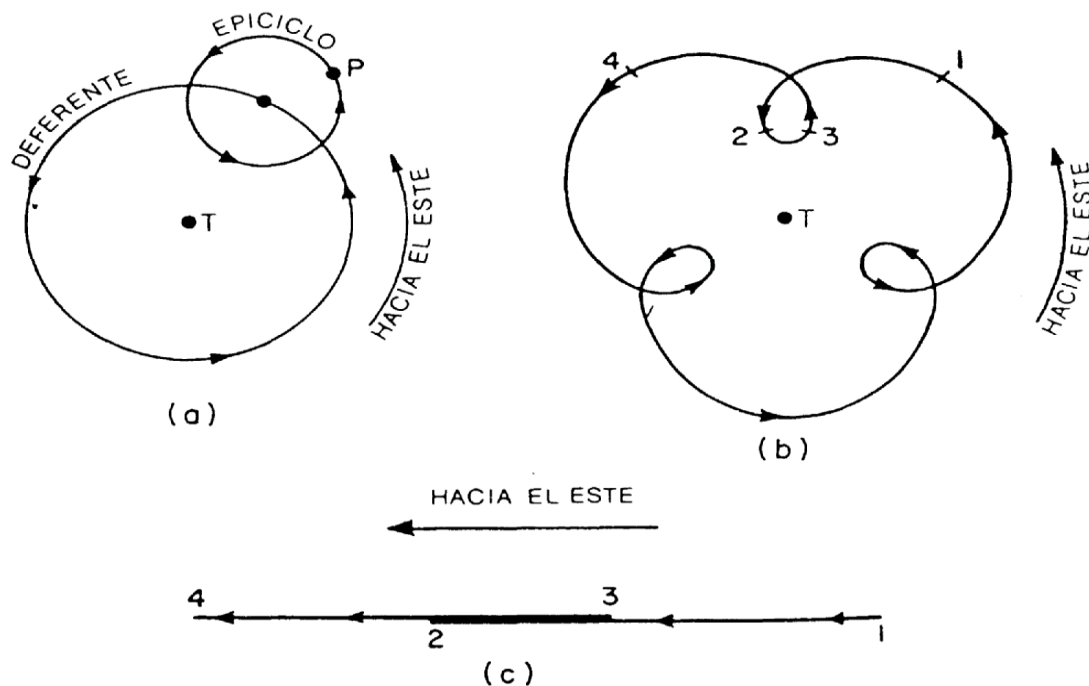
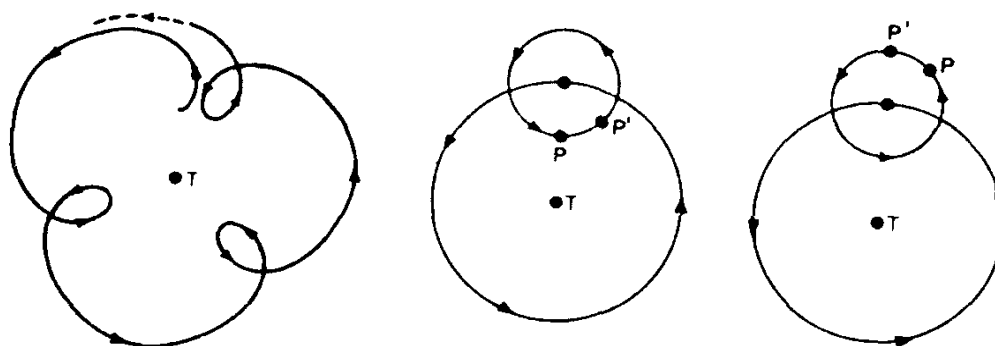


Figura 15: “El sistema básico epiciclo-deferente. En (a) se representa un caso típico de epiciclo y deferente; en (b) aparece el movimiento en bucle generado por tal sistema en el plano de la eclíptica; en (c) se ofrece parte del movimiento representado en (b) , el trayecto 1-2-3-4 tal como es visto por un observador situado sobre la tierra central T” (Kuhn, 1978, p 96).



⁷ Los deferentes eran círculos análogos a los utilizados por las esferas homocéntricas.

Figura 16: “Movimiento generado por un epiciclo y un deferente cuando aquél da algo más de tres vueltas por cada una de las del deferente. En (a) se muestra el trayecto del planeta a lo largo de una revolución completa a través de las estrellas. Dicho recorrido precisa más de una revolución del deferente, tal como se indica en (b), donde se muestran las posiciones inicial (P) y final (P') del planeta durante la primera revolución completa del deferente. El diagrama (c) nos muestra las posiciones del planeta al principio y al final de una ulterior revolución del deferente, revolución que arrastra el planeta a lo largo de más de una vuelta en su recorrido sobre la eclíptica” (Kuhn, 1978, p 98).

Otro dispositivo utilizado para corregir discrepancias es la “excéntrica”. A través de ella se logra que la deferente no tenga por centro la tierra.

Este dispositivo lo utilizó Ptolomeo al explicar el movimiento del sol, que “emplea seis días más para pasar del equinoccio de primavera al equinoccio de otoño (distantes 180° sobre la eclíptica) que para regresar desde el equinoccio de otoño al equinoccio de primavera (igualmente distantes 180°)” (Moreno, 1997, p 57).

El dispositivo que resta es el “ecuate”, el cual permite admitir que el movimiento es uniforme, no con relación al centro del círculo mismo, sino con relación a un cierto punto interior excéntrico o “ecuate” (figura # 17).

