

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

---

---



**FACULTAD DE CIENCIAS**

**“UNA INTERPRETACION KUHNIANA DE  
LA OBRA DE GALILEO”.**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**F Í S I C A**

P R E S E N T A :

**ENGRACIA VAZQUEZ CASTRO**

DIRECTOR DE TESIS: DR. JOSE ERNESTO MARQUINA FABREGA

2004



**FACULTAD DE CIENCIAS  
SECCION ESCOLAR**

---

---





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA 14  
MEXICO

**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:  
 "Una interpretación kuhniana de la obra de Galileo"

realizado por Vázquez Castro Engracia

con número de cuenta 7127766-6 , quien cubrió los créditos de la carrera de: Física.

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

**Atentamente**

Director de Tesis  
 Propietario

Propietario Dr. José Ernesto Marquina Fábrega

Propietario Dr. Shahen Hacyan Saleryan

Propietario Dr. Luis Estrada Martínez

Suplente M. en C. José Catarino Miguel Nuñez Cabrera

Suplente Dr. Eduardo González de Luna

Consejo Departamental de



DRA. PATRICIA GOLDSTEIN MENACHE D. CIENCIAS  
 Coordinadora de Licenciatura en Física

Dedicado a:  
Alberto y Ana

Para:  
Mi padre  
y  
Mi madre

Gracias a ...

Dr. José Ernesto Marquina Fábrega, por su  
paciencia infinita.

Dr. Shahen Hacyan Saleryan, Dr. Luis Estrada  
Martínez, M. en C. José Catarino Miguel Núñez  
Cabrera y Dr. Eduardo González de Luna, por sus  
comentarios sobre este trabajo.

Mis hermanos, los directos y los agregados, y a  
mis amigos, por su eterno apoyo.

En algún apartado rincón del universo centelleante, desparramado en innumerables sistemas solares, hubo una vez un astro en el que animales inteligentes inventaron el conocimiento. Fue el minuto más altanero y falaz de la "Historia Universal"; pero, a fin de cuentas, sólo un minuto. Tras breves respiraciones de la naturaleza el astro se heló y los animales inteligentes hubieron de perecer.

Alguien podría inventar una fábula semejante pero, con todo, no habría ilustrado suficientemente cuán lastimoso, cuán sombrío y caduco, cuán estéril y arbitrario es el estado en el que se presenta el intelecto humano dentro de la naturaleza. Hubo eternidades en las que no existía; cuando de nuevo se acabe todo para él, no habrá sucedido nada, puesto que para ese intelecto no hay ninguna misión ulterior que conduzca más allá de la vida humana. No es sino humano, y solamente su poseedor y creador lo toma tan patéticamente como si en el girasen los goznes del mundo.

Federico Nietzsche

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I	
LAS REVOLUCIONES CIENTÍFICAS DE THOMAS S. KUHN .....	3
CAPÍTULO II	
EL PARADIGMA ARISTOTÉLICO-TOLOMEICO EN LA EDAD MEDIA .....	11
CAPÍTULO III	
LA CRISIS DEL PARADIGMA DE LA EDAD MEDIA .....	19
CAPÍTULO IV	
EL PARADIGMA DE GALILEO .....	25
CONCLUSIONES .....	35
BIBLIOGRAFÍA .....	38

## INTRODUCCIÓN

En el desarrollo de la ciencia, muchas veces el historiador debe reconocer que los cambios no se pueden describir simplemente como la sustitución lógica de una teoría por otra. Thomas S. Kuhn propuso una explicación, a través de *revoluciones*, para los saltos no acumulativos en la historia de la ciencia.

Kuhn explica cómo un *paradigma* determina un periodo de *ciencia normal*, dentro del cual aparecen, en algún momento, una o más *anomalías*. Los científicos entran entonces en una *crisis*, que los obliga a proponer nuevas explicaciones en competencia. La *revolución* se resuelve cuando queda establecido un nuevo paradigma y un nuevo periodo de *ciencia normal*.

Durante la revolución científica de los siglos XVI y XVII, que se inició con la publicación de *De Revolutionibus Orbium Coelestium* de Nicolás Copérnico, la obra de Galileo modificó, a la vez, la forma del quehacer científico, las explicaciones del movimiento de los cuerpos y la visión de la física.

El interés de este trabajo es utilizar los planteamientos hechos por Kuhn en la *Estructura de las Revoluciones Científicas*,



para describir el salto histórico desde el paradigma aristotélico-tolomeico, vigente en la ciencia de los siglos XV y XVI, al paradigma de Galileo, que preparó el desarrollo de la mecánica clásica y de toda la física de los siglos XVII y XVIII.

En el primer capítulo se exponen los fundamentos del concepto de revolución científica de Kuhn. El capítulo dos trata de la astronomía y la física de la Edad Media, tomadas de las obras de Ptolomeo y Aristóteles, y avaladas por la Iglesia.

En el capítulo tercero se describe cómo el paradigma aristotélico entra en crisis, en el siglo XVI; a partir de la necesidad de una nueva explicación del movimiento de los cuerpos, para un universo nuevo.

Finalmente, en el capítulo cuatro, se presenta la obra de Galileo y cómo éste se enfrentó, con todos los recursos a su alcance, tanto a la oposición de la Iglesia, como a la resistencia de los estudiosos en aras de convencer al mundo del sistema heliocéntrico.

## CAPÍTULO I

### LAS REVOLUCIONES CIENTÍFICAS DE THOMAS S. KUHN

Un hombre es científico no por lo que ve,  
sino por cómo lo ve.

Theodore Roszak<sup>1</sup>

En 1962 Thomas S. Kuhn publicó su obra *La Estructura de las Revoluciones Científicas*, en la que expuso por primera vez su teoría sobre el desarrollo histórico de la ciencia.

**Paradigmas:** Según Kuhn, los paradigmas funcionan como un marco global para el trabajo de una comunidad científica. Determinan a la vez el estilo y el campo de investigación, así como las teorías, las metodologías, los problemas a resolver e incluso el tipo de soluciones que se van a aceptar. En una de las muchas definiciones que da Kuhn, plantea que los paradigmas son:

... realizaciones científicas universalmente reconocidas que, durante cierto tiempo, proporcionan modelos de problemas y soluciones a una comunidad científica.<sup>2</sup>

Sólo en las etapas tempranas de un campo, los científicos trabajan sin estos lineamientos, pero la adquisición de un paradigma compartido es lo que determina la madurez de la ciencia. El paradigma es aceptado cuando demuestra que es mejor

---

<sup>1</sup> Roszak, T. (1981), p. 229.

<sup>2</sup> Kuhn, T. S. (1985), p. 13.

que sus competidores, mas no necesita explicar, y en efecto nunca lo hace, todos los hechos que se puedan confrontar con él.<sup>3</sup>

Un elemento muy importante de los paradigmas es que no sólo indican al científico cómo debe trabajar y en qué, sino que además le proporcionan el encuadre necesario para observar los fenómenos en los que trabaja. Un paradigma no es una forma de interpretar la realidad, es una forma de verla, ya que, a decir de Kuhn:

... podemos llegar a sospechar que es necesario algo similar a un paradigma como requisito previo para la percepción misma. Lo que ve un hombre depende tanto de lo que mira como de lo que su experiencia visual y conceptual previa lo ha preparado a ver.<sup>4</sup>

Cada paradigma da una definición más rígida de un campo de investigación y, de igual forma, del grupo de científicos que trabajan en él, durante un periodo de tiempo que Kuhn llama *ciencia normal*.

**Ciencia normal:** En estos periodos los científicos se ocupan primeramente de los hechos que el paradigma muestra como importantes, en segundo lugar acoplan otros hechos con las predicciones de la teoría y en tercer lugar articulan la teoría del paradigma. Realizan una labor de limpieza tratando que la naturaleza entre en los límites propuestos por el paradigma.<sup>5</sup>

---

<sup>3</sup> Cf. *Ibid*, pp. 35 y 44.

<sup>4</sup> Según William James "En ausencia de esa preparación sólo puede haber una confusión floreciente y zumbante ("a bloomin' buzzin' confusion)". Cit. por Kuhn, T. S. (1985), p 179.

