

# Astrónomos en la Edad Moderna

Vicente Cendrero Almodóvar

*Y la nueva filosofía lo pone todo en duda,  
el elemento del fuego se ha apagado;  
el sol se ha perdido, y la tierra, y el juicio de los hombres  
ya no puede guiarlos en su búsqueda.  
Y los hombres confiesan libremente que el mundo ya no es lo que era,  
cuando en los planetas, y en el firmamento  
ellos buscan tanta novedad, y luego ven que esto  
se desmenuza otra vez en sus átomos.  
Todo está en pedazos, toda coherencia ha desaparecido;  
todo es simple suministro, y es todo relación...  
Y en estas constelaciones se alzan entonces  
nuevas estrellas, y las antiguas desaparecen ante nuestros ojos.*

John Donne, 1611

# Índice

Introducción.....	4
I. El universo copernicano. ¿Una cosmología revolucionaria?.....	5
<i>El heliostatismo de Copérnico.....</i>	11
<i>Los ataques al nuevo sistema.....</i>	14
<i>Visiones contradictorias.....</i>	17
<i>Después de Copérnico.....</i>	19
II. De Brahe a Kepler: entre la observación y la teoría.....	20
<i>Las observaciones de Tycho Brahe.....</i>	20
<i>Johannes Kepler: en busca de un universo geométrico.....</i>	24
<i>Una nueva Astronomía.....</i>	29
III. Galileo, el mensajero de las estrellas.....	30
<i>Rompiendo con la tiranía de los sentidos.....</i>	30
<i>El proceso de Galileo.....</i>	34
<i>Una valoración de conjunto.....</i>	38
IV. El nacimiento de la ciencia moderna.....	39
<i>La gravitación universal.....</i>	40
<i>La Astronomía posnewtoniana.....</i>	43
Conclusiones.....	44
Bibliografía consultada.....	45

# Introducción

En el año 1687, Isaac Newton publica sus *Principia Mathematica*, estableciendo las bases de la ciencia moderna. Con sus aportaciones se demostraba, por fin, que el universo se rige por leyes universales y principios mecánicos susceptibles de ser comprendidos por los seres humanos. Es la culminación de un largo proceso iniciado en el siglo XVI con la figura de Copérnico. Será en este marco cronológico, al que se circunscribe nuestro trabajo, en el que se produzcan cambios de tal importancia que lleguen a redefinir los propios conceptos de *ciencia* y *científico*.

Nos hemos referido a Copérnico y Newton. Si a estos dos nombres añadimos los de Kepler, Tycho Brahe y Galileo, concluiremos que la astronomía desempeña un papel fundamental en este asunto. En efecto, los principales esfuerzos de los científicos -mantengamos, provisionalmente, esta terminología- de los siglos XVI y XVII estuvieron encaminados a ofrecer un modelo del universo más ajustado a la realidad que el aceptado hasta ese momento. Veremos cómo al principio de ese arduo camino aún pesaba mucho la tradición teórica clásica, platónica y aristotélica, sistematizada por Ptolomeo; para, poco a poco, ir adquiriendo protagonismo la recogida de datos y las observaciones directas. Ya no estamos tratando con el hombre medieval que se sentía inferior a los clásicos y aceptaba sus enseñanzas casi como un dogma. El humanista, al rescatarlos, se pone a su mismo nivel, rechazando si es preciso sus principios. En este sentido, el hombre de la Edad Moderna va “perdiendo el respeto” a los clásicos en favor de su propia experiencia.

Sin embargo, para comprender la verdadera dimensión de las transformaciones que se produjeron en la astronomía de los siglos XVI y XVII tenemos que remontarnos mucho más atrás en el tiempo. Desde la Prehistoria, el firmamento ha constituido para el hombre una referencia por la que guiarse. Observando los cambios en la posición de las estrellas a lo largo del año se podía seguir el ciclo de las estaciones, lo que resultaba imprescindible en un mundo agrícola para conocer el período de lluvias, la época de siembra y de cosecha. El cómputo del tiempo pronto comenzó a codificarse siguiendo las fases lunares<sup>1</sup>, y el Sol era fuente de luz y vida en la Tierra. Por eso no resulta extraño que los primeros cultos religiosos de los que tenemos constancia tengan como deidades fundamentales a los astros; dando lugar a elaboradas mitologías que explicasen los cambios en el cielo.

---

<sup>1</sup> Las semanas tienen siete días desde los primeros calendarios, ya que ese es el tiempo que tarda la Luna en superar una fase. Igualmente el año refleja el ciclo de estas fases, repetido doce veces.

Tantos milenios de observación han hecho que hayamos interiorizado el discurso de un *cosmos* ordenado que tiene su origen en la Grecia clásica. En realidad, los científicos son cada vez más conscientes del papel fundamental que el *caos* juega en el Universo; pero para nuestras observaciones, este modelo sigue siendo de gran utilidad. Llegar hasta él no fue sencillo. Los hombres que se enfrentaron por primera vez a estas cuestiones observarían muchos cambios, aparentemente inconexos, en el cielo. Enumerarlos ahora resultaría demasiado prolijo. Baste decir que se debía contar con el ciclo diario y anual del sol, las fases lunares, la distinta duración de los días y las noches a lo largo de las estaciones, el movimiento aparente de las estrellas a lo largo del año, el “recorrido” del sol y los planetas por las constelaciones zodiacales, así como el complejo movimiento de estos últimos.<sup>2</sup>

Muchos pueblos de la Antigüedad, como el babilónico o el egipcio, nos han dejado registros de observaciones, que fusionaron con sus mitos o con su literatura. Aunque podían predecir algunos movimientos celestes, fueron los griegos quienes dieron un paso más: se lanzaron a teorizar, construyendo modelos que permitieran comprender racionalmente la estructura y el funcionamiento del universo. En definitiva, modelos que pusieran orden en el caos; que llegaran al *cosmos*. Hagamos un breve recorrido por aquellos que más han influido posteriormente.

La primera escuela a la que hemos de referirnos es a la de los pitagóricos. Pese a su hermetismo, sabemos que para ellos el principio de todas las cosas era el número. Creían, por tanto, que la matemática era la única ciencia que podía llevar al verdadero conocimiento de la realidad; ya que el universo entero era “armonía y número”. En palabras de Aristóteles:

“...creyeron que los principios de las matemáticas eran los principios de todos los seres. [...] Pareciéndoles que estaban formadas todas las cosas a semejanza de los números, y siendo por otra parte los números anteriores a todas las cosas, creyeron que [...] el cielo en su conjunto es una armonía y un número.”<sup>3</sup>

Hacemos hincapié en estas cuestiones, ya que serán importantes para comprender el modelo de universo matemático de Copérnico. Por otra parte, la cosmología de esta escuela se completaba con la creencia de una tierra esférica y situada en el centro del universo.

---

<sup>2</sup> Para estas cuestiones, ver “Los datos observacionales” en ARANA, J.; *Materia, Universo, Vida*. pp. 298-301. Ed. Tecnos. Madrid, 2001.

<sup>3</sup> ARISTÓTELES; *Metafísica*. Ed. Espasa Calpe. Madrid, 1990

En muchos aspectos, la astronomía platónica será deudora de los principios pitagóricos. Básicamente, el universo de Platón estaba formado por esferas encajadas unas en otras: en el centro, la Tierra, con una capa de agua y aire a su alrededor. En torno a ella, la capa de fuego de los astros (planetas) que gira hacia el Oeste; y al final, la esfera de las estrellas fijas. Pero lo verdaderamente importante es que la división entre el mundo sensible y el mundo de las Ideas hizo que los astros que vemos en el cielo -los del universo sensible- no fuesen sino una imagen del verdadero universo: el inteligible, matemático, eterno e inmutable. En consecuencia, la astronomía debía ocuparse de este último -que era la verdadera realidad-, tomando lo que vemos como una simple imagen para aproximarse a él. Por tanto, es lógico que los movimientos del cielo tuvieran que ser "circulares y uniformes, como corresponde a la eternidad y perfección de los astros divinos"<sup>4</sup>. Esta apreciación marcará toda la Astronomía posterior, hasta la llegada de Kepler y sus órbitas elípticas.

Aristóteles imprime un nuevo giro a la cosmología<sup>5</sup>. Con la sólida base que le dio el haber pasado 20 años como alumno de Platón en la Academia, parte de la negación de la división entre el mundo sensible y el inteligible. Para él, el mundo cambiante y dinámico en que nos encontramos no es ninguna imagen, sino la verdadera realidad. Sin embargo, el cielo no puede ser explicado con los mismos parámetros; ya que en aquella región del cosmos reina la regularidad y la armonía. Surge así una división, ya perfilada en los pitagóricos<sup>6</sup>, entre el mundo sublunar y el supralunar.

El mundo sublunar es la Tierra donde nos encontramos. Como ya hemos visto, está caracterizado por su heterogeneidad y sus cambios continuos. Aquí, los movimientos son finitos y rectilíneos; y se explican desde una perspectiva animista<sup>7</sup> y teleológica. Veámoslo más detenidamente: todos los cuerpos de esta región están formados por cuatro elementos -tierra, agua, aire y fuego-, que son estudiados como si fueran seres vivos que al moverse tienden hacia un fin, consistente en buscar su estado natural de reposo, manteniendo así el orden natural. Por tanto, el geocentrismo de Aristóteles se basa en que la Tierra, al estar compuesta en su mayoría por el elemento tierra, tenderá a ocupar el centro del cosmos, que es su lugar natural.

---

<sup>4</sup> SOLÍS, C.; SELLÉS, M.: *Historia de la ciencia*. Ed. Espasa. Madrid, 2005.