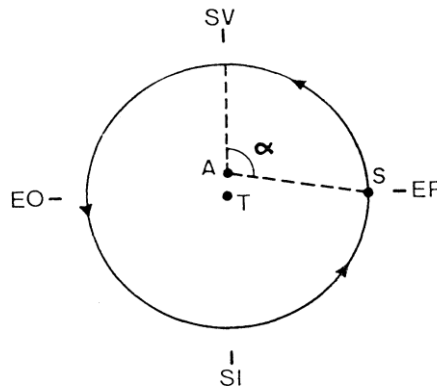


Figura 17: “El ecuante. El sol S se desplaza a lo largo de un círculo centrado en la tierra, pero lo hace con velocidad variable determinada con la condición de que el ángulo gire uniformemente en función del tiempo” (Kuhn, 1978, p 109).

Se podían concebir velocidades variables, con la condición de que un ángulo determinado con origen en el punto ecuante, gire uniformemente (sin variar sus grados) en función del tiempo.

“Tal dispositivo es particularmente importante porque las objeciones estéticas de Copérnico al mismo [ya que el ecuante atentaba sutilmente contra la regularidad

del movimiento de los cuerpos celestes] fueron uno de los motivos esenciales que llevaron a rechazar el sistema de Ptolomeo y a buscar un método de cálculo radicalmente nuevo” (Kuhn, 1978, p 107)

Los resultados de Ptolomeo en su libro el “Almagesto”, fueron de tal precisión y los métodos que empleó gozaron de tal poder de resolución que el problema de los planetas tomó un sesgo completamente nuevo a partir de Ptolomeo

“El problema de los planetas se había convertido en una cuestión de disposición de los diversos elementos que estaban en juego, problema que se atacaba básicamente a través de una redistribución de los mismos. La pregunta que se planteaban los astrónomos era: ¿Qué combinación particular de deferentes, excéntricas, ecuantas y epiciclos puede explicar los movimientos planetarios con la mayor simplicidad y precisión?” (Moreno, 1997, p 59).

El *Almagesto*, el nombre árabe del tratado astronómico que contiene el catálogo estelar más completo en el siglo II, expone el sistema geocéntrico con la periodicidad de los equinoccios y solsticios, intentando también explicar la corrección del paralaje de las posiciones del Sol y de la Luna, exponiendo también una medida de sus diámetros aparentes, para mostrar un método de predicción de eclipses. También se encargó de presentar cómo son las posiciones relativas entre las estrellas que son fijas, además de la enumeración en el catálogo de las estrellas australes que conocía⁸.

Respecto a los criterios de valoración epistémica, desde los cuales esta investigación pretende evaluar someramente los modelos, examinando su forma de explicación científica a través del análisis de sus juicios hipotéticos y la formulación teórica desde el criterio lógico puede decir que este modelo no cumple con los principios de la parsimonia, la cual sostiene que la explicación más simple es la más correcta. Apolonio e Hiparco reemplazaron las esferas homocéntricas por el sistema de epiciclos y deferentes, lo que complejiza el modelo, al explicar la retrogradación basándose en estas dos ideas.

En este modelo el planeta no tiene su centro en la rotación de la tierra sino sobre una circunferencia que tiene su centro en otra circunferencia que gira alrededor de la Tierra desplazándose con ella: la mezcla de estos dos movimientos circulares y uniformes ayuda a

⁸ Obra que se puede consultar en la página de internet: <https://es.wikisource.org/wiki/Almagesto>

explicar el movimiento de retrogradación sin tener que poner a la tierra en el centro del universo. Esta explicación dentro de este nuevo marco conceptual es consistente y tiene gran coherencia teórica, avanzando en el nivel de validez y verdad con los cambios y anomalías producidos por el nuevo modelo. La creación e introducción de los conceptos de epiciclos, excéntricas y deferentes abre el marco de aplicación para la predicción, lo que inicia la pauta para el pronóstico de los movimientos planetarios, que evidencia coherencia de la teoría y su fuerza de verdad y validez además de mostrar su grado de falseabilidad.

En este sentido utiliza un amplio criterio empírico, que hace del modelo rico en niveles de contrastación y predicción que pueden ser verificables, con resultados que pueden ser recreados, a pesar de no llegar sino a un nivel conjetural y sin una predicción total. Sin embargo, había criterios para la interpretación de las observaciones, puede evaluar las posiciones de los astros contrastando empíricamente la teoría.

Este modelo puesto bajo el criterio sociológico muestra que responde desde su coherencia teórica a ciertas paradojas planteadas por el modelo de las esferas homocéntricas, acoplando y creando nuevos problemas que proponen todo un entramado de artificios sobre los cuales los científicos posteriores trabajaron y elaboraron sus propias versiones.

Con la introducción de estos nuevos conceptos y problemas geométricos, el modelo, frente al criterio histórico, puede decir que complejiza los criterios anteriores, lo que no asegura que pueda explicar más fenómenos astronómicos ni predicciones de los movimientos planetarios. El modelo es consistente con algunas teorías adicionales, intentando perfeccionar el modelo anterior descartando posiciones que desde su propia coherencia son erróneas.

En relación con la propuesta de Kuhn respecto a las características que debe tener una buena teoría, hay que decir que el modelo helenístico dentro de su dominio no llegó a un nivel de precisión consistente desde el cual se pudieran realizar predicciones precisas del movimiento de los astros, por lo que las consecuencias deducibles no están en total acuerdo con los resultados de los experimentos y las observaciones. En este sentido, se puede decir que sí había cierta coherencia respecto a las teorías anteriores, aunque no era aplicable a

aspectos de la naturaleza en su totalidad. Sin embargo, este modelo tuvo gran amplitud extendiéndose más allá de las observaciones, extendiéndose más allá de sus observaciones, como en el caso de la circularidad, principio que se mantendría en las teorías posteriores. En el caso de la simplicidad, como se señaló en el criterio lógico, este modelo no cumple con el principio de parsomonia, ya que Apolonio e Hiparco sustituyeron las esferas homocéntricas por el sistema de epiciclos y deferentes, lo que hizo que el modelo se complejizara y no cumpliera la característica de la simplicidad.