<sup>5</sup> Cf. Kuhn, T. S. (1985), pp. 52, 54, 55 y 57.

Para Kuhn el trabajo que se realiza dentro de la ciencia normal es como resolver enigmas, planteando problemas que prueban la capacidad de resolverlos y que, de alguna manera, tienen una o varias soluciones garantizadas por el paradigma. Dice Kuhn:

Los enigmas son, en el sentido absolutamente ordinario que empleamos aquí, aquella categoría especial de problemas que puede servir para poner a prueba el ingenio o la habilidad para resolverlos.<sup>6</sup>

De esta manera la comunidad queda aislada de problemas que no pueden reducirse a la forma de enigmas, a pesar de que pudieran ser más importantes.<sup>7</sup>

La ciencia normal no tiene el propósito de provocar nuevos fenómenos y, frecuentemente, no puede ni siquiera verlos. En general no produce nuevas teorías y no acepta la formulación de otras. El mérito de la ciencia normal reside en que se ocupa de zonas muy pequeñas de la naturaleza, lo que le permite enfocarse en algunos problemas específicos de una manera muy detallada y profunda.

Sin embargo, algo produce que los científicos realicen nuevos descubrimientos, que formulen y adopten paradigmas diferentes. La clave del progreso de la ciencia debe estar entonces dentro de la ciencia normal.

**Anomalía, crisis y emergencia de teorías:** El paradigma es el marco en donde se resalta la aparición de problemas que no

---

<sup>6</sup> *Ibid.*, p. 70

<sup>7</sup> *Cf. Ibid.*, p. 71

encuentran respuesta dentro de la ciencia normal, y que exigen una solución. En determinado momento el científico reconoce que ha descubierto algo en la naturaleza, que no se ajusta a las expectativas de la ciencia normal.

El descubrimiento va acompañado de una resistencia a aceptar fenómenos diferentes, a abandonar el paradigma aceptado y a ver la anomalía como un ejemplo en contrario. Ante una anomalía importante, el científico frecuentemente intenta darle estructura, aplicando las reglas de la ciencia normal con mayor fuerza. En este periodo, su actividad es más parecida a la que se piensa que realizan los científicos; prueba experimentos en busca de algún efecto nuevo; genera teorías especulativas que, si funcionan, desembocarán en un nuevo paradigma, y si no, se desechan.

La aparición de anomalías provoca una crisis dentro de la comunidad científica, que se manifiesta por la proliferación de teorías rivales, como sucede antes de la adopción del primer paradigma de una ciencia. El nuevo paradigma, que permite que el fenómeno anómalo se considere científico, no consiste en la adición de algún elemento a la teoría, sino que implica la adopción de una manera diferente de ver la naturaleza.

Como dentro de la ciencia normal las reglas y los principios están ya sentados por el paradigma, los científicos se mantienen apartados de la filosofía; pero durante la investigación no-

ordinaria, recurren al análisis filosófico como un instrumento para resolver la crisis, escribe Kuhn:

Creo que es, sobre todo, en los periodos de crisis reconocida, cuando los científicos se vuelven hacia el análisis filosófico como instrumento para resolver los enigmas de su campo. Los científicos generalmente no han necesitado ni deseado ser filósofos.<sup>8</sup>

**Revoluciones científicas:** Kuhn considera una revolución científica como el episodio en que un antiguo paradigma es reemplazado por otro incompatible con el anterior, a través de un proceso no acumulativo.<sup>9</sup>

El termino "revolución" tiene que ver con el hecho de que, a la manera en que se resuelve una revolución política, cuando empieza una discusión para la elección entre paradigmas, cada grupo emplea su propio paradigma. La discusión se vuelve circular y apela más a la persuasión que a la lógica. La aceptación por la comunidad es el criterio final para la elección.

Es inevitable el conflicto entre el paradigma que descubre una anomalía y otro en el cual ese fenómeno no sea anómalo, debido a que ambas teorías son lógicamente incompatibles y producen diferentes conjuntos de predicciones.

La observación de la historia deja ver que las teorías nuevas y los nuevos fenómenos exigen la destrucción del paradigma anterior tras el conflicto entre paradigmas rivales. Si la ciencia tuviera un desarrollo acumulativo, los nuevos fenómenos

---

<sup>8</sup> Cf. Kuhn, T. S. (1985), p. 143.

<sup>9</sup> Cf. *Ibid*, p. 149.

corresponderían a partes de la naturaleza que no se habían observado antes, en lugar de reemplazar lo que ya se conoce.<sup>10</sup>

Las diferencias entre paradigmas no sólo son inevitables sino que son necesarias; indican cosas nuevas sobre la naturaleza y sobre la ciencia que se ocupa de esa naturaleza, de manera que la nueva ciencia puede ocuparse de problemas que probablemente no existían para el antiguo paradigma. Esta nueva ciencia normal puede incluso no parecerse en nada a la anterior.<sup>11</sup>

El procedimiento para probar las teorías consiste siempre en confrontar entre sí los paradigmas rivales; ninguna teoría se prueba, únicamente, en concordancia con los hechos, ya que en la historia, todas las teorías han estado relativamente acordes con lo hechos. El problema es que bajo paradigmas distintos los problemas, las reglas para resolverlos e incluso lo que cada paradigma define como ciencia son muy distintos, y no es posible establecer las condiciones de prueba; cada paradigma determinaría problemas diferentes.<sup>12</sup> Incluso, a pesar de que algunos términos e instrumentos del antiguo paradigma sean heredados al nuevo, las relaciones entre ellos serán totalmente diferentes.

La inconmensurabilidad, entendida como la imposibilidad de evaluar con un solo criterio, entre los paradigmas rivales alcanza a situar a los científicos dentro de experiencias que también son inconmensurables, como menciona Kuhn:

---

<sup>10</sup> Cf. *Ibid*, pp. 157 y 154.

<sup>11</sup> Cf. *Ibid*, p. 166.

<sup>12</sup> Cf. Kuhn, T. S. (1985), pp. 229 y 230.

En un sentido que soy incapaz de explicar de manera más completa, quienes proponen los paradigmas en competencia practican sus profesiones en mundos diferentes.<sup>13</sup>

Cada grupo de científicos ve al mundo, y aunque no ven cualquier cosa que deseen, ven las cosas de una forma diferente, en relaciones diferentes unas con otras. Uno de los grupos tendría que adoptar el otro paradigma, pero la mayoría de los científicos no experimentan jamás tal conversión. En palabras de Planck:

... una nueva verdad científica no triunfa por medio del convencimiento de sus oponentes, haciéndolos ver la luz, sino más bien porque dichos oponentes llegan a morir y crece una nueva generación que se familiariza con ella.<sup>14</sup>

Para el triunfo de un paradigma no son importantes las pruebas sobre su capacidad de resolver problemas pasados, es más importante lo que promete para resolver problemas futuros. La fe que los científicos tengan en el nuevo paradigma permitirá que éste se desarrolle lo suficiente para mostrar nuevas posibilidades.<sup>15</sup> Como menciona Scriven:

... las leyes y las generalizaciones son tan necesarias que estamos dispuestos a perdonarles un alto grado de inexactitud si nos simplifican el repertorio de posibilidades.<sup>16</sup>

Toda revolución representa ganancias y pérdidas, aporta soluciones a nuevos problemas y abre un nuevo periodo de ciencia

---

<sup>13</sup> *Ibid*, p. 233.

<sup>14</sup> Max Plank, *Scientific autobiography and other papers*. (Cit. por Kuhn, T. S. (1985), p. 234).

<sup>15</sup> Cf. Kuhn, T. S. (1985), p. 244.

<sup>16</sup> Scriven, M. (1974), p. 98.



normal. El progreso científico existe, pero no lleva precisamente hacia la verdad sobre la naturaleza, en el sentido de la correspondencia entre lo que una teoría dice y lo que "realmente existe", como se describe tradicionalmente. Una de las afirmaciones más importantes de Kuhn es que:

Para ser más precisos, es posible que tengamos que renunciar a la noción, explícita o implícita, de que los cambios de paradigma llevan a los científicos, y a aquellos que de tales aprenden, cada vez más cerca de la verdad.<sup>17</sup>

Mas no es necesaria una meta tal como estar más cerca de la verdad. El proceso de las revoluciones científicas describe el desarrollo de la ciencia desde un inicio primitivo y cada vez elabora explicaciones más sofisticadas, detalladas y refinadas de la naturaleza; no es un proceso *hacia* algo.