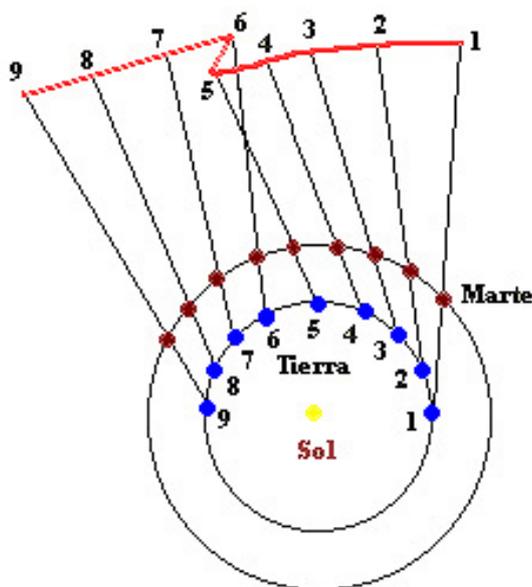
<sup>5</sup> Para el desarrollo de la cosmología de Aristóteles se ha seguido el texto de DÍEZ DE LA CORTINA, E., en <http://www.cibernous.com/autores/aristoteles>

<sup>6</sup> El pitagórico Filolao afirmaba que el Cielo ocupaba un lugar entre la Luna y el fuego central; y en él los cuerpos estaban sometidos a la generación y a la corrupción.

<sup>7</sup> El animismo ya se encontraba en la astronomía de Platón, al afirmar que el Demiurgo había creado a los astros como seres "*divinos, vivientes, eternos, esféricos e ígneos*". (República, 529a-530c). Esta corriente será ampliamente aceptada hasta que los científicos del siglo XVII la sustituyan por el mecanicismo.

El mundo supralunar está formado por la Luna, el Sol, las estrellas, y los cinco planetas conocidos hasta entonces –Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno; ya que la Tierra no se consideraba un planeta-. A diferencia de la anterior, esta región del cosmos se caracteriza por la armonía, el orden y la regularidad; debido a que está compuesta de un quinto elemento: el éter, incorruptible y eterno; que otorga al cielo una perfección y una homogeneidad impensables para los cuerpos terrestres. Además, el éter posee un movimiento circular natural y uniforme. Para explicar los movimientos de los planetas, Aristóteles retoma y amplía el sistema de esferas proveniente de Platón y mejorado por Eudoxo de Cnido: éstos no se moverían por sí solos; sino que lo harían las esferas de éter en las que se encuentran.

El universo aristotélico condicionará el desarrollo de toda la Astronomía medieval y moderna. Habrá que dar un salto hasta el siglo II de nuestra Era para encontrar una obra que tenga una trascendencia similar. Se trata del *Almagesto* de Ptolomeo que, en realidad no aporta mucho de novedoso. Es cierto que hay elementos nuevos; pero en lo sustancial es una sistematización de los conocimientos adquiridos hasta entonces. El principal problema con que se encontraban los modelos anteriores era encontrar una explicación plausible al movimiento de los planetas. Los “errantes” (pues esto es lo que significa *planeta* en griego) describían complicadas trayectorias entre las estrellas fijas de las constelaciones zodiacales; sin presentar una velocidad ni una dirección constante: a veces parecían estacionarse y otras retroceder (retrogradación planetaria). La observación sistemática daba lugar a un movimiento en zig-zag que no se correspondía con la teoría de los movimientos circulares y uniformes.



Retrogradación planetaria. La línea superior se corresponde con la trayectoria del planeta Marte observado desde la Tierra en varias noches sucesivas. Aunque en un momento parece detenerse y retroceder, es tan sólo un efecto de perspectiva. El geocentrismo encontraba en estos movimientos un problema de difícil solución, resuelto mediante un intrincado sistema de epiciclos, deferentes y ecuantes.

Fuente: [www.espacial.org](http://www.espacial.org)

En el *Almagesto* se perfecciona una solución que se conocía ya desde el III a.C., y que lograba conciliar –si bien con algunas irregularidades– los presupuestos teóricos de la cosmología imperante con los datos observacionales. Se trata del sistema epicicloide; consistente en la introducción de una nueva curva dentro de los movimientos planetarios.<sup>8</sup> En su búsqueda de una mayor precisión, Ptolomeo introdujo una variable más: el ecuante.<sup>9</sup> Nos encontramos ante un sistema de cálculos complejísimo que, respetando el geocentrismo y los principios cosmológicos de la tradición griega, era capaz de dar una respuesta satisfactoria a los movimientos del Sol, la Luna y los planetas. La Iglesia lo aceptó y se mantuvo vigente más de un milenio, si bien a costa de ir aumentando progresivamente su complejidad. A grandes rasgos, esta será la herencia que recogerá Copérnico en el siglo XVI.

Ahora veremos cómo todas estas teorías irán cayendo en un proceso imparabile, una tras otra, como un castillo de naipes. En primer lugar, la geocéntrica. Después, la que hablaba de la perfección y regularidad de los movimientos circulares. Asistiremos a la constatación de que el mundo supralunar es tan imperfecto como el nuestro. Y, finalmente, veremos cómo se resquebrajan las esferas de Aristóteles. En tan solo doscientos años, se derrumbará un edificio cosmológico milenario.

---

<sup>8</sup> La curva del epicicloide, a pesar de ser cerrada y con bucles, “resulta de la suma de dos movimientos circulares y uniformes, el primero de los cuales se efectúa alrededor de un centro fijo (deferente), mientras que el segundo (epiciclo) posee un centro móvil que recorre con velocidad uniforme la deferente.” En “El mundo ptolemaico”. De ARANA, J.: *Materia, Universo, Vida*. pp. 312-315. Ed. Tecnos. Madrid, 2001

<sup>9</sup> “Los movimientos circulares ya no progresaban a un ritmo uniforme cuando se observaban desde el centro de la órbita ni desde la posición terrestre, sino sólo midiéndolos desde un tercer punto, llamado “ecuante” porque sólo desde él se igualan las velocidades angulares.” Ídem.

# I. El universo copernicano: ¿Una cosmología revolucionaria?

Junto con Galileo y Newton, Copérnico es una de esas figuras que han trascendido su propio tiempo, pasando a formar parte del imaginario colectivo. Sobre ellas se ha hablado mucho, creándose una imagen popular que, en ocasiones, no se corresponde con la realidad. Copérnico ha pasado a la historia como un revolucionario que, con su teoría heliocéntrica, dio al traste con toda la cosmología anterior. Es lugar común asumir que a partir de sus descubrimientos cambió radicalmente la visión que el hombre tenía de su lugar en el universo. Incluso el término “revolución copernicana” ha hecho fortuna, utilizándose para hacer referencia a campos que no tienen nada que ver con la astronomía (así lo hacemos al hablar de la “revolución copernicana de Kant”, por ejemplo).

Sin embargo, algunos autores sostienen que la verdadera historia nos da una imagen bien distinta de Copérnico. Católico, desde la ortodoxia y comodidad de su puesto como canónigo de Frauemburg, desarrollaría lentamente su reforma astronómica sin más pretensiones; casi como un pasatiempo. Por decirlo de alguna manera, sus propios descubrimientos le sobrepasaron, sin que él mismo se diera –o quisiera darse- cuenta de su enorme trascendencia.

Pero antes de poder valorar con criterio lo que significó su obra, es necesario conocer sus hallazgos y, sobre todo, las motivaciones que le hicieron llegar hasta ellos. Copérnico nació en la ciudad polaca de Torun, en el año de 1473. Estudió matemáticas<sup>10</sup> en Cracovia; y más tarde derecho canónico en Bolonia y Ferrara; además de medicina en Padua. Al volver a Polonia, su tío, el obispo de Emerland, le proporcionó una canonjía en Frauemburg; lo que se convertiría en su principal fuente de ingresos hasta su muerte. Polifacético, prototipo del “hombre renacentista”, tuvo pericia en la pintura, hizo un proyecto para reformar el sistema monetario y estudió una reforma del calendario que finalmente no llevó a cabo.

Aunque la astronomía tenía para él un papel secundario, se interesó por ella desde muy pronto. Gracias a sus años de estudio en Italia, conocía los clásicos; y seguramente entró en contacto con la obra de Aristarco de Samos, griego del siglo III a.C., que en su *De los tamaños y las distancias del Sol y de la Luna*, defendía la teoría heliocéntrica. Los diez siglos de Edad Media habían consagrado el modelo de las esferas como

---

<sup>10</sup> No olvidemos que en época de Copérnico, la astronomía era una rama de las matemáticas; y como tal, la estudiaría en el *quadriovium*, aunque no a un nivel profesional.

única forma posible de explicar el cosmos. El *Almagesto*, conocido gracias a su traducción árabe, era considerado la mejor explicación sobre los movimientos planetarios; con el añadido de que coincidía, además, con las Sagradas Escrituras.

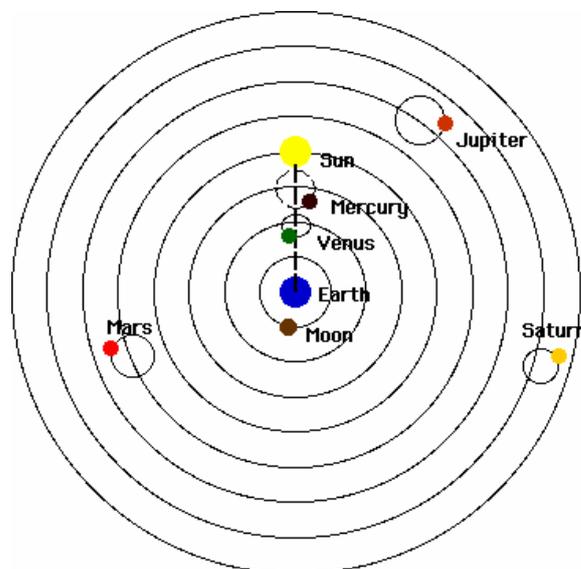
A Copérnico, el modelo ptolemaico le parecía muy complicado. Pronto se dio cuenta de que “*mediante distintas composiciones y combinaciones de movimientos uniformes podían lograr que un cuerpo pareciera moverse hacia cualquier lugar del espacio*”<sup>11</sup> Durante cientos de años, el principal caballo de batalla había sido el movimiento de los planetas; y el elaborado conjunto de deferentes y ecuantes utilizado para describirlo. El sistema de Ptolomeo se revelaba útil para prever los acontecimientos celestes –eclipses, posición de los planetas, etc.- con cierta precisión. Pero no era *como debía ser*. No se ajustaba completamente a las normas cosmológicas de los movimientos circulares y uniformes. Y, por si fuera poco, su extrema complejidad hacía que estuviese carente de *armonía*.<sup>12</sup>

Dejando a un lado las cuestiones teóricas, este sistema no era capaz de resolver dos problemas fundamentales: en primer lugar, cada planeta tenía su propio modelo, sus propios epiciclos y su propia excentricidad; sin que existiera una explicación global de todos los movimientos. Por otro lado, la gran excentricidad de la órbita de la Luna hacía que ésta tuviese que variar muchísimo su tamaño aparente; lo cual no sucedía.