El modelo de la astronomía copernicana

La anterior discusión sobre el problema de los planetas sirve para analizar la obra copernicana con mayor detenimiento con el fin de entender su revolución. Se suele endilgar a la obra de Copérnico la revolución intelectual, pero las consecuencias revolucionarias con las que se asume esta obra no parecen corresponder con su contenido árido, sobrio y particular (Cf, Moreno, 1997, p 59).

El "*De Revolutionibus*..." es un texto provocador de una revolución, antes que un texto revolucionario. Es el momento culminante de una tradición pretérita y la fuente de una nueva tradición. El goza de la doble naturaleza de ser antiguo y moderno al mismo tiempo...Excepto en lo que se refiere al movimiento terrestre, el "*De Revolutionibus*" parece desde todos los puntos de vista más estrechamente ligado a las obras de los astrónomos y cosmólogos de la antigüedad y de la Edad Media que a las de las generaciones posteriores (Kuhn, 1978, p 190).

Leyendo la obra de Copérnico desde la perspectiva revolucionaria, encontramos varias dificultades, incongruencias y una aparente incompatibilidad entre dicho texto y su función en el desarrollo de la astronomía. Esta es la primera incongruencia significativa del *De Revolutionibus*: la desproporción entre el objeto que motivó la innovación de Copérnico y la innovación propiamente dicha (Cf., Kuhn, 1978, p 190). Copérnico expresa con sus propias palabras el objeto de su innovación: "...lo único que me impulsó a buscar otra forma distinta de deducir los movimientos de las esferas fue el hecho de percatarme de que no existe acuerdo entre las investigaciones de los diferentes matemáticos" (Copérnico, 1994, p 3) En efecto, en la época de Copérnico la labor astronómica se reduce a hacer variaciones en los artificios geométricos (epiciclos, deferentes, excéntricas y ecuantas) para buscar una explicación más precisa de los fenómenos observados en los movimientos del sol, la luna y los planetas. Como resultado ya no existía un solo "sistema ptolemaico", sino una docena o

más de ellos y su número se multiplicaba al ir aumentando el número de astrónomos técnicamente cualificados⁹. Pero la abundancia de estos sistemas no correspondía a la precisión alcanzada; ni siquiera se logró superar en conjunto la precisión del sistema ptolemaico.

Para Copérnico, el uso indiferente de los anteriores artificios era como vincular indistintamente las partes de un cuerpo hasta producir un “monstruo”. Pero esta crítica a los sistemas astronómicos vigentes, que incitará la innovación, no parece ser originada por motivos astronómicos. Ciertamente Copérnico tampoco logrará superar de una forma significativa lo criticado. Entonces, sólo alguien con inclinaciones neoplatónicas y preocupado por la realidad de los movimientos de los astros, podía pedir que el problema de los planetas tuviera a la vez una solución simple, precisa, regular (en general estética) y de acuerdo con la realidad. Copérnico recibió influencias neoplatónicas a través del ambiente intelectual de la época y por medio de su profesor y amigo, Doménico María de Novara, quien fue uno de los primeros en criticar, sobre bases neoplatónicas la teoría ptolemaica de los planetas, guiado por el convencimiento de que ningún sistema tan complejo y embarazoso podía representar bien el verdadero orden matemático de la naturaleza (Cf., Reale y Antiseri, 1988, p 195)

Es decir, a pesar de su intento por lograr un sistema más simple y preciso, el sistema de Copérnico no es ni más simple ni más preciso que el de Ptolomeo, los rasgos heredados de la antigua tradición que habían provocado el intento copernicano de poner en marcha una innovación radical, jamás fueron eliminados por la obra del gran astrónomo. Irónicamente, como consecuencia, las críticas que Copérnico hizo al sistema ptolemaico pueden ser empleadas contra él mismo¹⁰ (Cf., Moreno, 1997, p 60).

Cualitativamente el sistema copernicano era más económico, pero cuantitativamente no permite mejores predicciones, lo cual seguramente fuera posible, completando su sistema con el empleo de epiciclos menores y excéntricas. "Así pues, su sistema completo apenas

⁹ Sistema que utiliza epiciclos, defentes, etc.

¹⁰ Otra influencia estética o metafísica fue el hermetismo de Copérnico, al parecerle conforme a la razón que el sol, siendo la fuente de la luz del mundo, lo más bello y lo mejor, estuviera colocado en el centro del universo.

era menos engorroso que el ptolemaico. Uno y otro empleaban más de treinta círculos" (Kuhn, 1978, p 229).

Teniendo en cuenta lo anterior, desde los puntos de vista de la economía y la precisión había muy poco margen de elección. Por esto, además de todas las razones anteriores, la obra de Copérnico no materializó una revolución en el campo de la astronomía. Realmente la revolución copernicana difícilmente puede encontrarse en el propio texto del "*De Revolutionibus*" (Kuhn, 1978, p 227).

Sin embargo, la obra de Copérnico ofrece ciertas ventajas y apunta a algunos aspectos revolucionarios, por los que no podemos negarle su justo valor de incitadora de una revolución al ser leída y asumida por Galileo y los demás constructores de la ciencia moderna. Algunos de estos aspectos los señalaré brevemente enseguida.