---

<sup>17</sup> Kuhn, T. S. (1985), p. 262.

## CAPÍTULO II

### EL PARADIGMA ARISTOTÉLICO-TOLOMEICO EN LA EDAD MEDIA.

23 Pongamos exemplo, comenzando del mismo hombre: el qual segun Aristoteles, es como fin, para cuyo servicio la Divina providencia disputò todas las cosas de este mundo inferior.

Fray Luis de Granada<sup>1</sup>

Durante la alta Edad Media, la Iglesia se mostró hostil con la ciencia, sus miembros enseñaban que las escrituras contenían todos los conocimientos necesarios y que la ciencia era un saber profano. San Agustín (354-430 d.c.) escribió un manual para el uso de los cristianos en el que recomendaba no preocuparse por saber de aspectos científicos:

Al cristiano le basta creer que la única causa de todas las cosas creadas, celestes o terrestres, visibles o invisibles, es la bondad del Creador, el único Dios verdadero y que nada existe salvo Él mismo, cuya existencia no tenga su origen en Él.<sup>2</sup>

En el siglo IV, Lactancio, maestro del emperador Constantino, ridiculizó la idea de que la Tierra era esférica, debido a que la Biblia describía la creación de una Tierra plana y de un cielo desplegado por Dios sobre la Tierra, como una cortina. Ideas como ésta son una muestra de la decadencia de la ciencia al inicio de la Edad Media.<sup>3</sup>

---

<sup>1</sup> Granada, F. L. (1711), p. 70. Tomado de la fuente original, en español antiguo.

<sup>2</sup> San Agustín, *Enquiridion*. (Cit. por Kuhn, T. S. (1994), p. 152).

<sup>3</sup> Cf. Kuhn, T. S. (1994), p. 153.

A partir del siglo X, las obras de los filósofos de la antigüedad, incluyendo los escritos de Aristóteles (384-322 a.c.), llegaron a Europa traducidos al árabe. Los estudiantes europeos se reunían para discutir sobre aquellas obras y dieron origen a las universidades<sup>4</sup> y a la tradición escolástica<sup>5</sup>.

Como consecuencia, en 1210, un concilio eclesiástico prohibió la enseñanza de las ideas de Aristóteles, hasta que Santo Tomás de Aquino (1225-1274) y sus contemporáneos se encargaron de incorporar la cosmología de Aristóteles a la teoría católica y de certificar que la ciencia y la fe fueran compatibles.<sup>6</sup>

A pesar de que se había formado dentro de la doctrina de las Ideas de Platón, Aristóteles postulaba que sentir y experimentar las cosas era el principio del conocimiento. Su trabajo científico es más refinado y más exacto que ninguno anterior. En los *Analíticos*, Aristóteles explica que se debe partir de la observación de los fenómenos para poder encontrar el conocimiento; aunque en realidad utiliza los fenómenos más como una prueba que como una base de la explicación. En su *Física*, para demostrar sus hipótesis, Aristóteles recurre a la dialéctica, a la reducción al absurdo o incluso a la retórica; en parte debido al hecho de que "los científicos" no tenían un lenguaje ya establecido que les permitiera usar algunos términos sin tener que aclararlos en cada ocasión.<sup>7</sup>

---

<sup>4</sup> Del latín *universitas*, que significa gremio o asociación.

<sup>5</sup> Del griego *schole*, que significa la distracción y el ocio creativo.

<sup>6</sup> Cf. Kuhn, T. S. (1994), p. 154.

<sup>7</sup> Cf. Düring, I. (1987), pp. 53 y 476.

Aristóteles dividió su filosofía en "filosofía primera" que se refería al estudio de las cosas por ser entes, y "filosofía segunda", la parte científica, que estudiaba a los entes como móviles; en donde formuló una teoría del movimiento de los cuerpos y un estudio de los seres vivos.<sup>8</sup>

En el modelo del universo de Aristóteles, cada planeta, incluyendo al Sol y la Luna, estaba en una esfera diferente, todas en orden hacia afuera desde la Tierra en el centro. La última esfera, que contenía las estrellas, era movida por un *Primum Mobile* desde fuera. El movimiento se transmitía a las esferas inferiores a través de una sustancia, el *plenum*, que lo llenaba todo.<sup>9</sup>

Como parte del paradigma, la teoría de Aristóteles explicaba cómo y por qué se mueven las cosas en ese universo. Debido al movimiento natural de los cuatro elementos, la tierra tiende hacia el centro del universo, la Tierra, mientras que el fuego se eleva lejos de este centro. En los estratos intermedios quedan el agua y el aire. Todavía en un libro del siglo XVIII, escrito por un clérigo, se lee: "3 Dio también otra cosa à estos quatro cuerpos, que es vna grande inclinacion, è impetu de correr à sus lugares naturales."<sup>10</sup>

Este movimiento natural demostraba que la Tierra estaba inmóvil, ya que siempre que un elemento alcanza su lugar natural,

---

<sup>8</sup> Cf. Aristóteles. (1998), p. 27.

<sup>9</sup> Cf. Mason, S. F. (1988a), p. 48.

<sup>10</sup> Granada, F. L. (1711), p. 133.

permanece en reposo, y sólo mediante la acción directa de un "moviente", un motor, en contacto con el cuerpo y que lo empuje, puede salir de su lugar natural.<sup>11</sup> En palabras de Aristóteles:

De tales consideraciones, se desprende de inmediato que la tierra está en reposo y situada en el centro. Además, la razón de su inmovilidad queda clara a partir de lo expuesto en la anterior discusión. Si es algo inherente a la naturaleza de la tierra, tal como se constata mediante la observación, moverse desde cualquier lugar en dirección hacia el centro, y si por otra parte el fuego se traslada desde el centro hacia los extremos, parte alguna de la tierra podrá ser alejada del centro sin someterla a una violencia...<sup>12</sup>

Aristóteles necesitaba tres clases de motores, para tres clases de movimiento: el local, cambio de lugar; el cuantitativo, relativo al tamaño y el cualitativo que se refiere a cuando algo es generado.

Cada movimiento dura una cantidad de tiempo, que está por igual en todas partes y en todas las cosas. Un cambio es más rápido o más lento, pero el tiempo no puede ser más rápido o más lento.<sup>13</sup>

Para explicar por qué se mueve un proyectil, que ya no está en contacto con el motor que le imprimió el movimiento, Aristóteles postula que la naturaleza tiene un *horror vacui*, una necesidad de llenar con el *plenum* todo el espacio, de manera que, al desplazarse, el proyectil deja un espacio que se llena inmediatamente de ese medio, y eso es lo que empuja al proyectil y le permite continuar en movimiento. Escribe Aristóteles:

---

<sup>11</sup> Cf. Aristóteles. (1998), p. 391. Libro VII, 241b.

<sup>12</sup> Aristóteles, *Del cielo*, 296b8-298a13 (Cit. en Kuhn, T. S. (1994), p. 124).

<sup>13</sup> Cf. Aristóteles. (1998), pp. 395, 270 y 271. 243a35. 219a10-219b.

Además, los proyectiles se mueven aunque lo que los impulsó no esté ya en contacto con ellos, o bien por antiperístasis, como suponen algunos, o bien porque el aire que ha sido empujado los empuja con un movimiento más rápido que el que los desplaza hacia su lugar propio. Pero en el vacío ninguna de estas cosas puede ocurrir, ni algo puede desplazarse a menos que sea transportado.<sup>14</sup>

Mas cuando Aristóteles discute sobre cómo los diferentes medios pueden retardar el movimiento, el medio se vuelve resistencia y motor al mismo tiempo.

