



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

“LA CONTROVERSI A PTOLOMEISMO-COPERNICANISMO  
DESDE UNA PERSPECTIVA LAUDANIANA”

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**F I S I C A**

**P R E S E N T A :**

**NALLIELY HERNANDEZ CORNEJO**



FACULTAD DE CIENCIAS  
UNAM

DIRECTOR DE TESIS:

DR. JOSE ERNESTO MARQUINA FABREGA

2004



FACULTAD DE CIENCIAS  
SECCION ESCOLAR



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

**ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA**



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA LE  
MEXICO

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Nallely Hernández  
Cornejo  
FECHA: 2-dic-2009  
FIRMA: Nallely Hernández C

**ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ**  
**Jefe de la División de Estudios Profesionales de la**  
**Facultad de Ciencias**  
**Presente**

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo escrito:

"La controversia ptolomeismo-copernicanismo desde una perspectiva laudiana"

realizado por Hernández Cornejo Nallely

con número de cuenta 9750138-1 , quien cubrió los créditos de la carrera de: Física

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis

Propietario Dr. José Ernesto Marquina Fábrega

Propietario M. en C. Julieta Norma Fierro Gossman

Propietario Dr. Sahen Hacyan Saleryan

Suplente Dra. Julia Espresate Eibenschute

Suplente Dr. Marco Antonio Martínez Negrete

*José E. Marquina*  
*Julieta Norma Fierro Gossman*  
*Sahen Hacyan Saleryan*  
*Julia Espresate E.*  
*Marco Antonio Martínez Negrete*

Consejo Departamental de Física

*Alicia Zarzosa Pérez*  
M. EN C. ALICIA ZARZOSA PEREZ  
Coordinadora de Licenciatura



FACULTAD DE CIENCIAS  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

A mi mamá, por todo su amor y cuidado

A mi papá, por su ejemplo y cariño

A Juan y Adri, dos luces permanentes en mi vida

## Agradecimientos

Agradezco especialmente a Pepe Marquina, por mostrarme el camino de lo que más me gusta, su ejemplo profesional, paciente asesoría y buen humor.

Al Dr. Shahen, a la Maestra Julieta Fierro, a la Dra. Julia Espresate y al Dr. Marco Antonio Martínez por la revisión de la tesis, sus comentarios y ayuda en este trabajo.

A Alejandro por creer en mí, por su amor y todo lo aprendido juntos.

A Ana, porque aunque estés lejos, siempre estás cerca. A Mariana, por todas las carcajadas y lágrimas compartidas. A Kasia, por todos estos años de ser mi confidente y amiga. A Fiorella, por nuestros inicios en el activismo y una larga amistad. A Magi, por su tierna compañía y cariño.

A mis abuelos, Luz María y Francisco por todo su apoyo, sabiduría y amor. A mi abuela Ana por su cariño y Ezequiel por el recuerdo que nos dejaste. A mis tíos, por el buen humor compartido, su cariño y su ayuda. Especialmente a Luz Ma., por su comprensión y solidaridad incondicional. A mis primos por tantos años de risas juntos. Especialmente a Andrea, que es como mi hermana.

A Irene, por ser como mi segunda madre, por ser ejemplo viviente de tolerancia y por supuesto, por todos los fondues de chocolate.

A Guillermo, por escucharme, hablarme y entenderme durante tantos años.

A mis amigos de la facultad, con quienes compartí tantas horas, comidas, tareas y risas estos años: Helen, Estela, Andrea, Rubén, Iván, Fabián, Alf, Amparo, Sandra, Charco, Lev, Toño, Víctor, Julián, Arturo, Efraín, Rodrigo y todos los demás que se me estén pasando. Muy especialmente a la *niña de la taza*.

A Marco por toda su ayuda para hacer este trabajo.

A la UNAM por todo lo que me ha brindado.

## ÍNDICE

<b>Introducción</b>	2
<b>Capítulo 1. Presentación del Problema: ¿Un modelo que describe la ciencia?</b>	3
<b>Capítulo 2. El Modelo de Larry Laudan: ¿Un modelo mejor?</b>	8
2.1. Laudan I. <i>Progress and Its Problems</i>	9
2.1.1. Problemas empíricos	9
2.1.2. Problemas conceptuales	12
2.1.3. Tradiciones de Investigación	15
2.2. Laudan II. <i>Science and Values</i>	19
2.2.1. Cambio científico	20
2.2.2. Modelo de Estructura Reticular de la Racionalidad Científica.	21
2.2.3. La racionalidad y el progreso científico	25
2.2.4. El problema de la verdad	26
2.2.5. La inconmensurabilidad	26
<b>Capítulo 3. ¿La Tierra en el centro del Universo?</b>	30
3.1. Los problemas de la astronomía antigua	30
3.2. La antigua cosmología: el Universo de las dos Esferas	34
3.3. La Astronomía Geocéntrica	38
3.3.1. La metodología ptolomeica	38
3.3.2. Síntesis de la teoría ptolomeica	43
3.3.3. La axiología científica de la teoría ptolomeica	48
<b>Capítulo 4. ¿La Tierra se mueve?</b>	50
4.1. La Astronomía Heliocéntrica	50
4.1.1. La metodología copernicana	51
4.1.2. Síntesis de la teoría copernicana	52
4.1.3. La axiología científica de la teoría copernicana	68
<b>Capítulo 5. ¿Una Revolución científica o una sola Tradición de Investigación?</b>	70
5.1. Análisis del cambio a la Astronomía Copernicana a través del modelo de Laudan.	70
5.1.1. Los problemas de las teorías de Ptolomeo y Copérnico	70
5.1.2. Las Tradiciones de Investigación Geocéntrica y Heliocéntrica	73
5.1.3. Ptolomeo y Copérnico en el Modelo Reticular de la Racionalidad Científica	75
5.2. Conclusiones	81
5.3. Un comentario general	82
<b>Bibliografía</b>	84

## INTRODUCCIÓN

El éxito que la física ha tenido en los últimos siglos, en cuanto a su capacidad para describir la naturaleza y los alcances de las aplicaciones, la han hecho un atractivo objeto para el análisis filosófico. Éste resulta trascendente en la propia ciencia, si se pretende entender un poco mejor la esencia de la actividad científica.

Así como la creación de tecnología se torna imposible sin un entendimiento profundo de las entidades y procesos de la materia o la energía, la propia actividad científica se puede mostrar sin sentido o hasta irresponsable sin una reflexión acerca de su finalidad y desarrollo. Dicha reflexión requiere de un análisis detallado de la comunidad científica sobre las características del qué hacer científico.

Además de necesario, este análisis, ha resultado controvertido a partir de la segunda mitad del siglo XX cuando el desarrollo de la física toma caminos inesperados y se generan propuestas muy distintas para caracterizar el quehacer científico.

En este contexto, este trabajo tiene como objetivo retomar uno de los modelos que pretende describir la actividad científica, el de Larry Laudan, y tratar de explicar con él un episodio particular de la ciencia: el nacimiento del heliocentrismo.

Con éste propósito, en el primer capítulo, se caracteriza el problema sobre el análisis científico y se hace una breve síntesis y crítica de algunos modelos que se consideran insatisfactorios.

En el segundo capítulo, se describen los aspectos más relevantes sobre el modelo laudaniano. Por un lado, la estructura donde enmarca los elementos de la ciencia y sus relaciones: las Tradiciones de Investigación. Por otro, el Modelo de Estructura Reticular de la Racionalidad Científica, el cual describe los procesos e interacciones en el quehacer científico, pero sobre todo, propone un mecanismo para explicar los cambios en la ciencia.

En el tercer capítulo se esbozan de manera sintetizada la teoría geocéntrica (ptolomeica), dividida en tres aspectos: la metodología, el contenido teórico y la axiología científica, según la caracterización que hace Laudan de estos tres rubros. En el cuarto capítulo, en la misma estructura, se sintetiza la teoría heliocéntrica (copernicana) con el fin de contrastarlas.

En el quinto capítulo, se hace un análisis general de las teorías a partir de los elementos de las Tradiciones de Investigación, y de la transición entre ellas usando el modelo de racionalidad que propone Laudan. Se concluyen aspectos generales como resultado del análisis, haciendo énfasis en cuáles son los elementos que resultaron satisfactorios con el modelo, cuáles no y porqué. Finalmente se hace un comentario general sobre la transición al heliocentrismo.



## Capítulo I

### Presentación del Problema.

#### ¿Un modelo que describe la ciencia?

El desarrollo histórico de la ciencia ha registrado largos periodos de acuerdo y desarrollo unidireccional, pero también cambios y rupturas muy abruptas (al menos a largo plazo). Es por esto, entre otras razones, que ha resultado atractivo a la vez que controvertido, el análisis del discurso científico. El objetivo de dicho análisis consiste en hacer una descripción completa de la actividad científica que sea tanto normativa, es decir, que explique la estructura de los elementos teóricos que hay en ella, como descriptiva y narre adecuadamente los episodios históricos de la ciencia.

El ideal leibniziano que sostiene que todas las disputas en la ciencia pueden ser imparcialmente resueltas con las reglas de evidencia adecuadas o, equivalentemente, la idea positivista<sup>1</sup> de la verificación de las teorías a través de los hechos, ha sido rebasada a partir de la crítica que comenzó Thomas S. Kuhn.

Son grandes y fundamentales las diferencias entre las diversas propuestas que intentan describir el quehacer científico. Sin embargo, sí existe un consenso más o menos uniforme en cuanto a cuáles son las preocupaciones de dicho análisis<sup>2</sup> que cualquier propuesta debe responder satisfactoriamente; algunas de éstas son :

1. **Las controversias científicas.** Aquellos episodios científicos en donde no ha habido consenso, proliferan ideas distintas, y las normas científicas no han sido suficientes para resolverlas rápidamente. Estas controversias caracterizan a la ciencia como una actividad que no es siempre acumulativa ni progresiva.

2. **La inconmensurabilidad.** Este problema fue planteado por primera vez por Thomas S. Kuhn<sup>3</sup> Afirma que la idea de la comparación objetiva de las teorías de acuerdo a los hechos que describen, heredada de los positivistas, no es factible debido a la imposibilidad de trasladar o “traducir” por completo dos teorías rivales. Según su análisis, las teorías rivales se encuentran suscritas a diferentes reglas metodológicas o incluso semánticas, por lo que la comparación neutral entre ellas se torna imposible.

3. **La indeterminación de teorías debida a los datos.** Este problema se genera debido a que ninguna teoría puede ser lógicamente probada o refutada por evidencia

---

<sup>1</sup> El positivismo afirma, esencialmente, que la ciencia verifica teorías comparándolas directamente con los hechos que acontecen en el mundo, sin que tenga que intervenir ningún otro elemento en el proceso más que las reglas de evidencia adecuadas y el comportamiento de los fenómenos. El grupo más representativo de éste pensamiento fue el Círculo de Viena y algunos de sus miembros más importantes fueron Schlick, Carnap, Ayer y Neurath.

<sup>2</sup> cfr. Laudan, L., (1977), pp. 1-7

<sup>3</sup> cfr. Kuhn, T.S., (1971), pp.230-237

de manera determinante y definitiva pues las reglas de inferencia científica, sean deductivas o inductivas, pueden ser tan ambiguas, que los caminos a seguir son muchos, inclusive, inconsistentes entre sí.

**4. Desarrollo contranormal.** Plantea que las normas científicas se han infringido o violado en muchas ocasiones de diferente manera, se ha ignorado evidencia, tolerado inconsistencias o usado estrategias conrainductivas, entre otras cosas, lo cual genera un vacío acerca del papel que juegan estas reglas en el quehacer científico.

**5. La definición adecuada de la racionalidad y el progreso científico.** Se requiere de una caracterización adecuada para la racionalidad científica sin caer en extrapolaciones exageradas, donde la ciencia aparezca como una actividad irracional o como un proceso exclusivamente acumulativo y verificacionista. Para ello, es necesario construir una definición que permita afirmar a la ciencia como una actividad esencialmente racional y que explique los episodios históricos de la ciencia. Además se requiere aclarar qué es el progreso científico, si éste está ligado o no a la racionalidad y de qué manera.

**6. El problema de la verdad.** La vieja discusión sobre si la ciencia se acerca o encuentra verdades acerca de la realidad y la estructura del mundo o no es capaz de hacerlo. Esto implica tomar una posición en el debate sobre cuál es el objetivo de la actividad científica y cómo se alcanza.

Para intentar responder a estas preguntas y, en general, para lograr una descripción satisfactoria de la ciencia, se han propuesto diferentes marcos generales llamados *unidades de análisis* que, dependiendo del modelo, incluyen y definen diferentes elementos, relaciones y procesos en la actividad científica. A continuación revisaremos de manera general algunas de estas propuestas.

La unidad de análisis que propone Kuhn en su libro *La Estructura de las Revoluciones Científicas*<sup>4</sup>, se basa en los conceptos de paradigma, ciencia normal y revolución científica. La ruptura que plantea Kuhn con la tradición positivista a través de su modelo, representa uno de los cambios más abruptos sobre la concepción de la ciencia, en él rompe con la idea de acumulatividad absoluta y plantea el desarrollo científico como una serie de continuidades y discontinuidades.

El paradigma es un esquema muy amplio y general, en él están incluidos todos los elementos del quehacer científico, teorías, reglas metodológicas, etc. Kuhn nunca lo define ni describe de manera precisa pero es claro que para él cuando hay un cambio científico, existe un cambio de paradigma.

Previo al cambio científico, existe un periodo acumulativo y de articulación de las teorías ya aceptadas al que él llama ciencia normal. Cuando este desarrollo entra en crisis y acumula suficientes anomalías se genera una nueva propuesta y una ruptura muy abrupta,

---

<sup>4</sup> cfr. Kuhn, T.S., (1971).

seguida de un periodo de gran debate que llama revolución científica; ésta culminará con el triunfo de la nueva propuesta.

En medio de este debate se presentan varios problemas sobre la evaluación de las teorías que, para Kuhn, impiden una elección estrictamente racional entre ellas. Uno de ellos es el de la inconmensurabilidad, la cual implica la imposibilidad de comparar teorías que tienen diferentes campos semánticos, metodologías y reglas internas. Al no existir un marco de referencia neutral o universal la comparación *objetiva* se torna inaccesible.

Esto produce que la elección de teorías, en las revoluciones científicas, esté llena de elementos aparentemente irracionales. Ésta depende del contexto histórico y de factores que no están ligados, necesariamente, con las razones que optimizan la descripción de los fenómenos. La racionalidad tiene entonces un carácter histórico y no es el parámetro que marca el desarrollo de la ciencia, sobre todo en etapas de crisis.

Kuhn se propone romper con el discurso internalista sobre teorías y verificación, proponiendo un análisis más global y planteando serios problemas a la identificación de la racionalidad con la ciencia casi como un mismo elemento. La propuesta kuhniana tiene la virtud de apelar a la historia para caracterizar a la ciencia, pero presenta muchas carencias como lo es la ambigüedad de sus conceptos y la vaguedad de sus narraciones. Sin embargo, la trascendencia del discurso kuhniano radica en que plantea varios problemas que deja abiertos para analizar de forma más detallada.

Después de esta propuesta se abrieron dos grandes caminos. El de concebir a la ciencia como una proliferación de teorías y elecciones arbitrarias o el de tratar de reconstruir la racionalidad científica con nuevos parámetros y con referencias más medidas, retomando como guía la historia de la ciencia. El primer camino lo eligió Feyerabend, el segundo Imre Lakatos y posteriormente Laudan, entre otros.

Lakatos pretende reconstruir la racionalidad a partir de los problemas que planteó Kuhn y recuperar la normatividad del discurso para describir la ciencia, sin despreciar la descripción histórica. Para ello, rescata algunos elementos del falsacionismo de Popper en su última etapa y utiliza la unidad de análisis que llama Programas de Investigación Científica<sup>5</sup>.

Los Programas de Investigación Científica están compuestos por una serie de teorías interconectadas por un núcleo, el cual contiene los fundamentos del programa y que, por decisión metodológica, es irrefutable. Dicho núcleo está acompañado por un cinturón heurístico, que constituye la parte de la teoría que se puede modificar, además de formar una especie de "protección" del núcleo. Cuando el núcleo cambia, también ha cambiado el programa.

La idea de Kuhn sobre la ciencia normal como un periodo sin novedades ni crítica, contrasta con el modelo de Lakatos, donde los programas tienen una estructura mucho más definida y el cambio es menos abrupto. Sin embargo, también este esquema presenta

---

<sup>5</sup> cfr. Lakatos, I. y otros., (1975).

serios problemas pues no queda claro como definir, en cada caso particular, cuál es el núcleo y menos aún, como explicar los cambios científicos donde, finalmente, se abandonan todos los elementos de una teoría. Este resulta ser aún, un esquema muy rígido.

Aunque para Lakatos, a diferencia de Kuhn, la experiencia sigue siendo el árbitro imparcial de la controversia en el cambio científico, para él *no es el conflicto de los hechos con la teoría* (modelo deductivo monotéorico), sino que el conflicto se da entre varias teorías (modelo pluralista) y debe ser resuelto con la teoría que logra una mejor descripción.

En lo que se refiere al concepto de progreso, éste se encuentra ligado a la racionalidad, como categoría central de la ciencia en lugar del concepto de verdad. Para él, la aceptación o rechazo de teorías debe ser en función de que exista un progreso científico y queda claro que, en este proceso, el descubrimiento y descripción de nuevos fenómenos es un elemento importante.

A pesar de estos matices, no es claro cómo se da la transición entre programas, punto nodal en la descripción de la ciencia. Existen episodios científicos donde la mejor descripción, según su propio análisis, sólo se puede ver en retrospectiva, al igual que el carácter racional de las elecciones, por lo que la elección científica momentánea no es clara en su propuesta y la racionalidad instantánea es utópica.

Entre los elementos rescatables de la propuesta lakatosiana se encuentra en que su discurso logra reconocer la complejidad y los tiempos que se presentan en el proceso de eliminación de una teoría. También reconoce con claridad los problemas del justificacionismo y acepta que existen elementos de convención para la aceptación de teorías. En principio, Lakatos retoma la importancia del discurso descriptivo y logra reconocer, a su manera, las rupturas del proceso científico.

Otro aspecto importante que encontramos en su discurso, es el hecho de que transforma el problema de la verdad o falsedad en el de la aceptación o rechazo de teorías. A diferencia de los discursos exclusivamente normativos, propone desaparecer la contrastación teoría-observación, reemplazándola por un proceso más complejo y amplio. Por último, pero quizá no menos importante, le da lugar a la consistencia dentro de las teorías.

Sin embargo, su normatividad está llena de problemas pues resulta complicado y artificial encontrar los elementos de su modelo en las teorías científicas. Además, la racionalidad es a priori y no la redefine. No dice cómo operan las continuidades y discontinuidades en la ciencia, no describe la ciencia presente y responde insatisfactoriamente a algunos de los problemas que plantea Kuhn.

Por otro lado, el camino de abandonar la racionalidad científica lo tomó Feyerabend<sup>6</sup>, el cual hace una aguda crítica a la visión racionalista reconstruida por Popper y Lakatos,

---

<sup>6</sup> cfr. Feyerabend, P. (1981)

retomando algunos elementos de Kuhn, generando otros y llevando todos al extremo de la interpretación.

La observación central de Feyerabend en el quehacer científico consiste en afirmar, que toda metodología establecida en algún momento se altera, modifica o infringe, y el querer establecerla como fija es sólo una simplificación racionalista. Expone cómo los campos conceptuales o semánticos se van transformando y rescata el problema de la incommensurabilidad como un camino sin salida racional, para concluir que son elementos irracionales como la propaganda, los trucos psicológicos y la subjetividad, los que guían el desarrollo científico. Propone ir en contra de los estándares establecidos para hacer ciencia y nuevas categorías para ésta, la libertad como la más importante.

Mientras que para Kuhn los elementos irracionales de la ciencia están en las revoluciones científicas, para Feyerabend invaden toda la ciencia. Para él toda la descripción del mundo está cargada de una subjetividad ineludible debido a interpretaciones naturales que hacemos involuntariamente, y a esa liga que establece entre observación y teoría, objeto y concepto, como parte de un todo.

Parte de los problemas que exhibe y las propuestas que hace son, sin duda, una guía para la epistemología. Sin embargo, él los lleva al extremo y deforma la imagen de la racionalidad y de la actividad científica.

En estos tres discursos, como en tantos otros que se han elaborado, encontramos elementos que rescatar para un nuevo intento de la caracterización científica. Sin embargo, aún quedan pendientes algunas preguntas que no se han respondido y elementos que falta redefinir o describir de una manera más adecuada.

Parecería que el proceso epistemológico de la ciencia es un proceso más complejo aún, que requiere de otro esquema.

Este ciclo entre acuerdo y desacuerdo, cómo del consenso se llega a la controversia y cómo se resuelve ésta para llegar de nuevo al consenso resulta fundamental. Cuándo y cómo persisten cada uno, parece ser el punto central que debe resolver un modelo que describa el quehacer científico. Con él van implícitos el problema de la verdad, la incommensurabilidad, la racionalidad científica y todos los demás elementos que puedan ser controvertidos. Por ello resulta indispensable que dicho modelo sea capaz de explicar todo cambio científico, al menos, de manera general.

La propuesta que desde mi perspectiva, alcanza una mejor descripción de la actividad científica, es la propuesta que hace Larry Laudan y que se analizará en el siguiente capítulo.

## Capítulo 2

### ¿Un modelo mejor?

A pesar de las diferencias fundamentales en las propuestas que se han elaborado para intentar responder a la descripción del quehacer científico, existe ya un reconocimiento general acerca de que el positivismo lógico resulta insatisfactorio. En el análisis que elabora Pérez R.<sup>7</sup>, sobre distintas unidades de análisis, encuentra algunos rasgos o tesis generales que se consideran un consenso en la actividad científica y que al menos la mayoría de las propuestas reconoce; éstos podemos sintetizarlos como:

1. La historia de la ciencia es un parámetro fundamental para la descripción científica.
2. No existe un solo criterio para organizar conceptualmente la experiencia. El paso del mundo al discurso no tiene un camino válido único. No hay una base neutral de contrastación para teorizar la experiencia. Esto también implica que no existe una referencia de comparación objetiva y autónoma.
3. Las teorías están enmarcadas conceptual y metodológicamente en marcos más generales más amplios, que involucran otros elementos y que cambian con el tiempo.

Estos consensos, implican que la ciencia no es lineal ni acumulativa en todas sus etapas, que tampoco es autónoma, por lo que parte de los cambios científicos involucran elementos externos y finalmente, que no es posible determinar la racionalidad científica *a priori*.

Sobre esta base iniciaremos la revisión de una de las propuestas que intentan generar una unidad de análisis que responda satisfactoriamente las preguntas acerca de la actividad científica.

### El Modelo de Larry Laudan

Para Larry Laudan, uno de los autores dedicados al análisis de la ciencia, el reto intelectual de la descripción científica, consiste en explicar los grandes períodos de acuerdo y desacuerdo en la ciencia respecto a las teorías y métodos aceptados, en conjunto, con la caracterización adecuada de un modelo de racionalidad científica que los explique.

En su análisis sobre los problemas científicos<sup>8</sup> y contemplando los consensos anteriores, Laudan estructura, en dos etapas, un modelo de cambio científico cuya unidad de análisis llama **Tradiciones de Investigación**<sup>9</sup>, a la vez que desmenuza diversos elementos que a su parecer se encuentran en la actividad científica.

---

<sup>7</sup> cfr. Pérez R., A.R., (1993), pp.182-183.

<sup>8</sup> cfr. Laudan, L., (1977) pp. 2-4

<sup>9</sup> cfr. Laudan, L., (1977) 78-79.

En una primera etapa, en su libro *Progress and its Problems*<sup>10</sup>, caracteriza las Tradiciones de Investigación, además de esbozar y clasificar los elementos y relaciones que, a su consideración, participan en la elaboración de teorías científicas.

En una segunda etapa, en la obra *Science and Values*<sup>11</sup>, propone un modelo mucho más fino y detallado de cómo es que se dan los cambios científicos, además de los elementos que intervienen en el proceso.

### **Laudan I. Progress and Its Problems.**

Para Laudan la ciencia es una actividad que, esencialmente, resuelve problemas<sup>12</sup>, por lo que todos los conceptos, métodos y reglas de evaluación están encaminadas a cumplir con este objetivo.

Los problemas de los que se ocupa la labor científica son, en su visión, las preguntas que nos hacemos en torno al mundo. Los problemas no existen en sí mismos, sino que éstos se generan en la medida que nos *damos cuenta de ellos*<sup>13</sup>. Esto quiere decir que su existencia está determinada por nuestra percepción y ésta a su vez, por un marco de referencia o red teórica. Ante la imposibilidad de construir un marco objetivo que sea universal, los hechos puros no existen, sino que siempre hay presuposiciones teóricas que determinan los problemas a revisar, aunque sin duda, éstas se van modificando y evolucionando. En síntesis, los problemas válidos para la ciencia dependen, en gran medida, de la teoría que utilicemos para analizarlos.

Las preguntas científicas se responden a través de teorías con diferentes niveles de adecuación. Dicha adecuación se puede evaluar dependiendo de las ambigüedades que resuelvan, la irregularidades que reduzcan, las predicciones que logren o lo inteligibles que hagan los fenómenos.

Los problemas que se propone resolver la ciencia, para Laudan, se pueden clasificar en dos grupos: los problemas empíricos y los problemas conceptuales.

### **Problemas Empíricos.**

A partir de la red conceptual a través de la cual es *observado* el mundo, un problema empírico se puede definir como cualquier cosa, en referencia con lo que acontece u ocurre y que requiere explicación<sup>14</sup>. A su vez los problemas empíricos pueden ser clasificados en tres categorías dependiendo de su papel en la evaluación de una teoría:

---

<sup>10</sup> Laudan, L., (1977).

<sup>11</sup> Laudan, L., (1984).

<sup>12</sup> cfr. Laudan, L., (1977), pp. 5.

<sup>13</sup> cfr. Laudan, L., (1977), pp. 13-15.

<sup>14</sup> Laudan se refiere al mundo físico, considera a los problemas empíricos como problemas de primer orden y constituyen preguntas sustantivas sobre algún dominio de la ciencia. (cfr. Laudan, L., (1977), pp. 14-17).

- a) Anómalos. Son aquellos que una teoría nueva no ha resuelto ya sea porque existe inconsistencia con los experimentos o porque se carece de una explicación, pero que otra u otras si lo hacen<sup>15</sup>. Estos son objeto de controversias científicas y juegan un papel importante en los cambios científicos. Sin embargo, aunque las anomalías generan dudas sobre las teorías no implican, por sí mismas, el abandono de éstas. Esto había sido sostenido por teóricos como Duhem y Quine, quienes plantearon la imposibilidad de señalar la refutación puntual que significa la anomalía en la red teórica existente, al menos de manera inmediata y por otro lado, la posibilidad de abandonar los datos que generan la anomalía<sup>16</sup>. Además, las anomalías exhiben las pérdidas explicativas que puede haber en los cambios científicos.

Un ejemplo clásico de una anomalía es el caso de la mecánica celeste de Newton, la cual no explica porqué los planetas giran alrededor del Sol todos en la misma dirección, fenómeno que si explican teorías anteriores como la de Descartes<sup>17</sup>.