---

<sup>11</sup> COPÉRNICO, N. *Commentariolus*, h. 1510; en SOLÍS, C. y SELLÉS, M. *Historia de la Ciencia*. Madrid, Espasa, 2005.

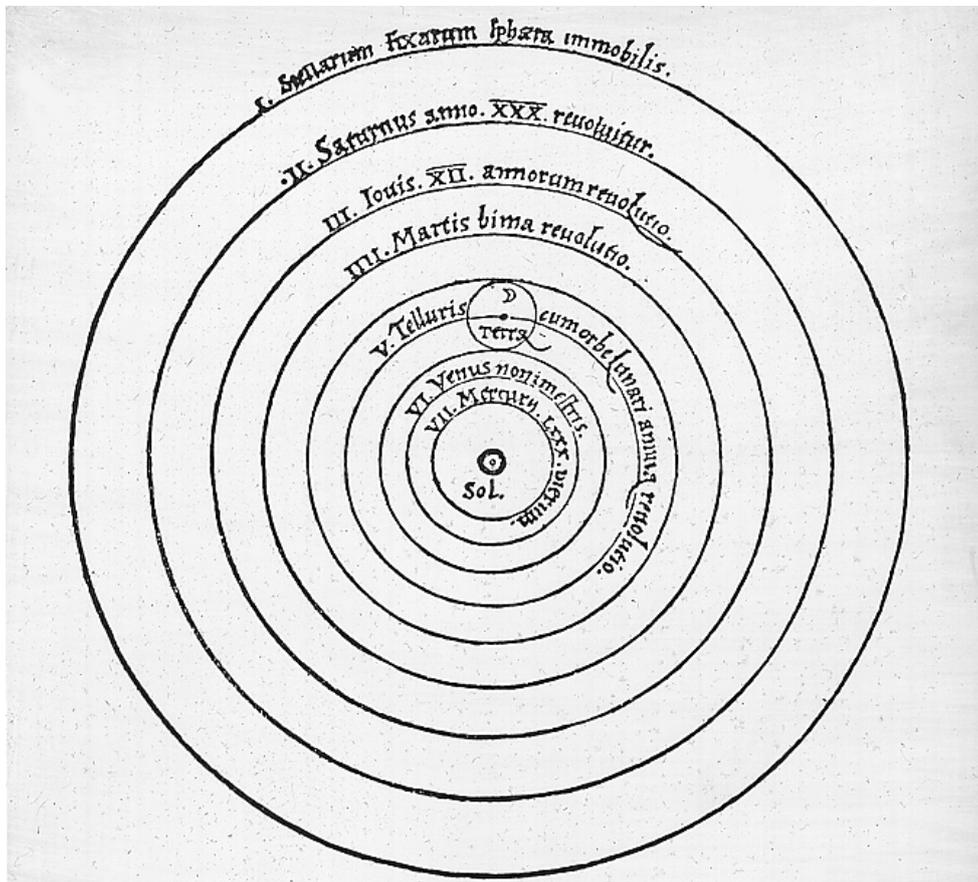
<sup>12</sup> Este es un gráfico simplificado del sistema ptolemaico. Para explicar los movimientos de los planetas utiliza dos movimientos circulares. El primero alrededor de la Tierra, situada en el centro del Universo –si bien para explicar la excentricidad de las órbitas Ptolomeo afirmaba que el verdadero centro no era éste, sino un punto cercano-; y otro que haría cada planeta, independientemente, alrededor de otro centro propio. Se daba así respuesta al misterio que hacía “retroceder” a los planetas en determinadas fechas.



Fuente: *Canada's Capital University*.  
[www.carleton.ca](http://www.carleton.ca)

## El heliostatismo de Copérnico

Dando vueltas a estas cuestiones, Copérnico halló una solución tan sencilla como eficaz: dar a la Tierra el movimiento aparente que tenía el Sol en las viejas cosmologías; situando a éste donde antes se encontraba aquella. No es, por tanto, un sistema heliocéntrico; sino heliostático. El Sol se coloca muy cerca del centro; pero no en el centro mismo.<sup>13</sup> Si observamos el gráfico inferior, extraído del *Commentariolus* –la primera obra en la que esta teoría quedó impresa; siendo publicada alrededor de 1510- concluiremos que las similitudes con el modelo ptolemaico son más que evidentes. No es, ni mucho menos, una ruptura radical. Las esferas quedan intactas; y los movimientos circulares no se rechazan. “Parecería completamente absurdo que un cuerpo celeste no se moviera uniformemente por un círculo perfecto”.<sup>14</sup>



Fuente: SOLÍS, C.; SELLÉS, M.: *Historia de la ciencia*. Ed. Espasa. Madrid, 2005

<sup>13</sup> El modelo ptolemaico también funcionaba así. Al no situar la Tierra en el centro matemático, se conseguía una mayor adecuación entre la teoría y las observaciones. Copérnico mantiene la excentricidad en su sistema.

<sup>14</sup> Recordemos que el sistema de Ptolomeo retomaba las ideas platónicas de la perfección de las figuras geométricas: los objetos estelares debían moverse describiendo círculos perfectos; debido a que los círculos son algo perfecto.

No obstante, la cosmología copernicana conllevaba algunos cambios fundamentales:

1. El Sol se detiene, ocupando, a efectos prácticos, un lugar central.
2. La Tierra, antes inmóvil, adquiere ahora tres movimientos: uno diurno, otro anual y otro de precesión.<sup>15</sup> Con ello, podían explicarse fácilmente muchos movimientos y anomalías del sistema ptolemaico -el orden y distancia real de los astros; o la causa de los principales fenómenos planetarios, entre otros-.
3. Los movimientos planetarios consiguen, por fin, explicarse globalmente, al postular que todos ellos giran alrededor de un mismo centro. Esto no significa que el Sol desempeñe ningún papel físico ni geométrico. El heliostatismo no se convertirá en heliocentrismo hasta la llegada de Kepler.
4. El universo se agranda. Al conferir movimiento a la Tierra, deberíamos apreciar un rápido efecto de paralaje en las "estrellas fijas"; similar al que notamos al ir en coche, en el que el paisaje parece quedar atrás. Ante este problema se optó por agrandar el tamaño del universo, suponiendo que la esfera estelar se encontraba mucho más lejos de lo que se había creído hasta entonces; tanto que desde nuestra perspectiva no notaríamos la paralaje.

Lo cierto es que Copérnico logró simplificar el esquema celeste manteniendo intactos los principios fundamentales del modelo ptolemaico. Con el nuevo sistema, la retrogradación planetaria quedaba explicada como un efecto óptico; eliminando así los farragosos deferentes y ecuantos utilizados hasta entonces. No obstante, la armonía del conjunto quedaba un tanto empañada por la introducción de pequeños epiciclos, destinados a corregir algunas irregularidades que se presentaban al suponer que las órbitas de los planetas eran círculos perfectos; cuando en realidad son elipses. A estos efectos, son muy interesantes las palabras de John Gribbin en su *Historia de la ciencia*:

"Copérnico deseaba un modelo en el que todo se moviera alrededor de un único centro a una velocidad invariable, y este deseo se basaba en razones estéticas, en la misma medida en que podía tener motivaciones de otro tipo. Su modelo pretendía ser un modo de conseguir esto, pero

---

<sup>15</sup> "En efecto, si la Tierra se ve arrastrada en su movimiento anual por hallarse fijada a una capa esférica, su eje debería apuntar a una zona distinta del cielo a lo largo del año. Para mantener el paralelismo de todas las posiciones del eje, hay que darle a éste un movimiento de precesión anual en sentido contrario al de la Tierra para contrarrestarlo." SOLÍS, C.; SELLES, M.: *Historia de la ciencia*. Ed. Espasa. Madrid, 2005

falló por sus propias contradicciones. Colocar el Sol en el centro suponía dar un gran salto, pero aún era necesario que la Luna describiera su órbita alrededor de la Tierra y todavía faltaban los epiciclos para explicar por qué los planetas parecían acelerarse y desacelerarse mientras recorrían sus órbitas.”<sup>16</sup>

Es muy importante comprender las causas del cambio copernicano; ya que estamos a medio camino entre los filósofos de la Antigüedad y los científicos del XVII. A diferencia de estos últimos, sus teorías se basaban en ideas filosóficas neoplatónicas y pitagóricas; y no en los datos empíricos, en la observación y los experimentos, que sólo servían para reforzarlas.

“... Habiendo reparado en estos defectos [de las teóricas planetarias anteriores] me preguntaba a menudo si sería posible hallar un sistema de círculos más racional, mediante el cual se pudiera dar cuenta de toda irregularidad aparente sin tener que postular para ello movimiento alguno distinto del uniforme acerca el centro correspondiente, tal como exige el principio del movimiento perfecto”.<sup>17</sup>

Buscando una mayor armonía cósmica, Copérnico dio con un modelo muy superior; pero que parecía estar en contra del sentido común. La oposición a sus ideas no se hizo esperar.

---

<sup>16</sup> GRIBBIN, J.: *Historia de la ciencia. 1543-2001*. Ed. Crítica. Barcelona, 2003

<sup>17</sup> COPÉRNICO, N. *Commentariolus*, h. 1510; en SOLÍS, C. y SELLÉS, M. *Historia de la Ciencia*. Madrid, Espasa, 2005.