Aristóteles postula la existencia de un primer motor, que origina el primer movimiento, que debe estar inmóvil, puesto que si no lo estuviera, debía de ser movido por otra cosa, de forma tal que:

Es evidente, entonces, después de lo que se ha dicho, que el primer moviente es inmóvil. Porque, tanto si la serie de lo movido que es movido por otro se detiene inmediatamente en algo que es primero e inmóvil, como si conduce a una cosa que se mueve y se detiene a sí misma, en ambos casos se sigue que en todas las cosas movidas el primer moviente es inmóvil.<sup>15</sup>

El primer motor es el que mantiene a los planetas en movimiento eterno, por lo tanto ese primer motor debe ser igualmente eterno.<sup>16</sup>

A partir del paradigma aristotélico, Ptolomeo (100-178 d.c.) formuló un universo geocéntrico en su obra el *Almagesto*.<sup>17</sup> Como él mismo pensaba que algo hacía el sistema físicamente imposible, es probable que lo usara sólo como un recurso matemático.

---

\* "Por sustitución de partes".

<sup>14</sup> Aristóteles. (1998), p. 254. 215a14-20.

<sup>15</sup> *Ibid*, p. 454. 258b4-10

<sup>16</sup> Cf. *Ibid*, p. 457. 259a15-25.

<sup>17</sup> El título original en griego era *Mathematike syntaxis*.

En este universo existían dos esferas, una era la esfera inmóvil de la Tierra, centrada dentro de una esfera mucho mayor que al girar, se llevaba consigo a las estrellas. Entre estas dos esferas se situaban la Luna, Mercurio, Venus, el Sol, Marte, Júpiter y Saturno; girando alrededor de la Tierra, de acuerdo a un sistema de pequeños círculos o epiciclos que giran con movimiento uniforme, alrededor de un punto sobre la circunferencia de un segundo círculo en rotación, llamado deferente, ambos en el plano de la eclíptica. Para explicar los cambios aparentes en la velocidad de un cuerpo, Ptolomeo añadió unos puntos llamados ecuantes, desplazados del centro geométrico de rotación del deferente, alrededor del cual el ángulo debe variar uniformemente. Las excéntricas, centros de rotación desplazados a cierta distancia de la Tierra, las utilizó para describir el movimiento del Sol.<sup>18</sup>

Cuando Ptolomeo discute sobre la posibilidad de que la Tierra esté en rotación, como lo decían los pitagóricos, admite que al observar las estrellas, sería equivalente que el firmamento se desplazara de este a oeste, o que la Tierra girara de oeste a este; pero si la Tierra estuviera girando, veríamos como los objetos, al lanzarlos hacia arriba "retrocederían" hacia el oeste, al caer:

Cierto es que limitándonos a considerar los fenómenos del mundo estelar, quizá nada impida tal teoría por razones de simplicidad (...), pero si se juzga por lo que sucede a nuestro alrededor y en el aire, la opinión de tales gentes se nos muestra ridícula (...) (Si la Tierra) efectuara su colosal revolución en corto espacio de tiempo (...), los

---

<sup>18</sup> Cf. Kuhn, T. S. (1994), pp. 106 y 107.

colosal revolución en corto espacio de tiempo (...), los cuerpos que no estuvieran apoyados sobre la superficie parecerían tener el mismo movimiento pero en dirección contraria, con lo que ni las nubes, ni ningún animal volador o cuerpo arrojado al aire daría la sensación de dirigirse hacia el este, pues la tierra siempre le precedería en esta dirección y se anticiparía a ellos en su movimiento hacia el oriente, de tal modo que todos parecerían retroceder hacia el oeste excepción hecha de la tierra.<sup>19</sup>

El universo tolemeico, junto con la física de Aristóteles, conformaron el paradigma científico de la Edad Media, debido a que era el que se podría llegar a identificar con la descripción bíblica del universo.

Dentro de la tradición de ciencia normal del paradigma, los astrónomos se dedicaron a añadir epiciclos sobre epiciclos y excéntricas a las excéntricas, para intentar describir los movimientos de los astros que observaban, creando mecanismos cada vez más complicados.

---

<sup>19</sup> Ptolomeo, *Almagesto*. (Cit. por Álvarez y Marquina, (1993), p. 11).



## CAPÍTULO III

### LA CRISIS DEL PARADIGMA DE LA EDAD MEDIA

Me doy perfecta cuenta, Santísimo Padre, de que ciertas personas, desde el momento en que conozcan que en estos libros sobre las revoluciones de las esferas del mundo atribuyo ciertos movimientos a la tierra, clamarán pidiendo una rápida condena, tanto de mi persona como de mis opiniones.

Nicolás Copérnico<sup>1</sup>

El universo de Ptolomeo y la explicación del movimiento de los cuerpos, de acuerdo con la física terrestre de Aristóteles, fueron adoptados como parte del paradigma científico de la Edad Media, a partir del siglo XIII. Como consecuencia, se estableció lo que, en términos de Kuhn, sería la práctica de la ciencia normal. Incluso Santo Tomás de Aquino, en su *Suma teológica*, además de explicar el sistema aristotélico, aceptó las ciencias del razonamiento como una forma de conocimiento, junto con la doctrina sagrada.<sup>2</sup>

Mas, como dice Kuhn, el paradigma debe también brindar el contraste que resalta la anomalía;<sup>3</sup> y una de las más importantes era la explicación que daba Aristóteles del movimiento de los proyectiles.

En el siglo VI en Alejandría, Juan Filopón, para resolver el problema, utilizó el concepto de *impetus*, que tomó de Hiparco de

---

<sup>1</sup> Copérnico, *De revolutionibus orbium celestium* (Cit. por Kuhn, T. S. (1994), p. 188).

<sup>2</sup> Cf. Aquino, T. (1973), p. 33.

<sup>3</sup> Arriba, p. 4.

Rodas (siglo II a.c.).<sup>4</sup> Siglos después Guillermo de Ockham (1295-1394), en Oxford, propuso que Dios podría haber dado un primer ímpetus a los cuerpos celestes, en el comienzo de la creación, que los mantendría moviéndose.<sup>5</sup>

En la universidad de París, las ideas de Ockham adquirieron importancia a través de Juan Buridán (1295-1358), que escribió:

Así pues, podemos y debemos afirmar que en la piedra, o en cualquier otro proyectil, se halla impreso algo que constituye la fuerza motriz del proyectil en cuestión. Evidentemente, tal suposición es mucho mejor que caer de nuevo en la afirmación de que el aire quiere continuar moviendo el proyectil ya que lo cierto es que parece resistirse a ello.<sup>6</sup>

Uno de los discípulos de Buridán, Nicolás de Oresme no encontró ningún argumento lógico, físico o bíblico que hiciera imposible la teoría del ímpetus, ni tampoco encontró razones que impidieran que la Tierra pudiera moverse, a pesar de que él mismo no creía en el movimiento de la Tierra.<sup>7</sup> No usó estas observaciones como un argumento en contra de Aristóteles; todo lo contrario, para los estudiosos medievales, estas discusiones eran un mero ejercicio lógico de comprobación de los principios aristotélicos. Sin embargo, en el siglo XIV la teoría del *ímpetus* reemplazó a la explicación del lanzamiento de proyectiles de Aristóteles, y puso en evidencia que el paradigma había entrado

---

<sup>4</sup> Cf. Álvarez y Marquina. (1993), p. 12.

<sup>5</sup> Cf. Mason, S. F. (1988a), p. 155.

<sup>6</sup> Jean Buridan, *Quaestiones super octo libros physicorum* (Cit. por Kuhn, T. S. (1994), p. 167).

<sup>7</sup> Cf. Kuhn, T. S. (1994), p. 162.

en una crisis. Nicolás de Cusa (1401-1464) formuló explícitamente estos conceptos y dijo que la tierra rotaba sobre su eje gracias a un ímpetus que había recibido al comienzo de los tiempos.<sup>8</sup>

En el siglo XVI, Benedetti (1530-1590), en Turín, Italia, planteó que sí era posible el movimiento en el vacío, a pesar de la gran admiración que sentía por Aristóteles.<sup>9</sup>

Copérnico estudió la teoría del *ímpetus* en Padua y Galileo la aprendió en Pisa. Los científicos de Oxford y París estaban trabajando sobre movimientos con rapidez uniforme y uniformemente acelerados; velocidad instantánea y la "regla mertoniana" o teorema de la velocidad media, a la que se le considera la principal contribución a la física por parte de la ciencia medieval.