- b) Resueltos. Son aquellos que se responden satisfactoriamente con alguna teoría<sup>18</sup>. Aunque las soluciones siempre tienen un carácter aproximativo, pues siempre hay discrepancias entre los resultados teóricos y los experimentales, se obtiene un nivel de adecuación “aceptable” dependiendo del contexto teórico particular. Como las normas y estándares metodológicos cambian, la noción de solución de los problemas es relativa y temporal.

Por ejemplo, la mecánica celeste de Newton resolvió el problema del movimiento de los planetas en el contexto del siglo XVII, con un nivel de adecuación muy exitoso. El formalismo y rigor usado por Newton no se había alcanzado nunca hasta ese momento, lo que permitió una solución muy adecuada y de hecho, superior a los estándares establecidos.

- c) Sin solución. Se trata de problemas que no ha resuelto ninguna teoría. Este tipo de problemas indican líneas a seguir en la investigación. Sin embargo, no siempre son claros ni es preciso el sentido que debe seguir su solución. Su importancia es ambigua hasta ser resueltos, ya que puede no ser claro a qué dominio pertenecen o el efecto empírico que puedan tener. Además, éstos únicamente adquieren el *status* de problema cuando se ha mantenido sin resolver durante mucho tiempo<sup>19</sup>. Los problemas no resueltos, no necesariamente pesan en contra de alguna teoría, pues la guía de los problemas relevantes a resolver está dada por las teorías anteriores o las teorías competidoras.

---

<sup>15</sup> cfr. Laudan, L., (1977), pp. 17.

<sup>16</sup> cfr. Marquina, J., (2003), p. 5.

<sup>17</sup> Descartes explicaba éste hecho con su modelo de los vórtices, motores del movimiento planetario, todos los planetas giraban en el sentido en el que el vórtice giraba.

<sup>18</sup> cfr. Laudan, L., (1977), pp. 17.

<sup>19</sup> Laudan no especifica cuánto es mucho tiempo, por lo que interpretamos que éste es relativo en cada caso. (cfr. Laudan, L., (1977), pp. 23-26.)



Por ejemplo, en 1986 se encontraron una clase de materiales cerámicos que presentan un comportamiento de superconductores para temperaturas de 90 K, mucho mayores que las temperaturas en las que hasta entonces se había presentado la superconductividad (no más de 30 K). Sin embargo, estos materiales son frágiles, difíciles de hacer en hilo, incapaces de transportar corrientes altas e inestables por periodos largos<sup>20</sup>. Aún no existe una teoría que explique satisfactoriamente este fenómeno con un nivel de adecuación aceptable en nuestro contexto.

Esta clasificación de problemas empíricos y sus transformaciones de anomalías o problemas sin solución a problemas resueltos, juegan un papel importante tanto en la evaluación como en la elección de teorías y por tanto, en el cambio científico.

Cuando una anomalía se resuelve, exhibe la capacidad de solución de una teoría y elimina ambigüedades en ella, por lo que la refuerza para ser aceptada. Por otro lado, si una anomalía no se resuelve puede hacerse más grande e importante conforme tiene más tiempo, o puede mantenerse sin mucha atención por parte de la comunidad científica. Sin embargo, como ya se dijo, la anomalía no es elemento suficiente para abandonar una teoría, sólo genera duda en torno a ella<sup>21</sup>.

La influencia que tiene la solución o no solución de un problema sobre el cambio científico no es uniforme. Según Laudan, ésta puede variar de acuerdo a la importancia o peso que se le da a cada uno de los problemas<sup>22</sup>. A su vez, dicha importancia puede aumentar o disminuir en diferentes situaciones, las cuales engloba de la siguiente manera:

- Los problemas científicos que se resuelven pueden adquirir importancia por :
  1. **Construcción** arquetípica. Conforman la base o el fundamento de alguna teoría. Por ejemplo, el movimiento planetario constituye la base de la teoría gravitacional de Newton.
  2. **Solución anómala**. Genera una controversia que a cualquier teoría que la resuelva le dará argumentos a favor. Por ejemplo, el problema de la radiación del cuerpo negro generó una solución anómala para el electromagnetismo clásico y dio origen a una gran controversia.
  3. **Solución satisfactoria**. Le da relevancia o en ocasiones lo reconoce como problema genuino, de tal forma que las soluciones futuras deben ser al menos como ésta. Por ejemplo, la mecánica cuántica generó un modelo de la forma en que deben ser las soluciones para el mundo microscópico.
  4. **Generalidad**. Adquiere importancia por ser más general que otro. Por ejemplo, la mecánica celeste de Newton fue más general que la teoría kepleriana, y en esa medida fue mucho más importante.

---

<sup>20</sup> cfr. Beiser, (1995), pp. 373-378

<sup>21</sup> cfr. Laudan, L., (1977), pp. 26-31.

<sup>22</sup> cfr. Laudan, L., (1977), pp. 31-40

- A su vez, los problemas también pueden perder importancia por:
  1. Se diluye al ponerse en duda su relevancia o autenticidad<sup>23</sup>. Por ejemplo, el problema que se plantea Kepler, acerca de la razón por la que en el sistema solar había justamente 5 planetas girando, se diluye al descubrir que no son sólo 5. En este momento, carece de sentido buscar la causa.
  2. Otro ejemplo, es la medición de la velocidad de la Tierra respecto al éter. Éste problema se diluyó cuando se demostró que dicho éter no existía, con el experimento de Michelson y Morley. Sin embargo, dicha conclusión tardó varios años.
  3. Modificación arquetípica. Esto sucede cuando se abandona o modifica la base. Existen muchos problemas que pertenecían a otros campos de estudio y que en la medida que se desarrollaron las diferentes teorías estos ámbitos se fueron modificando y delimitando. Como ejemplo, Laudan narra que mientras se pensó que los cometas eran fenómenos sublunares pertenecían al ámbito de la meteorología y la astronomía no los estudiaba<sup>24</sup>.

Los problemas científicos anómalos pueden adquirir importancia por su grado epistémico. Éste, a su vez, se mide por el grado de discrepancia entre la teoría y el experimento, o por su capacidad y resistencia a resolverse. Como ejemplo, el problema de *La Catástrofe Ultravioleta* adquirió importancia en función de que la discrepancia entre la teoría y el experimento era absurda para los estándares aceptados<sup>25</sup>.

### **Problemas Conceptuales.**

Los problemas conceptuales son característicos de las teorías y no existen independientemente de éstas, en particular, de su estructura. Por exclusión, se caracterizan como todos aquellos problemas que no se consideran empíricos<sup>26</sup>. Establecer una diferencia bien definida entre un problema conceptual y uno empírico no siempre es posible, al menos de manera inmediata, pues existe un espectro continuo entre los problemas empíricos y los conceptuales, por lo que la separación que hace Laudan sólo corresponde a casos extremos.

---

<sup>23</sup> La disolución de los problemas ya había sido planteada por P. Feyerabend, como una salida muy común en la ciencia cuando ocurre un cambio científico. Al tener cada teoría sus propias reglas internas, inclusive semánticas, un problema elaborado dentro de una teoría puede carecer de importancia o hasta de sentido, dentro de la nueva teoría.

<sup>24</sup> La transición del ámbito meteorológico al astronómico por parte de los problemas sobre los cometas, según Laudan, ocurrió en el siglo XVI, y jugó un papel importante, como problema resuelto, para la teoría heliocéntrica y como una anomalía para la geocéntrica.

<sup>25</sup> Este se refiere a la discrepancia entre los resultados teóricos y experimentales de la radiación del cuerpo negro. Este problema fue examinado a finales del siglo XIX por Rayleigh y Jeans. Calcularon el total de energía por unidad de volumen en la cavidad del cuerpo negro en un intervalo determinado de frecuencias, los resultados teóricos del electromagnetismo clásico predecían una cantidad de energía infinita, lo cual era una clara contradicción con los experimentos. ( cfr. Beiser, (1995 ) pp.54 -59 )

<sup>26</sup> cfr. Laudan, L., (1977), pp. 45-48.

Un ejemplo de problema conceptual, se ilustra con la diferencia entre la concepción del espacio newtoniano absoluto, y el espacio relacional de Descartes. Para Newton, el espacio puede separarse de la materia y conserva sus propiedades absolutas porque existe independientemente de ésta. Los cuerpos materiales están en el espacio como en un recipiente, independiente de éstos y con existencia autónoma. En cambio, para Descartes, la concepción del espacio es como un cuerpo físico, identificando la materia con un objeto geométrico, *materializa las formas geométricas y despoja a la materia de todas sus cualidades con la excepción de la extensión*<sup>27</sup>. Para él, el espacio existe solamente en relación con los cuerpos que lo ocupan o con un punto de referencia dado.

Estos problemas tienen, necesariamente, implicaciones empíricas, sin embargo, éstas no son tan inmediatas, por lo que a veces no es fácil identificarlas o establecerlas. Además, los problemas conceptuales pueden ser de diferente naturaleza. Laudan los clasifica en internos y externos:

Los problemas internos<sup>28</sup> se pueden identificar en dos situaciones básicas:

1. Por inconsistencias internas o contradicciones en la estructura teórica.
2. Por que las categorías básicas son vagas o no claras. Estas pueden ser contradictorias o circulares. Por ejemplo, al escribir *Los Principia*, Newton define la masa en términos de la densidad, por lo que no queda definida de manera satisfactoria esta categoría.

Los problemas externos se clasifican en tres grandes casos:

1. Cuando una teoría entra en conflicto con otra. Por ejemplo, cuando dos teorías son lógicamente inconsistentes. El ejemplo clásico es la teoría copernicana y la ptolomeica, y la posición de la Tierra que propone cada una.
2. Otro caso ocurre cuando una teoría es congruente con otra aceptada, sin embargo, la última la hace poco plausible. Por ejemplo, a finales del siglo XVII las teorías de fisiología estaban basadas en el supuesto cartesiano de que varios procesos corporales eran esencialmente causados por procesos de colisión, filtración y circulación de fluidos. Estas teorías resultaron implausibles con la mecánica newtoniana que, aunque claramente permite la existencia de fenómenos de colisión, muestra que la mayoría de los procesos físicos no sólo dependen de las colisiones y movimientos de partículas. Era poco probable que un sistema tan complejo como un organismo vivo pudiera funcionar así.
3. Un tercer caso se presenta cuando dos teorías son compatibles, pero no existe entre ellas una relación positiva relevante que la comunidad científica espera que

---

<sup>27</sup> cfr. Hessen, B. (1989), pp. 120-122.

<sup>28</sup> cfr. Laudan, L., (1977), pp. 49-50.

exista<sup>29</sup>. Por ejemplo, cuando una teoría química, compatible con la mecánica cuántica, no utiliza nada de ésta<sup>30</sup>.

Estos problemas, según Laudan, pueden darse en tres niveles<sup>31</sup>: uno sucede cuando se genera tensión entre dos teorías científicas que pertenecen a dominios diferentes. Este es el caso de la teoría copernicana que no pertenecía propiamente al estudio de la física, sino de la astronomía y, sin embargo, afectaba las concepciones de la física aristotélica<sup>32</sup>.

Otra posibilidad es que las dificultades sean normativas y que, entonces, el conflicto sea con las metodologías aceptadas. La solución de este tipo de tensiones puede darse con la modificación de la teoría para que sea congruente con la metodología aceptada, o por el contrario, modificando dicha metodología. Laudan no da razón de bajo qué circunstancias se da cada caso.

Un ejemplo de esta situación, fue la tensión de la teoría newtoniana que utilizaba el método inductivo, en oposición con la metodología aceptada en la época, de carácter hipotético-deductivo. Newton proponía partir de los fenómenos, llegar a las leyes generales de la naturaleza y regresar a los fenómenos utilizando dichas leyes. Esta controversia, finalizó con la modificación de la metodología, utilizándose a partir de entonces, el método generado por Newton.

La última dificultad posible, se refiere a cuando una teoría está en conflicto con la concepción del mundo dominante. Las diferencias en este caso se dan por factores que no son estrictamente científicos como pueden ser las situaciones de carácter teológico, metafísico, lógico, ético, etc. Por ejemplo, la interpretación dominante de la mecánica cuántica está en contra de la existencia de un mundo determinista, sin embargo, todavía no hay una posición homogénea en la comunidad científica al respecto, pues una fracción de ella se niega a abandonar esta visión.

A decir de Laudan, los problemas conceptuales son en general más complejos, por lo tanto más difíciles de resolver que los empíricos. Sin embargo, es claro que la importancia relativa de los problemas conceptuales no es siempre la misma, ésta se transforma conforme se articulan las teorías, se realizan experimentos, se clarifican conceptos, etc. Dicha importancia puede variar según la relación lógica entre teorías, su capacidad de resolución en relación una con la otra y la edad del problema conceptual. Si estas diferencias crecen, el problema conceptual aumenta<sup>33</sup>. La clarificación conceptual es el proceso que permite solucionar este tipo de problemas y que ayuda a la articulación de una teoría.

---

<sup>29</sup> cfr. Laudan, L., (1977), pp. 50-54.

<sup>30</sup> cfr. Marquina, J.(2003), p. 6.

<sup>31</sup> cfr. Laudan, L., (1977), pp. 55-64

<sup>32</sup> cfr. Marquina, J., (2003), pp. 6.

<sup>33</sup> cfr. Laudan, L., (1977), pp. 64-66.

Laudan hace la distinción de dos estructuras teóricas, una particular, que responde a problemas específicos y da explicaciones detalladas de fenómenos naturales y otra más general que abarca un conjunto de teorías.

Esta última está relacionada con la idea que Laudan sugiere en su libro *Progress and its Problems*, proponiendo una unidad de análisis en la cual los problemas tanto empíricos como conceptuales y la construcción de sus soluciones, es decir, las teorías, se desarrollan. Dicha unidad de análisis es denominada: Tradiciones de Investigación.

### **Tradiciones de Investigación**

Sin duda, muchos de los problemas actuales de la filosofía de la ciencia, fueron planteados por primera vez o al menos, de algún modo abiertos en su primera versión, por Thomas S. Kuhn. Es por esto, que Kuhn se ha vuelto un referente necesario en el análisis del discurso científico. Laudan destina varias páginas de *Science and Values* a un detallado análisis y fuerte crítica a su propuesta.

En primera instancia, critica lo general y ambiguo que es el paradigma como unidad de análisis, pues en él, están incluidos todos los elementos del quehacer científico, el marco conceptual, los métodos, técnicas de experimentación o evaluación, etc., sin discernir o diferenciarlos entre ellos<sup>34</sup>. Es por esto, que Laudan propone una unidad de análisis diferente a la que llama Tradición de Investigación, donde caracteriza y distingue varios de los elementos que la componen.

Una Tradición de Investigación (TI) es un conjunto de quehaceres ontológicos y metodológicos que se determinan mutuamente. Una serie de suposiciones generales acerca de las entidades, los procesos en un dominio de estudio y de la metodología apropiada para investigar los problemas y construir teorías en dicho dominio.

Las TI no son explicativas, ni predicen de manera directa, son muy generales y sus elementos son normativos y metafísicos. Dicen cómo es el mundo y cómo estudiarlo pero no responden cuestiones específicas, por lo que no son empíricamente probables.

Se distingue en cada una de ellas las siguientes características:

1. Dan una guía del desarrollo científico en dos direcciones:
  - Ontológicamente, especificando las entidades que existen en el dominio y las maneras en que estas entidades pueden actuar.
  - b) Metodológicamente, explicitando las técnicas de experimentación, pruebas teóricas, formas de evaluación etc.
2. Siempre hay una TI implícita o la necesidad de ésta por lo que una teoría no puede permanecer mucho tiempo sin ella, pues no habría guía para la actividad científica, ni una visión del mundo establecida.

---

<sup>34</sup>cfr. Laudan, L., (1984), pp. 68-71.

3. Tienen una larga historia con diferentes formulaciones. Las TI no son algo rígido e inmodificable, sino que van evolucionando tanto en su ontología como en su metodología. Esto implica que las teorías también van cambiando al paso del tiempo y se van articulando poco a poco.
4. Las TI tienen asociado un determinado conjunto de teorías que pueden articular.

A las TI se le asocian una serie de teorías para particularizar la ontología y la metodología, porque tienen un carácter de guía científica. Estas teorías que la conforman son empíricamente probables (predicen el comportamiento de sus objetos de estudio) e incluso pueden ser inconsistentes entre ellas y dar lugar a diferentes elementos ontológicos<sup>35</sup>. Su función es, entonces, la de explicar los problemas empíricos por reducción de ellos, a la ontología de la TI. En este sentido, una TI es exitosa, si proporciona soluciones adecuadas a través de las teorías a los problemas empíricos y conceptuales. Sin embargo, una TI no se refuta o confirma, si se abandona momentáneamente no es imposible que se retome más tarde. También puede suceder que una teoría inadecuada puede ser exitosa en una TI exitosa.

Aunque la TI no imponga los problemas a resolver, sí los influye de diversas maneras, por ejemplo, delimitando el dominio de aplicación a través de la legitimación de los problemas que pueden ser resueltos. Por otro lado, desempeña dos papeles fundamentales. El primero es heurístico, sirviendo de guía para la construcción o modificación de teorías. El segundo, es justificativo, el cual permite a las teorías incluir un conjunto de suposiciones que no provienen directamente de ellas sino de la propia TI a la que pertenecen<sup>36</sup>.

La relación entre la TI y las teorías no es de contención, esto significa que las teorías no son una parte de la TI. Se trata de una relación más compleja, donde la TI da una ontología y metodología general, y las teorías articulan una ontología específica, leyes específicas y probables de la naturaleza<sup>37</sup>. Sin embargo, a partir de una teoría dada, no se puede saber, en todos los casos, cuál es la TI a la que pertenece, sólo se pueden deducir algunos de sus elementos.

Esta relación entre las teorías y las TI no siempre es igual, según Laudan, puede ser que varias teorías inconsistentes pertenezcan a la misma TI. Esto quiere decir que aunque dos teorías sean contradictorias, su ontología y metodología pueden estar fundamentadas por la misma TI. Otro caso ocurre cuando varias TI fundamentan una sola teoría. Un tercer caso, se presenta cuando una teoría y una TI pueden sincronizarse conceptualmente. Esto sucede cuando tanto la teoría como la TI coinciden exactamente en sus entidades, técnicas de experimentación, formas de evaluación etc.

Por otro lado, una TI puede influir de diferentes maneras en la visión del mundo que proponen las teorías. Por ejemplo, define qué entidades es posible o imposible aceptar,

---

<sup>35</sup> cfr. Laudan, L., (1977), pp. 81-93.

<sup>36</sup> cfr. Laudan, L., (1977), pp. 89-92.

<sup>37</sup> cfr. Laudan, L., (1977), pp. 92-95.

qué tipo de experimentos son válidos, etc. De hecho, si una teoría llegara a separarse de una TI debería ser absorbida por otra. Esto ocurre porque una teoría no existe (al menos por mucho tiempo) independientemente de los entes que la conforman y las reglas metodológicas que la guían.

Estas teorías, como ya se mencionó antes, constituyen las respuestas que se le dan a los problemas, por lo que existe una relación directa entre la TI y dichos problemas que, para Laudan, puede tomar las siguientes formas:

- a) Que la TI justifique el problema. Esto quiere decir que a partir de la ontología y la metodología se desprenda de manera natural el problema. Por ejemplo, la teoría del Big Bang justifica el planteamiento del problema sobre si la expansión del universo tendrá fin o no.
- b) Que la TI prohíba el problema. Es decir, que la ontología y/o la metodología no permita la formulación del problema, ya sea porque no se puede formular con ella o porque no sea probable con la metodología aceptada. Por ejemplo, la tradición aristotélica prohibía resolver el problema de la aparición de novedades en el cielo, pues no podía haber nada fuera de la esfera celeste.
- c) Que no lo prohíba pero tampoco lo justifique. Ocurre cuando el problema no se desprende de la TI pero tampoco sea imposible formularlo en ella. Por ejemplo, el planteamiento sobre la infinitud del Universo de Giordano Bruno no está prohibida por la teoría heliocéntrica, pues es viable dentro de ella, pero tampoco lo justifica.

De esta manera, las TI tienen como función dar herramientas cruciales que necesitamos para resolver problemas, definir cuáles son los problemas a resolver y su importancia relativa.

La evaluación objetiva de la TI está íntimamente ligada al proceso de resolver problemas. Sin embargo, su aceptación o rechazo no es definitiva, y ésta influye en la aceptación de las teorías que la conforman.

Evolución de la TI.

En la visión de Laudan, la ciencia se desarrolla a través de la competencia entre Tradiciones de Investigación y éstas, a su vez, se modifican con los cambios específicos de las teorías. Los cambios son continuos y generan nuevos procesos y entidades.

Por supuesto, existen cambios en los elementos básicos de las teorías, sin embargo, también existe continuidad en el carácter de las transformaciones y en cada cambio se preservan la mayoría de los supuestos cruciales, además de la importancia relativa de los

problemas, aunque puede existir una gran diferencia entre la primera versión y la última<sup>38</sup>.

Esto quiere decir que la esencia de la TI cambia con el tiempo, pues están en constante escrutinio conceptual y cambian el peso de los elementos. Sin embargo, se preservan muchos de los elementos y existe una continuidad relativa entre los diferentes estados. Hasta este momento, Laudan no ha sido muy explícito ni detallado en la manera en que los cambios científicos ocurren, sólo habla de generalidades pero no dice qué es lo que entiende por supuesto crucial o por cambio específico. Un problema central entonces, es el reconocer cuándo y cómo se sigue perteneciendo a la TI original, o cuando debido a los cambios en ella, se ha construido una nueva.

Una TI exitosa puede hacer abandonar una determinada visión del mundo que sea incompatible con ella y generar una nueva, pero también puede hacer que se aferren a ella y no aceptar la nueva<sup>39</sup>. Un ejemplo clásico de esta situación es, sin duda, la Mecánica Cuántica, en donde la visión del mundo determinista es incompatible con su interpretación probabilística y el debate sobre si esta visión debe ser abandonada o si hay que aferrarse a ella, parece no estar concluido aún.

Por otro lado, no siempre se cambia una TI por otra, también es posible que se integren, ya sea que una adopte otra sin modificaciones serias o que se forme una rechazando elementos esenciales de las dos anteriores<sup>40</sup>. Por ejemplo, la mecánica celeste newtoniana rescata los elementos más importantes de la kepleriana formando una nueva más general.

#### Evaluación de la TI.

La evaluación de una TI se realiza en un contexto comparativo debido a que no existe un marco de referencia absoluto, por lo que ésta sólo adquiere sentido entre las diferentes TI. Los elementos que se consideran para dicha evaluación corresponden a las reglas metodológicas que son aceptadas y a los estándares que se consideran importantes en determinado contexto, como lo son su adecuación, su efectividad para resolver problemas y su progreso en el tiempo.

Esta evaluación puede llevar a diferentes decisiones ante la TI. Una de ellas es la aceptación de la TI como si fuera verdad. Otra es la ocupación o búsqueda en la TI, que consiste en trabajar en ella con el objetivo de explorar sin que sea necesariamente exitosa. Y la última de estas decisiones consiste en el rechazo total<sup>41</sup>.

Un matiz importante en esta propuesta de elección es que todas ellas son flexibles y modificables, sin un carácter definitivo, esquema que no se había propuesto en modelos anteriores. Además, cualquiera de estas actitudes puede ser simultánea en más de una TI, dentro de la comunidad científica.

---

<sup>38</sup> cfr. Laudan, L., (1977), pp. 95-100.

<sup>39</sup> cfr. Laudan, L., (1977), pp. 101-103

<sup>40</sup> cfr. Laudan, L., (1977), pp. 103-105.

<sup>41</sup> cfr. Laudan, L., (1977), pp. 106-118.



## Laudan II. Science and Values.

Más tarde, en su libro *Science and Values*<sup>42</sup>, Laudan retoma una propuesta ya conocida para explicar la formación de consensos. Se trata del modelo jerárquico de justificación basado en tres niveles: el fáctico o teórico, el metodológico y el axiológico. El nivel fáctico se refiere a las teorías en sí mismas, referentes al mundo. El nivel metodológico son las reglas y técnicas de investigación, de aceptación y rechazo adoptadas. Y el nivel axiológico se refiere a valores epistémicos o metas de la ciencia.

Lo que supone dicho modelo, es que las teorías están supeditadas a una cierta metodología permitida y avalada por la comunidad científica. A su vez, dicha metodología responde a ciertos valores o metas científicas de carácter epistémico. Es esta estructura jerárquica la que dará el mecanismo para generar los consensos científicos<sup>43</sup> y resolver los diferentes desacuerdos del debate científico<sup>44</sup>.

Uno de los problemas que señala Laudan sobre esta propuesta es que existe, detrás de ella, una suposición de que el conjunto de valores o metas asociadas con dicha metodología es única. Si esto ocurriera así, entonces una controversia metodológica se resolvería haciendo referencia a los valores compartidos o metas de la ciencia, eliminando ciertas metodologías irreconciliables con las metas.

Sin embargo, la suposición de que estas metas o valores son únicos, no siempre es cierto por lo que la controversia a nivel axiológico, puede ser, bajo este modelo, el caso más difícil o imposible de resolver racionalmente. Es posible que se presenten casos de diferencias en cuanto a los fines epistémicos y entonces la instancia axiológica se torna sin salida. También puede ocurrir que el desacuerdo no se resuelva debido a que ambas metodologías respondan a las mismas metas o que alguna obedezca a un valor y otra a otro de los valores compartidos. Otro caso puede ser que las metas son compartidas pero no igualmente valoradas. Por ejemplo, que una metodología privilegie la simplicidad y otra la completez, y entonces habría que recurrir a una jerarquización de los valores que

---

<sup>42</sup> Laudan, L., (1984).

<sup>43</sup> Formación del consenso fáctico o teórico. Como ya antes mencionamos, la evaluación ocurre siempre en un contexto comparativo de teorías, por lo que sucede lo mismo con la formación de los consensos fácticos. En el modelo jerárquico, las controversias o desacuerdos factuales se resuelven recurriendo a las reglas metodológicas aceptadas. Es decir, se tienen que consultar los procedimientos y estándares aceptados en cuanto a técnicas de experimentación, procedimientos de desarrollo teórico, etc. Sin embargo, puede ocurrir que estas reglas no sean suficientemente completas o precisas en algún caso particular, o puede ser que la teoría esté indeterminada metodológicamente. Por lo que en estas situaciones, las reglas no resuelven la controversia<sup>43</sup>. Entonces se trata ahora, de una controversia a nivel metodológico.

Formación de consenso metodológico. La metodología está formada por una serie de reglas que sirven como herramienta o medio para alcanzar ciertos fines cognitivos o realizar una tarea. Estos fines o propósitos responden a una serie de valores epistémicos, a una axiología científica. Cuando en ciencia se tiene un desacuerdo metodológico, según este modelo, puede ser resuelto recurriendo a la axiología compartida por la comunidad científica. Esto quiere decir que, cuando no exista un acuerdo en cuanto a las reglas o herramientas usadas se podría recurrir a preguntarse, cuál de ellas responde a los fines o metas científicas que nos proponemos

<sup>44</sup> cfr. Laudan, L., (1984), pp. 23-26.

muy probablemente tampoco sea única<sup>45</sup>. Parecería que para estos casos, en el modelo jerárquico la solución racional no tiene cabida.