## *Los ataques al nuevo sistema*

Presentar modificaciones a una cosmología aceptada durante más de un milenio era un atrevimiento no exento de críticas. En contra de lo que pudiera parecer, los primeros ataques no vinieron de la Iglesia; sino de los físicos. A finales de la Edad Media, la física se encontraba totalmente supeditada a los principios aristotélicos. Dos de ellos eran incompatibles con el nuevo sistema. Recordemos que para Aristóteles, en el mundo sublunar donde nos encontramos, el movimiento sólo podía ser rectilíneo y finito. La Tierra debía ser inmóvil y estar situada en el centro del universo, ya que el elemento tierra del que ésta se constituye tiende al centro. Pues bien, el sistema copernicano implicaba eliminar a la Tierra del centro, ponerla en movimiento; y además hacerlo de manera circular.

Por si fuera poco, el finalismo imperante no aceptaba el aumento de tamaño que el nuevo modelo introducía entre Saturno y la esfera de las estrellas fijas para contrarrestar la paralaje. ¿Para qué servía tanto espacio vacío? ¿Por qué Dios habría creado tanto espacio inútil entre ambas esferas? Y, en otro orden de cosas, si la Tierra se mueve, ¿por qué no salimos despedidos; por qué las cosas caen en línea recta y no hacia el Oeste? Si el Sol está en el centro del Universo, ¿por qué no caen todos los objetos sobre él? La autoridad de Aristóteles pesaba demasiado para obviar estas cuestiones; y Copérnico no disponía de argumentos contundentes con los que hacerles frente. Su modelo matemático pedía a gritos una nueva física en la que sustentarse.

Nos hallamos ante la gestación de un cambio de primera magnitud, que culminará en el siglo XVII con la Revolución Científica. La física había estado hasta entonces por encima de las matemáticas, como única ciencia capaz de describir la realidad del mundo. Aceptar el modelo de Copérnico supondrá invertir estos papeles de subordinación; siendo por primera vez las matemáticas quienes dicten un cambio tan radical en la física que acabará desmontando todos los principios cosmológicos aceptados hasta entonces. No obstante, esto no ocurrirá hasta la llegada de Kepler, cien años más tarde.

En otro orden de cosas, era de esperar que colocar al Sol en centro del universo levantara ampollas en un estamento tan poderoso como el eclesiástico. Por eso, a primera vista puede resultar desconcertante la tibieza con que los católicos recibieron el nuevo modelo. Se han aducido razones de todo tipo para justificar esta postura: desde las presuntas influencias de Copérnico en las altas esferas eclesiásticas, hasta la conveniencia para la Iglesia de este nuevo sistema, que permitiría al fin acometer una imprescindible reforma en el calendario. Sin negar la veracidad de estos argumentos, nos parece que el fondo de la cuestión está en relación directa con la ya referida concepción de la física y las

matemáticas. Por eso, mientras el nuevo heliocentrismo fuese considerado una abstracción para explicar más fácilmente los fenómenos celestes, no habría problema; pues un modelo matemático no tenía por qué corresponderse con la realidad. Las dificultades llegarían cuando empiecen a oírse voces que defiendan el universo de Copérnico más allá de la simple abstracción matemática, e intenten darle una realidad física.

Lo cierto es que a la altura de 1561, en Salamanca podía optarse por leer el *De Revolutionibus*<sup>18</sup> copernicano; y a partir de 1594 su estudio se hizo obligatorio. Hubo incluso un agustino, Diego de Zúñiga, que intentó demostrar la compatibilidad de las nuevas teorías con los textos bíblicos. Afirmaba, por ejemplo, que la frase del Eclesiastés donde se lee que “la Tierra permanece siempre” no conlleva la ausencia física de movimiento si se la contextualiza adecuadamente: “Una generación pasa, otra generación viene, y la tierra permanece siempre.”<sup>19</sup> Más allá de la simple anécdota, el caso de Zúñiga es un exponente del grado de tolerancia que la Iglesia Católica tuvo en un primer momento con respecto a las nuevas teorías.

En 1517, otro agustino llamado Martín Lutero, iba a precipitar la escisión de la cristiandad occidental en dos mitades por mucho tiempo irreconciliables. La Reforma se extendía por Europa, influyendo de una forma decisiva en la obra de Copérnico. A diferencia del catolicismo, que no contaba por entonces con una cosmología perfectamente definida<sup>20</sup>, los protestantes encontraron este problema resuelto gracias al principio de inspiración literal de la Biblia. Las palabras de Lutero no podían ser más claras al respecto: “Este necio pretende trastornar toda la ciencia de la astronomía; pero la Sagrada Escritura nos dice que Josué ordenó al sol y no a la tierra que permaneciera inmóvil”<sup>21</sup>.

Pese a todo, fueron en última instancia motivos personales los que retrasaron la publicación definitiva del *Revolutionibus* hasta el año de la muerte de su autor. Sus reticencias son comprensibles, dado que planteaba un sistema que chocaba con los principios aristotélicos y parecía ir en contra del sentido común; siendo tan sólo un “astrónomo

---

<sup>18</sup> El *Revolutionibus* se publicó en 1543. En él, Copérnico desarrollaba su teoría heliocéntrica más ampliamente que en el breve *Commentariolus* aparecido en 1510.

<sup>19</sup> Ecl. 1, 4-5

<sup>20</sup> “Con posterioridad al siglo XVI, la iglesia no había proclamado ninguna cosmología ortodoxa. Quizá las disparatadas empresas y las frustraciones de la geografía cristiana, junto con las innovadoras revelaciones seculares de la nueva era de la navegación, tuvieron algo que ver.” BOORSTIN, DANIEL J. *Los Descubridores*. Ed. Crítica. Barcelona, 2000

<sup>21</sup> Ídem.

Lutero se refiere al pasaje bíblico que aparece en el libro de Josué: “¡Sol, detente sobre Gabaón! ¡Y tú, luna, sobre el valle de Ayalón! Y el sol se detuvo y la luna se paró hasta que el pueblo venció a sus enemigos. Todo esto está escrito en el Libro del Justo. El sol se detuvo en el cielo y tardó un día entero en ponerse.” Jos. 10, 12-14

advenedizo”, como solía llamarlo Lutero. Finalmente, la insistencia de sus amigos y alumnos decidió a Copérnico dar su obra a la imprenta, siendo supervisada por Georg Joachim *Rheticus*; uno de sus más fervientes seguidores. Sin embargo, tuvo que abandonar antes de que pudiera ser publicada, retomando la tarea el luterano Andreas Osiander. Por fin, en 1543, la primera edición de *De Revolutionibus Orbium Caelestium* llegó a manos de su autor poco antes de morir.

Sin embargo, Osiander había incluido un prólogo apócrifo donde se afirmaba que “estas hipótesis no tienen por qué ser verdaderas ni siquiera probables; si dan lugar a un cálculo que coincida con las observaciones con ello basta... En lo que se refiere a las hipótesis, que nadie espere nada cierto de la astronomía, pues no puede proporcionárselo, a menos que acepte como verdaderas ideas concebidas con otro propósito y salga de este estudio siendo más tonto que cuando entró en él”<sup>22</sup>. Ya fuera para salvar la ortodoxia o para proteger a su autor -intención inútil, pues moriría ese mismo año-, lo cierto es que el prólogo fue tenido como verdadero hasta que Kepler logró desenmascarar aquella “absurda ficción”.

---

<sup>22</sup> En BOORSTIN, DANIEL J. *Los Descubridores*. Ed. Crítica. Barcelona, 2000

## *Visiones contradictorias*

Al iniciar este epígrafe apuntábamos cómo la figura de Copérnico ha sido vista bajo prismas muy diferentes a lo largo de la historia; desde aquellos que lo consideran un revolucionario, hasta los que piensan que su obra puede encuadrarse dentro de los cánones más tradicionales. Los primeros creen que el heliocentrismo supone una ruptura radical con toda la cosmología vigente desde hacía 1.400 años. Para ellos, el nuevo modelo acabaría con los presupuestos aristotélicos y ptolemaicos, siendo directo precursor de la Revolución Científica del siglo XVII. Por primera vez se desterraría al hombre del centro del universo, dándole a conocer su verdadero lugar en el cosmos; lo que es interpretado como otro elemento de modernidad, ya que suponía poner en cuestión la literalidad de los textos bíblicos.

Hay, sin embargo, otra historiografía que tiende a limitar las innovaciones de Copérnico<sup>23</sup>, argumentando que sus motivaciones ni eran científicas ni estaban relacionadas con ningún propósito innovador; tanto que su modelo se considera incluso pre-ptolemaico, ya que eliminaba los ecuantos para explicar el movimiento de los planetas. Estos autores creen que la aureola revolucionaria de su obra viene determinada por su utilización posterior a manos de Kepler o Galileo, con el fin de dar autoridad a sus propios trabajos, que sí supusieron una ruptura definitiva con la cosmología anterior.

Por otra parte, la pretendida lección de humildad que recibió el hombre al poner al Sol en el centro del universo es considerada por esta otra corriente como un anacronismo. Si nos acercamos a la visión que en la época se tenía de la Tierra, comprobaremos que el centro del universo distaba mucho de ser un lugar perfecto. Desde Platón, el nuestro era un mundo sometido a la corrupción y la generación; a la muerte y a las desgracias. Con Hesíodo comprendimos que gloriosa Edad de Oro había pasado, encontrándose la humanidad en la prosaica Edad de Hierro. Aristóteles no hizo más que reforzar este pensamiento, situándonos en el mundo sublunar, imperfecto y perecedero. La tradición cristiana continuó con esta tradición, y la Tierra pasó a considerarse como un lugar de destierro; un “valle de lágrimas” al que el hombre había ido a parar tras la expulsión del Paraíso; y en el que nos encontraríamos “gimiendo y llorando” hasta la segunda venida de Cristo. Así, lo que más debía preocupar a Copérnico no era la nueva posición de la Tierra: en realidad, era el Sol quien había recibido una ofensa.