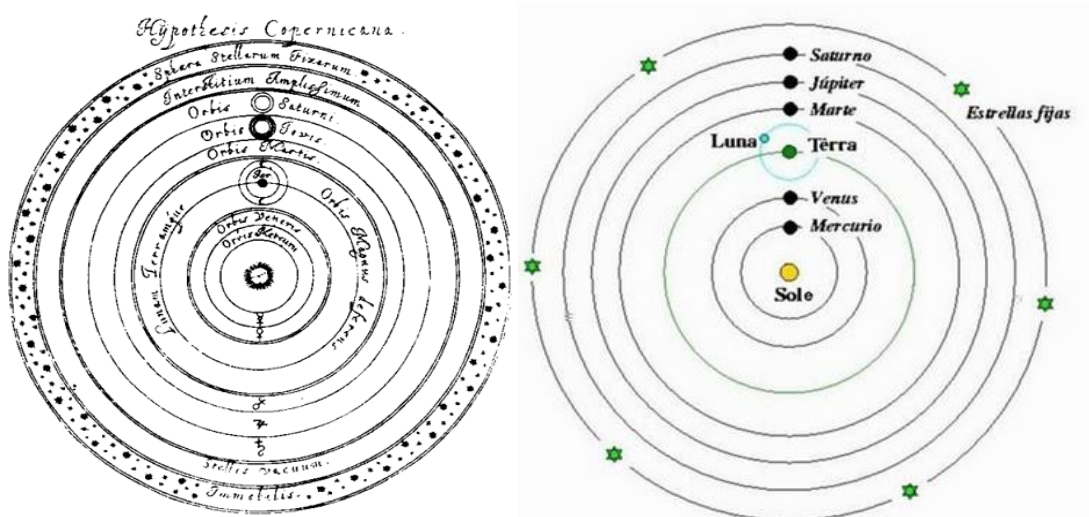


Figura 18 y 19: Representación del modelo heliocéntrico del modelo de astronomía copernicano, donde se esquematizan los planetas en cada órbita y se especifica que la luna gira alrededor de la tierra, además de poner las estrellas fijas en la última órbita¹¹.

¹¹ Imágenes extraídas de: <https://www.milenio.com/cultura/nicolas-copernico-que-afirmo-en-su-teoria-heliocentrica>

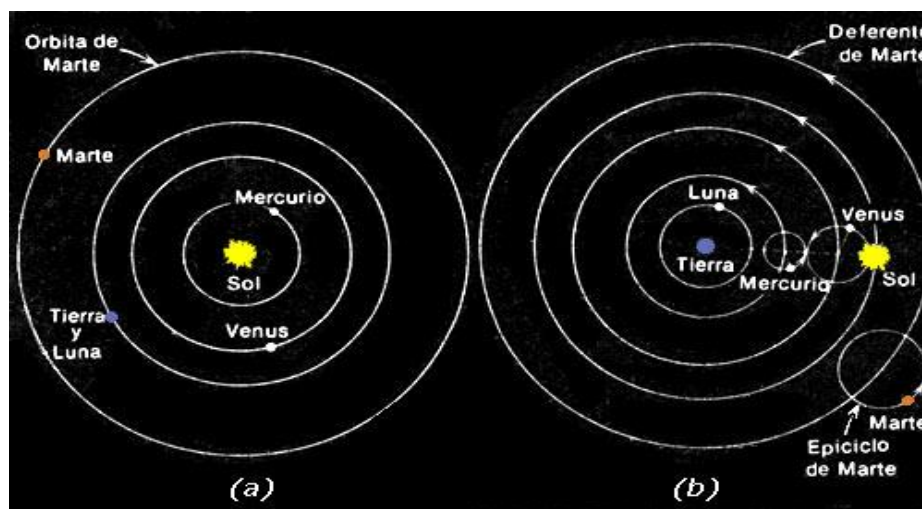


Figura 20: Esquema comparativo del modelo copernicano y el modelo geocéntrico¹².

Para dar un concepto imparcial que tenga en cuenta la inconmensurabilidad de los paradigmas que posibilite realizar una comparación adecuada de los modelos, los criterios de valoración epistémica deben asegurar la consistencia científica de las propuestas teóricas para analizar la solidez con que están manifiestas sus hipótesis. Con respecto a la parsimonia, el modelo copernicano tiene la pretensión de utilizar unas ideas más simples, con unas formulaciones geométricas más sintéticas, dejando a un lado las postulaciones de epiciclos, deferentes y ecuantas que hacen el modelo más complejo. En este sentido usa conceptos más simples que no postulan juicios ni artificios innecesarios, lo que hace que tenga una mayor coherencia lógica y sea un contrapeso que le puede dar validez frente a los otros modelos. Esta ventaja hace que este modelo tenga más consistencia lógica, haciendo que sus proposiciones estén bien interrelacionadas, debido a que utiliza una argumentación a modo geométrico, lo que le da más rigor lógico con respecto a la verdad y a la validez.

Con una exposición a modo geométrico, el modelo copernicano hace que sus proposiciones sobre los fenómenos no caigan en contradicciones internas y tengan una pretensión de ciencia rigurosa, susceptible de hacer falseable y verificable sus teoremas. Sin embargo, al utilizar criterios empíricos, sus datos no tenían un nivel de predicción preciso, lo que hacía que los fenómenos no tuvieran gran capacidad de predicción, lo que hacía que

¹² Imagen extraída de: <https://jcochoav.wordpress.com/2009/12/08/concepcion-heliocentrica-del-sistema-solar-copernico-galileo-kepler/>

las contrastaciones no dieran pronósticos rigurosos. Solamente algunas conjeturas fueron contrastadas para ver si sus resultados pueden ser revisados para mirar si pueden ser recreados y utilizados.

Al analizar las paradojas o anomalías sin resolver en base a los modelos utilizados hasta el momento, planteó nuevos problemas despegándose del modelo de las dos esferas en formulaciones, pero siempre pretendiendo superar solucionando problemas de esos modelos y formulando nuevos, ofreciendo nuevos conceptos y utilizando definiciones a modo geométrico que solucionaron diferentes cuestiones. Esto permitió al modelo abrir una nueva concepción conceptual más sólida para la demostración, lo que aumentó la rigurosidad en la construcción de los razonamientos, marcando un cambio en la construcción argumentativa astronómica.