Laudan argumenta que muchas de las elecciones si se pueden hacer en función de los valores o reglas científicas, aunque reconoce que esto no es posible en todos los casos. La virtud del modelo para él radica en que especifica las circunstancias en que podemos esperar que un desacuerdo fáctico se disuelva en consenso y los que se endurecen.

Hemos revisado el caso de los desacuerdos fácticos y sus posibles salidas, ahora veamos el caso de los acuerdos. El hecho de que existan acuerdos en lo factual, no quiere decir que necesariamente, los valores cognitivos también sean compartidos<sup>46</sup>. Puede haber acuerdos fácticos que respondan simultáneamente a metas completamente diferentes o viceversa. Esto quiere decir que el consenso axiológico no es condición necesaria ni suficiente para el consenso fáctico. De hecho, dice Laudan, *...es completamente concebible que dos científicos compartan precisamente las mismas metas cognitivas y tengan un esquema fundamentalmente diferente del universo*<sup>47</sup>. El desacuerdo en torno a las metas *algunas veces puede terminar racionalmente, otras no. Pero no hay nada acerca de la naturaleza de las metas cognitivas que las haga intrínsecamente inmunes a la crítica y modificación*<sup>48</sup>.

### **Cambio Científico.**

Con todas estas consideraciones y dificultades, explicar el cambio científico es quizá la parte más complicada de la descripción sobre la actividad científica, pues el alto grado de consenso en las ciencias naturales, es algo que se construye debido al dominio de ciertas teorías que se vuelven mejores bajo cierto tipo de estándares.

Es por esto que el proceso en que se generan teorías que compiten, nuevas visiones del mundo, nuevos conceptos, metodologías, la manera en que se debaten estos elementos y como se resuelven las elecciones, resulta de gran dificultad debido a las particularidades

---

<sup>45</sup> cfr. Laudan, L., (1984), pp. 37-41.

<sup>46</sup> Sin embargo, aún en esta situación, para el autor puede haber parámetros que guíen la evaluación de metas. Lo que hace es analizar, cuales son algunas situaciones en que podrían analizar y evaluar las propias metas y los engloba en los siguientes casos:

- Mostrando que son utópicas o irrealizables. Significa que no pueden ser sustentadas para creerse u operarse, no hay manera de tener una acción o estrategia para realizarla. Aquí está implícito que la aceptación de una meta requiere de una especificación de bases para que ésta sea posible, que existe una manera concreta de realizar la meta.
- Mostrando que fallan de acuerdo con los valores implícitos en las prácticas comunes. Esto quiere decir que es necesario reconciliar los valores implícitos y explícitos. Cuando los valores que creemos y los explícitos en una acción o juicio no son congruentes, hay que cambiarlos. Sin embargo, en esta parte Laudan no es preciso en cómo son estos valores implícitos, cuáles son y cómo se generan.

Otra manera en que los estándares científicos son razonablemente abandonados, ocurre cuando los científicos descubren que no pueden producir teorías que los ejemplifiquen. En general, existen muchos casos de desacuerdo axiológico en los cuales existe una amplia gama de visiones de individuos en desacuerdo acerca de las metas, aún cuando están de acuerdo acerca de los ejemplos concretos.

<sup>47</sup> Laudan, L., (1984), pp. 44.

<sup>48</sup> Laudan, L., (1984), pp. 62.

de cada episodio científico y a la complejidad de dichos elementos y sus relaciones. De acuerdo con la visión laudaniana, la preferencia de teoría puede explicarse incluso en los casos donde hay acuerdo en las teorías y desacuerdos en los estándares.

Laudan hace un análisis epistémico y, en primera instancia, presenta algunos elementos que a su consideración existen en todo cambio científico y más tarde presenta un esquema más detallado y sistemático de estas transformaciones epistemológicas.

Para él, un cambio en ciencia sólo se puede evaluar con los problemas resueltos, este es el parámetro que sirve para determinar el cambio científico, pues los problemas anómalos generan dudas razonables pero no el abandono de una teoría. Es por ello que, para Laudan, el reconocimiento y solución de problemas es uno de los procesos más fértiles en el quehacer científico.

Tampoco es necesario que la incompatibilidad de teorías obligue a abandonar alguna o ambas de ellas. Hasta este punto de su análisis, no hay reglas para el cambio, sólo se genera un problema conceptual, que provoca duda de ambas y debilidad en ellas.

En su análisis, Laudan observa que un cambio científico tiene la posibilidad de ser progresivo o de no serlo. Afirma que es progresivo, sí y sólo si la visión posterior es más efectiva para resolver problemas, pero los cambios no necesariamente son así, al menos en primera instancia, por lo que éste también puede ser regresivo en ciertas etapas.

Por otro lado, para Laudan, los cambios científicos son continuos y existe una coexistencia permanente de conflicto entre TI<sup>49</sup>. Esto ocurre gracias a los elementos de continuidad en los problemas tanto empíricos como conceptuales, (estos permanecen y representan una liga entre las TI) sin embargo, las visiones o formulaciones de éstos van cambiando en las diferentes TI al diferir las explicaciones que se les da. Por ejemplo, si pensamos en el problema clásico sobre el movimiento de los planetas, es un problema que ha ligado varias Tradiciones de Investigación como lo fueron, la ptolomeica, la copernicana, la newtoniana, etc., pero en cada una de estas tradiciones este mismo problema ha tenido diferentes formulaciones.

Sin embargo, la idea central sobre la manera en que Laudan concibe el cambio científico, radica en el modelo que denomina Modelo de Estructura Reticular.

### **Modelo de Estructura Reticular de la Racionalidad Científica.**

Conforme su análisis avanza, Laudan se da cuenta de que la relación entre los tres niveles (A, M, T) es más compleja de lo que el modelo jerárquico describe, y que los elementos que interactúan en una Tradición de Investigación no necesariamente funcionan bajo la jerarquía que se usó. El modelo jerárquico se muestra incapaz de dar respuesta racional y clara a muchos ejemplos históricos de la ciencia. Entonces, propone un modelo al que llama reticular en donde existe un proceso de mutua

---

<sup>49</sup> cfr. Laudan, L., (1977), pp. 136.

justificación, ajuste y dependencia entre los elementos, de tal manera que ninguno de ellos se encuentra privilegiado sobre otro<sup>50</sup>.

Esta relación la muestra gráficamente mediante el siguiente esquema:



En esta relación, para Laudan, las teorías, deben estar justificadas por las reglas metodológicas al tiempo que éstas constriñen los métodos admitidos en la ciencia. Por otro lado, los métodos también deben exhibir la posibilidad de realización de los valores o metas científicas, simultáneamente dichos valores justifican la validez de las herramientas o técnicas usadas. Finalmente, las teorías y los valores deben armonizar mutuamente para que la relación no sea contradictoria. En esta relación, cambian las teorías, cambian los métodos y cambian los valores de manera independiente, no hay ninguna estructura que tenga que mantenerse fija, y de hecho, ninguna lo hace<sup>51</sup>.

Este modelo, de mucha mayor complejidad, parece retratar de manera más realista y minuciosa la manera en que los elementos de la ciencia pueden interactuar y se determinan mutuamente. Su estructura, da la impresión de poder explicar no sólo aquellos grandes cambios en la ciencia, sino también pequeñas y paulatinas modificaciones.

También en este sentido dirige su crítica a la propuesta kuhniana. Para Kuhn, el cambio es completo y abrupto, se cambian simultáneamente la metodología, la ontología y los valores, ya que éstos ni siquiera son diferenciados en su modelo. Forman como un todo que va junto, a diferencia de la propuesta de Laudan donde pueden cambiar uno a la vez.

Para Kuhn hay una etapa sin cambios significativos (ciencia normal), seguida de una crisis, un cambio abrupto y una ruptura global. Este planteamiento, para Laudan, es el responsable de que no exista posibilidad de cambio racional, pues el debate interparadigmático es necesariamente inconcluso, al tener los paradigmas ese carácter integral y estático. Pero esto se resuelve, según él, si pensamos que los componentes son individualmente negociables y reemplazables. Si el cambio es secuencial y existe una justificación compleja entre las interconexiones de la ontología, metodología y axiología puede existir un cambio racional.

<sup>50</sup> cfr. Laudan, L., (1984), pp. 62-63.

<sup>51</sup> cfr. Laudan, L., (1984), pp. 63-64.

Así, Laudan no acepta la visión de la ciencia como algo rígido y estático, a diferencia de Kuhn que introduce el cambio y la crítica sólo en las etapas de revolución científica. Laudan la describe como un cambio continuo donde no hay pautas racionales que no sean ajenas al cambio histórico.

Los acuerdos y desacuerdos se analizan en estos tres niveles (T, M, A) no jerarquizados y ocurren paulatinamente. Cada nivel es modificable de manera independiente de los otros dos, y su modificación no significa que los demás deben cambiar, al menos de manera inmediata. Cuando los tres niveles han cambiado, entonces nos encontramos ante una nueva TI. El modelo permite explicar cambios metodológicos y axiológicos, sin que éstos impliquen, necesariamente, cambios teóricos o permite explicar cambios teóricos sin necesidad de cambios metodológicos o axiológicos.

Sin embargo, parecería existir una contradicción entre la no jerarquización de los niveles, el hecho de que la axiología no puede guiar el quehacer científico debido a lo diversas que pueden ser las metas científicas y el hecho de tomar como objetivo principal de la ciencia el resolver problemas. La resolución de problemas se convierte, entonces, en una meta que tiene prioridad o que es un valor guía de la ciencia y entonces sí existe una jerarquización y un valor que guía el quehacer científico<sup>52</sup>. Este problema podría disolverse con la idea de que la resolución de problemas es algo muy general en donde pueden entrar casi cualquier otra meta particular para la labor científica y que Laudan la plantea como una meta global que se particulariza con una axiología específica..

El asunto central es, entonces, que el cambio gradual está mejor sostenido por la historia que la descripción del cambio abrupto de Kuhn. Los tres elementos de la propuesta de Laudan están en un triángulo de justificaciones en donde se usan los acuerdos entre ellos para arreglar los desacuerdos<sup>53</sup>. Es, además, este mecanismo el que permite la salida racional para el cambio científico y bajo este esquema, para Laudan, existe en la actividad científica *evolución* en lugar de *revolución*.

El esfuerzo de la propuesta de Laudan consiste en conciliar las propuestas normativas y descriptivas que se han generado en la nueva filosofía de la ciencia. Sin embargo, en la visión de Worrall, partidario de las propuestas normativas junto con Lakatos, Popper y otros teóricos, no logra su objetivo.

En un artículo titulado *The Value of a Fixed Methodology*<sup>54</sup> asegura que Laudan sobreestima el impacto de las críticas kuhnianas al modelo jerárquico, el cual iniciaron los partidarios de la normatividad<sup>55</sup>. En concreto, critica el mecanismo que usa Laudan

<sup>52</sup> cfr. Marquina, J., (2003), pp. 19.

<sup>53</sup> cfr. Laudan, L., (1984), pp. 73-81.

<sup>54</sup> cfr. Worrall, J. (1988), pp. 369-375.

<sup>55</sup> Para él, el problema central sobre la postura de Laudan, radica en precisar la definición de metodología. En su parecer, el entendimiento de Laudan y Kuhn sobre éste término es distinto al de los positivistas, y aquí radica parte del desacuerdo entre sus visiones. Para los positivistas una metodología está constituida de principios de gran generalidad y abstracción que impiden controversias metafísicas sobre la estructura del universo. Pero existe aún un fuerte debate sobre la manera de articular de manera precisa y correcta estas reglas generales. Sin embargo, la idea central, consiste en que esta visión asume la existencia de ciertos

para explicar las etapas y formas del cambio científico. No acepta que se de un cambio de una T1 a T2 sin cambiar la metodología M1 a M2, como un proceso racional.

El conflicto principal de Worrall consiste en que los estándares científicos cambien<sup>56</sup>. Laudan dice<sup>57</sup> que el problema no es que cambien, sino cómo cambian o cómo se mantienen. El verdadero reto, según él, es describir como se cambia o mantiene un método, mostrar o justificar que ciertos métodos son mejores que otros y explicar la evolución de éstos.

Worrall en otro artículo titulado *Fix it and be Dammed: A Reply to Laudan*<sup>58</sup>, acepta que la metodología requiere cambios para mejorar, que estas innovaciones se relacionan con descubrimientos sustantivos, pero insiste en que es necesario diferenciarlos de un núcleo de principios que son fijos y abstractos, que constituyen la base de la racionalidad. Este núcleo incluye las reglas básicas de lógica deductiva y reglas intuitivas para comparar evidencia (según el éxito de predicción). Este núcleo pretende eliminar el relativismo que, según él, impide explicar la racionalidad. Sin embargo, la contrastación de teorías rivales es el único ejemplo que aporta y que para Laudan no se trata de un principio formal ni permanente<sup>59</sup>.

---

estándares fijos sobre la manera de hacer ciencia. Derivado de éstas ideas, Worrall, distingue dos tipos de metodología, una explícita y otra implícita. Ésta última, supone los principios formales y abstractos que no cambian y que conforman un punto objetivo de referencia. Esta idea parece venir directamente del concepto lakatosiano de núcleo metodológico y tanto para Worrall como para Lakatos parece ser la clave de la racionalidad científica. Según él, es imposible explicar un cambio científico como racional sin tener un conjunto de principios fijos que no cambien con el tiempo. En cambio, para Kuhn y los que tienen influencia de su discurso, como Laudan, la metodología tiene un carácter más ambiguo. Y según Worrall, cae en el relativismo, totalmente sujeto a cambio, lo que le impide rescatar la racionalidad. Para él, la racionalidad debe tener un carácter fijo y atemporal. En su artículo *If it Ain't Broke, Don't Fix It*<sup>55</sup>, Laudan responde a estas críticas. Para él, el cambio en toda metodología no tiene nada de extraño y sería aún más bizarro describir a la ciencia sin él, pues no habría manera de explicar la evolución científica.

<sup>56</sup> Tanto Worrall, como Popper y Lakatos, piensan en una referencia neutral sobre la cual esté fundamentada la racionalidad, ésta está contenida en una metodología implícita que no cambia, independiente de los que aprendemos sobre la estructura del mundo, y a partir de la cual se derivan los principios metodológicos explícitos. Esta propuesta es criticada por Laudan, niega la división entre la metodología para mantener una parte de ella fija. No acepta la existencia de un principio explícito que haya existido desde siempre en la ciencia. Asegura que no hay razón para creer que el mundo es como lo describimos. Todos los principios de la evaluación de teorías hacen supuestos importantes sobre la estructura del mundo, por lo que las diferentes reglas metodológicas sustantivas o de procedimiento son completamente un asunto del contexto de que se trate. Además, como la metodología está sujeta a la axiología, ésta depende de las metas o fines que se tengan en dicho contexto. Las reglas metodológicas, son nuestras mejores respuestas sobre las preguntas que nos hacemos de la naturaleza y son las guías de cómo evaluar dichas respuestas, por tanto estas formas pueden cambiar con el tiempo. Por otro lado, la experiencia, parámetro fundamental en las decisiones científicas, ha cambiado con la historia, cada vez es más sofisticada, por lo que aquello que se considera como *evidencia* también se transforma. La metodología que guía las elecciones siempre va cambiando, y esta división de la metodología no da una descripción adecuada de los episodios de la ciencia

<sup>57</sup> Cfr. Laudan, L., (1989), pp. 369-370.

<sup>58</sup> cfr. Worrall, J., (1989) pp. 376-387.

<sup>59</sup> Para él no se pueden aceptar teorías que la metodología no permita. Sin embargo, con un núcleo metodológico, siempre hay un marco de referencia. Para defender la propuesta laudiana, se requiere mostrar porqué ciertos métodos son mejores que otros y ofrecer una justificación de los métodos actuales, pero esto no se logra, en su parecer con el modelo reticulado de Laudan. A pesar de la crítica, modera su postura y acepta que la idea de los principios fijos es dogmática, que *intuitivamente* se puede argumentar

En síntesis, la diferencia entre la propuesta de Worrall y la de Laudan, radica en la definición de instrumento metodológico. Al parecer, para Laudan este tiene un carácter más amplio que en la visión de Worrall. La segunda diferencia, y quizá la fundamental es que para Laudan, no existe ningún elemento fijo en el quehacer científico. En cambio, para Worrall, para justificar la racionalidad debe haber un marco de referencia fijo y objetivo, aunque sea de carácter general y abstracto.

### **La racionalidad y el progreso científico en Laudan.**

El progreso científico tiene sentido, en este esquema, sólo si se satisface una meta o valor. Si nuestros valores cambian, la medida del progreso también lo hace. Entonces éste siempre es relativo a las metas que se persiguen o se pretenden. Algún cambio científico podrá ser progresivo de acuerdo a un conjunto de valores y regresivo respecto de otro conjunto. Nosotros medimos el progreso de algún episodio científico en función de nuestras metas cognitivas, que pueden ser distintas a las que tenían cuando éste ocurrió<sup>60</sup>. Esta diferenciación es fundamental en la definición de la racionalidad científica.

La racionalidad científica para Laudan, en una primera visión, está basada en minimizar anomalías y problemas conceptuales<sup>61</sup>. Laudan reconoce en el discurso de Lakatos los conceptos de progreso y racionalidad pero entiende que es necesario redefinirlos y diferenciarlos<sup>62</sup>.

Según él, la racionalidad está vinculada con dos conceptos que él considera básicos en su análisis, el de los fines y los medios. Una decisión científica es racional en la medida en que los fines epistémicos del momento en que ocurrió, son congruentes con sus medios<sup>63</sup>. En cambio, una decisión es progresiva si fines y medios son congruentes desde nuestra perspectiva, obedeciendo a nuestros fines científicos. Es por esto que un episodio de la ciencia puede haber sido racional y no progresivo, porque obedece a fines epistémicos distintos a los nuestros.

Un cambio científico es progresivo cuando en la comparación entre la nueva y la vieja versión da un balance positivo entre lo resuelto y lo no resuelto, aunque no es necesariamente acumulativo, pues puede haber pérdidas explicativas.

---

sobre la manera correcta de hacer ciencia, pero la intuición no puede ser un argumento contundente ni irrefutable. Reconoce los problemas que presenta la aceptación de estos principios, la simplificación ilegítima de proponer principios puramente formales y asume que parece no haber manera de que la existencia de estos sea contundente. Acepta los cambios metodológicos pero cree, contrariamente a Laudan, que los datos históricos propiamente interpretados, muestran una continuidad substancial en la ciencia. No acepta que todos los principios sean revisables o sustituibles, a menos que sean en el modo que los define Laudan. Sin embargo acepta que pueden ser *corregibles, no falibles*.

<sup>60</sup> cfr. Laudan, L., (1984), pp. 64-66.

<sup>61</sup> cfr. Laudan, L., (1984), pp. 123-125.

<sup>62</sup> Lakatos vincula los conceptos de progreso y racionalidad como si fueran uno sólo en su modelo llamado Programas de Investigación Científica.

<sup>63</sup> cfr. Laudan, L., (1977), pp. 128-131.

Para él, la racionalidad debe explicar episodios de la historia de la ciencia y es la misma historia la que debe funcionar como prueba del modelo, por lo que tiene un carácter histórico de acuerdo con elementos que dependen del tiempo y la cultura, como el carácter de los problemas, los métodos y criterios. Sin embargo, en *Progress and Its Problems*<sup>64</sup>, afirma que la racionalidad tiene elementos atemporales, pero nunca los precisa ni describe de manera más detallada y ya en *Science and Values*<sup>65</sup> no retoma esta idea.

### **El problema de la verdad.**

Esta visión de la racionalidad tiene un carácter instrumentalista, pues está completamente desligada con la noción de verdad. Para Laudan, el problema de la verdad en la actividad científica carece de sentido o es irrelevante<sup>66</sup>, pues asume que al no haber un marco de referencia universal y neutro no hay manera de saber siquiera que se tiene acceso a ella. Se trata, según su propia clasificación, de un utopismo semántico.

Bajo este argumento, la ciencia se torna en una actividad que, exclusivamente resuelve problemas, y entonces la evolución no se mide por el acercamiento a la verdad, sino por su capacidad de resolución de los mismos. Lo verdadero en la ciencia, tiene una relación con la postura realista que Laudan no adopta y considera irrealizable.

### **La Inconmensurabilidad.**

Este problema fue planteado por Kuhn por primera vez, generando una controversia, aún vigente en torno al tema. Planteó que la comparación científica no puede hacerse racionalmente con parámetros neutrales. Esto es debido a que dos teorías que compiten, pertenecen a campos semánticos diferentes, ontologías y metodologías distintas, por lo que los problemas empíricos definidos y justificados son distintos, así como sus soluciones. Esto resulta en que dichos parámetros de comparación no son comunes, y ésta última se torna imposible<sup>67</sup>.

Por otro lado, Kuhn habla del carácter ambiguo de las reglas de evaluación, de los criterios y valores a los que se suscriben los científicos, y de que éste carácter de imprecisión genera criterios individuales para hacer elecciones científicas. Kuhn insiste en que, además, el peso de los argumentos es diferente en cada paradigma y las soluciones a los problemas también lo son, las reglas son inconsistentes y los adeptos de cada uno tienen distintas visiones. No hay salida. Concluye que se involucran una mezcla

---

<sup>64</sup> cfr. Laudan, L., (1977).

<sup>65</sup> cfr. Laudan, L., (1984).

<sup>66</sup> cfr. Laudan, L., (1977), pp. 24-25.

<sup>67</sup> Se concibe a la ciencia como una sucesión de diferentes puntos de vista, nunca racional, pues cada estructura teórica tiene su racionalidad interna la cual no se puede comparar y por lo tanto se recurre a elemento irracionales para hacer los cambios científicos. Las diferentes teorías no tienen los mismos conceptos, entidades y significados, un lenguaje particular no común, lo que hace imposible la comunicación entre ellas. (cfr. Kuhn, T. S., (1971)).



de factores objetivos y subjetivos porque los criterios compartidos son amorfos como para garantizar una preferencia particular.

Para Laudan, estos argumentos no son reales, para él la importancia epistémica de los problemas y soluciones es independiente de los individuos. Afirma que no hay razón para hablar de elecciones inconmensurables o experiencias de conversión o abruptas rupturas de pensamiento. Que estas reglas y normas, que Kuhn no especifica de manera clara, se han aplicado sin imprecisión ni ambigüedad y han servido para hacer elecciones racionales en muchas ocasiones.

La crítica que hace Laudan al problema de la inconmensurabilidad, consiste en que éste planteamiento, implica el supuesto de que la elección racional se puede hacer sólo si las teorías se pueden traducir al lenguaje de la otra o a un lenguaje neutral. Para Laudan estos es falso, pues aún si los contenidos son inseparables de la teoría, se pueden comparar sin reglas de correspondencia ni observaciones libres y objetivas. Todo esto fundamentado en la idea de la resolución de problemas.

La manera en que para él se hace esta comparación es a través de ciertos parámetros en los que sí se puede alcanzar consenso, como son, el progreso de estas teorías, su consistencia, coherencia, simplicidad, precisión, ciertos valores epistémicos se sopesan y se encuentran salidas. Sin embargo, aquí nos podemos topar con el ya mencionado problema acerca de la solución de metas o valores científicos.

Pero una referencia muy importante para Laudan, es su capacidad de resolución de problemas, comparando las consecuencias empíricas de las diferentes teorías sobre el mismo problema. Para él estos elementos son independientes de la caracterización de la teoría. Es decir, aunque las teorías hacen supuestos diferentes se puede comparar la solución. Sin embargo, puede ocurrir que la solución tenga problemas de comparación según el marco de referencia y no es claro, en el discurso de Laudan, cómo es que se elige la *mejor* solución.

Laudan considera que hay más problemas compartidos por las tradiciones de investigación que aislados. El compartir problemas entre las tradiciones de investigación da una base para una competencia racional que no implica que los problemas sean independientes de las teorías. Por lo tanto la inconmensurabilidad no elimina la comparación para elegir una actitud ante las teorías<sup>68</sup>.

A pesar de que los argumentos de Laudan a este problema pueden ser válidos, no es preciso en cómo se da esta comparación de manera unificada. Tendría que hacerse un análisis sobre varios cambios científicos de la historia, para mostrar que efectivamente dicha comparación funciona así.

---

<sup>68</sup> cf. Laudan, L., (1977), pp. 139-144.

El argumento más importante que aporta contra la inconmensurabilidad es la estructura de su cambio científico, pues éste es paulatino y ocurre en cada elemento de la TI independiente del resto, lo que permite la comparación de los elementos que cambian uno a uno y no del todo. Esta manera de evolución científica elimina para Laudan, la incapacidad de elegir teorías de manera racional. Así, al menos, intenta combatir la inconmensurabilidad y la irracionalidad en las decisiones científicas<sup>69</sup>.

En síntesis, la propuesta laudaniana engloba las siguientes ideas sobre la actividad científica:

- La ciencia resuelve problemas que están determinados por nuestras redes teóricas y que pueden ser de tipo empírico o conceptual, y cuya importancia varía de acuerdo a distintas situaciones.
- Las teorías científicas constituyen las respuestas a estos problemas y están inmersas en una unidad de análisis mucho más general llamada Tradiciones de Investigación.
- Las Tradiciones de Investigación guían la investigación científica a través de su ontología y metodología, las cuales proveen de entidades y procedimientos en un determinado dominio. Estas a su vez se particularizan a través de las teorías.
- Mediante de las Tradiciones de Investigación se puede explicar la evolución, evaluación y el cambio científico.
- Los acuerdos y desacuerdos en la ciencia se describen a través del modelo reticular de la racionalidad que involucra tres elementos: el teórico, el metodológico y el axiológico.
- Estos tres niveles o elementos se encuentran en toda Tradición de Investigación no jerarquizados o privilegiados y el cambio se da en cualquiera de ellos de manera individual.
- Una Tradición de Investigación se ha convertido en otra cuando los tres niveles han cambiando.
- Con este modelo, el cambio científico es paulatino y la revolución se convierte en evolución.
- El modelo le permite una salida racional a los cambios científicos y elimina la inconmensurabilidad.

---

<sup>69</sup> cfr. Laudan, L., (1984), pp. 73-81.

- Define un concepto instrumentalista de la racionalidad y el progreso científico, en función de los fines y los medios. Un cambio es racional cuando responde a los fines científicos de la época en que ocurrió y es progresivo si responde a nuestros fines.
- En esta visión instrumentalista de la racionalidad, desaparece el problema de la verdad, la ciencia no busca ni se acerca a la verdad, sólo resuelve problemas.

Los siguientes capítulos se destinarán a tratar de utilizar este modelo teórico sobre la ciencia para tratar de explicar el cambio del geocentrismo al heliocentrismo.

## Capítulo 3

### ¿La Tierra en el centro del Universo?

Habiendo asumido que la historia constituye un parámetro fundamental en cualquier modelo que pretenda describir la actividad científica, a continuación se presenta una síntesis general de los elementos de la astronomía geocéntrica con el propósito de analizarlas de acuerdo al modelo de Larry Laudan.