Estas ideas estaban en contra de los principios del aristotelismo, y por lo tanto de la Iglesia, pero como lo describe Kuhn, la crisis del paradigma obligó a los científicos a buscar mejores explicaciones, a pesar de que, en muchos casos, fueran contrarias a sus creencia. Los intelectuales de finales de la Edad Media vieron grandes posibilidades en la ciencia, y así se sentaron las bases de la revolución científica de los siglos XVI y XVII. Dice Whitehead:

---

<sup>8</sup> Cf. Mason, S. F. (1988a), p. 157.

<sup>9</sup> Cf. Álvarez y Marquina. (1993), p. 14.

la fe en las posibilidades de la ciencia, engendrada con anterioridad al desarrollo de la teoría científica moderna, es un derivado inconsciente de la teología medieval.<sup>10</sup>

Copérnico, nacido en Polonia en 1473, murió en 1543, el mismo año en que se publicó su obra *De revolutionibus orbium celestium*, en la que expuso su descripción de un universo con el Sol fijo en el centro y los planetas girando alrededor; primero Mercurio y Venus, en tercer lugar la Tierra y la Luna que gira alrededor de la Tierra en una órbita mucho más pequeña; y más lejos Marte, Júpiter y Saturno. El sistema usaba también los epiciclos y los deferentes del sistema tolomeico, pero eliminó los ecuantos, un recurso que nunca convenció del todo a los astrónomos, probablemente ni siquiera al mismo Ptolomeo.

Años atrás, muchos estudiosos esperaban la publicación de esa obra, incluso en 1533, el Papa Clemente VII le pidió a Johann A. Widmanstadt, jurista alemán, que le informara sobre el nuevo sistema, y en 1536 el cardenal de Capua, Nikolaus von Schönberg le escribió a Copérnico y le pidió que le hiciera llegar una copia del *Commentariolus*<sup>11</sup>, en el que exponía brevemente su teoría.<sup>12</sup> Querían conocer la explicación del movimiento "anómalo" que observaban de los astros, y que no encontró solución en los

---

<sup>10</sup> Whitehead, *Science and the modern world*. (Cit. por Kuhn, T. S. (1994), p. 171).

<sup>11</sup> El título original es *Nicolai Copernici de Hypothesibus motuum coelestium a se constitutis comentariolus*, que se traduce al español como *Breve exposición de las hipótesis de Nicolás Copérnico acerca de los movimientos celestes*.

<sup>12</sup> Cf. Elena, A. en la Introducción de Copérnico, N. (1988), pp. 7 y 8.

múltiples arreglos que los astrónomos hicieron del universo tolomeico.

Desde el siglo XIII la Iglesia no le había impuesto ninguna cosmología a sus fieles y de hecho *De revolutionibus* era un producto de esta libertad<sup>13</sup>, al igual que el sistema ideado por Tycho Brahe (1546-1601) en el que los planetas giraban alrededor del Sol, pero el conjunto completo giraba al rededor de la Tierra fija.<sup>14</sup> Brahe negó que su sistema estuviera influenciado por el de Copérnico; a pesar de que conocía bien los sistemas tolomeico y copernicano.

La obra de Copérnico se volvió fundamental en el trabajo astronómico de la segunda mitad del siglo XVI, a pesar de que los astrónomos en general, siguieron fieles a una tierra inmóvil. En la Universidad de Wittenberg, la más importante de Alemania a mediados del siglo XVI, Melanchthon (1497-1560) reconocía que el movimiento de la Tierra podría tomarse por real, pero por razones religiosas, rechazaba esa posibilidad. Afortunadamente su posición permitió que sus discípulos trabajaran en la articulación de los componentes conceptuales y empíricos de la teoría copernicana; como J. Rheticus (1514-1574) quien tenía 24 años cuando visitó a Copérnico, para aprender todo sobre su teoría; así como el mismo Rheticus ya viejo fue visitado por otro joven quien escribió:

---

<sup>13</sup> Cf. Kuhn, T. S. (1994), p. 259.

<sup>14</sup> Mason, S. F. (1988b), p. 16.

Apenas habíamos intercambiado algunas palabras sobre esto o aquello, cuando, conociendo la causa de mi visita, estalló con estas palabras: "Vienes a verme a la misma edad que yo tenía cuando visité a Copérnico. Si yo no lo hubiera visitado, ninguna de sus palabras hubieran visto la luz."<sup>15</sup>

Erasmus Reinhold (1511-1553), a través de Rheticus, conoció con detalle la teoría heliocéntrica y publicó en 1551 las *Tablas prusianas*, calculadas con base en el sistema copernicano, en donde escribe:

Toda la posteridad agradecerá y celebrará el nombre de Copérnico. La ciencia de los movimientos celestiales estaba casi en ruinas; los estudios y trabajos de este autor la han restaurado. Dios en Su Bondad encendió una gran luz en él de manera de que él descubrió y explicó un montón de cosas que, hasta nuestros días, no se habían conocido o han estado veladas en la oscuridad.<sup>16</sup>

Peucer, discípulo de Melanchthon y de Reinhold, reflejó en su trabajo la visión de sus maestros; de manera que los estudiantes principiantes sólo eran expuestos a argumentos en contra del movimiento de la tierra, por ser contrario a las sagradas escrituras y a las leyes aristotélicas del movimiento simple, pero ya en los niveles de maestrías el manejo de los movimientos planetarios se hacía más sofisticado.

Michael Maestlin (1550-1631), maestro de la Universidad de Tubinga, Alemania, incluía en su cátedra el nuevo sistema<sup>17</sup>; y en Inglaterra, Tomás Digges (1546-1595) lo divulgó ampliamente. El

---

<sup>15</sup> L. F. Prowe, *Nicolaus Copernicus*, Vol. 1, Pt. 2. (Cit. por Westman, R. (1975), p. 183). En inglés en el original.

<sup>16</sup> E. Reinhold, *Prutenicae tabulae coelestium motuum* (Tübingen, 1551) "Praeceptu calculo motuum coelestium," p. 21 (Cit. por Westman, R. (1975), p.177)

<sup>17</sup> Cf. Kuhn, T. S. (1994), pp. 247 y 248.

calendario gregoriano, promulgado por Gregorio XIII en 1582, se había hecho usando las *Tablas prusianas*.

Kepler (1571-1630), que había estudiado con Maestlin, aceptaba el sistema heliocéntrico, mas no aceptaba el tratamiento matemático de Copérnico; y como trabajó con Tycho Brahe, "heredó" los resultados de sus observaciones. En 1609, Kepler estableció sus dos primeras leyes sobre el movimiento de los planetas; y propuso que del Sol emanaba una *anima motrix* que impulsaba a los planetas a recorrer su órbita y que disminuía conforme el planeta estuviera más lejano<sup>18</sup>; publicó sus resultados en *Comentarios sobre Marte*.<sup>19</sup> Cuando conoció las observaciones de Galileo, Kepler se puso a trabajar también con el telescopio.

Sin embargo, Aristóteles siguió siendo la gran autoridad en el pensamiento científico, filosófico y religioso.<sup>20</sup> Se requería una nueva física terrestre que resolviera los problemas de una Tierra en movimiento.

---

<sup>18</sup> Cf. *Ibid*, p. 279.

<sup>19</sup> Título abreviado de *Astronomía nueva, por causas, o física celeste, tratada en los comentarios sobre los movimientos de la estrella Marte a partir de las observaciones de Tycho Brahe*.

<sup>20</sup> Cf. Granada, F. L. (1711), p. 4.

## CAPÍTULO IV

### EL PARADIGMA DE GALILEO

Por medio de las dos primeras Leyes y los dos primeros Corolarios, Galileo descubrió que la caída de los graves variaba como el cuadrado del tiempo, y que el movimiento de los proyectiles seguía la curva de una parábola,...