---

<sup>23</sup> Una muestra de esta interpretación se encuentra en “La revolución copernicana”. ARANA, J. *Materia, Universo, Vida*. pp. 315-319. Ed. Tecnos. Madrid, 2001

Es razonable pensar que la realidad compartiese puntos de una y otra teoría. Ciertamente, con su modelo, Copérnico sólo pretendía una reforma astronómica que hiciera más armonioso el sistema ptolemaico; respetando todos los presupuestos cosmológicos tradicionales de movimientos circulares y uniformes. También es innegable que los datos no jugaron un papel esencial a la hora de su concepción, y que el heliocentrismo ya había sido postulado por otros autores, como Aristarco de Samos. Sin embargo, al igual que fue Colón quien descubrió América para el mundo; fue Copérnico, al rescatar esta teoría, quien encendió la chispa que en tan solo 200 años haría estallar todo el edificio cosmológico aristotélico. Que su intención estaba muy lejos de aquello, nadie lo duda; pero lo cierto es que sin su obra, el desarrollo posterior de la astronomía no hubiese podido ser el mismo.

En último término, no nos resistimos a preguntarnos qué pensaría el autor de su propio sistema. ¿Lo concebiría tan sólo como un modelo teórico sin correspondencia con la realidad, o creería estar describiendo el verdadero universo? Aunque nunca lo sabremos con certeza, podemos arriesgarnos a plantear una hipótesis. Ya hemos visto que para los aristotélicos sólo la física podía aspirar al conocimiento del mundo. Por el contrario, pitagóricos y neoplatónicos pensaban que todo lo que existe tiene su fundamento en los números; siendo estos los componentes últimos de la verdadera realidad, descrita para ellos por las matemáticas.

En el siglo XVI, el neoplatonismo resurgió con fuerza. El propio Copérnico tuvo como maestro al neoplatónico Domenico María de Novara; y él mismo se adscribía sin reparos a esta corriente. Por eso, no parece aventurado suponer que, más allá de un simple modelo teórico, el *De Revolutionibus* pretendiese “describir las verdades reales de un universo esencialmente matemático”<sup>24</sup>.

---

<sup>24</sup> BOORSTIN, DANIEL J. *Los Descubridores*. Ed. Crítica. Barcelona, 2000

## *Después de Copérnico*

Contra lo que pudiera parecer, la obra de Copérnico pasó bastante desapercibida tras su publicación en 1543. Salvo su alumno Rheticus, y algunos personajes como Thomas Digges -que dio un paso más, postulando que las estrellas se extendían más allá de la octava esfera, conformando un universo infinito--, el nuevo modelo se encontró con pocos valedores, la condena del luteranismo y la indiferencia del catolicismo. Sin embargo, setenta años después, el *De Revolutionibus* entró en el índice inquisitorial; y sus ideas fueron consideradas heréticas. ¿Cuál fue el motivo de este cambio tan drástico?

Tras la caída de Constantinopla, en 1452, llegaron a la Academia de los Médicis ciertos textos firmados por un filósofo egipcio del 2.000 a.C. llamado Hermes Trimegisto -luego se descubriría que, en realidad, eran escritos griegos del siglo II-. Los humanistas florentinos enseguida tradujeron su obra al latín, asistiendo Europa a un espectacular rebrote de magia. Para lo que aquí nos interesa, basta saber que el hermetismo intentaba recuperar antiguas creencias que consideraban al Sol como un Dios.

Una de las figuras principales de este pensamiento llevaba por nombre Giordano Bruno, y afirmaba que la Iglesia Católica debía reconducirse hasta alcanzar la fe verdadera; que no era otra sino la que propugnaba el hermetismo. Su visión del mundo coincidía con un universo en cuyo centro se situaba mayestáticamente el sol. En consecuencia, defendió ardientemente ciertos aspectos del modelo copernicano, antes de ser acusado de arrianismo y ejecutado por la Inquisición. Su caso tuvo tal trascendencia que las teorías de Copérnico comenzaron a oler cada vez más a herejía; hasta ser desaprobadas a la altura de 1600. En 1616, su obra entraba en el Índice de libros prohibidos; tal vez para frenar su aplicación a las observaciones de Galileo. Católicos y protestantes radicalizaban sus posturas: la Guerra de los Treinta Años estaba próxima.

## II. De Brahe a Kepler. Entre la observación y la teoría.

Con la ayuda de los datos aportados por Tycho Brahe, Kepler fue el primero que presentó un alegato contundente a favor de la obra de Copérnico, cincuenta años después de su publicación. Sus descubrimientos iniciaban un camino completamente nuevo para la Astronomía.

### *Las observaciones de Tycho Brahe*

A los modelos ptolemaico y copernicano vino a unirse un tercero, cuyo promotor fue un noble danés conocido como Tycho Brahe; que llegaría a convertirse en el mejor observador de los cielos conocido hasta entonces. Estudió astronomía y matemáticas en la Universidad de Copenhague, recibiendo una sólida formación aristotélica. Desde el principio se sintió maravillado ante la posibilidad de predecir eventos celestes. Sin embargo, su fascinación inicial pronto se vio defraudada por la inexactitud de las predicciones, que tenían un margen de error de unos 10 minutos de arco<sup>25</sup>. El movimiento de los planetas aún seguía siendo el principal caballo de batalla; y el cálculo de sus trayectorias todavía dejaba mucho que desear.

A lo largo de su vida, Brahe acometió la tarea que ningún otro astrónomo se había atrevido a realizar hasta entonces: en su convencimiento de que la única manera de calcular correctamente las órbitas de los planetas era realizando nuevas y precisas observaciones, se lanzó a tal propósito, sin dar por válidas a priori las recogidas en la obra de Ptolomeo. La autoridad de los antiguos se cuestionaba cada vez más. Pese a ser copernicano en sus técnicas, no aceptaba el modelo heliocéntrico; ya que era “demasiado piadoso para contradecir las palabras de la Biblia, y demasiado aristotélico para aceptar el movimiento de la Tierra.”<sup>26</sup>

Brahe nunca sufrió problemas económicos. La pertenencia al estamento nobiliario, unida a su creciente prestigio como astrónomo y astrólogo, sirvieron para abrirle muchas puertas. Un eclipse de Luna

---

<sup>25</sup> “Para determinar la posición precisa en que estaba situada determinada estrella, se había dividido el horizonte en 360 grados, cada grado en 60 minutos y cada minuto en 60 segundos. La altura sobre el horizonte se medía de 0° a 90°.” En ARANA, J.: *Materia, Universo, Vida*. Ed. Tecnos. Madrid, 2001.

<sup>26</sup> SOLÍS, C.; SELLÉS, M.: *Historia de la Ciencia*. Ed Espasa. Madrid, 2005

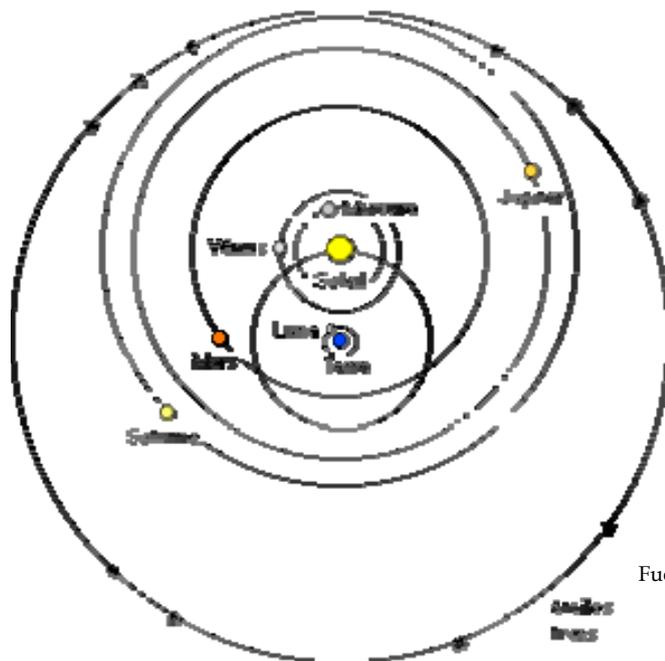
acaecido en 1566 le hizo predecir la muerte de Solimán *el magnífico*.<sup>27</sup> A pesar de su carácter arrogante -perdió parte de la nariz en un duelo a los veinte años, sustituyéndola por una prótesis de oro y plata-, su fama creció hasta tal punto que el rey Federico II de Dinamarca comprendió el prestigio que Brahe daría al reino si permanecía allí. A tal efecto le concedió el dominio sobre la isla de Hveen, donde situó un observatorio al que llamó “Uraniborg”, o “Castillo del Cielo”. Además de imprentas, bibliotecas, talleres y laboratorios alquímicos, allí se construyeron los instrumentos astronómicos más grandes y precisos conocidos hasta la fecha (sextantes, cuadrantes, armillas); para conseguir la mayor exactitud posible en sus metódicas observaciones (consistentes en medir cada noche las posiciones de los planetas con respecto a las estrellas fijas). A ellas se dedicaría la mayor parte de su vida; llegando a conseguir una precisión media de 4 minutos.

Ya hemos dicho que Brahe creía en un universo geocéntrico. No obstante, adoptó un nuevo modelo, a medio camino entre Ptolomeo y Copérnico. En él, la Tierra se encontraba fija en el centro del universo. El Sol, la Luna y las estrellas fijas girarían a su alrededor; pero los demás planetas no lo harían alrededor de la Tierra, sino del Sol. De esta manera, podía conciliar su profundo aristotelismo y las ideas luteranas con la simplicidad del sistema copernicano. Se ha aducido que para alguien que dependía directamente de un monarca protestante era imposible defender el modelo de Copérnico. Aunque este argumento pudiera haber influido en Brahe, lo cierto es que consideraba el movimiento de la Tierra un “absurdo físico”. No olvidemos que en su época, la opinión mayoritaria, avalada por el sentido común y la autoridad de Aristóteles, era suponer que la Tierra se encontraba inmóvil y en un lugar central<sup>28</sup>.