#### Los problemas de la astronomía antigua

Las concepciones antiguas (hasta el siglo XVI) acerca del universo estaban determinadas, necesariamente, por eventos terrestres. Esto quiere decir que se basaban en la observación directa del movimiento del Sol, la Luna, las estrellas y los planetas que entonces se conocían (Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno). Algunas de las observaciones que se tenían sistematizadas eran:

##### El movimiento del Sol

El Sol siempre sale por el este y se pone por el oeste pero su posición y la longitud de la sombra que proyecta<sup>70</sup> en el medio día, así como el número de horas de luz, varían de un día a otro con las estaciones.

El solsticio de invierno (22 diciembre) es el día en que el Sol sale y se pone más al sur de los puntos cardinales este y oeste, respectivamente. Este día corresponde al más corto del año y la sombra en el cenit es la más larga del año. Después de este día las sombras van decreciendo, los puntos por los que sale y se pone el Sol se desplazan sobre el horizonte hacia el norte.

En el equinoccio de primavera (21 de marzo) el Sol sale y se pone exactamente sobre los puntos cardinales este y oeste, los días y las noches tienen la misma duración. Después de este día, los puntos por los que sale y se pone siguen desplazándose hacia el norte y la duración del día aumenta hasta el solsticio de verano (22 de junio), cuando el Sol sale y se pone más al norte. Estos días son más largos y la sombra del mediodía más corta.

Luego del solsticio de verano, la salida del Sol se desplaza hacia el sur y aumenta la duración de las noches, hasta el equinoccio de otoño (23 de septiembre), en que de nuevo ocupa los puntos cardinales este y oeste para salir y ponerse. Finalmente continúa hacia el sur hasta alcanzar otra vez el solsticio de invierno. Este ciclo se ilustra en la figura 1.

---

<sup>70</sup> Esto se medía con un instrumento llamado gnomon, el cual se describe más adelante en la metodología ptolomeica.

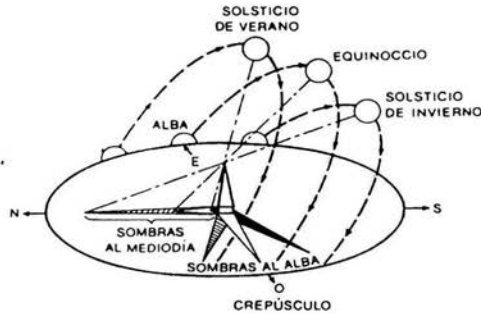


Figura 1. Muestra el recorrido diario del sol a lo largo de las diferentes estaciones y cómo varía la sombra al alba y en el medio día.

Estas observaciones corresponden a un observador situado en las latitudes medias del hemisferio norte, pero si el observador se desplaza hacia el sur, la sombra que proyecta el Sol al mediodía decrece y ocupa una posición más elevada. Además, la diferencia entre las horas de día y noche es más pequeña mientras más meridional en el hemisferio boreal. En esta zona el Sol no alcanza puntos tan al norte y tan al sur sobre el horizonte.

La longitud del ciclo de las estaciones, es decir, el intervalo de tiempo que separa dos equinoccios de primavera consecutivos, define un año. El año es una unidad difícil de medir, pues el número de días de este ciclo no es entero, por lo que la necesidad de establecer calendarios fue históricamente un problema para los astrónomos<sup>71</sup>.

Las posiciones ocupadas por el Sol día tras día en el momento de ponerse, describen una curva cerrada que recorre en un año, llamada eclíptica. El astro se desplaza lentamente alrededor de la eclíptica y ocupa una posición ligeramente distinta cada instante. El movimiento helicoidal del Sol se puede ver como el resultado de dos movimientos más simples: el diurno, que es circular de rotación hacia el oeste y un lento movimiento simultáneo hacia el este alrededor del polo celeste a lo largo de la eclíptica. Una vez dividido este movimiento en sus dos componentes, resulta posible describir el comportamiento solar de forma precisa.

Sobre un mapa celeste, la eclíptica atraviesa un conjunto de constelaciones conocidas como los signos del zodiaco. Según una antigua convención, los doce signos del zodiaco dividen la eclíptica en doce segmentos de la misma longitud. El paso del Sol por estos signos controla el ciclo de las estaciones<sup>72</sup>.

### Las Estrellas

El movimiento de las estrellas es más simple y regular, pero es más difícil describirlo. Desde hace mucho tiempo los hombres ya habían agrupado mentalmente las estrellas en

<sup>71</sup> cfr. Kuhn, T. S., (1957).pp. 37

<sup>72</sup> cfr. Kuhn, S.T., (1957). pp. 46-52

constelaciones, conjuntos de estrellas vecinas que podían ser observadas y reconocidas gracias a sus posiciones relativas invariantes. Mientras las constelaciones son arrastradas por el movimiento general del cielo, la estrella polar ocupa una posición fija. Además, existe otro punto, a menos de 1 grado de la estrella polar, que presenta las propiedades atribuidas a ella. Este punto se llama polo norte celeste, el cual mantiene su posición geométrica relativa con las demás estrellas durante largos periodos de tiempo.

Debido a estas características, tenemos la impresión de que cada estrella se desplaza siguiendo un arco de círculo cuyo centro es el polo celeste. Los círculos concéntricos descritos por el movimiento de las estrellas reciben el nombre de círculos diarios, tienen una velocidad de alrededor de 15 grados por hora y describen regularmente círculos completos cada 23 horas 56 minutos. Un ejemplo del movimiento descrito por las estrellas se ilustra en la figura 2.

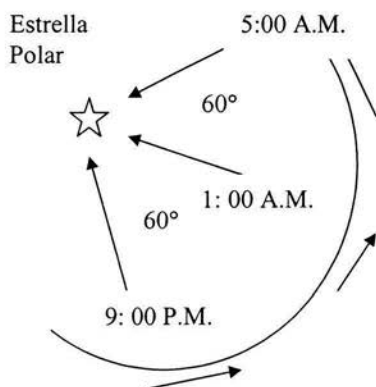


Figura 2. Sucesivas posiciones de la Osa Mayor en el cielo, a intervalos de cuatro horas en una noche de finales del mes de octubre.

Las estrellas más alejadas de los polos también describen círculos diarios, pero parte de estos círculos se ocultan a nuestra vista porque transcurren por debajo del horizonte; mientras más alejadas están del polo, menor es la porción de la trayectoria diurna situada por encima del horizonte y más difícil es reconocer la parte visible de su recorrido como un arco.

Cuando un observador se mueve hacia el sur, la altitud del polo celeste por encima del horizonte decrece alrededor de un grado cada 110 kilómetros. Las estrellas siguen describiendo círculos diarios alrededor del polo, pero como éste se halla más próximo al horizonte, el observador ve salir y ponerse ciertas estrellas que eran circumpolares mientras estaba situado en las latitudes septentrionales. Las estrellas que salen exactamente por el este y se ponen por el oeste continúan apareciendo y desapareciendo por los mismos puntos sobre el horizonte, pero al ir hacia el sur parece que se mueven a

lo largo de una línea casi perpendicular al horizonte y que alcanzan su máxima altitud por encima de la cabeza del observador.

A medida que la estrella polar declina hacia el horizonte boreal, las estrellas situadas en el cielo austral alcanzan más altitud sobre el horizonte, pues su distancia respecto al polo se mantiene constante.

Un observador situado muy al sur verá una serie de estrellas que apenas se asoman sobre su horizonte y que son completamente invisibles en las latitudes septentrionales. Más al sur hay menos estrellas circumpolares visibles y verá estrellas que en el hemisferio norte no se ven<sup>73</sup>.

## La Luna

La Luna recorre la eclíptica cada 27 días y 1/3 (7 horas de variación) de manera más regular y rápida que el Sol. Su ciclo es: en la luna nueva es completamente invisible, luego parece un arco delgado brillante que crece poco a poco durante una semana, hasta formarse un semicírculo. Otra semana después se ve el disco completo, en la luna llena y decrece poco a poco hasta llegar otra vez a la luna nueva en 29 días y medio (así se define un mes). Puede verse que existe un desfase entre este recorrido y el de la eclíptica<sup>74</sup>.

## El Movimiento de los Planetas.

Los planetas tienen un comportamiento parecido al del Sol pero más complejo. Éste es diurno hacia el oeste en el que acompañan a las estrellas, al tiempo que se desplazan con lentitud hacia el este, a través de éstas hasta regresar a su posición de origen. Durante su movimiento, todos se mantienen relativamente cercanos a la eclíptica, algunas veces al norte otras al sur (dentro de la banda del zodiaco), 8 grados a cada lado de la eclíptica.

En general, los planetas en su movimiento al este a través de las constelaciones tienen una velocidad no uniforme y un periodo irregular. Además, no siempre se mueven en dirección este, pues tienen algunos intervalos donde *retroceden*; a éste movimiento se le llama retrógrado. Cada planeta retrocede con diferente periodo: Mercurio cada 116 días, Venus cada 584 días, Marte cada 780, Júpiter cada 399 y Saturno cada 378 días. Los planetas superiores sólo retrogradan cuando se hallan en oposición al Sol y brillan de forma más intensa, hecho que se interpreta como que éstos se encuentran más cerca de la Tierra.

Por otro lado, Mercurio y Venus tienen una característica adicional pues nunca se alejan demasiado del Sol. Siempre están a menos de 28 grados del disco solar, en el caso de Mercurio, y 45 grados para Venus. Marte, Júpiter y Saturno no restringen su movimiento a las cercanías del Sol, pudiendo estar, inclusive, a 180° de éste<sup>75</sup>.

<sup>73</sup> cfr. Kuhn, S. T., (1957). pp 37-46

<sup>74</sup> cfr. Kuhn, S.T., (1957). pp. 77-79

<sup>75</sup> cfr. Kuhn, T.S., (1957). pp. 81-83.

## **La Antigua Cosmología.**

Las observaciones descritas anteriormente son una parte importante de los datos y acontecimientos que los astrónomos utilizaron en la antigüedad para analizar la estructura del universo y generar una cosmología.

### **El Universo de las Dos Esferas.**

Aunque fue elaborada por Aristóteles<sup>76</sup> mucho tiempo antes, a partir del siglo IV d.C., esta concepción del universo era mayoritariamente aceptada. Dicha cosmología consistía en una esfera inmóvil muy pequeña (la Tierra) suspendida en el centro geométrico de una esfera mucho más grande en rotación regular cada 23 horas 56 minutos, que llevaba consigo a las estrellas. El Sol se desplazaba por el espacio entre la Tierra y la esfera de las estrellas. Fuera de la esfera exterior no había nada, ni espacio ni materia.

Para demostrar la esfericidad de la Tierra usaban argumentos como el de la sombra de la Tierra sobre la Luna durante un eclipse lunar con un borde circular o la manera en que se *pierden* los barcos en el horizonte, además de argumentos de simetría y estética.

El universo de las dos esferas es un marco estructural (de referencia) en el cual se podían adaptar concepciones globales sobre el universo, no consiste en una verdadera cosmología descriptiva (aunque Aristóteles sí propuso una). Más bien era un marco muy general que generaba muchos sistemas astronómicos y cosmológicos. La descripción básica de dicha estructura se ilustra en las figuras 3 y 4.

---

<sup>76</sup> La cosmología de Aristóteles era más compleja y detallada que sólo el universo de las dos esferas, aunque permitía diferentes modelos astronómicos. Aquí nos limitaremos a este marco conceptual de dicha cosmología que fue el que se adoptó en la Edad Media.



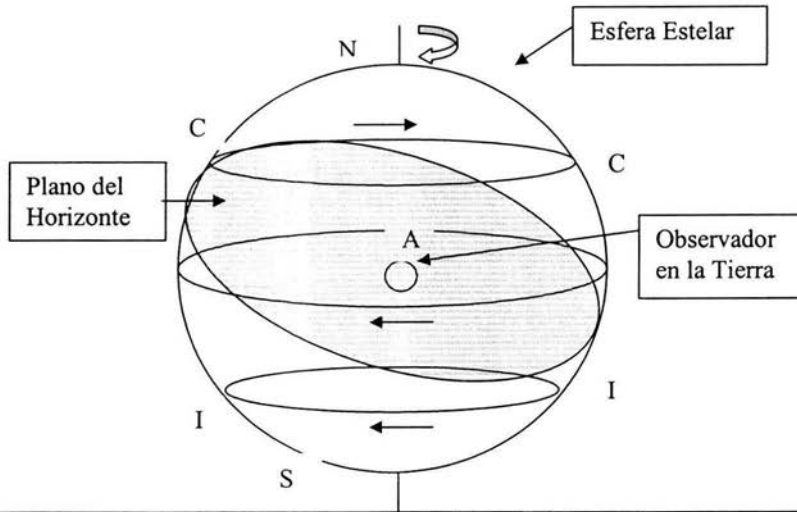


Figura 3. Universo de las dos Esferas. En la figura se muestran una Tierra muy pequeña con un observador en el punto A y una esfera celeste mucho más grande. El plano del horizonte del observador divide a la esfera exterior en dos partes *casi* iguales, una visible para el observador y otra no. Todo objeto en la esfera de las estrellas mantiene su posición desde la Tierra. Si la esfera gira con regularidad alrededor de un eje que pase por los puntos diametralmente opuestos N y S, todas las estrellas, a excepción de las que estén en esos puntos, se verán arrastradas por dicho movimiento. De manera que para el observador de la figura, S es invisible y N es el único punto fijo llamado polo celeste. Los objetos muy próximos a N parecen girar lentamente describiendo círculos alrededor del polo en el periodo de 23 horas y 56 minutos. Las estrellas por encima de CC son circumpolares, por lo que no descienden nunca por la línea del horizonte (el observador las ve en todo momento). Las que están entre CC y II salen y se ponen formando un ángulo diferentes con el horizonte. Debajo de II y cercanas a S, nunca aparecen para el observador de A (se las oculta el horizonte). Son visibles para un observador que viera el polo sur celeste (S)

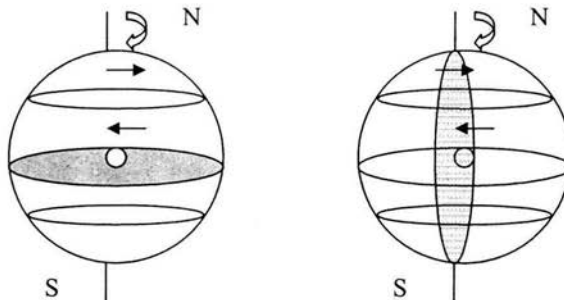


Figura 4. Las representaciones corresponden a las posiciones extremas de un observador en el Universo de las dos esferas. Para (a) cuando el observador se mueve al polo norte, el horizonte aparece horizontal y el polo norte justo arriba de su cabeza; las estrellas de la mitad superior de la esfera celeste describen círculos paralelos al horizonte y las del hemisferio sur son invisibles siempre. La otra (b) con el observador en el ecuador, el horizonte es vertical y todas las estrellas pueden verse sólo en un semicírculo de su trayectoria.

## El Sol en el Universo de las dos Esferas.

Cualquier modelo del universo que se aceptara debía ser capaz de incluir en él, de manera congruente, el movimiento del Sol. Este astro debe recorrer 360 grados para dar una vuelta completa a la eclíptica, en este recorrido tarda poco más de 365 días, por lo que su movimiento hacia el este a lo largo de la eclíptica es de poco menos de un grado diario, la distancia angular que pierde el Sol cada día respecto a las estrellas.

La longitud del día está definida por el movimiento diurno del Sol y, como las estrellas se desplazan un grado cada cuatro minutos, toman un grado de ventaja al Sol en su trayectoria común cada día que pasa.

Los equinoccios ocupan los puntos diametralmente opuestos de la esfera estelar en los que la eclíptica corta al ecuador celeste. Estos son los dos únicos puntos de la eclíptica que siempre salen y se ponen por el este y oeste exactos.

Los dos solsticios deben corresponder a los puntos de la eclíptica equidistantes de los dos equinoccios, pues son los puntos de ésta que están más al sur y al norte del ecuador. Cuando el Sol se encuentra sobre alguno de estos dos puntos sale más al norte o al sur del este verdadero que en cualquier otra época del año<sup>77</sup>.

En el marco de las dos esferas todas las consideraciones anteriores sobre el movimiento solar se podían insertar de manera fácil y eficiente. Ilustremos esta idea con las figuras 5, 6 y 7 donde se muestra la trayectoria del Sol dentro de este universo y las descripciones que haría un observador en diferentes latitudes de la Tierra.

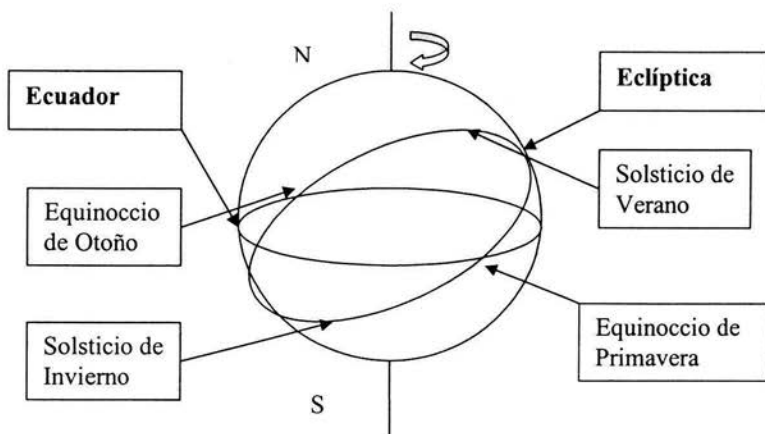


Figura 5. Aquí se representa la esfera estelar y sobre ella la eclíptica constituye un círculo máximo inclinado sobre el ecuador un ángulo de 23 grados y medio que divide a la esfera en dos mitades iguales. El Sol se desplaza lentamente hacia el oeste con respecto a la esfera estelar, mientras esta gira a gran velocidad en dirección contraria con lo que recorre su círculo diurno más despacio.

<sup>77</sup> cfr. Kuhn, T.S., (1957) pp. 35-51

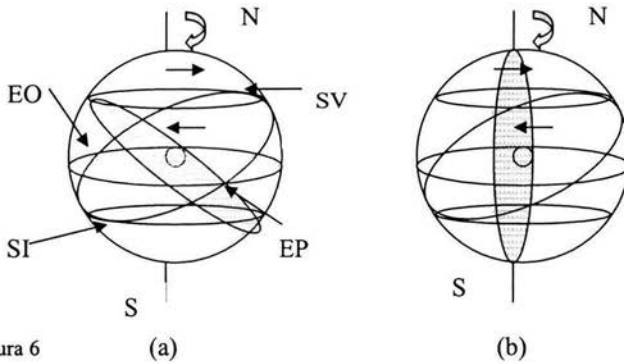


Figura 6

<p>(a) Un observador situado en latitudes boreales medias: en el SV el Sol se eleva muy al norte del este exacto y a lo largo de una línea oblicua; más de la mitad de su círculo diario está situado por encima del horizonte, con lo que los días son más largos que las noches. En los equinoccios sale el Sol por el este exacto y sólo es visible en la mitad de su círculo diario. En el SI se eleva muy al sur del este y los días son más cortos que las noches. La elevación máxima del Sol a medio día es mayor en verano, pero siempre dirigidas al norte exacto.</p>	<p>(b) Un observador situado en el ecuador: no importa la localización del Sol sobre la eclíptica, el plano del horizonte divide el círculo diario del Sol en dos partes iguales. Noches y días tienen la misma duración, las variaciones climáticas en las estaciones son muy pocas. En la mitad del año entre el EP y EO, el Sol se eleva al norte del punto este exacto y las sombras al medio día están dirigidas hacia el sur exacto. Durante la otra mitad del año, sale al sur del punto este exacto y las sombras de mediodía están dirigidas hacia el norte.</p>
--	---

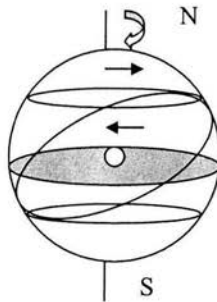


Figura 7. Observador situado en el polo norte terrestre: una mitad de la eclíptica siempre permanece por debajo del horizonte, y el Sol le es invisible durante la mitad del año desde el EO al EP. En el equinoccio vernal comienza a despuntar por encima del horizonte, y va elevándose progresivamente siguiendo una espiral hasta el solsticio de verano. Luego empieza a descender gradualmente, hasta desaparecer por debajo del horizonte y llegar al equinoccio de otoño. Entre el EP y el EO no se pone

A partir de este modelo se pueden explicar las observaciones de las estrellas y del Sol que se tenían sistematizadas. Además tiene coherencia y permite usarse en navegación o topografía. Este esquema conceptual cumple su función lógica: da satisfacción cosmológica y economía. No dice nada de los planetas<sup>78</sup>.

## **La Astronomía Geocéntrica**

### **Algunos antecedentes y aclaraciones**

El libro donde Ptolomeo condensaría su teoría completa sobre el movimiento de los cuerpos celestes data aproximadamente del año 150 d.C., lo cual significa que tuvo una vigencia hegemónica durante aproximadamente trece siglos, hasta la aparición del libro de Copérnico. Durante este tiempo, la teoría ptolomeica sufrió modificaciones y generó varias versiones pero sin la alteración de los mecanismos ni supuestos fundamentales.

Aunque los elementos teóricos y metodológicos de la teoría no fueron elaborados exclusivamente por Ptolomeo (de hecho, varios de éstos, desde mucho tiempo antes se usaban por los astrónomos), el *Almagesto* constituye el primer tratado astronómico matemático, sistemático, completo, detallado y cuantitativo, que combina los elementos que ya existían y aporta otros, de tal manera que los cálculos alcanzan una precisión que no se había logrado antes.

## **La Tradición de Investigación Geocéntrica**

### **1. La Metodología Ptolomeica.**

A continuación haremos una breve descripción de cuáles eran las técnicas de descripción y evaluación que se usaban en la época en que se hizo uso de la teoría ptolomeica:

La observación era un parámetro fundamental, sobre todo en la elaboración de tablas de datos astronómicos. Ésta era realizada a simple vista pero se usaban una serie de instrumentos que eran de utilidad<sup>79</sup>. Algunos de éstos son:

- Niveladores. Instrumentos para determinar la horizontalidad de la superficie.
- Gnomon. Pequeña varilla cilíndrica que proyecta la luz del Sol. En los primeros tiempos de la historia de la ciencia se ha conocido con este nombre a distintos instrumentos, todos ellos encaminados a realizar mediciones en relación a la sombra proyectada.
- Astrolabio. Con el mismo nombre se conocen diversos instrumentos astronómicos que han dado lugar a ciertas confusiones. Así, el astrolabio plano es dedicado más a la enseñanza y demostración que a la observación y el astrolabio

<sup>78</sup> El marco estructural como tal, no habla de los planetas, Aristóteles no es astrónomo pero en su modelo se pueden adoptar varias teorías astronómicas y de hecho, él explica varias de éstas con el universo de las dos esferas. cfr. Kuhn, T.S., (1957) pp. 52-65.

<sup>79</sup> cfr. Copérnico, N. pp. 544-546.

esférico, es un instrumento de cálculo descrito por los astrónomos alfonsíes. El astrolabio descrito por Ptolomeo, al que Copérnico sigue, se denomina astrolabio armillar.

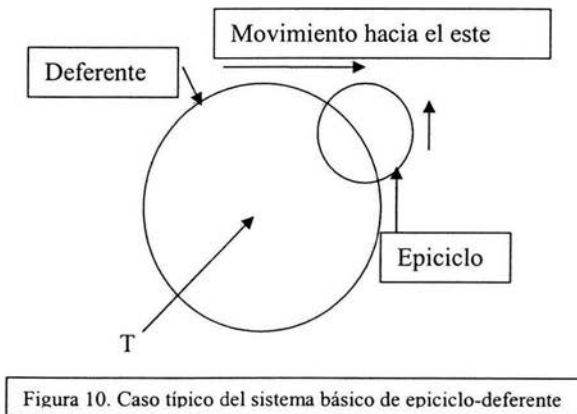
- Instrumento paraláctico o triquetrum es un instrumento para determinar paralajes. Se encuentra expuesto en el Almagesto.

Una vez reunidos los datos, a partir de las observaciones sistemáticas y con la ayuda de los instrumentos antes citados, la astronomía ptolemeica hacia uso de un cuidadoso desarrollo matemático sobre todo de carácter geométrico y de alta complejidad.

Echando mano de todo esto, la metodología ptolemeica tiene como recurso central el uso de determinados **mecanismos cosmológicos** que describen los posibles movimientos celestes. Todos ellos utilizan como única trayectoria posible el círculo y el movimiento siempre es uniforme. A continuación se explican de manera detallada cada uno de ellos.

**Deferente.** Círculo que gira en torno de la Tierra.

**Epiciclo**<sup>80</sup>. Consiste en un pequeño círculo que gira con un movimiento uniforme alrededor de un punto situado sobre la circunferencia del deferente. La combinación de estos mecanismos se muestra en la figura 10.



Los epiciclos se clasifican en dos tipos, dependiendo de su función:

1. **Epiciclos mayores.** Para explicar grandes irregularidades.
2. **Epiciclos menores.** Son círculos complementarios que tienen como finalidad eliminar pequeños desacuerdos cuantitativos entre la teoría y la observación. Por ejemplo, para obtener un círculo achatado sólo se usa un epiciclo menor como el de la figura 11.

<sup>80</sup>cfr. Kuhn, T.S., (1957) pp. 94-104

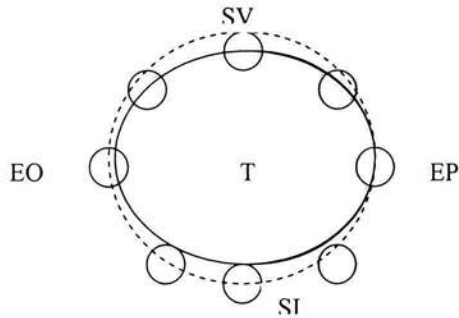


Figura 11. La trayectoria que se obtiene de introducir este epiciclo menor en el deferente es una especie de óvalo o círculo achatado y se usa para describir el movimiento del Sol.

Se pueden introducir diversas variaciones de la forma y velocidad de los recorridos. En ciertos casos, se coloca un epiciclo menor sobre uno mayor para los movimientos planetarios más elaborados como el de la figura 12. .

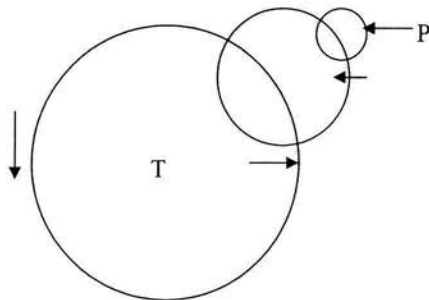


Figura 12. Un epiciclo sobre un epiciclo, sobre un deferente. Mientras el deferente completa una revolución el epiciclo mayor efectúa ocho vueltas hacia el este y el menor hacia el oeste.

La trayectoria obtenida para el movimiento del planeta con esta combinación es la que se muestra en la figura 13.

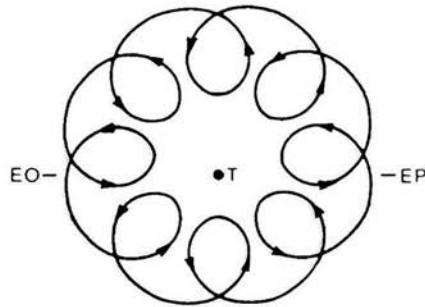


Figura 13. Trayectoria para un epiciclo sobre otro epiciclo, sobre un deferente. Si se dobla la velocidad de rotación del epiciclo menor, la trayectoria se achata.