Este modelo reconstruye algunas formulaciones de los modelos anteriores superando criterios de sus antecesores, es capaz de explicar datos como que la luna gira alrededor de la Tierra, Venus y Marte giran alrededor del sol, además de intentar ser consistente con algunas teorías relevantes anteriores que habían establecido en algunos puntos validez científica.

Respecto a las características de una buena teoría científica según Kuhn, la teoría tiene un nivel de precisión relativo, aunque pudo llegar a predicciones precisas, sus deducciones fueron consecuencias deducibles estando en acuerdo con los resultados observacionales. En la coherencia, como ya se señaló en el criterio lógico, el modelo copernicano es coherente de manera interna y externa por su estilo de exposición a modo geométrico, además de retomar las teorías heliocéntricas, lo que hizo que tuviera aspectos relacionales de la naturaleza que ayudaron a demostrar fenómenos observacionales. La amplitud muestra que el modelo copernicano se extiende más allá de las observaciones, ya que muchas de sus propuestas tuvieron consecuencias y repercutieron en teorías posteriores, como las de Kepler, Galileo y finalmente Newton. La simplicidad, como ya se sostuvo en el criterio lógico, es una característica importante en el modelo copernicano, ya que retomó fenómenos aislados para acoplarlos a su teoría y articularlos a la explicación a modo geométrico. Acerca de la fecundidad, el modelo copernicano abrió paso a la investigación astronómica poniendo en crisis el modelo anterior salvando la postura pitagórica, además

de ampliar la visión dando nuevos resultados revelando fenómenos nuevos con relaciones no observadas antes.

CONCLUSIONES

El sistema heliocéntrico tiene ciertamente algunas ventajas estrictamente astronómicas. Permite saber el orden preciso en el que se ubica cada planeta y permite explicar los movimientos de los planetas inferiores de forma más simple y natural que el sistema de Ptolomeo. Por otro lado, el sistema heliocéntrico elimina la incómoda utilización de los ecuantos y con ella, la necesidad de asumir la irregularidad de los movimientos arrítmicos de los planetas. En general, el sistema heliocéntrico trata de encontrar un orden más armonioso donde las puras "apariencias" irreales sobre las irregularidades de los movimientos planetarios, se reduzcan a un único factor: el movimiento de la Tierra.

Ciertamente, ventajas como las anteriores tratan de dar una imagen más armoniosa y coherente de la realidad cósmica, que anula el problema de la discordancia entre las siguientes dos imágenes: la de los filósofos y la de los astrónomos matemáticos. Estas ventajas son muy importantes para los astrónomos matemáticos que eligen el sistema de Copérnico más por razones estéticas, que por pragmáticas. Efectivamente, ya que las nuevas armonías de círculos para explicar el movimiento de los planetas no aumentaban la precisión, ellas sólo podían atraer esencialmente a este grupo limitado y quizá algo irracional que se ocupaba de la astronomía matemática (Cf., Moreno, 1997, p 64)

Tal vez influenciados por el neoplatonismo, los astrónomos de la época asimilaban lo perfecto y lo real con lo matemáticamente puro y simple. Probablemente para ellos no era nueva la afirmación del movimiento de la tierra, "lo que sí carecía de precedentes era el sistema matemático elaborado por Copérnico y basado en el movimiento terrestre...y es en parte a causa de la matematización que su obra, a diferencia de las de quienes le precedieron, inaugura una revolución" (Kuhn, 1978, p 196 – 197).

En la ciencia-filosofía de Aristóteles fue tan fundamental la concepción general del universo de las dos esferas, que después de Aristóteles ella determinará la concepción del mundo donde necesariamente se separan y se subordina el mundo sublunar, contingente, complejo, imperfecto de lo humano y el mundo lunar, perfecto, necesario y eterno donde habitan los dioses.

Este mundo, formalmente diferenciado, donde se justificaba y sometía la complejidad, la contingencia y la imperfección del entorno físico humano a las premisas de la perfección y la eternidad, será el mundo dinamitado por la teoría de la caída de los cuerpos de Galileo, que demuestra cómo en la física sublunar del entorno humano tienen lugar la perfección de las matemáticas.

Es decir, ya no habrá impedimento para que se mezclen el mundo humano y lo que se veía como propio del mundo de los dioses, o se disolverá la distinción cualitativa de los ámbitos espaciales (lo lunar y lo sublunar), y de la física y la astronomía. Ello significará la trasgresión de las explicaciones hechas desde el espacio finito de la mentalidad lógica de Aristóteles que clasifica, categoriza y cierra la razón natural o las premisas del sentido común, desde una determinada jerarquía cualitativa de las ideas metafísicas. También se desbaratará la posterior explicación del mundo hecha por la tradición católica, que desde el campo finito de la autoridad de la fe vestida con la razón natural aristotélica, explicaba el mundo como acto libre de creación del Dios perfecto eterno y primer motor.

Más que Copérnico, fue Galileo quien dio el paso más sólido para la revolución copernicana, porque, tomando las banderas de una nueva mentalidad científica presente en lo íntimo del copernicanismo, con su trabajo sobre el movimiento local, replanteó lo que la teoría heliocéntrica no alcanzaba a replantear, o replanteó a nivel físico, terrenal lo que la teoría de Copérnico manifestaba sólo para el ámbito de la astronomía. Sin ese aporte de Galileo, tal vez el trabajo de Copérnico hubiese continuado más tiempo opacado por el paradigma reinante de la filosofía natural peripatética (Cf., Moreno, 1997, p 66).

La afirmación del heliocentrismo exigía, para su consolidación, nuevas elaboraciones en otros campos de la ciencia. En el campo concreto de la física, Copérnico fue consciente de que las innovaciones introducidas por su astronomía exigían replanteamientos físicos, e intentó, en el libro I del *"De Revolutionibus"*, demostrar que esas consecuencias físicas de su propuesta no eran tan devastadoras como generalmente se suponía.