Isaac Newton<sup>1</sup>

En 1564, en Pisa, nació Galileo Galilei, y en 1586 escribió su primer trabajo científico. Cuando Galileo adoptó la teoría copernicana, no podía explicar por qué la consideraba acertada, pero se dedicó a convencer al mundo del nuevo sistema, básicamente por dos vías: sus observaciones astronómicas y la física terrestre.

Con el telescopio que él mismo construyó, observó que la superficie lunar no era perfecta como se aseguraba, que las fases de Venus sólo podrían explicarse si el planeta girara al rededor del Sol y descubrió las lunas de Júpiter, que probaban que otros objetos giraban siguiendo trayectorias que no estaban sobre las esferas tolomeicas. Galileo publicó estos resultados en 1610, en un opúsculo titulado *Sidereus Nuncius*<sup>2</sup>, en donde dice:

Tenemos aquí un argumento notable y óptimo para eliminar los escrúpulos de quienes, aceptando con ecuanimidad el giro de los planetas en torno al Sol según el sistema copernicano, se sienten con todo turbados por el movimiento de la sola Luna en torno a la Tierra, al tiempo que ambas trazan una órbita anual en torno al Sol, hasta el punto de

---

<sup>1</sup> Newton, I. (1993), p. 50. Las cursivas son del original.

<sup>2</sup> Título original de *El mensaje y el mensajero sideral*.



considerar que debe rechazar por imposible esta ordenación del universo.<sup>3</sup>

En 1615 Galileo fue a Roma para convencer de la teoría de Copérnico a las altas autoridades de la Iglesia, pero el Santo Oficio le pidió que no defendiera el copernicanismo y probablemente también le prohibió enseñar estas teorías. Fue entonces cuando todas las obras copernicanas entraron en la lista de libros prohibidos.

En respuesta a una obra publicada por un jesuita que defendía la opinión de Tycho Brahe sobre los cometas, que los consideraba cuerpos en movimiento, en 1623 Galileo publicó *El ensayador*.<sup>4</sup> Sabía que si los jesuitas hubieran aceptado sus ideas, no lo hubieran condenado, así que la obra es en realidad una respuesta contra los jesuitas en general y no desaprovecha la más mínima oportunidad para exponer todos los argumentos necesarios para apoyar la ciencia nueva.

Cuando murió el Papa Gregorio XV, el cardenal Barberini fue nombrado Papa, con el nombre de Urbano VIII. Era un amante del arte y de la ciencia, se había opuesto al decreto de 1616 y estaba personalmente a favor de Galileo. Éste pensó que no tendría problemas para publicar el *Diálogo*<sup>5</sup>, en donde confronta los dos sistemas, el tolemaico y el copernicano; pero cuando la

---

<sup>3</sup> Galilei, G. (1988a), p. 33.

<sup>4</sup> El título original de la obra es *Il saggiatore, nel quale con bilancia esquisita e giusta si ponderano le cose contenute nella Libra astronomica e filosofica di Lotario Sarsi Sigensario*.

<sup>5</sup> El título original es *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo, tolemaico e copernicano*, que se traduce al español como *Diálogo sobre los sistemas máximos del mundo, el ptolemaico y el copernicano*.

edición estaba lista en 1629, aparecieron nuevos obstáculos y se publicó un año después.

La Inquisición declaró herético decir que el Sol estaba inmóvil y llamó a Galileo para que abjurara de sostener y enseñar la teoría copernicana. Ya que no deseaba ser torturado o ejecutado, aceptó firmar un documento que le preparó el Santo Oficio, que en un fragmento decía: "... debo abandonar la falsa opinión de que el Sol es el centro del mundo e inmóvil, y de que la Tierra no es el centro del mundo, y se mueve, y que no debo sostener, defender, o enseñar de ninguna manera, verbal o escrita ..."<sup>6</sup>

Parece que Galileo nunca pronunció la célebre frase *Eppur si muove*; lo cierto es que, mientras estuvo confinado, por órdenes de la Iglesia, en la villa de Arcetri, escribió su máxima contribución a la física: los *Discorsi*<sup>7</sup>, publicado en Leyden en 1638, cuando él ya estaba ciego y pocos años antes de morir el 8 de enero de 1642.

La principal tarea de Galileo fue crear la física necesaria para el universo copernicano y en los *Discorsi* dedicó sus mejores argumentos, los recursos más revolucionarios y todo el conocimiento a su alcance para la construcción de un cuerpo teórico, como nunca antes se había presentado, de la cinemática.

---

<sup>6</sup> Cit. por S. Drake en el Prefacio de Galilei, G. (1967), p. xxiv. En inglés en el original.

<sup>7</sup> El título original es *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze, que se traduce al español como Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre las nuevas ciencias.*

Galileo escribió sus obras principales en forma de diálogos entre él, que toma el nombre de Salviati, un noble florentino que probablemente fue un discípulo suyo; Sagredo, también alumno de Galileo cuya misión es la de hacer preguntas inteligentes a sus compañeros y dejarse convencer por los argumentos de Salviati, y Simplicio quien es un personaje ficticio, un peripatético que lleva el mismo nombre de un comentarista de Aristóteles, que no sabe matemáticas y no es muy brillante. Estos tres personajes son los que discuten tanto en el *Diálogo* como en los *Discorsi*, y en los que, punto por punto, Galileo destruye los fundamentos de la física de Aristóteles.

El periodo de la revolución, según Kuhn, se caracteriza por la comparación del paradigma en crisis con el paradigma rival, y la forma que tienen estas dos obras de Galileo muestran el tipo de discusiones que se originan en la crisis y que en este caso terminaron con el triunfo del paradigma galileano.

En este nuevo paradigma, cuando Galileo analiza la caída de los cuerpos, considera que la velocidad de caída es proporcional al peso del cuerpo y a un valor constante para cada cuerpo; pero tiene que reconocer que un cuerpo cae cada vez más rápido, hasta un límite que está determinado por el peso específico del cuerpo. Introduce, entonces, un peso relativo, usando el principio de Arquímedes, de donde concluye que no existen cuerpos "leves", como decía Aristóteles, sino que todos son pesados y el único movimiento natural de los cuerpos es hacia abajo.

El concepto de peso relativo conduce a que sólo en el vacío, un cuerpo cae con "velocidad propia", de manera que todos los cuerpos caerían a la misma velocidad, como lo explica Salviati:

Salviati. Pues bien, si así le place al señor Simplicio que sea ésta la solución a nuestra duda, y sin dilatarnos más en nuestras digresiones, volvamos a nuestro propósito. Hemos visto ya que las diferencias de velocidad de los móviles con pesos distintos son cada vez mayores a medida que los medios atravesados ofrecen más resistencia. Más aún, en el mercurio, el oro no solamente cae hasta el fondo a más velocidad que el plomo, sino que es él sólo el que desciende, mientras que los otros metales y las piedras todas permanecen en la superficie flotando. En las bolas de oro, de plomo, de cobre, de pórfito y de otras materias pesadas, sin embargo, será casi insensible la diferencia de sus velocidades en el aire ya que una bola de oro, al cabo de una caída desde una altura de cien brazas, no aventajará, con toda seguridad, a una bola de cobre en cuatro dedos. Habiendo visto, repito, todo esto, yo llegaría a la conclusión de que si se eliminara absolutamente la resistencia del medio, todos los cuerpos descenderían a la misma velocidad.<sup>8</sup>

En sus primeras reflexiones, Galileo pensó que los cuerpos en caída libre incrementaban su velocidad en la misma proporción a la distancia desde el punto de partida, como escribió en una carta:

Reflexionando sobre los problemas del movimiento, para los cuales, y a fin de demostrar los accidentes por mí observados, me faltaba un principio totalmente indudable que pudiera poner como axioma, ha llegado a una proposición que tiene mucho de natural y evidente; y, supuesta ésta, demuestro luego todo el resto, en especial que los espacios atravesados por el movimiento natural están en proporción doble del tiempo y que, por consiguiente, los espacios atravesados en tiempos iguales son como los números impares *ab unitate* y las otras cosas. Y el principio es el siguiente: Que el móvil natural va aumentando de velocidad en la misma proporción en que se aleja de su punto de partida...<sup>9</sup>

<sup>8</sup> Galilei, G. (1981b), p. 161. I, 117.