**Excéntrica**<sup>81</sup>. Se trata de un solo deferente, pero con el centro desplazado. Este mecanismo se ilustra en la figura 14.

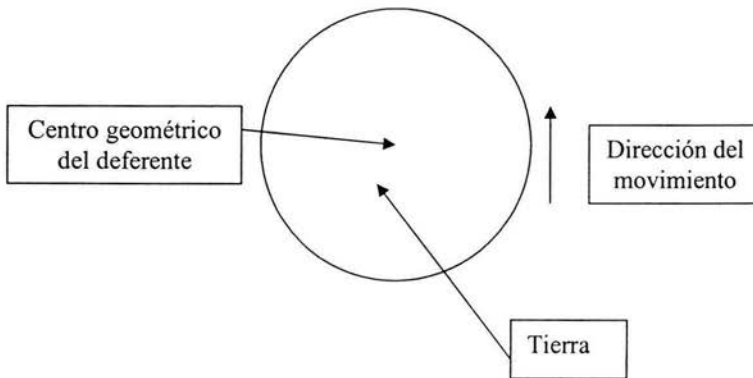


Figura 14. Excéntrica. Deferente que se mueve con el centro desplazado de la Tierra.

Se pueden combinar la excéntrica con uno o varios epiciclos mayores o menores para explicar irregularidades de los movimientos celestes. Por ejemplo, si se sitúa el centro de la excéntrica sobre un pequeño deferente o sobre una segunda excéntrica más pequeña, se obtienen mecanismos geoméricamente equivalentes a un epiciclo menor sobre un deferente o un epiciclo menor sobre una excéntrica. Las dos primeras combinaciones se representan en las figuras 15 (a) y (b) respectivamente.

<sup>81</sup>cfr. Kuhn, T.S., (1957) p 106.

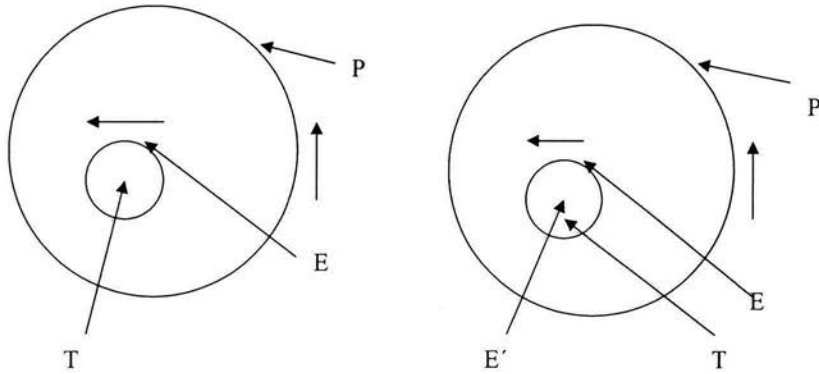


Figura 15.

- |                                |                                 |
|--------------------------------|---------------------------------|
| (a) Excéntrica sobre deferente | (b) Excéntrica sobre excéntrica |
|--------------------------------|---------------------------------|

**Ecuante**<sup>82</sup>. Se trata de un punto diferente al centro geométrico, en torno al cual el movimiento es uniforme. En la figura 16 se ejemplifica este mecanismo para el movimiento del Sol.

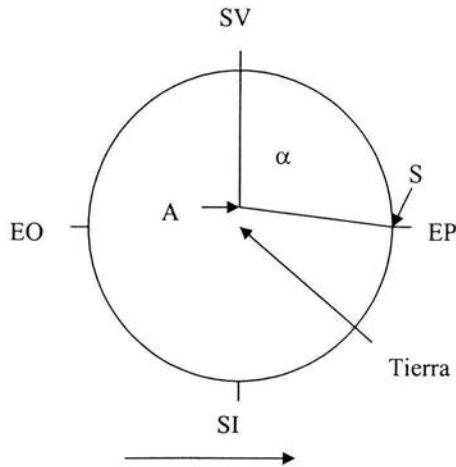


Figura 16. El Sol S se desplaza a lo largo de un círculo centrado en la Tierra, pero lo hace con velocidad variable determinada por la condición de que el ángulo  $\alpha$  gira uniformemente en función del tiempo. A representa el punto en torno al cual, el movimiento angular tiene velocidad constante.

Esta metodología utiliza y sigue los argumentos aristotélicos tradicionales como el limitar a círculos los movimientos celestes (debido a su periodicidad y perfección). Sólo un movimiento circular uniforme o una combinación de estos pueden explicar la

<sup>82</sup> cfr. Kuhn, T.S., (1957) pp. 107-108.



repetición regular de todos los fenómenos celestes, una vez transcurridos determinados intervalos de tiempos fijos. Finalmente, también hace uso del sentido común como la experiencia más directa y de algunos otros elementos ideológicos (aristotélicos y teológicos).

## 2. Síntesis de la Teoría Ptolomeica.

### Sobre la estructura del Universo

La teoría ptolomeica está enmarcada en el universo de las dos esferas, siguiendo todas las concepciones y el marco que éstas proponen. La rotación de la esfera estelar alrededor de la Tierra arrastra a todo el conjunto menos a ésta, produciéndose el movimiento diurno (día y noche), con todas las consecuencias y descripciones que éste implica.

Los **postulados o axiomas** de la teoría son:

1. *La Tierra es el centro único de todos los círculos celestes o esferas.*
2. *El centro de la Tierra es el centro del universo, el centro de gravedad y el de la esfera lunar.*
3. *Todas las esferas del cielo giran alrededor de la Tierra.*
4. *Todo movimiento que aparece en el firmamento se origina a causa del movimiento del firmamento mismo, de la esfera celeste. Así pues, la Tierra permanece inmóvil en el centro de ésta*
5. *La diversidad de los movimientos del cielo se producen por círculos en diferentes combinaciones y de manera uniforme en torno de la Tierra.*

En síntesis, a partir de las hipótesis del movimiento de la esfera celeste, la inmovilidad de la Tierra y una combinación adecuada de círculos recorridos uniformemente se pueden explicar los movimientos de todos los cuerpos observados en el cielo.

### Descripciones generales:

- El mundo (universo) es esférico porque es la forma más perfecta de todas y la más capaz de todas las figuras.
- El resto de los cuerpos celestes también lo son.
- El universo es esférico y por lo tanto finito (argumento aristotélico).
- El movimiento de los cuerpos celestes es regular y circular, perpetuo o compuesto por movimientos circulares.
- Existen varios movimientos por la multitud de órbitas que constituyen la explicación mecánica del universo.
- La esfera celeste da una revolución diaria (día y noche). Por eso parece que todo se desliza del orto al ocaso excepto la Tierra.
- Los 5 planetas realizan cada uno su propio ciclo, con sus diferencias, su ciclo no parece regular, parecen retroceder y detenerse debido a la multiplicidad de círculos que recorren en su trayectoria.

### Los Movimientos entre las Dos Esferas.

Los planetas, el Sol y la Luna se mueven en la región entre la Tierra y las estrellas. Los planetas cuyo movimiento es lento (Saturno y Júpiter), se supone que están cerca de las esfera celeste y lejos de la Tierra. Siguiendo este criterio, la Luna está muy cerca de la Tierra. El modelo que contiene el orden y la trayectoria de los cuerpos celestes es como sigue:

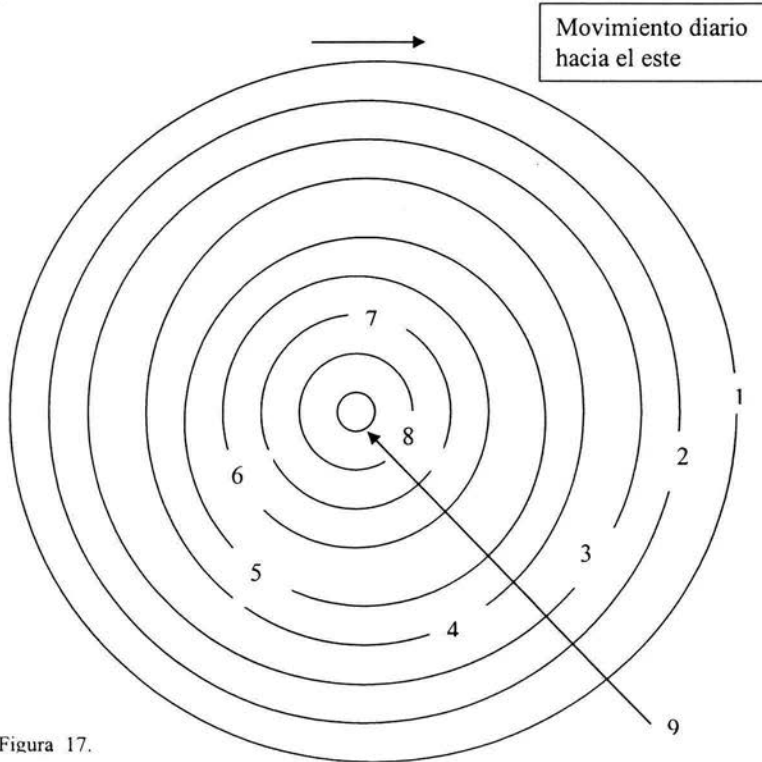


Figura 17.

- 1. Esfera Estelar
- 2. Saturno
- 3. Júpiter
- 4. Marte
- 5. Sol
- 6. Venus
- 7. Mercurio
- 8. Luna
- 9. Tierra

Los periodos orbitales están ordenados de manera decreciente de afuera hacia adentro, mientras más lejos está un planeta más grande es su periodo. Sin embargo, Mercurio, Venus y el Sol tienen el mismo tiempo medio (1 año), lo que generó muchas controversias en la época<sup>83</sup>.

### Sobre el movimiento del Sol

El Sol emplea 6 días más para pasar del equinoccio de primavera al equinoccio de otoño (a 180 grados sobre la eclíptica), por lo que el movimiento es más rápido en invierno que en verano. Para explicar esta diferencia en los tiempos, la teoría usa un epiciclo menor. Así aumenta el tiempo empleado por el Sol para recorrer los 180 grados que separan EP de EO y disminuye el tiempo a lo largo de EO a EP. Esto se logra con un epiciclo pequeño sin bucles retrógrados como se muestra en la figura 18

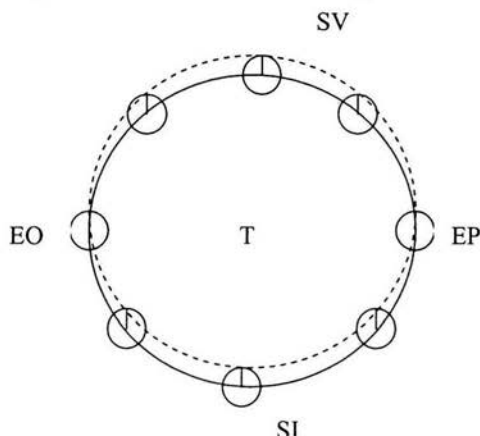


Figura 18. Epiciclo menor usado para explicar las irregularidades del movimiento solar.

Otra alternativa para explicar este hecho es con una excéntrica, al desplazar el centro de la órbita de su centro geométrico. Un último recurso, consiste en el uso del ecuante<sup>84</sup>. Desde el centro geométrico el Sol no viaja a velocidad constante, pues se acelera en las proximidades del solsticio de invierno y se desacelera en las del solsticio de verano. Pero respecto de un punto diferente del centro, el movimiento angular sí resulta uniforme. Si se observa desde el centro geométrico de su deferente, el planeta parece moverse con velocidad no uniforme y de manera excéntrica<sup>85</sup>.

<sup>83</sup> cfr. Kuhn, T.S., (1957) pp. 83-89

<sup>84</sup> Este recurso se describe en la metodología al explicar el mecanismo del ecuante.

<sup>85</sup> cfr. Kuhn, T.S., (1957) pp. 102-110.

## Sobre el movimiento de los planetas

Cuando un planeta está en su posición más próxima a la Tierra se pueden combinar los movimientos de deferente y epiciclo para producir un movimiento resultante hacia el oeste o movimiento retrógrado. La trayectoria obtenida se muestra en la figura 19.

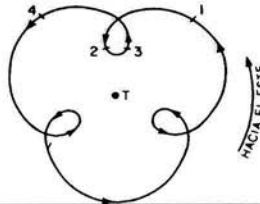


Figura 19. El planeta retrógrado cuando se encuentra en la parte inferior de uno de los pequeños bucles, mientras que en el resto del recorrido es normal el movimiento, aunque con velocidad variable en las diferentes partes de la trayectoria.

En la proyección sobre la esfera de las estrellas, un observador terrestre y el bucle están en el mismo plano, el de la eclíptica. Un sistema constituido por un epiciclo y un deferente arrastra un planeta alrededor de la eclíptica en un tiempo medio exactamente igual al que necesita el deferente para completar una revolución. El movimiento al este se ve interrumpido a intervalos regulares, debido al epiciclo que para dar una vuelta completa describe una retrógradación hacia el oeste en una porción de su trayectoria. Los periodos del epiciclo y el deferente pueden ser ajustados para describir los hechos observados para cualquiera de los planetas.

Un planeta sólo puede retrógradar cuando su movimiento lo lleva a ocupar el punto de su trayectoria más próximo a la Tierra, y entonces debe presentar más brillo. Los bucles retrógrados siempre se producen en los mismos lugares y el planeta necesita idénticos periodos de tiempo para llevar a cabo un recorrido completo a lo largo de la eclíptica.

Por ejemplo, un epiciclo completa tres revoluciones por cada una que efectúa el deferente. Sin embargo, ningún movimiento planetario es tan regular por lo que así, tal cual, este mecanismo no coincide con los tiempos observados. En realidad, el planeta describe, en promedio, algo más de tres bucles retrógrados por cada uno de sus recorridos a lo largo de la eclíptica. Así, los movimientos de retrógradación no se producirían en los mismos puntos durante las revoluciones sucesivas, como se muestra en la figura 20.

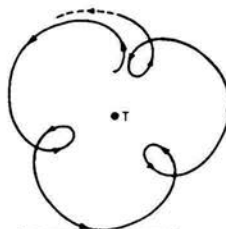


Figura 20

Esta trayectoria se obtiene de una combinación de mecanismos como se muestra en las figuras 21. y 22 :

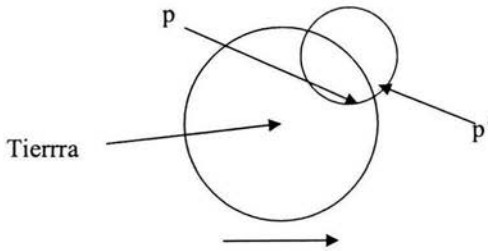


Figura 21. De p a p', el deferente completa su revolución y el epiciclo dio más de tres revoluciones, pues no está en la posición original. El trayecto a través de las constelaciones requiere algo más de tiempo del valor promedio. Sin embargo, otros trayectos se completaron en un periodo inferior al medio. Después de varias revoluciones del deferente del planeta, podrá empezar una nueva trayectoria partiendo de p.

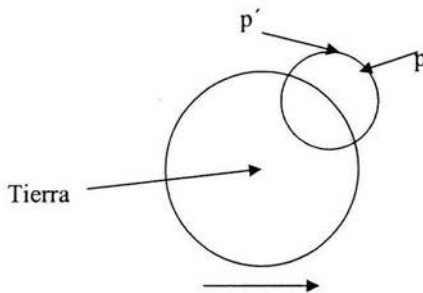


Figura 22. Una nueva revolución llevaría al planeta a p' (al este de p). De esta manera se pueden explicar algunas de las irregularidades observadas en los movimientos planetarios.

Para la Luna y el Sol se obtiene una buena aproximación con un sólo deferente pues no retrogradan. En cambio, cada planeta necesita un sistema epiciclo deferente particular. Si la relación entre las dimensiones del epiciclo y el deferente aumentan, el tamaño de los bucles también. Si el epiciclo gira más rápido con respecto al deferente el número de bucles a lo largo de la eclíptica crece (Júpiter usa 11 bucles y Saturno 28). Una adecuada combinación de círculos puede dar una explicación cualitativa y cuantitativa de las múltiples irregularidades planetarias.

La astronomía ptolemaica está basada en estos mecanismos, con ciertas modificaciones y adecuaciones para describir el movimiento de los planetas, el Sol y la Luna<sup>86</sup>. Para todos los cuerpos celestes se usa una combinación particular de todos estos mecanismos,

<sup>86</sup> cfr. Kuhn, T.S., (1957) pp. 94-100

dependiendo de las particularidades del caso y del efecto que se requiera lograr, como puede ser achatar un círculo, variar la velocidad, describir periodos irregulares, etc.

Los casos de Mercurio y Venus constituían casos adicionalmente especiales, pues nunca se alejaban demasiado del Sol, a diferencia del resto de los planetas. La astronomía ptolemaica explicaba este hecho vinculando los deferentes de ambos al del Sol, de tal forma que el centro del epiciclo de cada planeta interior permanezca constantemente sobre una recta que pase por la Tierra y el Sol<sup>87</sup>. Esta restricción era un dispositivo extra, *ad hoc* a la astronomía geocéntrica que se ilustra en la figura 23.

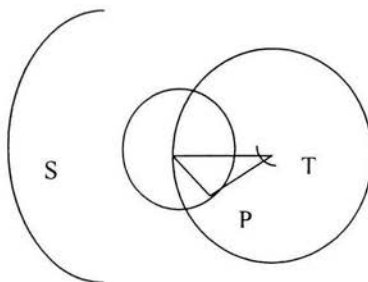


Figura 23. Limitar arbitrariamente el ángulo entre S y P manteniendo el centro del epiciclo sobre la recta que une a T y S.

La teoría ptolemaica usaba 5 epiciclos mayores (para los 5 planetas) y el número de epiciclos menores, excéntricas o ecuantas variaba muchísimo, pudiendo usarse docenas de ellos. Pero la descripción completa de los movimientos celestes consistía en una combinación adecuada de círculos entre todos estos mecanismos.

La contribución más importante de la astronomía ptolemaica residía en ser la primera teoría con una combinación particular de círculos que explicaba cuantitativamente los movimientos del Sol, la Luna y los planetas. El grado de precisión que alcanzaba era algo sin precedentes. Sin embargo, esta capacidad de resolución también significó, en determinado momento, el aumento de dispositivos y por tanto, de complejidad, con lo que fue desapareciendo la economía conceptual.

### 3. La Axiología Científica de la Teoría Ptolemaica

Las esferas constituían una especie de orden estético con simetría y perfección, valores esenciales en los astrónomos de la época. La figura circular era la representante más importante de estos valores, por lo que no se planteaba, siquiera, la posibilidad de proponer una trayectoria diferente, lo cual era completamente congruente con el universo de las dos esferas.

<sup>87</sup> Kuhn, T.S., (1957) pp. 230-231

Por otro lado, la teoría brindaba una fecundidad y precisión que no tenía precedentes en la astronomía antigua. La combinación de mecanismos astronómicos, entre epiciclos, deferentes, excéntricas y ecuantes logró una descripción y predicción de los movimientos celestes conocidos, como nadie lo había hecho hasta entonces.

Según Thomas S. Kuhn, existe un espectro de funciones de un esquema conceptual que se ubican o varían entre la economía y la satisfacción cosmológica<sup>88</sup>. Dicho esquema permite comprender y explicar un fenómeno combinando un cierto grado de eficiencia y simplicidad (si es económico), y otro grado de congruencia con la visión del mundo. Quizá la teoría ptolomeica en sus últimas versiones se encontraba en el extremo de la satisfacción cosmológica, pero ya muy alejado de la economía conceptual, pues el uso de tantos mecanismos generó, en la teoría, un alto grado de complejidad.

La satisfacción cosmológica se lograba porque la teoría, enmarcada en el universo de las dos esferas, respondía a la autoridad del discurso aristotélico, pues todos los elementos cosmológicos eran congruentes con ésta. Al mismo tiempo, el discurso de Aristóteles resultaba atractivo, por un lado, por que en la época imperaba la visión del mundo a través de los textos antiguos, se acostumbraba ver el mundo a través de la sabiduría de los antiguos, sobre todo de los griegos. Por otro lado, el aristotelismo contenía una gran naturalidad de la percepción (sensorial) que la sustenta, resultando muy eficiente con las experiencias inmediatas y cotidianas. Y finalmente, se trataba de un discurso totalizador y autocontenido de una estructura lógica y una congruencia que resultaba conveniente aceptar.

Además, el discurso aristotélico estaba adaptado, por los estudiosos de la Edad Media, para sostener y fundamentar el cristianismo, ideología dominante en la época. Por lo que una astronomía congruente con el aristotelismo cristianizado, sustenta un vínculo entre el pensamiento teológico y el físico, además de satisfacer las observaciones de los cielos antes descritas.

Entonces, la teoría ptolomeica, por un lado tenía una eficiencia científica alta en los estándares de la época, al tiempo que constituía una pieza fundamental que completaba el rompecabezas ideológico que unía la el pensamiento cristiano (teología), el universo aristotélico (sentido común) y una cosmología que ubicaba al hombre como centro del mundo.

---

<sup>88</sup> cfr. Kuhn, T.S., (1957) pp. 65-71.

## Capítulo 4

### ¿La Tierra se mueve?

A continuación se presenta una síntesis general de los elementos de la astronomía heliocéntrica con el propósito de analizarlas de acuerdo al modelo de Larry Laudan, compararla con la geocéntrica a través de su modelo de racionalidad y evaluar si dicho modelo describe los elementos más sobresalientes de la llamada por Kuhn *revolución copernicana* y si ésta, efectivamente, fue una revolución científica

### La Astronomía Heliocéntrica

#### Algunos antecedentes y aclaraciones

La obra donde Copérnico desarrolló toda su teoría sobre la cosmología y astronomía del mundo, se llama *De Revolutionibus Orbium Coelestium*<sup>89</sup> y fue publicada en el año de 1543, poco antes de la muerte de su autor.

Previo a la publicación de la obra central sobre la teoría copernicana, fue publicado *El Commentariolus*<sup>2</sup> (1507), se trata de un resumen del *De Revolutionibus*, en donde confecciona un sistema heliocéntrico diferente, pero que representa el antecedente más importante de la teoría.

En este tiempo, existían una multiplicidad y proliferación de sistemas ptolomeicos, que ya no coincidían con las cuidadosas observaciones a simple vista de la época. Las observaciones acumuladas por trece siglos evidenciaban cada vez más los errores del enfoque astronómico antiguo. Es en este contexto en el que se da el nacimiento de la teoría heliocéntrica.

Copérnico justifica el surgimiento de su teoría en las fallas que presenta Ptolomeo, hace una aguda crítica de su modelo apelando a la falta de congruencia en cuanto a los diferentes métodos utilizados, a lo complejo que ha llegado a ser y concluye finalmente, que el problema está en los principios sobre los que la teoría ptolomeica está elaborada.

---

<sup>89</sup> Según la Narratio Prima, obra-resumen elaborada por Rethicus (1540) el contenido de la obra de Copérnico está distribuida de la siguiente manera:

1er Libro. La descripción general del universo y los fundamentos matemáticos (geometría) con los cuales emprende la tarea de salvar las apariencias y las observaciones de todas las edades.

2º. Libro. Contiene la doctrina del primer movimiento (rotación) y una exposición acerca de las estrellas fijas.

3er. Libro. Trata del movimiento del Sol, cómo la experiencia le ha enseñado que la duración del año medido a través de los equinoccios depende en parte del movimiento de las estrellas fijas, emprende en la primera parte de este libro la tarea de examinar con correctas razones los movimientos de las estrellas fijas y las mutaciones de los puntos del solsticio y del equinoccio.

4º. Libro. Trata del movimiento de la Luna y los eclipses.

5º. Movimiento de los restantes planetas.

6º. Latitudes

<sup>2</sup> Rosen, E.,(1959)



Para él las técnicas tradicionales ptolomeicas no resuelven el problema del movimiento planetario, ni lo harán. Considera que existe un error fundamental en los conceptos básicos. El movimiento de la Tierra, en principio, es una consecuencia anómala por reformar las técnicas empleadas en los cálculos de los planetas. Además, no es una idea que origina él, sólo la rescata de los griegos. Sin embargo, sí fue el primero en exponer de forma detallada las consecuencias astronómicas que se derivan del movimiento terrestre. Debía dejar claro que las consecuencias de este movimiento no eran tan devastadoras como generalmente se suponía. Es claro que Copérnico no quiere aparecer como un elemento de ruptura en la astronomía, su objetivo central, en principio, es encontrar una técnica para mejorar los cálculos astronómicos.<sup>90</sup>

## **La Tradición de Investigación Heliocéntrica.**

### **1. La Metodología Copernicana**

Análogamente al caso de la teoría ptolomeica, haremos una breve descripción de cuáles eran las técnicas de descripción y evaluación que usó Copérnico en la teoría heliocéntrica. Los argumentos usados para afirmar la verdad de la teoría, los instrumentos de observación para elaborar las tablas, la naturaleza de sus demostraciones etc.

La observación era un parámetro fundamental, sobre todo en la elaboración de tablas de datos astronómicos. Ésta se realizaba a simple vista y se usaban una serie de instrumentos que eran básicamente los mismos que en el caso de la astronomía ptolomeica<sup>91</sup>.

- Niveladores.
- Gnomon.
- Astrolabio.
- Instrumento paraláctico o triquetrum

Al igual que en el *Almagesto*, un elemento importante en la obra es el cuidadoso desarrollo matemático que hizo Copérnico. Este también es esencialmente geométrico, particularmente, acerca de las líneas que subtienden un círculo, arcos, polígonos inscritos, lados y ángulos de triángulos planos, triángulos esféricos, etc. Posteriormente, en la obra usaba los teoremas demostrados para calcular distancias y movimientos celestes.

Copérnico usó las observaciones muy antiguas y las nuevas, todas ellas acumuladas a lo largo de los últimos trece siglos. Desarrolló y demostró teoremas matemáticos geométricos y llegó a conclusiones que le llevaron a redactar leyes a partir de generalizaciones inductivas.

En toda su descripción utiliza prácticamente de los mismos mecanismos cosmológicos de la teoría geocéntrica<sup>92</sup>:

---

<sup>90</sup> Kuhn, T.S. (1957) pp. 184-197.

<sup>91</sup> Cada uno se describe en la metodología de Ptolomeo.

<sup>92</sup> Cada uno se describe y explica en la metodología de Ptolomeo.

- Deferente
- Epiciclo.
- Excéntrica.

Un aspecto importante en el libro de Copérnico, consiste en que no hace uso del ecuante. Este mecanismo fue un elemento fundamental en el rechazo de la teoría geocéntrica por parte de Copérnico, pues le parecía que tenía un carácter demasiado artificial y que rompía con la armonía del resto de los elementos de la teoría. Es por esto que usa todos los mecanismos cosmológicos de Ptolomeo a excepción del ecuante.

En la búsqueda de una reducción de círculos para explicar fenómenos semejantes a los de la teoría geocéntrica, utiliza argumentos aristotélicos o escolásticos tradicionales. Además limita a círculos los movimientos celestes (su periodicidad y perfección) usando argumentos ideológicos y usa analogías arbitrarias de simplicidad.