En concreto, las mayores objeciones físicas que se oponían al movimiento de la tierra eran que, con respecto al movimiento local de la realidad sublunar, se creía que el movimiento de la tierra afectaría a los fenómenos que se manifiestan en la superficie de los

modos perfectamente determinados: primero, la gran velocidad de este movimiento rotativo desarrollaría una fuerza centrífuga tan grande que los cuerpos, asentados en la Tierra, pero no unidos a ella, serían lanzados lejos; segundo, este mismo movimiento obligaría a los cuerpos no ligados a la tierra, o temporalmente separados de ella, como las nubes, los pájaros, los objetos lanzados, etc., a quedarse atrás (Kuhn, 1978, p 191).

Copérnico, entonces, se esforzó por desarrollar un esquema conceptual en el cual el movimiento de la tierra no implicara la destrucción de un universo físico esencialmente aristotélico. Aunque en realidad esta física de Copérnico es precaria, ello no desacredita su obra. Más bien, las insuficiencias de su física son una buena muestra de que: primero, sus innovaciones astronómicas se originaron de una nueva tendencia donde la astronomía no surge de la física, pero requiere de una física; segundo, los resultados de su innovación sobrepasaron el problema que les había dado origen; y tercero, de cuán poca era la aptitud del propio autor para asimilar la revolución nacida de su obra (Cf, Moreno, 1997, p 67).

En realidad, el heliocentrismo podrá liberarse de las implicaciones antes mencionadas de la física terrestre y afirmarse como real posibilidad, sólo hasta el momento en el que Galileo demuestra otro tipo de relación entre la física terrestre y los movimientos celestes.

El no-geocentrismo no sólo lleva a repensar la teoría aristotélica sobre el movimiento local, sino también a repensar los planteamientos sobre el *plenum*, el lugar y la finitud del universo (Kuhn, 1978, p 210) Alexandre Koyré, en su libro *Del mundo cerrado al universo infinito* (Koyré, 1999, 31 – 57), trata de darle el justo valor a la obra de Copérnico en el paso cosmológico operado en la modernidad. Reconoce que, aunque el mundo de Copérnico sigue siendo finito y con algunos aspectos jerárquicos, sí plantea razones para una posterior disolución de la jerarquía y la finitud del universo.

Se puede decir que el mundo de Copérnico es finito y sigue siendo bien ordenado pues, aunque no tiene una plena jerarquía, sí posee dos polos de perfección, que son el sol y la esfera de las estrellas fijas, con los planetas en medio. Influenciado por las tradiciones pitagórica y hermética, Copérnico sitúa al sol en el centro del mundo, y sin ver la necesidad de afirmar la infinitud, coloca a las estrellas en una esfera que es el límite del mundo.

Sin embargo, lo encontrado en la obra de Copérnico no produce pero motiva a una posterior disolución de la jerarquía y de la finitud del universo, relacionada con la expansión que sufre el mundo copernicano comparado con el medieval (su diámetro es al menos 2000 veces mayor). "...es claro que a veces resulta más fácil, psicológica, sino lógicamente, pasar de un mundo muy grande, inmensurable y creciente a un mundo infinito...La burbuja del mundo ha de hincharse antes de explotar" (Koyré, 1972, p 2).

También es obvio que, mediante su reforma o revolución de la astronomía, "Copérnico eliminó una de las objeciones científicas más valiosas en contra de la finitud del universo, como es la que se basa en el hecho empírico y de sentido común del movimiento de las esferas celestes" (Moreno, 1997, p 68). "La negación de dicho movimiento llevaría inmediatamente a la negación de la existencia de tal esfera" (Koyré, 1999, p 31). De esta manera la obra de Copérnico contribuyó al advenimiento de un universo infinito y sin jerarquías.

En general, después de la anterior evaluación se puede ver que la transformación denominada "Revolución Copernicana", no fue realizada por Copérnico, sino sólo provocada o motivada a partir de sus supuestos.

Este cambio cosmológico provocado por Copérnico no experimentó una continuidad racional con respecto a la cosmología aristotélico-ptolemaica. Como dice Kuhn:

...Así es como progresa la ciencia: cada nuevo esquema conceptual engloba los fenómenos explicados por sus predecesores y se añade a los mismos...No obstante, aunque la obra de Copérnico y la de Newton tengan un valor permanente, no puede decirse lo mismo con respecto a las ideas que las hicieron posible. Lo único que crece es la lista de fenómenos que necesitan ser explicados; las explicaciones en sí no conocen un proceso acumulativo análogo (Koyré, 1999, p 33 y 37).

En efecto, no fue a través de la refutación, sino a través de la persistencia de una creencia y de un interés estético y matemático como se afianzó el modelo heliocéntrico. Galileo, impulsado no por intereses neoplatónicos, sino por otros intereses sorteó toda su labor científica buscando defender las hipótesis copernicanas. Tanto, que se puede considerar a Galileo tan o más promotor de la revolución copernicana, que el mismo Copérnico.

Ciertamente el intento de ciencia helenística de Ptolomeo acabó planteando una separación entre la astronomía y la física celeste (además de la terrestre). Copérnico y los astrónomos y físicos "copernicanos", en su transformación de la física celeste y terrestre, respondieron satisfactoriamente a las exigencias científicas helénicas por encontrar una explicación física y a la vez astronómica del cielo. Esta transformación comienza a configurarse con Galileo y Kepler (y finalmente con Newton), quien restablece la unidad entre la física y la astronomía al aportar una explicación causal del movimiento de los planetas en relación con el sol: los movimientos de los planetas no están ya ordenados con relación al sol de un modo geométrico u óptico -como en Copérnico-, sino que lo están también de un modo físico y dinámico. Pero esa búsqueda de una nueva astronomía comenzada por Copérnico, sólo pudo triunfar con Kepler y con Newton fundándose en una física nueva, planteada por Galileo. Como se manifiesta desde Copérnico, la nueva astronomía exigía y tenía como condición una nueva física y el encargado de impulsarla fue Galileo (Cf., Moreno, 1997, p 70).