---

<sup>27</sup> “Hasta el siglo XVII, la astrología fue una disciplina matemática. [...] La idea básica es que en los astros residen fuerzas de las que emanan influencias que no se limitan a mover sus excéntricas y epiciclos, sino que, debido a la continuidad del éter y la atmósfera, se propagan hasta este suelo. [...] Por ejemplo, de la posición del Sol dependen las estaciones, el clima vegetal y animal. [...] Asimismo, la Luna rige el flujo y reflujo del mar. [...] El carácter imperfecto y no necesario de la naturaleza terrestre evitaba la refutación instantánea del programa astrológico por el fallo de un pronóstico.” SOLÍS, C.; SELLÉS, M.: *Historia de la Ciencia*. Ed Espasa. Madrid, 2005.

<sup>28</sup> “[Brahe] no podía aceptar el “absurdo físico”, admitir que la Tierra se movía, y estaba convencido de que, si la Tierra realizara un movimiento de rotación sobre su eje, entonces una piedra que cayera de lo alto de una torre se desviaría hacia un lado a cierta distancia de la torre, ya que la Tierra se movería bajo la piedra mientras ésta iba cayendo.” En GRIBBIN, J: *Historia de la ciencia. 1543-2001*. Ed. Crítica. Barcelona, 2003



El Universo según Brahe. Con este modelo, llegaba a un compromiso razonable entre el geocentrismo y la simplicidad del sistema copernicano. La Tierra se sitúa en el centro; pero los demás planetas giran alrededor del sol.

Fuente: <http://media4.obspm.fr/public/IUFM>

La noche del 11 de noviembre de 1572 tuvo lugar un hecho que dejaría heridas de muerte a las esferas de Aristóteles. Tycho Brahe se encontraba observando el firmamento cuando algo comenzó a brillar súbitamente en la constelación de Casiopea. Era una supernova. Nunca podremos imaginar en toda su dimensión lo que aquello significaba para un europeo del siglo XVI. Simplemente, estaría viendo algo que físicamente *no podía ocurrir*. Por definición, el mundo supralunar era eterno e inmutable; y debería seguir siendo así por siempre. Las estrellas fijas eran luces pegadas a una esfera cristalina desde la creación del mundo. Sin embargo, aquel resplandor siguió brillando varios meses antes de apagarse. No podía negarse la evidencia. Brahe observó con su habitual meticulosidad la nueva luminaria, llegando a la conclusión de que aquello sólo podía ser una nueva estrella.<sup>29</sup> Algo estaba fallando en la física de las esferas.<sup>30</sup>

Como si la naturaleza hubiera querido acelerar el camino de la nueva ciencia, en 1577 pudo verse un cometa desde Dinamarca. Era un fenómeno bastante común que no alteraba el principio de movimientos circulares y la inmutabilidad del mundo celeste; pues se pensaba que los cometas estaban situados entre la Tierra y la Luna. Eran, por tanto, objetos del mundo sublunar, donde la imperfección y el cambio estaban absolutamente aceptados. Sin embargo, nada escapaba a la insistente

<sup>29</sup> La merecida fama de Tycho Brahe no puede hacernos olvidar que hubo otros astrónomos, como el español Jerónimo Muñoz, que llegaron a la misma conclusión al estudiar la nova de 1572.

<sup>30</sup> Sus estudios acerca de la nueva estrella fueron publicados en 1573, en la obra *De Nova Stella*. En ella se asignaba un posible significado astrológico al fenómeno; prueba de que astronomía y astrología no tenían aún una división clara.

observación de Brahe. Con sus minuciosos análisis, demostró lo inviable de esta teoría; ya que en realidad, el cometa se estaba moviendo *entre* los planetas. Estaría, por tanto, atravesando las esferas.

No deja de ser una paradoja cómo uno de los más convencidos aristotélicos sea el que haga caer uno de sus principios fundamentales: la estructura de las esferas sólidas. Seguramente, esta constatación supuso un duro varapalo para su descubridor; pero la ciencia estaba evolucionando, y las observaciones directas cobraban cada vez más importancia. Brahe aún estaba condicionado por principios filosóficos y religiosos, practicaba la astrología; y sin embargo no podía negar lo que sus sentidos le estaban revelando. Más que dar respuestas, su obra abrió nuevos interrogantes:

“Brahe no sólo eliminó la perfección y la solidez de las esferas, sino que suprimió el único mecanismo conocido para explicar los movimientos celestes. Recurrir a milagros y a una ciencia divina infusa en los astros resultaba piadoso pero escasamente científico, pues ni prohibía nada ni permitía predecir nada. De modo que, junto con la disolución de las esferas, Brahe legó a sus sucesores el problema físico de qué mueve a los astros.<sup>31</sup>”

En Hveen, la situación se deterioraba. Federico II había muerto y su sucesor, Cristián IV, no tendría tan buenas relaciones con Brahe; a lo que seguramente contribuiría su altanero carácter. Abandonó la isla en 1597 y dio finalmente con el emperador Rodolfo II; quien lo nombraría matemático imperial, entregándole el castillo de Benatky, en Praga, como nuevo observatorio. Allí llegaría el encargado de recoger su testigo: el matemático Johannes Kepler.

---

<sup>31</sup> SOLÍS, C.; SELLÉS, M.: *Historia de la Ciencia*. Ed Espasa. Madrid, 2005.

## *Johannes Kepler: En busca de un universo geométrico*

A mediados del siglo XVI, los territorios que hoy forman Alemania estaban viviendo una de sus épocas más convulsas. A la lucha teológica entre luteranos y católicos se añadía otra política: los príncipes aprovechaban las disensiones religiosas como bandera de sus propias aspiraciones. En este ambiente enrarecido nace Johannes Kepler, en el seno de una familia protestante de Württemberg, un día de 1571. Llegaría a convertirse en el mejor matemático de su tiempo, acabando por reformar toda la Astronomía. Sin embargo, su obra aún estaba condicionada por principios religiosos y teleológicos. Como Copérnico, era un ferviente neopitagórico; y al igual que él, buscaba sin descanso la armonía matemática del cosmos.<sup>32</sup>

Su infancia distó mucho de ser feliz. Un ataque de viruela le afectó a los ojos, incapacitándolo para la observación astronómica. Los recursos económicos escaseaban y su padre se enroló como mercenario para no volver jamás. El joven Kepler tenía una espiritualidad muy particular; pero era profundamente religioso, y su primera vocación fue el sacerdocio. Durante su preparación en la Universidad de Tubinga, los estudios de teología se acompañaban de astronomía, matemáticas y física. En todas ellas fue un alumno destacado. Sin embargo, fue en la geometría donde sus inquietudes más íntimas encontraron una vía de escape. En palabras de Carl Sagan:

“...la curiosidad por Dios del joven Kepler era mayor que su temor. Quería saber el plan de Dios para el mundo. Quería leer la mente de Dios. [...] La geometría fue el campo en que encontró la perfección. Llegó a decir que la geometría existió antes de la creación. Es eterna como Dios. La geometría proporcionó a Dios un modelo para la creación. La geometría es el mismo Dios.<sup>33</sup>”

Como buen centro protestante, en la Universidad de Tubinga el universo era explicado a través del modelo ptolemaico. Sin embargo, Kepler entró en contacto con las teorías de Copérnico gracias a su profesor, Michael Maestlin. Quedó tan maravillado por su simplicidad, que a partir de entonces se dedicó a desarrollar una física que pudiera sustentarlas; que demostrara su existencia real más allá de la abstracción matemática.<sup>34</sup>

---

<sup>32</sup> No hará falta insistir de nuevo en que, cuando Kepler inicia sus estudios, la brecha abierta entre físicos y matemáticos era cada vez mayor. Resulta indiscutible su adscripción a estos últimos.

<sup>33</sup> SAGAN, C.: “La armonía de los mundos”. Serie *Cosmos*, capítulo III.

<sup>34</sup> “Kepler era consciente de la equivalencia geométrica de las hipótesis de Ptolomeo, Copérnico y Brahe, por lo que señalaba que la diferencia entre ellas debía buscarse en la física” En SOLÍS, C.; SELLÉS, M.: *Historia de la Ciencia*. Ed Espasa. Madrid, 2005.

Pero sus preocupaciones iban más allá que las de Copérnico; ya que arrancaban de motivos esencialmente teológicos. No aspiraba tan solo a describir el mundo; sino que pretendía averiguar por qué era así.<sup>35</sup> Y una pregunta le acosaba constantemente: ¿Cuál era la razón de que hubiese sólo seis planetas en el universo?

En 1594, año en que tenía que acabar sus estudios de teología, Kepler fue llamado a la ciudad de Graz (Estiria) para ejercer allí como profesor de matemáticas; completando sus ingresos con la elaboración de horóscopos. A lo largo de este trabajo se ha mencionado que, hasta el siglo XVII, la astrología gozaba de una larga tradición y tenía la consideración de ciencia. Aún así, puede resultarnos chocante que personajes tan cultos como los que estamos tratando creyeran que los astros podían influir en la vida cotidiana. Sin embargo, nuestro concepto de racionalismo, empírico y laico, es distinto del que prevalecía en la Edad Moderna. Al aceptar la existencia de Dios como base, lo sobrenatural tenía perfecta cabida en el mundo racional. No debemos caer, por tanto, en el anacronismo de otorgar una mentalidad contemporánea al hombre de los siglos XVI y XVII.<sup>36</sup>

Durante el transcurso de una de sus clases, Kepler encontró su fantasma geométrico; el que le serviría para fundamentar el modelo de Copérnico y al que estaría persiguiendo en vano durante el resto de su vida. De forma casual, se dio cuenta que en las órbitas de los planetas podían encajarse unas figuras geométricas muy particulares: los cinco sólidos de la geometría euclídea. “Habiendo seis planetas, los espacios entre ellos son cinco, y puesto que sólo existen [...] cinco sólidos regulares [...], esa es la razón de que no haya ni más ni menos planetas: las órbitas se hallan separadas por los cinco sólidos inscritos en la superior y circunscritos en la inferior”<sup>37</sup> Una armonía tal sólo podía ser obra de Dios. Lo sorprendente es que este modelo se ajustaba con gran precisión a las órbitas de Copérnico; lo cual alentó a Kepler para creer que estaba en el buen camino. En 1596, el *Mysterium Cosmographicum* veía la luz.