## 2. Síntesis de la Teoría Copernicana

### Sobre la estructura del universo

La noción general sobre la estructura del universo que tenía Copérnico era, esencialmente, aristotélica. Sin embargo, una consideración importante en su teoría que quizá no lo fuera tanto en el aristotelismo, fue el de su inmensidad. En su libro afirma: *El cielo es inmenso respecto a la Tierra por que los círculos limitantes cortan en dos toda la esfera del cielo, lo que no podría suceder si la magnitud de la Tierra comparada con el cielo fuera importante*<sup>93</sup>. Según él, el cielo ofrece un aspecto de infinita magnitud. Es tan grande, que la distancia de la Tierra al Sol no es perceptible con respecto a la esfera de las estrellas fijas. Fuera del cielo no hay nada (de Aristóteles).

Copérnico ofrecía con su teoría describir la constitución general del universo de manera lógica, completa y congruente. Aceptando los postulados o axiomas, se comprometió a salvar la uniformidad de los movimientos de un modo sistemático. Desarrolló la estructura de las esferas celestes y las guías generales que posibilitan posteriores cálculos matemáticos. Pretendía dar un esquema conceptual para poder intercambiar las funciones de la Tierra y el Sol sin destruir el universo esencialmente aristotélico.

Los **postulados o axiomas**<sup>94</sup> que considera para desarrollar su teoría son:

1. *No hay un centro único de todos los círculos celestes o esferas.*
2. *El centro de la Tierra no es el centro del Universo, sino sólo el centro de gravedad y el de la esfera lunar.*
3. *Todas las esferas giran alrededor del Sol, el cual está en el centro de todo, por esta razón el Sol es el centro del mundo.*

<sup>93</sup> Copérnico, N.(1982), p. 106.

<sup>94</sup> Copérnico, N.(1982), pp. 20-21.

4. La razón entre las distancias del Sol y de la Tierra a la altitud del firmamento es menor que la razón entre el radio de la Tierra a su distancia del Sol, por lo que la distancia de la Tierra al Sol es insensible en comparación con la altura del firmamento.

5. Todo movimiento que aparece en el firmamento no se origina a causa del movimiento del firmamento mismo, sino a causa del movimiento a causa del movimiento de la Tierra. Así pues, la Tierra, con sus elementos próximos, realiza una rotación completa alrededor de sus polos fijos en un movimiento diario, permaneciendo inmóvil el firmamento y el último cielo.

6. Lo que se nos aparece como movimientos del Sol no son ocasionados por éste, sino por el movimiento de la Tierra y de nuestra esfera, con la que giramos alrededor del Sol como cualquier otro planeta y así la Tierra tiene varios movimientos.

7. Lo que nos aparece como retrogradación o progresión de los planetas, no proviene de sus movimientos, sino del movimiento de la Tierra. Por tanto, el movimiento de ésta es por sí sólo suficiente para explicar la diversidad de los movimientos aparentes del cielo.

En síntesis, a partir de las hipótesis del movimiento de la Tierra y la existencia de un universo muy grande se pueden explicar todas las apariencias del cosmos.

Con estas premisas, el uso de las tablas astronómicas (observaciones), los teoremas matemáticos<sup>95</sup> (ángulos planos, triángulos sólidos, cuerdas, etc.) que desarrolla en el primer libro, argumentos escogidos de la física y cosmología aristotélica y algunos otros nuevos, se dedica entonces, a lo largo de los 6 libros, a desarrollar conceptual y geoméricamente estos postulados, explica y demuestra sus consecuencias, además de describir los fenómenos astronómicos con ellos.

#### Descripciones generales<sup>96</sup>:

- El mundo (Universo) es esférico porque es la forma más perfecta de todas y la más capaz de todas las figuras.
- El resto de los cuerpos celestes también lo son. Por su sombra proyectada en la Luna (observación).
- Todas las cosas tienden a perfeccionarse.
- El universo es esférico y por lo tanto finito (argumento aristotélico).
- El movimiento de los cuerpos celestes es regular y circular, perpetuo o compuesto por movimientos circulares por simplicidad y perfección.
- Existen varios movimientos por la multitud de órbitas que constituyen la explicación mecánica más sencilla del universo.
- La Tierra da una revolución diaria (día y noche), que es la rotación. Por eso parece que todo se desliza del orto al ocaso excepto la Tierra. Medida común de todos los movimientos puesto que medimos con el tiempo por el número de días.
- Los 5 planetas realizan cada uno su propio ciclo, con sus diferencias, su ciclo no parece regular, retroceden y se detienen.
- El Sol agrupa casi, el centro del mundo.

<sup>95</sup> Copérnico, N. (1982), pp. 123-157.

<sup>96</sup> Copérnico, N. (1982)

- El Sol y la Luna se observan unas veces más lentos y otras más rápidos.
- Unas veces están más cercanos a la Tierra (Perigeo) y otras más lejos (Apogeo).
- Los movimientos nos parecen irregulares no porque lo sean, sino porque la Tierra no está en el centro de los círculos a través de los cuales ellos se mueven.



Modelo del mundo<sup>97</sup>:

Los planetas, la Tierra y la Luna se mueven en la región entre el Sol y las estrellas. Los planetas cuyo movimiento es lento (Saturno y Júpiter), están cerca de las esfera celeste y lejos del Sol. La Luna está *muy cerca* de la Tierra. El modelo que contiene el orden y la trayectoria de los cuerpos celestes es como muestra la figura 24:

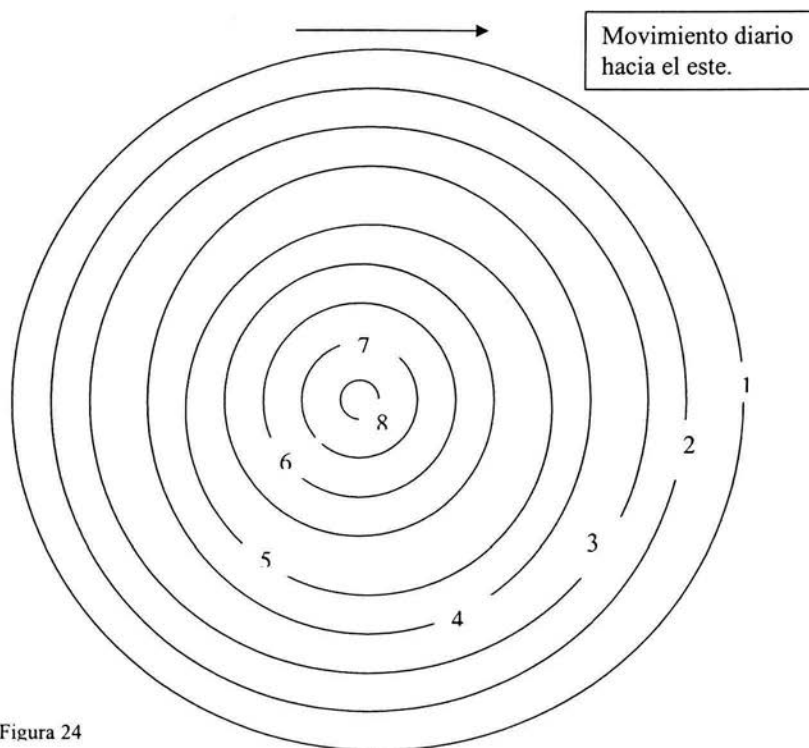


Figura 24

1. Esfera Estelar
2. Saturno
3. Júpiter
4. Marte
5. Tierra con la Luna
6. Venus
7. Mercurio
8. Sol.

<sup>97</sup> Copérnico, N. (1982), p. 118.

## El triple movimiento de la Tierra

Copérnico propone que la Tierra tiene tres movimientos que describen las apariencias celestes y explica con detenimiento cada uno de ellos.<sup>98</sup>

1. Rotación. Circuito día y noche. Esta ocurre diariamente sobre los polos, según el orden de los signos. A causa de la rotación, el universo entero parece girar a gran velocidad.

La Tierra efectúa un giro completo alrededor de su propio eje en 23 horas 56 minutos. A condición de que la órbita de la Tierra sea mucho más pequeña que la esfera de las estrellas, la rotación axial de la Tierra puede explicar con toda exactitud las trayectorias del Sol, la Luna, planetas y estrellas, éstas deben verse sobre el fondo de las estrellas y parece que se mueven con ella cuando la Tierra gira.

Las trayectorias pueden ser reproducidas, ya sea por un movimiento circular de las estrellas ante un observador inmóvil (Ptolomeo), ya sea por una rotación del observador ante una bóveda estelar fija (Copérnico). Esto último implica hacer girar a la Tierra, al observador y al plano del horizonte juntos, hacia el este. Un observador en el centro del plano del horizonte que se mueve con él será incapaz de diferenciar los casos.

2. Traslación. Movimiento anual en torno del centro, describe el círculo de los signos alrededor del Sol del oeste al este avanzando entre Venus y Marte. Describe arcos iguales en tiempos iguales (con regularidad). La distancia del círculo al centro del Sol es de  $1/25$  del radio de éste círculo. La órbita descrita por la Tierra es excéntrica con respecto al Sol, pero podemos considerar la excentricidad casi nula.

Copérnico prevé exactamente el mismo movimiento anual del Sol en esta dirección que Ptolomeo. Predice también la variación estacional de la altura alcanzada por el Sol en el cielo. Este movimiento se ilustra en la figura 25.

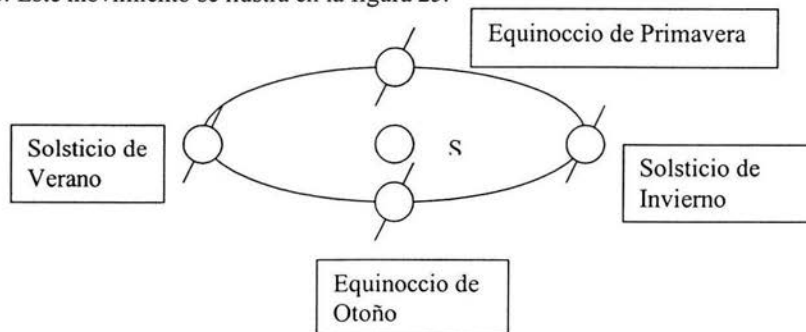


Figura 25. El eje terrestre se mantiene constantemente paralelo a una línea imaginaria que atraviesa el Sol y forma un ángulo de 23 grados y medio con la perpendicular al plano de la eclíptica.

<sup>98</sup> Copérnico, N.(1982) pp. 119-123.

La variación estacional puede ser diagnosticada en este modelo, sin embargo, es más fácil recurrir a la explicación ptolemeica. En ambos sistemas, el Sol parece ocupar en todas las estaciones la misma posición sobre la esfera estelar, pues debe salir y ponerse con las mismas estrellas. La correlación entre las estaciones y la posición aparente del Sol sobre la eclíptica no puede verse afectada por el paso de un sistema a otro. Ambos sistemas son equivalentes con respecto a los movimientos aparentes del Sol y las estrellas<sup>99</sup>. El ptolemeico es más simple en este punto.

Ya que la rotación terrestre produce los círculos cotidianos de las estrellas, el eje de la Tierra debería estar dirigido hacia el centro de tales círculos sobre la esfera terrestre, pero el eje nunca apunta a un mismo lugar de la esfera celeste en el año. Según Copérnico, la prolongación del eje terrestre dibuja en el año dos pequeños círculos sobre la esfera celeste, uno alrededor del polo norte y el otro alrededor del polo sur celeste. Para un observador terrestre, el propio centro de los círculos diarios de las estrellas debiera aparecer en movimiento a lo largo de un pequeño círculo centrado en el polo celeste, usando un año para completar su revolución al mismo. Todas las estrellas deberían mostrar un ligero cambio en su posición sobre la esfera estelar. Este movimiento es inobservable a simple vista (movimiento paraláctico). Se ilustra en la figura 26.

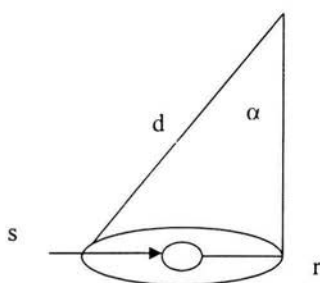
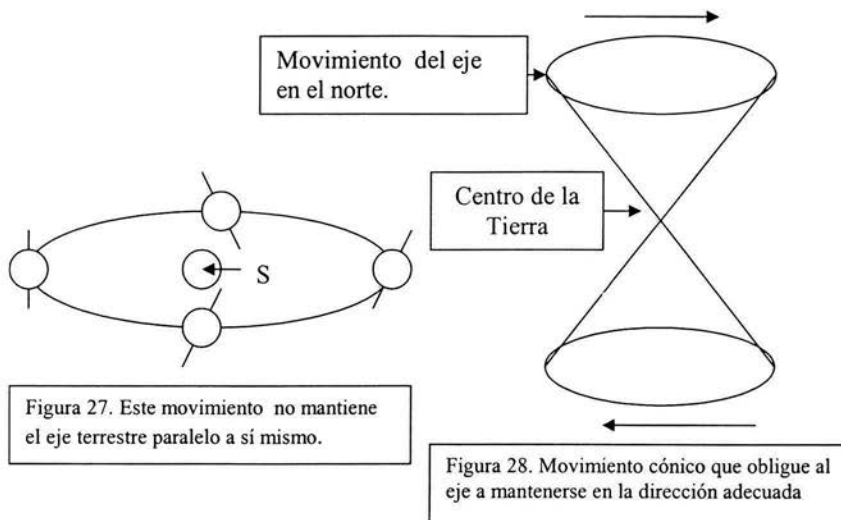


Figura 26. La posición angular aparente de la estrella detectada desde la Tierra debería cambiar con el tiempo. Si la posición de la estrella es mucho más grande que la órbita entonces  $d \gg r$  y entonces el ángulo es muy pequeño, por lo que no existirá cambio apreciable en la posición aparente de la estrella. El movimiento no es apreciable por la distancia a la estrella, lo que implica que el paralaje es un medio de control observacional de las dimensiones mínimas de la esfera de las estrellas condicionadas por las de la órbita terrestre mucho más sensible que la posición del horizonte.

3. Declinación. Para anular el cambio en la dirección del eje por la rotación, pues ésta no mantiene el eje paralelo a sí mismo, se necesita introducir un tercer movimiento circular del eje. Un movimiento cónico que hace girar el extremo norte del eje una revolución anual con el fin de corregirlo<sup>100</sup>. Dicho movimiento tiene dirección hacia el oeste retrocediendo al contrario del movimiento del centro, por lo tanto, el eje y el ecuador miran siempre a la misma parte del mundo. El eje de la rotación diaria no es paralelo al eje del gran círculo, sino es oblicuo a él según un ángulo de 23 grados y casi medio. Éste se muestra en las figuras 27 y 28.

<sup>99</sup> cfr. Kuhn, T.S., (1957) pp. 216-219.

<sup>100</sup> cfr. Kuhn, T.S., (1957) pp. 219-222.



### Argumentos en favor del movimiento de la Tierra<sup>101</sup>.

Copérnico exhibe varios argumentos para sostener el movimiento terrestre. Algunos de ellos son de carácter geométrico, en otros hace uso del concepto de marco de referencia, de sentido común e inclusive usa argumentos aristotélicos (ideológicos). Algunos de éstos son:

- Los navegantes en un barco perciben el movimiento de lo que está afuera y el reposo dentro de la nave. Sin embargo los que están en movimiento son ellos. Pasaría lo mismo con el movimiento terrestre (marco de referencia)
- El movimiento de la Tierra es *natural* y no violento por lo que las cosas no se dispersan.
- Es más fácil concederle movimiento a la Tierra en lugar del cielo cuyos límites se desconocen y entonces los movimientos observados son aparentes.
- La Tierra constituye una parte de la esfera celeste, de la misma especie y del mismo movimiento, que por estar próxima al centro se mueve poco.
- Nada impide el movimiento de la Tierra, porque se puede considerar uno de los astros errantes.
- La condición de inmovilidad como noble y divina según Aristóteles hace que sea mejor atribuirle el movimiento al contenido, es decir a la Tierra, que al continente (al mundo o a la esfera celeste).
- El Sol parece moverse igual que si la Tierra fuera el centro del mundo pues la distancia entre ellos es muy pequeña en comparación con la esfera de las estrellas<sup>102</sup> fijas tal como lo ilustra la figura 29.

<sup>101</sup> cfr. Copérnico, N.,(1982) pp. 109-112.

<sup>102</sup> cfr. Kuhn, T.S., (1957) pp. 216-217.



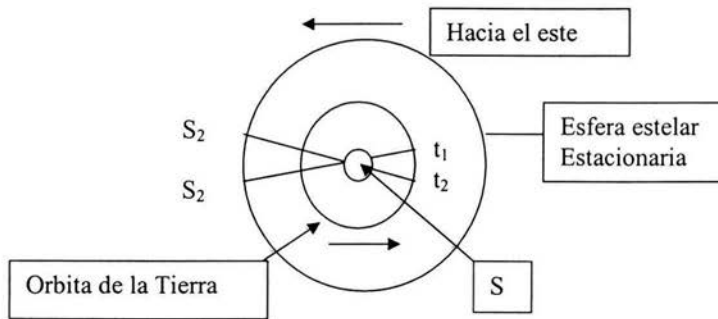
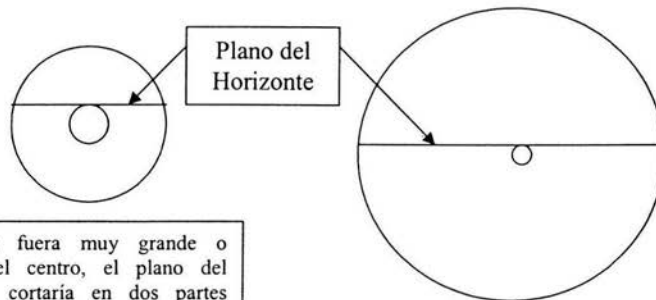


Figura 29. Aquí se muestra como la apariencia de movilidad de Sol es equivalente si la Tierra se mueve. Cuando la Tierra se mueve de T1 a T2 el Sol parece moverse de S1 a S2

La Tierra, dentro de una pequeña esfera concéntrica a la esfera estelar puede desplazarse con libertad sin violar las apariencias. En particular, puede tener un movimiento orbital alrededor del centro o del Sol central ya que su órbita no la lleva muy lejos respecto al radio de la esfera exterior. Aparentemente, puede deducirse la posición de la Tierra en el centro de la esfera de la siguiente observación (figura30):



Si la Tierra fuera muy grande o desplazada del centro, el plano del horizonte no cortaría en dos partes iguales la esfera estelar y dos puntos diametralmente opuestos sobre la misma ya no serían los que al salir uno se pone el otro

El horizonte de cualquier observador terrestre biseca la esfera estelar. Por ejemplo, el equinoccio de primavera y otoño ocupan puntos diametralmente opuestos en la esfera de las estrellas, cuando uno sale o el otro se pone. Para ello, el plano del horizonte tiene que pasar casi por el centro de la esfera estelar y la divide en dos partes iguales según un círculo máximo. Dos puntos diametralmente opuestos en la esfera de las estrellas son los que cuando uno se levanta el otro se pone si y sólo si el plano del horizonte corta dicha esfera según un círculo máximo. Pero los planos del horizonte deben ser tangentes a la esfera celeste, por lo que la Tierra debe ser muy pequeña, casi como un punto y ocupar la posición central.

Figura 30

La observación a simple vista, poco refinada, no permite afirmar que el equinoccio de primavera sale exactamente cuando se pone el de otoño. Una buena aproximación corrigiendo la refracción atmosférica y las irregularidades del horizonte real podría mostrar que cuando el punto solsticial de invierno alcanza el horizonte oeste, el solsticial de verano está a menos de 6' del horizonte este. Por lo tanto el plano horizonte corta la esfera estelar en dos partes *casi* iguales y que por tanto todo los observadores terrestres están muy cerca del centro del universo<sup>103</sup>.

### Sobre el movimiento del Sol

El Sol en el modelo del mundo no estaba absolutamente centrado, pues para explicar el ritmo acelerado con que el Sol atraviesa los signos del zodiaco durante el invierno, lo desplazó del centro de la órbita terrestre convirtiéndola en excéntrica. Para explicar otras irregularidades detectadas en observaciones antiguas y contemporáneas del movimiento solar, Copérnico mantuvo en movimiento este centro desplazado. Para ello colocó el centro de la excéntrica terrestre sobre un segundo círculo cuyo movimiento modificaba constantemente la magnitud y la dirección de la excentricidad<sup>104</sup>. Esta consideración se ilustra en la figura 31.

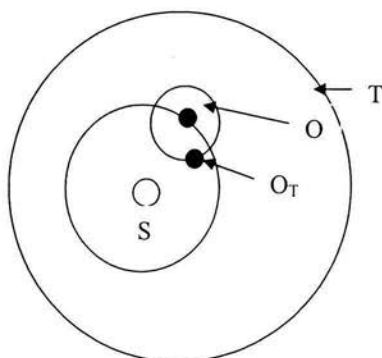


Figura 31. El Sol desplazado del centro en S y la Tierra T, se mueve sobre un círculo con centro en  $O_T$ , el cual gira lentamente alrededor de O. Éste a su vez se traslada a lo largo de un círculo con centro en el Sol.

La magnitud y diferencia del año solar. Copérnico diferencia dos medidas de un año, el año natural y el sidéreo. El año natural es el que regula los 4 cambios de estaciones anuales. Sideral el que retorna con respecto a alguna estrella no errante. El año natural es desigual por las observaciones, no contiene un número de días exacto. El año sideral tiene un error porque el movimiento del centro de la Tierra alrededor del Sol aparece como desigual a causa de otra doble irregularidad. Una es anual y la otra sólo se percibe en un lapso de tiempo largo.

<sup>103</sup> cfr. Kuhn, T.S., (1957) pp. 213-214.

<sup>104</sup> cfr. Kuhn, T.S., (1957) pp. 227-228.

## Sobre el movimiento de los planetas

Hasta aquí, ambos sistemas son igualmente eficientes, por lo que lo más innovador de la teoría heliocéntrica, se encuentra en la descripción de los movimiento planetarios, pues logra explicar la progresión y retrogradación, y el que ésta sea mayor en Júpiter que en Saturno y menor en Marte y más en Venus que en Mercurio( en la época de Copérnico se conocían 5 estrellas errantes o planetas).

Sobre el orden de las órbitas, como ya se ilustró en el modelo del mundo de Copérnico, la teoría heliocéntrica afirma que la órbita de Mercurio está encerrada en la de Venus. Luego sigue la Tierra, Marte Saturno y Júpiter. Las posiciones verdaderas de Saturno, Júpiter y Marte se hacen visibles cuando están en posición acrónica (en oposición al Sol) lo que sucede aproximadamente en medio de las retrogradaciones coincidiendo con el Sol en línea recta. En el mismo orden superan unos planetas a otros en la velocidad de revolución.

Los planetas en órbitas concéntricas a la Tierra tienen un periodo para recorrer la eclíptica que es más largo mientras más lejos están. Este argumento no funcionaba para Mercurio Venus y el Sol en el modelo geocéntrico que precisaban por término medio un año para recorrer la eclíptica por lo que la disposición de sus órbitas era fuente de discusión (problema no resuelto).

El sistema copernicano no daba pie a tal controversia, no hay dos planetas que tengan idéntico periodo orbital. La hipótesis de que el tamaño de la órbita crece con el periodo orbital puede aplicarse de forma más completa y natural al sistema copernicano que al ptolomeico, pero en ambos casos es un supuesto arbitrario.

Las dimensiones relativas de las órbitas de los planetas son una consecuencia directa de las premisas geométricas de un sistema heliocéntrico, por lo que podía deducirse esta parte de la estructura del cielo con menos hipótesis *ad hoc*<sup>105</sup>.

Movimiento retrógrado.

En el sistema ptolomeico, la retrogradación planetaria se explica situando cada planeta sobre un epiciclo mayor cuyo centro es arrastrado alrededor de la Tierra por el deferente del planeta. El movimiento combinado de estos dos círculos produce las trayectorias planetarias (bucles). El sistema copernicano no precisa de epiciclos mayores. El movimiento retrógrado de un planeta a través de las estrellas, o movimiento hacia el oeste, sólo es aparente y producido por el movimiento orbital de la Tierra.

Hay dos causas por las que el movimiento regular del planeta aparece como irregular<sup>106</sup>:

1. Movimiento de la Tierra.
2. Movimiento del planeta en cuestión.

<sup>105</sup> cfr. Kuhn, T.S., (1957). pp. 232-234.

<sup>106</sup> cfr. Copérnico, Nicolás. (Traducción 1982) p. 410.

Para planetas inferiores Copérnico da la siguiente explicación:

Venus y Mercurio están comprendidos dentro del círculo de la Tierra y se mueven según lo muestra la figura 32<sup>107</sup>.

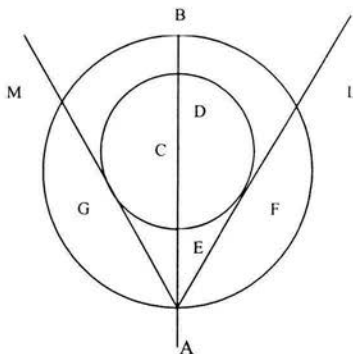


Figura 32. Sea el círculo AB excéntrico con respecto al Sol, círculo que describe la Tierra en su circuito anual con centro en C. DE círculo de Venus o Mercurio homocéntrico AB (no están en el mismo plano) . La Tierra está en A, desde el que se elevan las visuales AFL y AGM tangentes al círculo del planeta en los puntos F, G, y ACB el diámetro común a ambos círculos (movimiento en la misma dirección hacia el este). El planeta es más rápido que la Tierra. Puesto el ojo en AC y la línea ACB parecerá avanzar según el movimiento medio del Sol. En cambio, el astro en el círculo DFG, como en un epiciclo, recorrerá en mayor tiempo el arco FDG hacia el este que GEF al oeste, y allí añade todo el ángulo diferente FAG al movimiento medio del Sol. Pero cuando el movimiento sustractivo de la estrella, principalmente alrededor el perigeo E, fuera mayor que el aditivo del C, le parece a A que retrocede a peor del exceso en los que estaría en una razón la línea CE con respecto a la AE que el movimiento de A con respecto al curso del planeta. Cuando el movimiento aditivo fuera igual al sustractivo (compensados entre si) parecerá detenerse; todo lo cual corresponde a las apariencias.

<sup>107</sup> cfr. Copérnico, N. (1982), p411.