La revolución de Copérnico estuvo inspirada en reflexiones muy arcaicas como la fidelidad al principio platónico de movimientos circulares y uniformes de esferas materiales, los modelos antiguos como el de los árabes, dejando de lado las mejorías en las observaciones con el cálculo de elementos orbitales y las armonías cosmológicas que no son del campo del astrónomo técnico, por lo que se puede concluir que en cierto sentido la astronomía copernicana seguía siendo medieval.

Copérnico tampoco era capaz de hacer lo que Ptolomeo había hecho en el siglo II d. C.: estudiar las apariencias fenoménicas para encontrar la manera de presentarlas geométricamente, no hizo modelos de datos, sino que sólo supo hacer transformaciones geométricas de modelos ya contruidos por Ptolomeo o los árabes, calculando sus parámetros.

Como es característico de los pensadores del renacimiento, su pensamiento se encuentra en medio de dos tendencias dependiendo qué punto se considere, ya que en general era más clásico y medieval que moderno, pero su trabajo tenía las consecuencias implícitas que iban a repercutir un siglo más tarde dando lugar a transformaciones matemáticas, astronómicas y físicas que le dieron el iniciador del movimiento revolucionario.

No se trata de señalar si dentro de los diferentes modelos alguno es superior que el otro, sino que se trata de evaluar su coherencia interna, por lo que principalmente se va a estimar su capacidad de explicación: que consiste en analizar el nivel de descripción, que consiste en la manera como el modelo define el fenómeno y realiza su estratificación conceptual, donde se ofrece las características del objeto y sus componentes, precisando las condiciones de posibilidad de su emergencia; para después incrementar la capacidad para entender las causas del fenómeno, que alude a la prueba empírica de los juicios del modelo, analizando si éstas se encuentran apoyados por resultados, que pueden subyacer y explicar parte de los datos (Cf., Ferman y Levin, 1979, p 33).

La predicción está relacionada con la explicación, si las proposiciones del modelo tienen soporte empírico tiene que replicarse del mismo modo la manifestación del fenómeno, abriendo paso a la predicción. En este sentido las proposiciones que la conforman están interrelacionadas, con una consistencia lógica sin caer en contradicciones internas, con un nivel de generalidad que intente explicar el mayor número de fenómenos.

Índice de imágenes

Figura 1.	32
Figura 2.	35
Figura 3.	35
Figura 4.	38
Figura 5.	39
Figura 6.	40
Figura 7.	40
Figura 8.	40
Figura 9.	40
Figura 10.	40
Figura 11.	41
Figura 12.	47
Figura 13.	47
Figura 14.	48
Figura 15.	49
Figura 16.	50
Figura 17.	50
Figura 18.	56
Figura 19.	56
Figura 20.	56

Bibliografía

- Aristóteles (2008) *Acerca de la generación y la corrupción Tratados breves de historia natural*, Ed. Gredos
- ____ (2008) *Acerca del cielo, Meteorológicos*, Ed. Gredos, Madrid
- Bachelard, Gastón (1974) *Epistemología*, Ed. Anagrama, Barcelona
- ____ (1976) *Materialismo racional*, Ed. Paidós, Buenos Aires
- ____ (1978) *El racionalismo aplicado*, Ed. Paidós, Buenos Aires
- ____ (1981) *El nuevo espíritu científico*, Ed. Nueva Imagen, México D.F.
- ____ (2004) *Estudios*, Ed. Amorrortu, Buenos Aires
- ____ (2003) *La filosofía del no*, Ed. Amorrortu, Buenos Aires
- ____ (2004) *La formación del espíritu científico*, Ed. Siglo XXI, México
- ____ (2005) *El compromiso racionalista*, Ed. Siglo XXI, México
- Bakker y Clark (1994) *La explicación: una introducción a la filosofía de la ciencia*, Ed. FCE, Madrid.
- Brown, Harold (1998) *La nueva filosofía de la ciencia*, Ed. Tecnos, Madrid
- Canguilhem, G. (2005) *Ideología y racionalidad en la historia de las ciencias de la vida*, Ed. Amorrortu, Buenos Aires
- ____ (2009) *Estudios de historia y de filosofía de las ciencias*, Ed. Amorrortu, Buenos Aires
- Carman, Christian C. (2010) *La refutabilidad del sistema de epiciclos y deferentes de Ptolomeo*, En: *Principia* 14(2): 211-239 (2010) *Epistemology and Logic Research Group*, Federal University of Santa Catarina (UFSC), Brasil
- Chaparro Amaya, A. (2003) *Racionalidad y discurso mítico*, Universidad del Rosario, Bogotá
- Copérnico, Nicolás (1983) *Opúsculos sobre el movimiento de la tierra*, Ed. Alianza, Madrid.
- ____ (1982) *Sobre las revoluciones*, Ed. Altaya, Madrid
- Crombie, A. C. (2006) *Historia de la ciencia: de San Agustín a Galileo* Vol. 1, 2, Ed. Alianza, Madrid
- Dear, Peter (2001) *La revolución de las ciencias: el conocimiento europeo y sus expectativas (1500 – 1700)*, Ed. Marcial Pons. Ediciones de Historia, Madrid

De Olaso, Ezequiel (1994) *Del renacimiento a la ilustración I*, Ed. Trotta, Madrid

Echeverría, Javier (1989) *Introducción a la metodología de la ciencia: la Filosofía de la Ciencia del siglo XX*, Ed. Cátedra

____ (2000) *Del renacimiento a la ilustración II*, Ed. Trotta, Madrid

Euclides (2000) *Óptica, Catóptrica, Fenómenos*, Ed. Gredos, Madrid

Empédocles de Agrigento, Anaxágoras de Clazómenas (1999) *Los filósofos presocráticos III*, Ed. Planeta-DeAgostini, Madrid

Ferman, G. S. *Investigación en ciencias sociales*, Ed. Limusa, México.