<sup>9</sup> Carta a Paolo Sarpi del 16 de octubre de 1604. (Cit. en Álvarez y Marquina. (1993), pp. 17 y 18).

Cuando escribe los *Discorsi* corrige este error y además lo reconoce delante de sus interlocutores y escribe:

Cuando observo, por tanto, una piedra que cae desde cierta altura, partiendo de una situación de reposo, que va adquiriendo poco a poco, cada vez más velocidad, ¿por qué no he de creer que tales aumentos de velocidad no tengan lugar según la más simple y evidente proporción? Ahora bien, si observamos con cierta atención el problema, no encontraremos ningún aumento o adición más simple que aquel que va aumentando siempre de la misma manera. Esto lo entenderemos fácilmente si consideramos la relación tan estrecha que se da entre el tiempo y el movimiento: del mismo modo que la igualdad y uniformidad del movimiento se define y se concibe sobre la base de la igualdad de los tiempos y de los espacios (en efecto, llamamos movimiento uniforme al movimiento que en tiempos iguales recorre espacios iguales), así también, mediante una subdivisión uniforme de velocidad tengan lugar con [la misma] simplicidad. [Podremos hacer esto] en cuanto determinemos teóricamente que un movimiento es uniformemente y, del mismo modo, continuamente acelerado, cuando, en tiempos iguales, se los tome de la forma que se quiera, adquiera incrementos iguales de velocidad. [...] Por eso, creo que no nos apartamos en absoluto de la recta razón si admitimos que la intensidad de la velocidad crece según el incremento del tiempo.<sup>10</sup>

También en los *Discorsi* casi aparece el principio de inercia, que Newton formularía después como su primera ley, pero Galileo no pudo deshacerse del peso de los cuerpos, que se impone en su exposición.

Además, se puede suponer con razón que, sea el que fuere el grado de velocidad que se dé en un móvil, queda por naturaleza indeleblemente impreso en él con tal de que no intervengan causas externas que lo aceleren o retarden; tal estado constante sólo ocurre en el plano horizontal. En efecto, en los planos inclinados descendentes se encuentra presente una causa de aceleración, mientras que cuando la inclinación se considera hacia arriba, lo que está presente es una causa de desaceleración. Se sigue de aquí, igualmente, que el movimiento sobre el plano horizontal tiene también la propiedad de ser eterno, ya que si es uniforme no aumenta ni disminuye, ni mucho menos cesa.<sup>11</sup>

<sup>10</sup> Galilei, G. (1981b), pp. 276 y 277. III, 197.

<sup>11</sup> *Ibid*, p. 346. III, 243.

Este principio le permite explicar el movimiento de los proyectiles como la composición de dos movimientos: el horizontal, como ya lo describió, y el vertical debido al peso del cuerpo; y describió la trayectoria resultante como una línea semiparabólica, como vemos:

Si, por el contrario, nos imaginamos un plano limitado y en declive, el móvil, que suponemos dotado de gravedad, una vez que ha llegado al extremo del plano y continúe su marcha, añadirá al movimiento precedente, uniforme e inagotable, esa tendencia hacia abajo, debida a su propia gravedad. Nace de aquí un movimiento compuesto de un movimiento horizontal uniforme más un movimiento descendente naturalmente acelerado.<sup>12</sup>

Para Galileo, cuando Aristóteles dice que el aire es el motor que mantiene un proyectil en movimiento, éste está admitiendo que el proyectil tiene una fuerza impresa (*virtus motiva impressa*) que está en el propio móvil; esta cualidad es transferible de un cuerpo a otro, pero que definitivamente, una vez adquirida, está en el cuerpo que se mueve. Esta fuerza impresa o *impetus* elimina la necesidad del moviente de Aristóteles.<sup>13</sup>

Consciente de la relación entre la física terrestre y la astronomía, Galileo sabía que sólo con una nueva física se podría consolidar la nueva cosmología. La cinemática galileana sustituyó la física de Aristóteles y estableció la nueva tradición de ciencia normal para la mecánica de los siglos XVII y XVIII, que dio como resultado la ciencia como la conocemos actualmente, enunciada en modelos matemáticos que se corroboran mediante

---

<sup>12</sup> Galilei, G. (1981b), p. 384. IV, 268.

<sup>13</sup> Cf. Álvarez y Marquina. (1993), p. 15.

experimentos; como el que describe para estudiar la aceleración uniforme. En la Jornada Tercera:

Salviati. Vos, como un verdadero hombre de ciencia, exigís algo muy razonable. Es este el modo de actuar de aquellas ciencias que aplican las demostraciones matemáticas a los fenómenos [*conclusioni*] naturales, (...) las cuales confirman sus principios, que son los fundamentos de toda la estructura subsiguiente, con experimentos bien establecidos. (...)

En un listón o, lo que es lo mismo, en un tablón de una longitud aproximada de doce codos, de medio codo de anchura más o menos y un espesor de tres dedos, hicimos una cavidad pequeño canal a lo largo de la cara menor, de una anchura de poco más de un dedo. Este canal, tallado lo más recto posible, se había hecho enormemente suave y liso, colocando dentro un papel de pergamino lustrado al máximo. Después hacíamos descender por él una bola de bronce muy dura, bien redonda y pulida. Habiendo colocado dicho listón de forma inclinada, se elevaba sobre la horizontal una de sus extremidades, hasta la altura de uno o dos codos, según pareciera, y se dejaba caer (como he dicho) la bola por dicho canal, tomando nota como en seguida he de decir del tiempo que tardaba en recorrerlo todo.<sup>14</sup>

El uso que hace Galileo de la matemática se puede ver, por ejemplo, en la Jornada Cuarta Galileo, en donde se ve cómo descompone el momento en sus componentes horizontal y vertical usando el teorema de Pitágoras:

#### TEOREMA II, PROPOSICIÓN II

Si un móvil se mueve con un movimiento compuesto de dos movimientos uniformes, el uno horizontal y el otro perpendicular, entonces el (cuadrado del) impulso o intensidad de la velocidad (*impetus seu momentum lationis*) compuesto de los dos será igual a la suma de los cuadrados de las intensidades (*momenti*) de los dos movimientos primeros.<sup>15</sup>

Galileo reconoce el gran valor del formalismo matemático cuando en *Il Saggiatore*, escribe:

<sup>14</sup> Galilei, G. (1981b), pp. 298 y 299. III, 211 y 212.

<sup>15</sup> *Ibid*, p. 400. IV, 280.

La filosofía está escrita en ese grandísimo libro que tenemos abierto ante los ojos, quiero decir, el universo, pero no se puede entender si antes no se aprende a entender la lengua, a conocer los caracteres en los que está escrito. Está escrito en lengua matemática y sus caracteres son triángulos, círculos y otras figuras geométricas, sin las cuales es imposible entender una palabra; sin ellos es como girar vanamente en un oscuro laberinto.<sup>16</sup>

Tanto los libros de Galileo sobre astronomía como el telescopio motivaron a mucha gente a observar los cielos, al grado de que en el siglo XVII, el telescopio era un juguete muy popular; apareciendo la divulgación científica y la ciencia-ficción en la literatura, de manera que, a decir de Kuhn:

Ahí reside la verdadera importancia de la obra astronómica de Galileo: su popularización de la astronomía. De la astronomía copernicana, se entiende.<sup>17</sup>

En su trabajo a favor del sistema copernicano, Galileo también cometió errores al descifrar algunos fenómenos, como la teoría de las mareas que se contradecía con sus propias investigaciones sobre el movimiento.

Su apego a la perfección del círculo le impidió construir un mejor modelo que el de Copérnico para las órbitas planetarias; y como este modelo no explicaba el movimiento de los cometas, Galileo negó que los cometas fueran objetos celestes y concluyó que podrían ser sólo fenómenos ópticos.

Parece que Galileo no era del todo inocente ante esos errores; el tono de sus escritos, sus recursos propagandísticos y su

---

<sup>16</sup> Galilei, G. (1981a), p. 63.