Podemos explicar este mecanismo usando también el esquema de la figura 33.<sup>108</sup>:

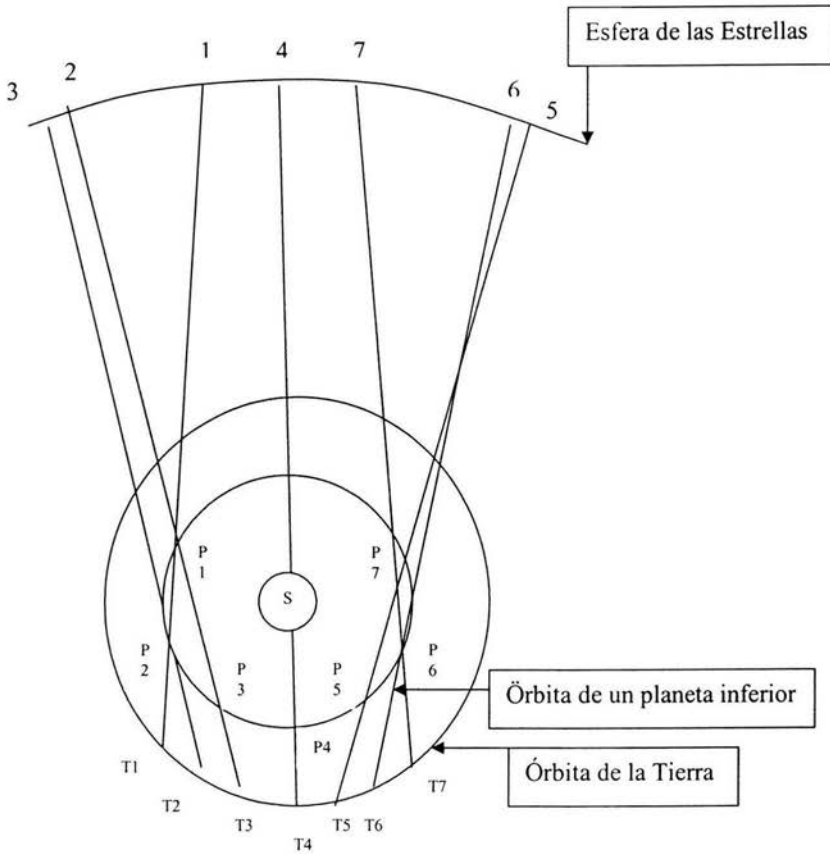


Figura 33. La Tierra está animada de un movimiento uniforme sobre su órbita que lleva de T1 T7 mientras el planeta se traslada de P1 a P7. Simultáneamente, la posición aparente del planeta se proyecta sobre la esfera de las estrellas deslizándose de la posición 1 a 7 en dirección este, pero en el momento en que el planeta avanza a la Tierra, se produce un movimiento retrógrado de 3 a 5

<sup>108</sup> cfr. Kuhn, T.S., (1957) p223.

Esto mismo se demuestra también en los tres planetas superiores, Saturno, Júpiter, Marte usando la figura 34<sup>109</sup>.

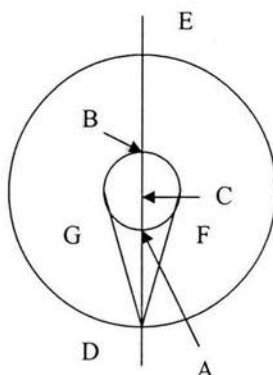


Figura 34. Posición del planeta en D. DACB es el diámetro común. Desde A aparecerá sólo la verdadera posición del planeta en la línea DE, del movimiento medio del Sol, cuando está en posición acrónica y próxima a la Tierra. Cuando la Tierra está en B aparecerá en conjunción con el Sol, producida por la proximidad del Sol al punto C. Siendo la Tierra más rápida en cuanto sobre pasa cada movimiento del planeta parecerá a lo largo del arco del apogeo que añade el movimiento de la estrella el ángulo GDF y a lo largo del arco restante FAG restarle el mismo ángulo pero en un tiempo más corto en consonancia al arco menor FAG y cuando el movimiento sustractivo de la Tierra haya superado al aditivo de las estrella sobre todo alrededor de A, parecerá que ésta se separa de la Tierra y se mueve hacia el oeste.

<sup>109</sup> cfr. Copérnico, N. (1982), p 412.

La manera de explicar cómo se vería la retrogradación de un planeta superior en el modelo sería como la figura 35<sup>110</sup>:

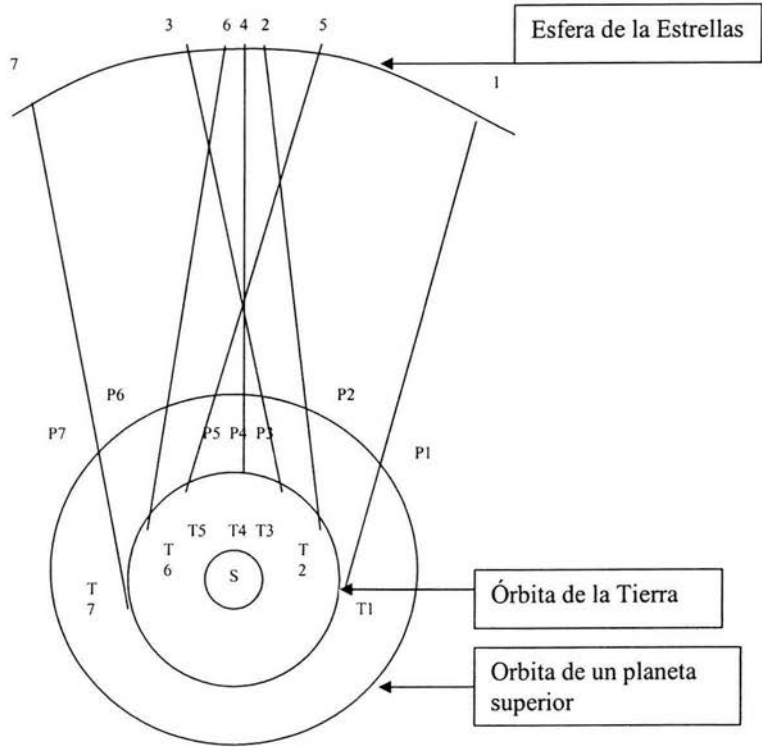


Figura 35. La Tierra está animada de un movimiento uniforme sobre su órbita que lleva de T1 a T7 mientras el planeta se traslada de P1 a P7. Simultáneamente, la posición aparente del planeta se proyecta sobre la esfera de las estrellas deslizándose de la posición 1 a 7 en dirección este, pero en el momento en que el planeta es avanzado por la Tierra se produce un movimiento retrógrado de 3 a 5

Bajo estos mecanismos generales, Copérnico detalla el movimiento de cada planeta, sus posiciones, dobles movimientos, excentricidad y simetría de las órbitas.

Entonces, de manera general, cuando la Tierra completa su giro orbital, el planeta prosigue su movimiento normal hacia el este desplazándose con mayor rapidez cuando se encuentra en posición diametralmente opuesta a la Tierra con respecto al Sol, los planetas observados desde la Tierra parecieran moverse hacia el este durante la mayor parte del tiempo, sólo retrogradan cuando la Tierra en su movimiento orbital más rápido

<sup>110</sup> cfr. Kuhn, T.S., (1957) p. 223.

los sobrepasa (planetas superiores) o cuando ellas sobrepasan a la Tierra (planetas inferiores). El movimiento retrógrado sólo puede producirse cuando la Tierra ocupa su posición más próxima con respecto al planeta. Esto es completamente concordante con los datos. Los planetas superiores alcanzan su brillo más intenso cuando se mueven al oeste. Queda explicado, sin epiciclos, al menos cualitativamente, la primera gran irregularidad del movimiento planetario.

El movimiento retrógrado es una consecuencia natural e inmediata (cualitativamente) de la geometría del modelo, pues explica de forma más simple y natural los movimientos de los planetas inferiores.

Por otro lado, también explica la segunda irregularidad del movimiento planetario: la desigualdad en los tiempos requerido por un planeta para completar recorridos sucesivos a lo largo de la eclíptica. Esta explicación se muestra en la figura 36.<sup>111</sup>

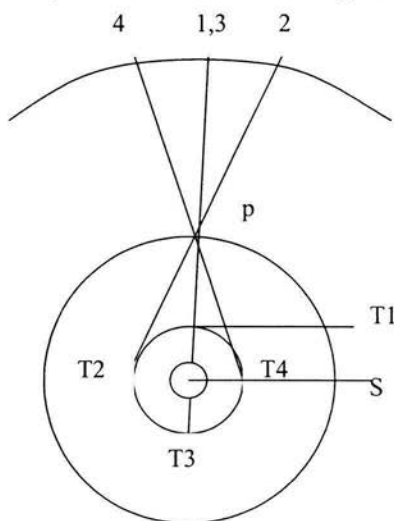


Figura 36. Mientras el planeta da una revolución completa sobre su órbita, trasladándose de P a P, la Tierra da 1/4 de revoluciones, de T1 a T2, después de haber pasado nuevamente por T1. Durante este intervalo de tiempo la posición aparente del planeta sobre la esfera estelar se desplaza en dirección este de 1 a 2, lo que equivale a algo menos de una vuelta completa. En la siguiente revolución la Tierra se desplaza desde T2 a T3, después de haber pasado por T2, mientras que la posición aparente del planeta sobre la esfera estelar pasa de 2 a 1, después de haber pasado ya una vez por 1, lo que equivale a algo más de una vuelta completa a lo largo de la eclíptica.

En esta explicación, Ptolomeo usa 12 círculos, Copérnico usa 7 círculos pero no permite predecir la posición de los planetas con una precisión comparable a Ptolomeo. Sólo da una versión simplificada de los 12 círculos. Permite una explicación cualitativa (conceptual) de los movimientos planetarios más económica.

<sup>111</sup> cfr. Kuhn, T. S., (1957) p226.



En muchas otras descripciones, las dos teorías eran muy parecidas. Por ejemplo, para explicar las desviaciones planetarias respecto de la eclíptica, Copérnico usa mecanismos como el que se muestra en la figura 37, igual al de Ptolomeo.<sup>112</sup>:

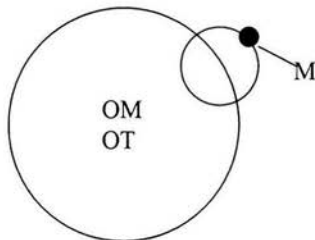


Figura 37. M El planeta (Marte) sobre un epiciclo que gira sobre un deferente con centro en OM y mantiene una relación geométrica fija con el centro móvil de la órbita terrestre OT. Copérnico necesita dispositivos equivalentes a los que usa Ptolomeo para explicar las desviaciones planetarias hacia el Norte y Sur de la eclíptica.

Así como este dispositivo, la teoría copernicana cuenta con una gran cantidad de explicaciones que requieren de combinaciones de mecanismos como los de Ptolomeo. Por lo tanto, no es ni más simple ni más preciso que éste. Sin embargo, además de las retrogradaciones e irregularidades en los tiempos, existe una última explicación que se facilita, al menos conceptualmente, bajo el modelo heliocéntrico. La explicación copernicana sobre el hecho de que Mercurio y Venus jamás se alejaban demasiado del Sol, ya que, diferencia del caso geocéntrico, no necesitaba ninguna hipótesis adicional. El mecanismo que lo explica se muestra en la figura 38.

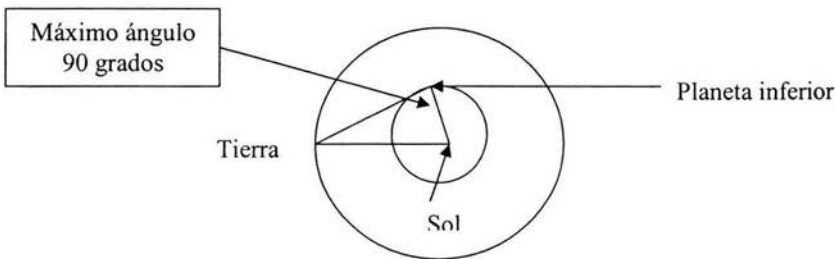


Figura 38. El planeta no puede hallarse demasiado lejos del Sol en ninguno de los puntos de su trayectoria, la elongación máxima se produce cuando la recta que une la Tierra y el planeta es tangente a la órbita de éste y el ángulo SPT es recto. Por lo que  $90^\circ$  es el mayor ángulo que un planeta inferior puede desviarse del Sol.

<sup>112</sup> cfr. Kuhn, T.S., (1957) pp. 227-229.

### 3. La Axiología Científica de la Teoría Copernicana.

El objetivo de su obra es explicar de un modo más coherente los movimientos de los planetas, construir unas tablas astronómicas correctas, resolver un problema fundamental como la medida del tiempo (calendario) y superar las incongruencias y falsos cálculos que en los sistemas astronómicos se daban. Podríamos afirmar que en principio se trataba de un problema de técnica, no esencialmente conceptual.

Argumenta la insuficiencia de la teoría de Ptolomeo para explicar las nuevas observaciones. Los cálculos de la época, ya no resultan satisfactorios con las hipótesis que se tenían en el geocentrismo, por lo que existe una perspectiva práctica que motiva su obra.

Sin embargo, a pesar de la ruptura que tradicionalmente se le atribuye a la teoría copernicana, existen abundantes elementos de continuidad. Se encuadra a Copérnico dentro de la tradición astronómica trigonométrica, igual que Ptolomeo, usa las esferas heredadas del aristotelismo aunque modificadas y tiende a una explicación física de la ordenación del cosmos. Por lo que el valor epistémico de los modelos de los antiguos también pesa en la teoría, aunque de manera selectiva.

Existe una creencia en la realidad y verdad de la teoría defendida pero bajo dos requisitos, salvar las apariencias (descripción) y cumplir el axioma de que los movimientos deben ser circulares y uniformes, por simplicidad y perfección. Esto significa que Copérnico efectivamente creía en la movilidad de la Tierra y no lo consideraba como un marco o artificio matemático exclusivamente técnico. Sin embargo, para asumirlo como verdad, su hipótesis debe explicar (al menos cualitativamente) las observaciones de los cuerpos celestes y conservar los valores de orden estético que tiene el geocentrismo.

El orden, la simetría y perfección constituyen un supuesto inalterable y una hipótesis mantenida más o menos explícitamente en la historia de la ciencia, cuyo cumplimiento explica las críticas al propio Copérnico, por lo que se le considera dentro del pitagorismo.

Busca sencillez, economía y una armonía (conceptual) que la teoría ptolomeica no tiene. Esto no necesariamente significa que lo consiga en todos los aspectos pues, finalmente, la teoría heliocéntrica alcanzó también un alto grado de complejidad.

En cuanto al papel del esquema conceptual que constituye el modelo copernicano, podemos decir que alcanza cierto grado de economía y sencillez conceptual, al encontrar explicaciones más *naturales* para la retrogradación de los planetas. Sin embargo, no lo logra en los cálculos, ni en el número de mecanismos que usa. En cuanto a la satisfacción cosmológica, eventualmente, el copernicanismo la perdió respecto a la visión del mundo vigente al no enmarcarse por completo al universo de las dos esferas y romper con el discurso aristotélico, pues no todos sus elementos eran congruentes con éste, lo cual hace

que este modelo rompa no sólo con la experiencia cotidiana e inmediata con el universo, sino también con la visión cristiana del universo.

Es claro que existen elementos de continuidad en las valoraciones científicas de Copérnico respecto de la astronomía antigua, sin embargo, el peso de cada uno puede variar y en otros existe una franca ruptura. La teoría heliocéntrica ya no puede constituir esa pieza del rompecabezas que representaba la ptolomeica, que permitió la congruencia entre la visión cosmológica, la teológica y el marco filosófico provisto por Aristóteles.

## Capítulo 5

### ¿Una Revolución Científica o una sola Tradición de Investigación?

#### Análisis del cambio a la astronomía copernicana través del modelo de Laudan.

Apelando a los consensos que concluye Pérez R. en su ya citado análisis, las teorías están inmersas en marcos muy generales, conceptual y metodológicamente. En éste análisis dichos marcos serán las llamadas Tradiciones de Investigación, por lo que trataremos de definir y comparar los elementos de la TI ptolemeica y copernicana, de acuerdo con la caracterización que hace Laudan, y revisar su nivel de adecuación, así como especificar el carácter de la transición entre ellas.

#### Los problemas de las teorías de Ptolomeo y Copérnico.

En congruencia con estas tesis generales, no existe un sólo criterio para organizar conceptualmente la experiencia, por lo que los problemas que, según Laudan, la ciencia se propone resolver, están determinados por la percepción y por una red teórica. Esto quiere decir que los problemas científicos existen sólo en la medida en que los vemos o los formulamos como tales. En el caso de la astronomía antigua, los problemas a resolver estaban dados por la observación sistemática y directa del cielo, y por una concepción preconcebida del universo de acuerdo con el esquema conceptual de las dos esferas, propuesto por Aristóteles.

Como resultado de estos dos elementos, los problemas a resolver en la astronomía antigua se limitaban al movimiento (aparente en el caso de la teoría copernicana) de las estrellas, los planetas, el Sol y la Luna. No existía el problema de los cometas o estrellas fugaces o alguna otra novedad celeste, pues no era concebible dentro del universo de las dos esferas y fuera de la gran esfera celeste no *podía* haber nada.

Según el modelo de Laudan, en la evaluación de una teoría los problemas empíricos pueden ser clasificados en resueltos, sin solución y anómalos<sup>113</sup>, dependiendo de su relación con la misma. Efectivamente, en la transición y evaluación de la teoría heliocéntrica respecto de la geocéntrica, encontramos estos tres tipos de problemas. El movimiento de los planetas, las estrellas, la Luna y el Sol estaba resuelto de manera general por ambas teorías, sin embargo, el nivel general de precisión era mejor en el caso ptolemeico. Además, existían elementos particulares en las observaciones que no estaban completamente resueltos por ninguna de las dos<sup>114</sup>.

En cuanto a las anomalías, quizá la más importante que tenía el copernicanismo, consistía en que, el movimiento de la Tierra no era congruente con la física aristotélica, la teoría aceptada que explicaba los eventos terrestres. Es decir, la idea de una Tierra en movimiento que no está en el centro del cosmos, no sostiene la hipótesis de la

---

<sup>113</sup> En el capítulo dos se explica detenidamente en qué consiste cada uno de ellos.

<sup>114</sup> Éstos eran sobre todo de precisión.

*gravedad*<sup>115</sup> que formula Aristóteles, donde todos los cuerpos caían al centro de la Tierra de manera *natural* porque ésta era el centro del mundo. Este hecho tiene consecuencias muy importantes de las cuales Copérnico parece no darse cuenta. Implícitamente, está rompiendo con el discurso aristotélico, el cual es un discurso totalizador y congruente, por lo que no se trata de una ruptura menor, sino con el marco más general que la ciencia de la época aceptaba.

Por otro lado, el movimiento terrestre tampoco era congruente con el sentido común, guía en el quehacer científico de la época. Nuestra experiencia más inmediata no nos indica que la Tierra se esté moviendo.

Los problemas de la astronomía antigua adquirieron importancia por conformar la base o fundamento de la propia astronomía, lo cual Laudan denomina construcción arquetípica. Resolver estos problemas edificaba la propia teoría astronómica. Esta importancia se incrementó cuando la teoría copernicana representó una solución anómala<sup>116</sup> que generó una controversia en la astronomía y en la propia física. Pero, en mi opinión, no fue el único elemento que le dio importancia a los movimientos celestes. Las necesidades prácticas del calendario y un contexto donde la cosmología estaba profundamente vinculada al pensamiento cristiano y, por tanto, a la visión del hombre en el cosmos. Estos elementos eran profundamente alterados por la nueva teoría y resultaron fundamentales también en la controversia.

Laudan aporta la definición de un problema conceptual en dos modalidades: internos y externos<sup>117</sup>. Aunque ésta resulta ser una definición por exclusión y que sólo resulta clara en los extremos del espectro de problemas posibles, representa un matiz muy importante, en particular en la transición al heliocentrismo. Un gran problema conceptual del copernicanismo fue justamente el esquema aristotélico del universo. Al interior de la teoría copernicana aparentemente se asume el universo de las dos esferas, pero éste no resultaba indispensable en el modelo, de hecho, estrictamente, no se trata del universo aristotélico.

La función del modelo de las dos esferas era muy diferente en la concepción aristotélica y la copernicana. Para Ptolomeo, el centro de la Tierra coincidía con el centro de la esfera estelar finita. El universo finito (Aristotélico) con materia y espacio, finalizaban conjuntamente en la esfera de las estrellas. Esta concepción necesitaba arrastrar las estrellas en sus trayectorias diurnas para proporcionar el impulso que mantenían en movimiento a planetas y objetos terrestres. Definía el centro absoluto del espacio, al que se dirigían por *voluntad* todos los cuerpos *pesados*.

En el copernicanismo, no se exigía un centro absoluto del espacio, objetos caían sobre la Tierra en movimiento y no necesitaba que generase los movimientos celestes, era libre de conservar la esfera de las estrellas (por tradición). Pero, es claro que la idea de dos esferas concéntricas, una grande exterior que es la esfera estelar y la Tierra pequeña en el

---

<sup>115</sup> Propiedad que Aristóteles le atribuía a la Tierra por que los cuerpos caían hacia su centro.

<sup>116</sup> Este tipo de solución se explica en el capítulo 2.

<sup>117</sup> También expuesto en el capítulo 2.

centro, no se cumple. Como ya se dijo, el movimiento de la Tierra resultaba contradictorio con la física aristotélica que contenía este esquema. Copérnico muestra una indiferencia ante los aspectos cosmológicos y, aparentemente, no se percató de las incongruencias que la idea de una Tierra en movimiento introducía en el marco de un universo tradicional. Sin embargo, parece que internamente no hay contradicción, se trata más bien de una ruptura con un marco general previamente aceptado. Se trata de un problema conceptual externo.

Por otro lado, son muy claras las diferencias irreconciliables que se traducen en problemas conceptuales al exterior, entre la teoría copernicana y la teoría ptolemeica. En el copernicanismo, las características de los movimientos celestes son apariencias resultado del movimiento terrestre, la retrogradación y las órbitas de los planetas se explican conceptualmente de manera más armónica, sin embargo, la precisión de los movimientos sigue siendo mucho mejor en el modelo Ptolomeo. Las ideas del Sol en el centro y la movilidad de la Tierra, aunque de apariencia menor, abrieron muchas nuevas posibilidades en la estructura del cosmos y nuevos problemas a resolver.

Esta distinción entre los problemas empíricos y conceptuales me parece una aportación fundamental, ya que aunque ésta se torna difusa en muchos casos, aporta dos nociones que pueden ser útiles en el análisis del desarrollo científico. Desde mi perspectiva, estas soluciones de carácter conceptual que mejoran en Copérnico respecto de Ptolomeo fueron elementos clave de la controversia.

La ventaja más inmediata del movimiento de la Tierra consiste en que es posible explicar, al menos cualitativamente, la retrogradación y los periodos de los planetas a lo largo de la eclíptica sin epiciclos, además de la cercanía de la eclíptica que conservan los planetas inferiores. La identificación de este elemento, puede justificar parte del atractivo que presentaba para algunos la teoría heliocéntrica a pesar de sus carencias de precisión.

La exposición explícita de las ventajas del modelo aparece en los últimos libros de manera particular para cada planeta, dando un buen esquema conceptual. Lo atractivo de una astronomía heliocéntrica era más de orden estético que pragmático. Tenía armonía geométrica, simplicidad y coherencia nuevas.

Los problemas conceptuales, según Laudan, se dan en tres niveles<sup>118</sup>, y en el caso copernicano aparecen todos ellos: la astronomía copernicana afecta a la física aristotélica, al romper el esquema tradicional del universo derivado de atribuirle movilidad a la Tierra y poner en el centro al Sol, aunque no pertenecía propiamente a su ámbito de estudio. También a nivel metodológico, al rechazar el uso del ecuante, buscando sencillez conceptual, que fue justo el mecanismo cosmológico que aportó Ptolomeo. Y, finalmente, el copernicanismo también, y sobre todo, afectó la visión del mundo dominante donde el hombre y por tanto, una Tierra inmóvil, eran el centro del universo, afirmaciones que eran congruentes con elementos ideológicos de la época<sup>119</sup> y con lo que el sentido común confirmaba.

---

<sup>118</sup> Estos niveles aparecen descritos detalladamente en el capítulo 2.

<sup>119</sup> Estos elementos se refieren principalmente al cristianismo.

## **Las Tradiciones de Investigación geocéntrica y heliocéntrica.**

Siguiendo el modelo laudiano, ahora correspondería esbozar qué elementos conforman en las dos tradiciones de investigación, la ontología y la metodología. Estos elementos tendrán que ser una serie de suposiciones generales acerca de las entidades y procesos válidos en ambas teorías.

Las ontologías, es decir las entidades que existen en la teoría geocéntrica y la heliocéntrica son prácticamente iguales, pues no existe algún elemento o concepto que exista en una y que no aparezca en la otra. Sin embargo, en un sentido estricto, las dos esferas concéntricas (la esfera celeste y la Tierra) que se adoptaron de la cosmología aristotélica<sup>120</sup>, sufren una transformación fundamental en el copernicanismo. Para la astronomía heliocéntrica sí existe una esfera celeste exterior que contiene a las estrellas, idéntica a la de Ptolomeo, pero no con la Tierra en su centro. Aparecen los mismos entes pero no conservan la misma relación que en la teoría anterior. Si pensamos el universo de las dos esferas como elemento ontológico, desaparece del heliocentrismo.

Por otro lado, sus elementos metodológicos son también muy parecidos: las observaciones sistemáticas, demostraciones matemáticas (principalmente geométricas), instrumentos de medición (descritos en el capítulo anterior) y los mecanismos cosmológicos. El único elemento metodológico que elimina Copérnico de la astronomía ptolemaica es el ecuante. Esto se debe a que la existencia de un punto diferente del centro geométrico respecto del cual el movimiento angular fuera uniforme, tenía un carácter muy artificial y forzado en la visión copernicana.

Por tanto, podemos ver que las entidades y procesos en ambas tradiciones son casi completamente iguales. Obedeciendo las características de las TI, estos elementos debían guiar la investigación astronómica y el encontrar tantos elementos coincidentes, nos indica que la guía de las investigaciones debió ser parecida. Efectivamente, encontramos muchos elementos de continuidad en las dos teorías y ya exhibimos muchos de ellos. La diferencia fundamental se puede reducir a la posición y movilidad de la Tierra que establece el copernicanismo. Sin embargo, ya es claro que las consecuencias de dicho cambio no son menores.

Por otro lado, según Laudan, la TI se caracterizan por tener una historia larga con diferentes formulaciones. Esto ocurrió de manera sobresaliente en el caso de la astronomía ptolemaica, que durante sus trece siglos de vigencia tuvo múltiples versiones. Cada combinación de los mecanismos usados conformaba una de ellas, pero sin modificarse, esencialmente, las entidades y la metodología usada.

El caso copernicano es más reducido, pues cuando se comenzó a articular, surgió la teoría kepleriana y más tarde la newtoniana, donde ya no era necesario ni adecuado el copernicanismo como tal. En este sentido, se puede decir que el libro de Copérnico fue el inicio de una nueva tradición de investigación que tomaría nuevas formas y caminos.

---

<sup>120</sup> En el capítulo 3 se describe en qué consiste este marco conceptual en el cual se construye la astronomía ptolemaica.

La teoría geocéntrica resultó una TI muy exitosa, bajo la definición laudaniana de éxito científico, pues proporcionó soluciones muy adecuadas y de hecho, sin precedentes, en su contexto por un muy largo periodo. Podía explicar, con alta precisión, el movimiento de las estrellas, el Sol, la Luna y el resto de los planetas. Lo propio hizo el copernicanismo, iniciando sobre todo, con soluciones a problemas conceptuales. Más tarde, en la medida en que se fue articulando, mejoró sus soluciones empíricas proporcionando incluso, un nuevo calendario. Sin embargo, su periodo de éxito fue más breve.