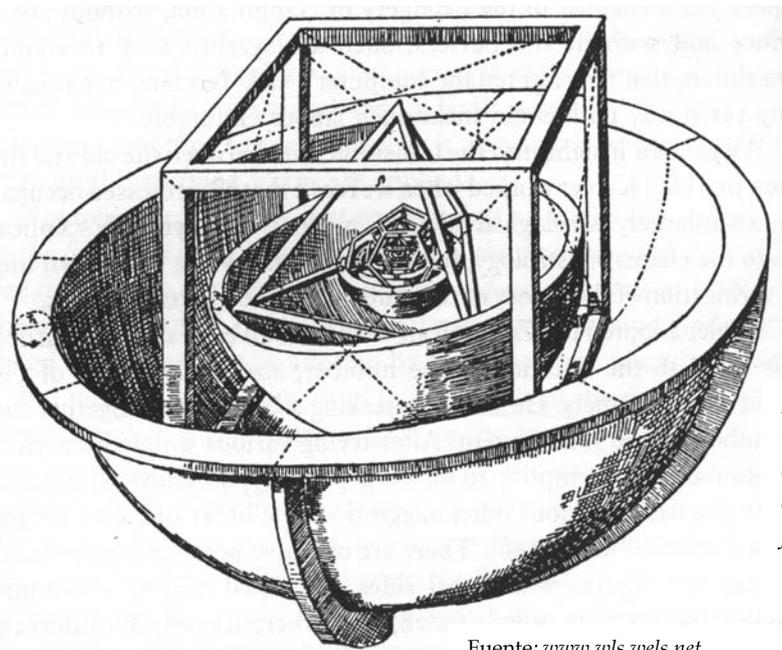
---

<sup>35</sup> Por eso, pese a sus grandes logros, Kepler no es considerado como un científico moderno; ya que en sus puntos de partida se encontraban motivaciones teológicas y finalistas.

<sup>36</sup> En descarga de Kepler podemos aludir a su correspondencia privada, en la que se refería a los horóscopos como algo “tonto y vacío”, y tachaba de “imbéciles a sus clientes.

En GRIBBIN, J. *Historia de la ciencia, 1543-2001*. Ed. Crítica. Barcelona, 2003

<sup>37</sup> SOLÍS, C.; SELLÉS, M.: *Historia de la Ciencia*. Ed Espasa. Madrid, 2005.



*Modelo de sólidos inscritos de Kepler. Las órbitas de los planetas encajan formando figuras geométricas.*

Fuente: [www.wls.wels.net](http://www.wls.wels.net)

No obstante, las tablas astronómicas publicadas hasta la fecha eran demasiado imprecisas para comprobar si sus teorías eran ciertas. Las más recientes eran las *Tablas Prusianas* de Reinhold, publicadas en 1551; y ni siquiera éstas le bastaban. Kepler necesitaba de datos mucho más precisos; pero su deficiencia visual no le permitía recabarlos por él mismo. La solución tendría un nombre propio: Tycho Brahe. Éste contaba con los datos más precisos conocidos hasta entonces sobre las trayectorias planetarias. Sus contactos con Kepler se producirían en el momento de mayor tensión en Estiria. A finales del siglo XVI, el católico archiduque Fernando se hizo cargo del gobierno en aquel territorio; y la situación de los protestantes era cada vez más precaria.

Recordemos que, por estas fechas, Brahe se había instalado en el castillo de Benatky aceptando el ofrecimiento del rey Rodolfo II. Su caudal de datos era inmenso; pero necesitaba a alguien para analizarlos. Y ese alguien no podía ser otro que un matemático de la talla de Kepler; que a su vez deseaba acceder a los registros de aquél para confirmar sus teorías. Sin embargo, la colaboración entre ambos no fue tan estrecha como pudiera llegar a imaginarse. La introspección de Kepler pronto entró en conflicto con la vida cortesana de Brahe; que tampoco estaba dispuesto a entregar a un desconocido la obra de toda su vida y le iba suministrando los datos muy poco a poco. Habría que esperar a su muerte para que Kepler pudiera tener acceso a toda la información.

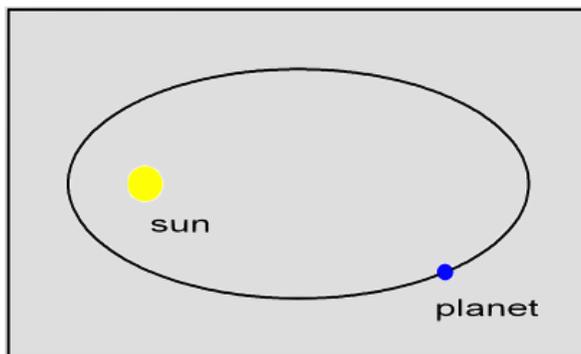
Aquellas precisas mediciones fueron analizadas sin descanso una y otra vez. En algunos momentos, parecía que sus ideas iban a ser confirmadas. Los datos estaban muy cerca; pero, definitivamente, no

tenían una correspondencia exacta con sus hipótesis. La conclusión estaba clara: El modelo copernicano no podía explicarse a través del sistema de sólidos inscritos. Más allá de su lógica decepción, este hecho nos está revelando un trascendental cambio de mentalidad: Kepler podría filosofar hasta donde quisiera; pero nunca aceptaría un modelo si no se correspondía exactamente con los datos observacionales. Con ello, nos estamos acercando al concepto de ciencia tal y como lo entendemos en la actualidad.

Paradójicamente, este revés acabó conduciendo al nacimiento de la Astronomía moderna. Del estudio concienzudo de las trayectorias planetarias, Kepler concluyó que sus órbitas no podían ser circulares; sino elípticas. Con ello, resolvió “todos los problemas sobre los que en vano se habían afanado astrónomos de ochenta generaciones”<sup>38</sup>. Era una afirmación tan revolucionaria, que eliminaba de un plumazo la tradición física vigente desde hacía dos milenios. La armonía perfecta de los círculos se venía abajo; y era sustituida por elipses donde la aceleración se incluía como un rasgo natural del cosmos. Por primera vez, eran las matemáticas quienes habían dado lugar un cambio en la física; y por primera vez una Astronomía era a la vez física y matemática: el camino para la unificación del saber quedaba abierto.

Estos descubrimientos se reflejaron en la obra *Astronomia Nova*, de 1609. En ella se postulan sus dos primeras leyes sobre el movimiento planetario<sup>39</sup>:

1. *Un planeta se mueve en una órbita elíptica con el sol en uno de sus focos.*



Fuente: [www.einstein-website.de](http://www.einstein-website.de)

Esta ley establece que:

-Las órbitas que los planetas describen alrededor del Sol no son circulares, sino elípticas.

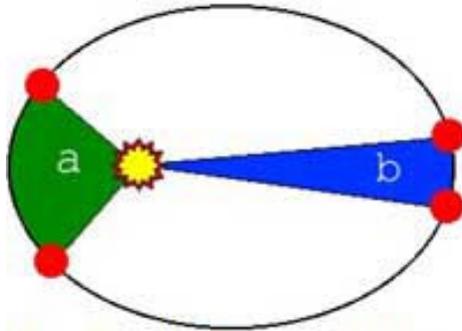
-El sol no se sitúa en el centro de la órbita, sino en uno de los focos de la elipse. Es decir, que los planetas describen órbitas excéntricas.

<sup>38</sup> ARANA, J.: *Materia, universo, vida*. Ed. Tecnos. Madrid, 2001.

<sup>39</sup> El enunciado de estas leyes se basa en SAGAN, C. “La armonía de los mundos”. Serie *Cosmos*, capítulo III.

2. El vector que une el sol con un planeta barre áreas iguales en tiempos iguales.

Area a = Area b



Los planetas no orbitan siempre al sol con la misma velocidad; sino que tienden a acelerarse cuando se acercan al Sol. Sin embargo, el área que barre su vector siempre será igual en, independientemente de su velocidad.

Fuente: [www.randi.org](http://www.randi.org)

Su tercera ley apareció muchos años después, en una de sus últimas obras, llamada *Harmonice Mundi*:

3. Los cuadrados de los períodos de los planetas (el tiempo que tardan en dar una vuelta alrededor del Sol) son proporcionales a los cubos de los semiejes mayores de sus órbitas al Sol.

Con esta ley se constata que, cuanto más alejado está un planeta del Sol, más tarda en dar una vuelta completa a su órbita. Esto indujo a Kepler a pensar que en el Sol habría algún tipo de fuerza que hiciera moverse a los planetas.

Kepler fundaba así un modelo nuevo y radicalmente distinto a los anteriores. A partir de su obra, la trayectoria de las órbitas planetarias quedaba perfectamente explicada a través de leyes matemáticas exactas; y sin necesidad del complejo sistema ptolemaico de deferentes, epiciclos y ecuantas. El viejo sueño de Brahe por fin había podido llevarse a cabo; pero el precio había sido romper definitivamente con la física aristotélica. Las esferas que él había destruido eran ahora sustituidas por rígidos principios matemáticos.

Al estudiar el modelo copernicano, veíamos que era más correcto llamarlo heliostático que heliocéntrico; ya que el Sol ni estaba en el centro exacto ni cumplía una función física con respecto a los planetas, limitándose tan solo a iluminarlos. Con su tercera ley, Kepler fue el primero en advertir que los planetas se movían más lentamente cuanto más lejos estuvieran del Sol. Probablemente influido por los estudios que William Gisbert estaba llevando a cabo sobre el magnetismo, concluyó que en el Sol debía de haber una fuerza física directamente proporcional a su distancia, que hiciera moverse a los planetas. Ahora sí se había pasado del heliostatismo al heliocentrismo. Se acababan de poner así las bases sobre las que Newton construiría su ley de la Gravitación Universal.