Fichant y Pécheux (1975) *Sobre la Historia de las Ciencias*, Ed. Siglo XXI, Buenos Aires

González, Wenceslao (2002) *Diversidad en la explicación científica*, Ed. Ariel, Barcelona

Heráclito, Parménides, Zenón de Elea y Meliso de Samos (1998) *Los filósofos presocráticos II*, Ed. Planeta-DeAgostini, Madrid

Hoyle, Fred (1982) *De Stonehenge a la cosmología contemporánea Nicolás Copérnico*, Ed. Alianza, Madrid

Kepler, Johannes (1992) *El secreto del universo*, Ed. Altaya, Madrid

Kirk, Raven, Schofield (1999) *Los filósofos presocráticos*, Ed. Gredos, Madrid

Koyré, Alexandre (1973) *The astronomical revolution*, Ed. Cornell University press: ITHACA, New York, Ed. Siglo XXI

____ (1981) *Místicos espiritualistas y alquimistas del siglo XVI alemán*, Ed. Akal, Madrid.

____ (1981) *Estudios galileanos*, Ed. Siglo XXI, México

____ (1985) *Estudios de Historia del Pensamiento Científico*, Ed. Siglo XXI, México

____ (1985) *Estudios de historia del pensamiento científico*, Ed. Siglo XXI, México

____ (1992) *Del mundo cerrado al universo infinito*, Ed. Siglo XXI, México

____ (1994) *Pensar la ciencia*, Ed. Paidós, Barcelona

____ (1994), *Pensar la Ciencia*, Ed. Paidós Ibérica, Barcelona

____ (1994) *Pensar la ciencia*, Ed. Paidós, Barcelona

Kuhn, Thomas (1978) *Segundos pensamientos sobre paradigmas*, Ed. Técnos, Madrid

- ____ (1982) *La tensión esencial*, Ed. FCE, México
- ____ (1985) *La revolución copernicana: la astronomía planetaria en el desarrollo del pensamiento occidental*, Ed. Orbis, Madrid
- ____ (1994) *¿Qué son las revoluciones científicas?*, Ed. Paidós, Barcelona
- ____ (2000) *La estructura de las revoluciones científicas*, Ed. FCE. México
- ____ (2002) *El camino desde la estructura*, Ed. Paidós, Barcelona
- Moreno Ortiz, Juan Carlos (1997) *Complejidad de la ciencia galileana sobre la caída de los cuerpos*, (Anexo 2), Trabajo de Pregrado en Filosofía, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá
- Laudan, Larry (1997) *Science and Values*, Ed. University of California Press, Berkeley
- ____ (1996) *Beyond Positivism and Relativism*, Ed. EUA / Reino Unido: West view press
- ____ (1993) *La ciencia y el relativismo: controversias básicas en filosofía de la ciencia*, Ed. Alianza, Madrid
- ____ (1978) *Progress and it's problems*, Ed. University of California Press, Berkeley and Los Ángeles, California
- Leucipo y Demócrito (1999) *Los filósofos presocráticos*. IV, Ed. Planeta- DeAgostini, Madrid
- Lucrecio (1995) *De la naturaleza de las cosas*, Ed. Altaya, Barcelona
- De Olaso, Esequiel, *El escepticismo antiguo en la génesis y desarrollo de la filosofía moderna*, En: De Olaso, Esequiel *Del renacimiento a la ilustración*. I, Ed. Trotta, Madrid
- Platón (1997) *Filebo, Timeo, Critias*, Ed. Gredos, Madrid
- Plinio el Viejo (1999) *Historia Natural*. I – II, Ed. Planeta-DeAgostini, Madrid
- Ptolomeo, Claudio (1999) *Armónicas*, Miguel Gómez Ediciones, Málaga
- Ramón, José María (2006) *Introducción al pensamiento científico: apuntes e historia*, Ediciones Universidad Antonio de Nebrija, Madrid
- Reale, Antiseri (1999) *Historia del pensamiento filosófico y científico II*, Ed. Herder, Barcelona
- Saldaña, Juan José (1989) *Introducción a la Teoría de la Historia de la Ciencia*, Ed. UNAM, México D. F.
- Sellés y Solís (1991) *La revolución científica*, Ed. Síntesis, Madrid

- Shapin, Steven (2000) *La revolución científica*, Ed. Paidós, Barcelona
- Tales, Anaximandro, Anaxímenes, Pitágoras, Alcmeón y Jenófanes, En: *Los filósofos presocráticos I*, (1998) Ed. Planeta-DeAgostini, Madrid
- Torres López, Carmen (diciembre de 2009). «La obra astronómica de Alfonso X el Sabio en el fondo bibliográfico del Museo Naval». *Rev. General de Marina*
- Unceta Gómez, Luis (2009) *Breve historia del género cosmogónico*, En: *Nova Tellus*, Vol. 27 de junio No. 1, México.
- Vargas Guillén, Germán (2006) *Tratado de epistemología*, Ed. Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá
- Villoro, Luis (1992) *El pensamiento moderno*, Ed. Colegio Nacional. FCE. México
- Vernet, Juan (1974) *Astrología y astronomía en el renacimiento: la revolución copernicana*, Ed. Ariel, Barcelona
- Wartofsky, Marx (1978) *Introducción a la Filosofía de la Ciencia*, Ed. Alianza, Madrid