Ambas cumplieron con su papel heurístico, guiando la construcción o modificación de modelos basados en sus premisas o axiomas, y con su papel justificativo incluyendo suposiciones que no provienen directamente de ellas sino de la TI. Por ejemplo: la unificación de la física terrestre y la física celeste que culminó Newton con su teoría de la gravitación universal, es una suposición que tuvo sus inicios con el movimiento de la Tierra, pues al no tener ésta un lugar privilegiado, no hay razón para que los fenómenos terrestres funcionen distinto que en el resto del cosmos. Así, a partir de la teoría newtoniana, la física que explica los acontecimientos terrestres es la misma que explica el funcionamiento del universo.

Ahora, la relación entre una TI y una teoría, explica Laudan, pueden ser de diferente naturaleza. Tomando en cuenta todos los elementos comunes del geocentrismo y del heliocentrismo, cabría la posibilidad de pensar *a priori* que se trata de dos teorías fundamentadas por una misma TI, pues comparten la mayoría de su ontología y metodología, a pesar de ser contradictorias<sup>121</sup>. Sin embargo, más adelante, usando el modelo reticular de la racionalidad, mostraremos que si se trata de dos TI diferentes.

Una de las formas en que una TI guía la investigación científica consiste en justificar la formulación de los problemas, prohibirla o no hacerlo. Estos elementos también se hacen presentes en la transición *copernicana*. Por ejemplo, la infinitud del universo es un problema que está prohibido en Ptolomeo, pues la esfera estelar es finita y fuera de ella no hay nada. En cambio, para Copérnico, el problema no está prohibido pero tampoco justificado. Es posible plantear en la teoría heliocéntrica un universo infinito sin afectarla fundamentalmente, pero no se desprende directamente de la TI.

En la visión laudaniana, la ciencia se desarrolla a través de cambios específicos y continuos de elementos básicos de las teorías; sin embargo, existe continuidad en el carácter de las transformaciones. De nuevo, el geocentrismo y la teoría heliocéntrica presentan cambios en los elementos básicos, como lo son el lugar del Sol y la Tierra, la movilidad terrestre, el uso del ecuante y la búsqueda de la simplicidad. Pero también encontramos elementos abundantes de continuidad como lo son las trayectorias circulares, el movimiento uniforme, los instrumentos usados en las observaciones, el resto de los mecanismos cosmológicos, la importancia de la simetría, etc. Estos elementos de continuidad son los que hacen que, de pronto, pueda no ser tan clara la diferenciación entre una tradición y otra.

---

<sup>121</sup> Esquema que contempla Laudan, como una posible relación entre TI y teorías.



En este cambio científico, se evidencia que la evaluación de una TI se hace en un contexto comparativo y que existen diferentes decisiones ante ésta que pueden ser contradictorias y simultáneas en la comunidad científica. La teoría copernicana fue rechazada por un sector de ésta comunidad<sup>122</sup>, utilizada como técnica de cálculo sin ser aceptada como verdad por otro sector<sup>123</sup> y aceptada como verdadera por otro grupo de astrónomos<sup>124</sup>.

Laudan acierta en su análisis al afirmar que la incompatibilidad de teorías no obliga a los científicos a abandonar alguna, sólo muestra debilidad en ambas. Es importante recordar que en el momento del surgimiento del copernicanismo (la publicación del *Revolutionibus*), éste no alcanzaba mayor precisión que la última versión ptolemeica, de hecho es muy posible que hubiera sido bastante inferior. Este elemento parece justificar las diferentes posturas ante el surgimiento de la nueva teoría, además de evidenciar la complejidad y la duración de la transición.

La solución de problemas no era tan vasta como para realizar una elección contundente, ambas se mostraban insuficientes en alguno u otro sentido, por lo que la elección o actitud de la comunidad científica era diversa y matizada.

Laudan contempla también, atinadamente, que los cambios científicos tienen la posibilidad de tener pérdidas explicativas. La propuesta copernicana, como iniciadora de una nueva TI, presenta estas pérdidas, sobre todo en el ámbito de la precisión teórica. En el momento de la publicación del *De Revolutionibus*, éste resultó cualitativamente progresivo, pero cuantitativamente regresivo al no ser mejores sus aproximaciones. Este elemento forma también parte del desarrollo de la ciencia.

Estos son las características y relaciones que se pueden discernir e identificar a groso modo, dentro de la transición copernicana, a partir de la descripción de las Tradiciones de Investigación que hace Laudan.

### **Ptolomeo y Copérnico en el Modelo Reticular de la Racionalidad Científica.**

Ahora, trataremos de configurar, de manera general, la estructura reticular de la racionalidad científica para el caso geocéntrico y el heliocéntrico, con el fin de analizar si ésta describe dicho cambio científico y cumple con las características que dice su autor.

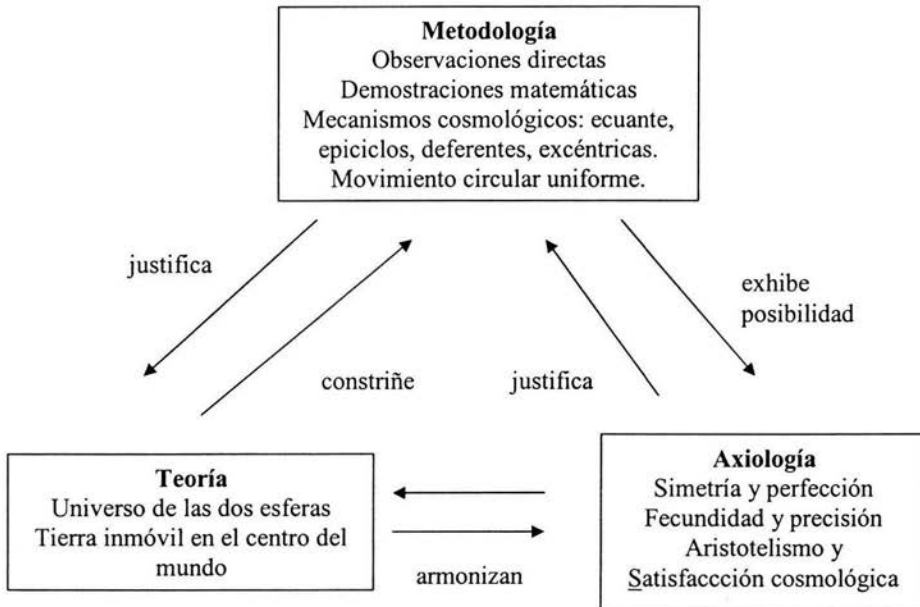
---

<sup>122</sup> Tycho Brae por ejemplo, quien elaboró su propio modelo.

<sup>123</sup> Los instrumentalistas en Wittenberg, Erasmo Reinhold fue el más importante.

<sup>124</sup> Llamados realistas, Giordano Bruno fue el representante más importante en una primera etapa.

## PTOLOMEO



Comenzando por la relación de la **axiología hacia la metodología**, la simetría justifica el uso de mecanismos cosmológicos que usan sólo círculos, así como de órbitas que describen ésta misma trayectoria. El círculo era la figura más representativa de dicha característica.

Por otro lado, la perfección justifica que el movimiento sea uniforme, no concebían, bajo su concepción de lo perfecto, la posibilidad de que no lo fuera. La fecundidad y precisión justifican el uso de observaciones sistemáticas, el rigor matemático de las demostraciones geométricas y la posibilidad elaborar múltiples modelos con diferentes combinaciones de los mecanismos, que brindaran mejores soluciones y mayores explicaciones de los movimientos celestes.

El aristotelismo y la satisfacción cosmológica también justifican el uso del movimiento circular uniforme, pues la asociación de lo simétrico y lo perfecto con el círculo y la uniformidad del movimiento se adopta de las ideas de Aristóteles, en congruencia con el sentido común y con elementos no científicos o ideológicos<sup>125</sup>.

Recíprocamente, en la relación de la **metodología hacia la axiología**, el movimiento circular uniforme y la estructura de los mecanismos cosmológicos exhiben la posibilidad

<sup>125</sup> Se refiere, de nuevo, al cristianismo y la relación ontológica del ser humano.

de realizar o alcanzar los valores se simetría, perfección y de mostrar un universo aristotélico.

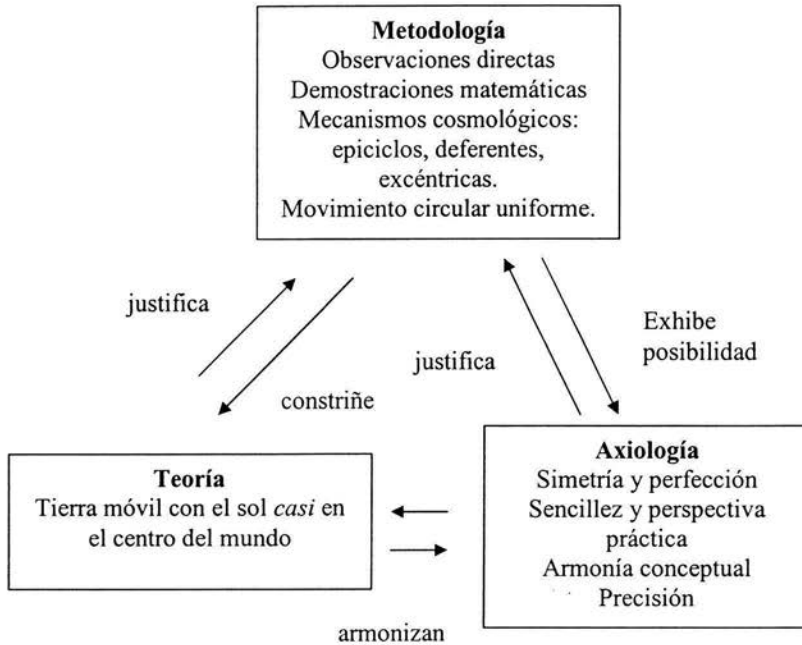
Las múltiples combinaciones de mecanismos posibilitan la fecundidad de la teoría produciendo muchas versiones del modelo con diferentes niveles de adecuación. Simultáneamente, con la matemática y las observaciones sistemáticas, se procuraba la precisión que debía estar contenida en la teoría.

Siguiendo con la relación de **la metodología hacia la teoría**, las observaciones sistemáticas, el rigor matemático y el movimiento circular uniforme justificaban el modelo de las órbitas circulares concéntricas con la Tierra en el centro del mundo inmóvil. Su orden y periodo se adecuaban a los registros cuantitativos, resultado de dichas observaciones. Las explicaciones obedecían a las propiedades y relaciones matemáticas que previamente se demostraban. Los mecanismos eran el elemento fundamental que permitían sostener el orden de las órbitas, describir las irregularidades y retrogradaciones, a costa de elevar cada vez más la complejidad de la teoría.

También, análogamente, en **la relación de la teoría a la metodología**, el modelo teórico constriñe la metodología. Genera el uso de muchos mecanismos cosmológicos para poder sostener el orden de las órbitas y las características de sus trayectorias. Sin embargo, restringe que estos mecanismos tengan una estructura diferente a la circular. Limita las demostraciones matemáticas a aquellas que sean útiles en los esquemas de la teoría, como los ángulos sólidos, trigonometría, etc. Usa sólo las observaciones que le permiten mantener y explicar la estructura del mundo geocéntrico y los eventos en él contemplados.

Finalmente la relación **entre la teoría y la axiología**, muestran una armonía inmediata entre el universo de las dos esferas, la Tierra inmóvil y en el centro del mundo con la simetría y perfección buscadas. La satisfacción cosmológica vinculada con el hombre como centro del universo, el sentido común y los elementos externos son completamente compatibles con el modelo de Ptolomeo y todas sus consecuencias. Además, resultaba congruente con la física aristotélica, al tiempo que brindaba precisión y fecundidad.

## COPÉRNICO



Podemos ver que en la relación **de la axiología a la metodología**, la simetría y perfección siguen justificando todos los mecanismos cosmológicos (a excepción del ecuante que se elimina) y el movimiento circular uniforme de la misma manera en que ocurre con el geocentrismo. La armonía conceptual así como la sencillez justifican la eliminación del uso de ecuante, que resultaba un mecanismo un tanto artificial. La precisión, justifica las observaciones sistemáticas y las demostraciones matemáticas.

Recíprocamente, **de la metodología a la axiología**, el movimiento circular uniforme y los mecanismos cosmológicos exhiben la posibilidad de simetría y perfección. La eliminación del ecuante, hace lo propio con la sencillez y armonía conceptual. Al igual que las demostraciones y observaciones posibilitan la precisión.

En la relación **de la metodología a la teoría**, ésta justifica exactamente igual que en el caso geocéntrico la teoría, pues únicamente se cambian de papel la Tierra y el Sol, pero las características de los movimientos y mecanismos son los mismos, con excepción del ecuante. Estos mecanismos describen los, ahora, aparentes movimientos celestes y sus irregularidades, usando las observaciones y las demostraciones matemáticas.

**De la teoría a la metodología**, la primera constriñe la segunda también de la misma forma que lo hace el caso de Ptolomeo. El ecuante no se constriñe por la teoría, sin embargo se elimina de ésta.

Finalmente tal vez el caso más complicado en el copernicanismo es el de la armonía entre la teoría y la axiología. La simetría y perfección quedan en completa armonía con el modelo heliocéntrico pues se conservan las trayectorias circulares y el movimiento uniforme. La armonía conceptual también armoniza con la explicación de las retrogradaciones, la ordenación y periodos de las órbitas, a diferencia del caso geocéntrico.

Sin embargo, la sencillez y la perspectiva práctica no llegan a ser tan armónicas con el nivel de complejidad que también logró el modelo copernicano, a pesar de que estas eran sus motivaciones. Así como tampoco logró la precisión deseada. Esto puede explicarse por el hecho de que el copernicanismo constituye el nacimiento de una tradición que no está aún suficientemente articulada ni terminada. Es por esto que en esta primera versión el modelo que propone la movilidad terrestre, no alcanza la practicidad que impulsa su nacimiento, ni la precisión pretendidas.

Por otro lado, el universo de las dos esferas ya no resulta ser un elemento indispensable del modelo, de hecho, de manera implícita las consecuencias del modelo entran en contradicción con el discurso que éste sustenta. Por lo que, la propuesta que no pretende ser un elemento de ruptura, contiene elementos que parece la hacen inminente.

Comparando la red triádica de cada teoría podemos observar que, tal como afirma Laudan, no hay una estructura privilegiada que se mantenga fija. Todas ellas pueden cambiar sin orden ni jerarquía preestablecidas. Pero también podemos observar que estas pueden **cambiar parcialmente**, es decir, sólo en ciertos aspectos tal y como sucede en el cambio al copernicanismo. La metodología sólo elimina un elemento, el ecuante. La axiología conserva en común la simetría y perfección, cambia otros elementos o los pesa de manera diferente como la armonía conceptual, que es más importante en Copérnico. La teoría cambia el marco de referencia, invirtiendo el papel de la Tierra y el Sol y expone las consecuencias de estos cambios, pero otros elementos del modelo se conservan como la posición del resto de los planetas, la Luna y la esfera celeste.

Efectivamente, las modificaciones son paulatinas en los tres niveles (A,T,M) independientes unas de las otras, al menos de manera inmediata. El cambio no es abrupto ni total como decía Kuhn. Sí parecería más, en este sentido, una evolución que una revolución. Sin embargo, sí es claro que se trata de una nueva TI pues ninguno de los tres elementos de la red se mantiene sin alteración, todos sufren alguna modificación por lo que nos encontramos en una transición de  $A_1, T_1, M_1$  a  $A_2, T_2, M_2$ , indicador del nacimiento de una nueva tradición, aunque los cambios de 1 a 2 son parciales.

En cuanto a la crítica de Worrall, no parece existir en este cambio, a pesar de la conservación casi total de la metodología, algún elemento que tenga que permanecer constante o fijo. De hecho, en retrospectiva, prácticamente todos los elementos de estas metodologías han sido ya rebasados como tales y modificados en la astronomía actual.

De acuerdo con la definición que da Laudan de racionalidad científica y su diferenciación con el progreso científico, el cambio copernicano puede afirmarse esencialmente racional, en el sentido de que respondía a sus metas científicas en su momento (medios y fines congruentes) a pesar, de que no se hayan alcanzado a realizar plenamente, pues como ya se dijo, se trataba de una tradición que nacía y le faltaba mucho por desarrollar aún. Trató de construir un nuevo modelo para alcanzar una practicidad técnica y armonía conceptual que no había, usando los medios avalados por la comunidad científica.

El progreso en este caso es mucho más obvio, se trata de una tradición claramente progresiva, pues en nuestra perspectiva el cambio de lugar y carácter de la Tierra en el modelo cosmológico fue un cambio que responde completamente a nuestros fines y que históricamente permitió el desarrollo de otras teorías que mejorarían de manera determinante la astronomía y la física.

En cuanto a la inconmensurabilidad, no creo que sea completamente eliminada con el planteamiento de Laudan, pues la elección del cambio científico no es clara e inmediatamente resuelta de manera objetiva. Se resuelven algunos problemas y se generan otros, por lo que la decisión definitiva sólo se ve a largo plazo. Las metas cognitivas se pesan diferenciadamente por los elementos de la comunidad científica y parecería que si se cuelan elementos inconmensurables que sólo se van resolviendo paulatinamente y a largo plazo, pero que sí existieron. Sobre todo en el instante en que ambas teorías tenían ventajas y desventajas de alguna índole, pues la comunidad prioriza o sobrevalora unas u otras de manera arbitraria o de acuerdo con el contexto, pero no de manera completamente objetiva o neutral. Sin embargo, tampoco parece ser un elemento que invada o determine de manera definitiva las elecciones o cambios científicos como pudo haber sugerido Kuhn. .

**ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA**

## Conclusiones

Finalmente, analizaremos de manera puntual si las ideas sintetizadas acerca de la propuesta laudaneana se cumplen en el cambio científico al copernicanismo:

Efectivamente, la ciencia parece resolver problemas que están determinados por nuestras redes teóricas y que pueden ser de tipo empírico o conceptual, cuya importancia varía de acuerdo a distintas situaciones. En éste caso, el problema general del movimiento de los cuerpos celestes.

También es cierto que las teorías tanto geocéntrica como heliocéntrica constituyeron respuestas a estos problemas y se encontraban en unidades de análisis generales que contenían características como las de las Tradiciones de Investigación.

Las ontologías y metodologías de estas tradiciones guiaron, en su época, la investigación astronómica a través de sus entidades y procesos, particularizándose a través de sus teorías.

A través de ésta unidad fue posible explicar, a groso modo, la evolución, evaluación y cambio del geocentrismo al heliocentrismo con algunas variaciones.

Los acuerdos y desacuerdos entre estas dos teorías se describen con un nivel de adecuación aceptable a través del modelo reticular de la racionalidad, aunque se requiere de un análisis más minucioso para exhibir y explicar todos los elementos que intervinieron.

Los niveles de la red triádica no se encontraron jerarquizados o privilegiados y cambiaron de manera individual. Sin embargo también lo hicieron de manera parcial y simultánea.

En el cambio al copernicanismo se modificaron los tres niveles de la red, aunque ninguno cambió completamente, ¿La revolución científica por excelencia, no es más que la evolución de una Tradición de Investigación? La respuesta es no, se trata de dos tradiciones de investigación diferentes, que concebían dos cosmos diferentes a pesar de sus abundantes elementos de continuidad. Una de ellas abría, tal vez sin quererlo, una gran cantidad de posibilidades diferentes a la nueva estructura del universo, pero apenas estaba naciendo.

El cambio copernicano resultó paulatino y la revolución parecía más una evolución. Parece que la ciencia tiene esa forma, una especie de continuo en constante cambio.

El análisis laudaniano indica que se encontró una salida racional al cambio copernicano y se minimizó la incomensurabilidad, pero no parece haberse eliminado completamente. La postura definitiva ante el copernicanismo tardó muchos años, por lo que la elección *objetiva* no fue inmediata. El movimiento terrestre no fue aceptado de manera general hasta la teoría de la gravitación de Newton, a pesar de que importantes personajes

científicos como Galileo o Kepler fueran firmes defensores de ésta hipótesis y de que aportaran elementos en su favor.

El cambio satisface el concepto instrumentalista de racionalidad a largo plazo, y progreso científico, pues la llamada por Kuhn, *revolución copernicana* resultó racional y progresiva globalmente.

El problema de la verdad resultó disuelto, con la resolución de problemas, pues ambas teorías están rebasadas en la actualidad.

### **Un comentario general.**

En realidad, el cambio al copernicanismo, se trata del punto de partida de una nueva tradición astronómica y cosmológica, al tiempo que la culminación de la tradición antigua. El cambio no es menor, pero tampoco es total.

Parece que la connotación que se le atribuye frecuentemente a la famosa *revolución copernicana* como el gran cambio científico, tiene origen en dos aspectos. Por un lado, todas las posibilidades científicas y astronómicas que el planteamiento copernicano permitió posteriormente, y por otro, algunos elementos no científicos que influyeron en la visión de la transformación científica. Algunos de éstos factores fueron: la pérdida del hombre como centro del universo y las implicaciones teológicas que este hecho tenía, la desconfianza en una experiencia ingenua, la idea de que las mismas leyes rigen todo el universo y el hombre puede descubrirlas y fijarlas.

*“Así pues, la importancia del De revolutionibus está menos en lo que dice que en lo que ha hecho decir a otros, provocador más que revolucionario”<sup>126</sup>.*

Estrictamente, sólo rompe la tradición en cuanto a la posición y movilidad de la Tierra, cambia el marco de referencia. El marco cosmológico, su física terrestre y celeste, procedimientos matemáticos y su metodología pertenecen a la tradición establecida por los científicos antiguos y medievales. Por lo que se trata de una mezcla de dos tradiciones, la continuidad es evidente. Globalmente se sitúa casi por completo en la tradición astronómica y cosmológica de la antigüedad con una doble naturaleza: *antiguo y moderno, radical y conservador*<sup>127</sup>.

Aunque la revolución copernicana no fuera por encima de todo una revolución en las técnicas matemáticas empleadas para calcular la posición de los planetas, tuvo su origen en este campo, pues existían un conjunto de datos inservibles de malas observaciones, de tal manera que era imposible hacer un modelo exitoso que explicara todos ellos, por lo que había confusión e imprecisión constantes. La influencia neoplatónica de Copérnico le ayudó a darse cuenta de la necesidad de generar esa nueva técnica (buscando lo matemáticamente puro).

---

<sup>126</sup> Kuhn, (1957), p. 187.

<sup>127</sup> Kuhn, (1957), p. 187.



Sin embargo, esta necesidad no se satisface con el libro de Copérnico, pero sí fue un instrumento fundamental en el proceso. Copérnico más bien insistió en la admirable simetría y el nexo de armonía entre el movimiento y la magnitud de las órbitas. Dichos argumentos no son pragmáticos, no apelan al sentido utilitario de un astrónomo, pues no aumenta la precisión.

Históricamente, el libro de Copernico no se convirtió de manera inmediata en un rival del Almagesto, primero se trató como una obra de referencia para los que se ocupaban de los problemas fundamentales de la astronomía. Esto no significa que éstos se convencieran de la movilidad de la Tierra, sino que usaban su técnica a través de la enseñanza, obras e investigación de algunos hombres.

El copernicanismo fue ganando terreno de forma inexorable, aunque los científicos que se adherían a la nueva hipótesis eran una minoría. Para otro grupo de científicos<sup>128</sup>, el movimiento de la Tierra se consideraba una ficción matemática, adoptaron las técnicas del modelo (instrumentalistas), cuya utilidad se restringía a efectos de cálculos (Andreas Osiander), esto se puede interpretar como una presencia implícita del copernicanismo.

Sin embargo, es claro que esta idea no concernía exclusivamente, ni preferentemente a los astrónomos: *Lo que estaba en juego era bastante más que una representación del universo o unas pocas líneas de las Escrituras. El drama de la vida cristiana y la moralidad edificada sobre él... implicaban una transformación de la forma en que el hombre concebía su relación con Dios y las bases de su moral*<sup>129</sup>.

En fin, después de este análisis, lo que sí es claro es que las mayores conmociones de los conceptos fundamentales de la ciencia se producen en forma gradual.

Concluyendo, el modelo de Laudean se adapta globalmente, de una manera adecuada, a la descripción de la *transición al copernicanismo*. Esto permite responder, de una manera medianamente satisfactoria a las preguntas más frecuentes de la actividad científica para éste caso particular. Sin embargo, hace falta un análisis más fino.

Explica el cambio copernicano de una manera racional y paulatina a pesar de las grandes consecuencias que éste tendría en la transformación de la ciencia.

Por último, la revolución copernicana se puede pensar como tal, en el sentido de las posibilidades y caminos que abrió a la astronomía y la física, y de la manera en que influyó en la transformación ideológica de la época. No por haber sido un cambio abrupto o total de una forma de pensar y describir el universo.

---

<sup>128</sup> Este grupo de astrónomos trabajaba en la universidad de Wittenberg, utilizaron el modelo copernicano para realizar cálculos, sin aceptar como verdadero el movimiento terrestre, uno de sus representantes más importantes fue Andreas Osiander.

<sup>129</sup> Kuhn, (1957), p. 255.

## **Bibliografía**

- BEISER, A. Concepts of Modern Physics. 5a. Ed. Editorial Mc Graw Hill. U.S.A., 1995. 534p.
- COPÉRNICO, N. Sobre las Revoluciones de los Orbes Celestes. Editora Nacional. Madrid, España, 1982. 550p.
- FEYERABEND, P. Tratado Contra el Método. Editorial Tecnos. Madrid España, 1981.
- HESSEN, B. Las Raíces Socioeconómicas de la Mecánica de Newton, Introducción a la Teoría de la Historia de las Ciencias. Compilador: Juan José Saldaña. U.N.A.M., México, D.F., 1989. pp79-146.
- KUHN, T. S. La Revolución Copernicana. Hyspamerica Ediciones Argentina, S.A. Buenos Aires, Argentina, 1978. Vol. 1 y II, 380 p.
- KUHN, T. S. La Estructura de las Revoluciones Científicas. Fondo de Cultura Económica, Colección Breviarios. México, D.F. 1995. 320p.
- LAKATOS, I. La Falsación y la Metodología de los Programas de Investigación Científica. Lakatos I. y Musgrave, A., 1975.
- LAUDAN, L. Progress and Its Problems. University of California Press, Berkeley, Los Ángeles, California U.S.A., 1977. 247p.
- LAUDAN, L. Science and Values. The Aims of Science and their Role in Scientific Debate. University of California Press, Berkeley, Los Ángeles, California U.S.A., 1984.
- LAUDAN, Larry. If It Ain't Broke, Don't Fix It. British Journal of Science, 40. 1988, pp 369-375.
- MARQUINA, J.E. La Tradición de Investigación Newtoniana. Tesis doctoral UAM-I. México, D.F., 2003. 201p.
- PÉREZ Ransanz, A. R. Modelos de Cambio Científico. Moulines, C.U., 1993, pp181-202.
- WORRALL, J. The Value of a Fixed Methodology. British Journal of Science, 39. 1988, pp.263-275.
- WORRALL, J. Fix it and be Dammed: A Reply to Laudan. British Journal of Science, 4 . 1988, pp.376-387.