<sup>17</sup> Kuhn, T. S. (1994), p. 291.



propia personalidad, sugieren que estaba dispuesto a todo por esa nueva ciencia. A decir de Solís:

Se podrá apreciar un buen ejemplo de su personalidad marrullera, orgullosa y deshonesto -según los cánones del moralismo científico- en el episodio que comienza en 1613 (la primera vez que Galileo expresa su adhesión a la hipótesis copernicana frente a la acusación de incompatibilidad con las Sagradas Escrituras, en una carta a Castelli) y que termina con el juicio del Santo Oficio (1633), seguido de su confinamiento y muerte en Arcetri (1642), (...) Sin embargo, aquellos "vicios" resultaron ser no sólo tolerables, sino también necesarios para el desarrollo de la nueva ciencia.<sup>18</sup>

Podemos distinguir, como dice Kuhn, que la revolución se resuelve en gran medida con argumentos y recursos que a veces no se desprenden directamente del paradigma.

---

<sup>18</sup> C. Solís, en la Introducción de Galilei, G. (1981b), p. 9.

## CONCLUSIONES

Credo de Finagle: La ciencia es verídica,  
no se deje engañar por los hechos.

Arthur Block.<sup>1</sup>

El enfoque de Kuhn, sobre la historia de la ciencia, no es único, y tal vez ni siquiera sea el mejor; mas en algunos casos, puede ser una explicación útil.

Bajo la óptica kuhniana, en el cambio en la ciencia de los siglos XVI y XVII, se pueden distinguir algunos aspectos importantes: la resistencia de los científicos a aceptar las nuevas teorías, tanto del movimiento de la Tierra, como del movimiento de los cuerpos, y sus intentos de explicar las anomalías desde un paradigma conocido; la intensa actividad que se origina a partir de la crisis; las argumentaciones que utiliza Galileo a favor de sus descubrimientos, y cómo en ocasiones se vale de recursos un tanto amañados, pero hasta cierto punto necesarios, para lograr imponer sus ideas. Después de la revolución, el nuevo paradigma plantea muchos de los problemas y de los métodos con los que trabajarán los científicos. Galileo estudió sistemáticamente los fenómenos que ocurren en una Tierra que se mueve alrededor del Sol, extendió sus observaciones a los

---

<sup>1</sup> Bloch, A. (1982), p. 51.

astros en el universo y unió la física terrestre con la física de los cielos, para que, posteriormente, Newton y los científicos de los siglos XVII y XVIII explicaran con detalle las causas del movimiento de los cuerpos, celestes o terrenales.

El paradigma galileano, según la interpretación de Kuhn, puede ser un ejemplo de cómo un paradigma incluye a la vez: una nueva forma de hacer ciencia, a través del uso de la experimentación y de las matemáticas, y una manera diferente de ver el mundo.

La interpretación que se presenta en este trabajo de la obra de Galileo, es una reconstrucción racional de la historia, pero no agota, de ninguna manera, todos los resultados que se desprenden del cambio que ocurrió en la ciencia al final de la Edad Media.

Mas sin importar con qué enfoque se estudie, la obra de Galileo fue uno de los acontecimientos más importantes del siglo XVII, cuando la ciencia jugó un papel liberador ante las ideas de la Edad Media y empezó a adquirir un poder que ninguna disciplina tuvo antes. Roszak dice:

Pero la ciencia, hemos de creer, no re-mitologiza la vida, sino que la *desmitologiza*. Esto es al parecer lo que hace de la revolución científica\* una revolución radicalmente diferente, si no un episodio cultural final. Pues, con el advenimiento de la visión científica del mundo, la verdad indiscutible sustituye a la creencia.<sup>2</sup>

---

\* Roszak se refiere aquí al periodo histórico entre los siglos XVI y XVII, aunque utiliza el mismo término que Kuhn.

<sup>2</sup> Roszak, T. (1981), p. 226.

A partir de este episodio histórico, el método y la objetividad son los elementos claves de la ciencia. Sin embargo, después de trescientos años, Feyerabend dice que:

... la ciencia de los siglos XVII y XVIII fue en realidad un instrumento de liberación e ilustración. No se sigue que la ciencia deba *continuar* siendo semejante instrumento. No hay nada inherente a la ciencia o a ninguna otra ideología que la haga *esencialmente* liberadora. Las ideologías pueden deteriorarse y convertirse en estúpidas religiones.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> Feyerabend, P. (1975), p. 295.

## BIBLIOGRAFÍA

- ÁLVAREZ, J. L. y Marquina, J. E.. (1993) *Galileo y la ciencia medieval*. Contactos 9, pp. 7-22.
- ARISTÓTELES. (1998) *Física*. Introd., trad. y notas Guillermo R. de Echandia. Madrid, Gredos.
- AQUINO, Santo Tomás de. (1973) *Suma teológica*. Intr. y notas de Ismael Quiles. Madrid, Espasa-Calpe. (Colección Austral, 310).
- BLOCH, Arthur. (1982) *La ley de Murphy II, más razones por las que las cosas salen mal*. México, Diana.
- COPÉRNICO, Nicolás. (1988) "Breve exposición de sus hipótesis acerca de los movimientos celestes". En *Opúsculos sobre el movimiento de la Tierra*. Trad. e introd. Alberto Elena. México, Alianza Editorial. (El Libro de Bolsillo, 953) pp. 23-43.
- DÜRING, Ingemar. (1987) *Aristóteles. Exposición e interpretación de su pensamiento*. Trad. Bernabé Navarro. México, UNAM.
- FEYERABEND, Paul. (1975) "Como defender a la sociedad contra la ciencia". En *Revoluciones científicas*, Ian Hacking, pp. 294-314.
- GALILEI, Galileo. (1967) *Dialogue concerning the two chief world systems-ptolemaic & copernican*. Trad. Stillman Drake. Second edition, Berkeley, University of California Press.
- (1981a) *El ensayador*. Trad. y notas José Manuel Revuelta. Buenos Aires, Aguilar.
- (1981b) *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*. Trad. J. Sádaba. Intr. C. Solís. 2ª ed., Madrid, Editora Nacional.

- , (1988a) *El mensaje y el mensajero sideral*. Trad. Carlos Solís. México, Alianza Editorial. (El Libro de Bolsillo, 995).
- , (1988b) "Consideraciones sobre la opinión copernicana". En *Opúsculos sobre el movimiento de la Tierra*. Trad. Alberto Elena. México. Alianza Editorial. (El Libro de Bolsillo, 953) pp. 71-87.
- GRANADA, Fray Luis de. (1711) *Tomo XIII. Symbolo de la fe. Parte I*. Madrid, En la Imprenta Real por Joseph Rodriguez de Efcobar.
- KUHN, Thomas S. (1985) *La estructura de las revoluciones científicas*. Trad. Agustín Contin. México, FCE. (Breviarios, 213).
- , (1994) *La revolución copernicana*. Trad. Domènec Bergadà. Barcelona, Planeta-Agostini. (Obras Maestras del Pensamiento Contemporáneo, 45).
- MASON, Stephen F. (1988a) *Historia de las ciencias. 1. La ciencia antigua, la ciencia en Oriente y en la Europa medieval*. México, Alianza Editorial. (El Libro de Bolsillo, 1062).
- , (1988b) *Historia de las ciencias. 2. La revolución científica de los siglos XVI y XVII*. México, Alianza Editorial. (El Libro de Bolsillo, 1080).
- NEWTON, Isaac. (1993) *Principios matemáticos*. Trad. Antonio Escotado. Barcelona, Altaya. (Grandes Obras del Pensamiento, 21).
- NIETZCHE, Friederich. (1996) *Sobre verdad y mentira en sentido extramoral*. Trad. Luis M. Valdés. Madrid, Tecnos.
- ROSZAK, Theodore. (1981) *El nacimiento de una contracultura*. Trad. Ángel Abad. 7ª ed., Barcelona Kairós.

- SCRIVEN, Michael. (1974) "Filosofía de la ciencia". En *Ensayos científicos*. México, Ciencia y Desarrollo, pp. 87-106.
- WESTMAN, Robert S. (1975) *The Melanchthon circle, Rheticus, and the Wittenberg interpretation of the copernican theory*. *Isis*. Vol 66, No. 232, pp. 165-193.