## Una nueva Astronomía

Pese a que de la fusión entre las obras de Brahe y Kepler surgió toda la renovación de la astronomía, ambos vivieron en un conflicto permanente. El astrónomo Carl Sagan lo percibió con gran claridad:

“Tycho Brahe fue el mejor observador de la época; y Kepler, el mejor teórico. Ninguno de los dos podía, sin ayuda del otro, lograr la síntesis que los dos veían posible. El nacimiento de la ciencia moderna, que es la fusión entre la observación y la teoría, se balanceó al borde del precipicio de su mutua desconfianza.<sup>40</sup>”

Por suerte, aquella fusión se llevó a cabo; aunque probablemente sus trascendentales consecuencias no hubieran entrado en los cálculos de ninguno de los dos. Las órbitas elípticas no gustaron a nadie; pero su imposición no admitía el rechazo: la nueva astronomía era a la vez física y matemática; por lo que ya no cabía afirmar que el nuevo modelo era una abstracción más. Su existencia real era indudable. En 1527 se publicaron las *Tablas Rudolfinas*, que aunaban los datos de Brahe con el minucioso análisis de Kepler. A partir de entonces, para ser astrónomo habría que ser, por fuerza, kepleriano<sup>41</sup>.

Aunque es algo que escapa al objetivo de nuestro trabajo, no podemos olvidar el impacto que estos descubrimientos tendrían en la mentalidad colectiva. El caso de Giordano Bruno nos puede servir para comprender cómo algunas corrientes heterodoxas simpatizaron con las nuevas teorías, adaptándolas a sus propios modelos como algo que parecía romper con el orden establecido. Sin ir tan lejos, es evidente que las implicaciones culturales, morales y religiosas de los nuevos descubrimientos serían de primera magnitud. La explicación del mundo que se venía aceptando durante catorce siglos se venía abajo. La autoridad de Aristóteles se ponía en cuestión; y el cielo de las Sagradas Escrituras parecía estar equivocado. La armonía y uniformidad de los círculos desaparecía; y el mundo supralunar se llenaba de elipses y aceleraciones. Demasiados cambios, y demasiado profundos, para un mundo acostumbrado a lo permanente. El proceso de Galileo será buena prueba de ello.

---

<sup>40</sup> SAGAN, C. “La armonía de los mundos”. Serie *Cosmos*, capítulo III.

<sup>41</sup> “En 1627 [Kepler] publicó las *Tablas Rudolfinas*, las más exactas nunca elaboradas, lo que hizo que todos los astrónomos profesionales tuvieran que hacerse keplerianos si querían seguir en el oficio.” En SOLÍS, C.; SELLÉS, M.: *Historia de la Ciencia*. Ed Espasa. Madrid, 2005.

### III. Galileo, el mensajero de las estrellas

Galileo Galilei (1564-1642) es uno de los iconos fundamentales de la civilización occidental. Sin embargo, más que por sus trascendentes aportaciones científicas, su universalidad se debe a que en él encontramos al máximo representante del eterno conflicto entre ciencia y religión. Su archiconocido juicio y aquel mítico *eppur, si muove* se han convertido en la bandera esgrimida por todos aquellos que han criticado alguna vez las trabas que ha puesto la Iglesia al pensamiento científico.

Hoy día esta visión anacrónica, más propia del cientificismo contemporáneo que de la mentalidad del siglo XVII, ha sido superada. Al apartarnos de propósitos ideológicos, el juicio de Galileo adquiere una nueva dimensión que no por ello resta a su caso un ápice de dramatismo. Las nuevas interpretaciones reconocen en su figura a un “precedente de la Ilustración, alguien que habría sabido anticipar la importancia decisiva que la nueva ciencia iba a tener en la sociedad moderna y habría intentado sin éxito lograr para la misma el patrocinio de los poderosos con vistas a acelerar el progreso y la aplicación del conocimiento<sup>42</sup>”. No obstante, es imprescindible llegar a las causas de su proceso para poder realizar un análisis más detenido del mismo.

#### *Rompiendo con la tiranía de los sentidos*

Los hallazgos de Galileo fueron tantos y en campos tan diferentes, que sería inútil pretender dar aquí cuenta de todos ellos. Nos limitaremos, por tanto, a estudiar aquellos que guardan una relación directa con la astronomía. Y para ello, hay que empezar hablando de un instrumento holandés: el Telescopio. Pese a algunos precedentes sin trascendencia –como el caso de Leonard Digges–, podemos afirmar que el telescopio nace en el taller de Hans Lippershey, zelandés afincado en la ciudad de Middelburg. Su ingenio no pudo llegar en mejor coyuntura; ya que a principios del siglo XVII, la guerra entre España y los Países Bajos se hallaba en su apogeo. El uso militar del nuevo invento hizo que se extendiera rápidamente; y pronto alcanzó las costas italianas.

Sea como fuere, las maravillas del “tronco holandés” pronto llegaron a oídos de Galileo, a la sazón profesor de matemáticas en la Universidad de Padua. Cuando se enteró de su estructura, consiguió fabricar en 24 horas un aparato de nueve aumentos; más perfecto y tres veces más potente que el de Lippershey. Un año después, a la altura de 1609, ya había sido capaz de construir un telescopio de treinta aumentos

---

<sup>42</sup> ARANA, J.: *Materia, universo, vida*. Ed. Tecnos. Madrid, 2001

que regaló al senado veneciano. Su eficacia como instrumento militar estaba fuera de duda, y Galileo se vio recompensado con un aumento de salario y el puesto de profesor vitalicio.

Sin embargo, lo verdaderamente revolucionario no estaba en poder ver más cerca las cosas de la Tierra; sino en el hecho de apuntar el telescopio al firmamento. Lo que hoy puede parecernos intrascendente, entonces era tanto como espiar en la inmutable eternidad de los cielos para conocer los secretos de la creación.

“¿Quién se hubiera atrevido a utilizar un juguete para penetrar en la majestad de las esferas celestes? Escudriñar para tratar de descubrir la forma del cielo divino era superfluo, presuntuoso, e incluso podía resultar blasfemo. Galileo no era otra cosa que un mirón teológico.<sup>43</sup>”

Seguramente, la Luna fue uno de sus primeros objetivos. Al verla más de cerca, descubrió que nuestro satélite estaba repleto de valles, montañas y cráteres que conformaban un mundo muy similar al nuestro. Esta sencilla constatación implicaba acabar con otro de los principios fundamentales de la física aristotélica: los cuerpos del mundo supralunar no eran perfectos, ni eternos, ni esféricos, ni inmutables. Muy al contrario, su composición era sospechosamente similar a la terrestre, y en ellos también tenía cabida el cambio constante. La diferencia entre ambos mundos se desvanecía. Pero, ¿quién estaría dispuesto a aceptar que con un juguete mecánico pudieran venirse abajo los dogmas más profundos de la cosmología de Aristóteles?

El propio Galileo explicaba en sus clases el universo ptolemaico; pero a raíz de sus observaciones telescópicas se convertiría en el más ardiente defensor del heliocentrismo copernicano. La gran diferencia con respecto a Kepler o el propio Copérnico es que sus argumentos no estaban escritos en complejos libros matemáticos; sino que se encontraban al alcance de cualquiera que tuviera ojos en la cara<sup>44</sup>. La *Gaceta Sideral*, publicada en 1610, estaba llena de dibujos que reproducían las novedades observadas con el telescopio. Por así decirlo, el telescopio “democratizó” los nuevos descubrimientos, aumentando cada vez más la inquietud de una Iglesia Católica que ya se encontraba lo suficientemente amenazada por el peligro protestante.

---

<sup>43</sup> BOORSTIN, DANIEL J.: *Los descubridores*. Ed. Crítica. Barcelona, 2000

<sup>44</sup> “Galileo defendía con sus pruebas visuales la verdad del copernicanismo, que contradecía formalmente las palabras de la Biblia. [...] Ahora toda Europa contemplaba con sus propios ojos un cosmos muy poco aristotélico, y la teología, la reina de las ciencias, parecía tener que subordinarse a los caprichos de los innovadores.”  
En SOLÍS, C.; SELLÉS, M.: *Historia de la Ciencia*. Ed Espasa. Madrid, 2005.

Más allá del relieve lunar, Galileo hizo otros descubrimientos que ponían en un serio aprieto a la física tradicional. Cuando dirigió el telescopio hacia Júpiter, se dio cuenta de que a sus lados había cuatro pequeñas estrellas. Tras varios días de observaciones, llegó a la conclusión de que aquellos puntitos no eran sino satélites que se encontraban orbitando al planeta. Los llamó "Planetas Médiceos", en honor de su protector, Cosme II de Médicis. Hoy los conocemos con el nombre de "satélites galileanos"; y son Europa, Ío, Ganímedes y Calixto.

Este sistema solar en miniatura le hizo convencerse de que, análogamente, la Tierra y los demás planetas podrían estar girando alrededor del Sol. Pero, además, los satélites de Júpiter eran un contra argumento perfecto para una de las críticas que los aristotélicos hacían al copernicanismo: según su concepción de los cielos, "los astros eran cuerpos de naturaleza simple, lo que exigía un movimiento natural simple de acuerdo con ella"<sup>45</sup>. Sin embargo, el sistema de Copérnico "hacía que la Luna se moviese con dos movimientos, el circunferente y el heliocéntrico, como si poseyese una naturaleza ambigua."<sup>46</sup> Ahora Galileo les mostraba no uno, sino cuatro satélites que estaban realizando exactamente esos precisos movimientos.

Pero el telescopio aún deparaba más sorpresas a Galileo, y todas ellas parecían encaminadas a minar la cosmología tradicional. La observación de manchas en el Sol reafirmaba la idea de que los cuerpos supralunares no eran más perfectos que los del mundo sublunar. Sin embargo, la prueba definitiva que derribó el geocentrismo fue el descubrimiento de las fases de Venus. En efecto, visto desde nuestra posición, este planeta presenta fases, igual que la Luna; lo que sólo podía ser posible si se encontrara girando alrededor del Sol y en una órbita más interna que la Tierra, como de hecho ocurre. Ya no cabía una defensa razonable del modelo ptolemaico.

El nuevo invento también sirvió para demostrar que el universo era mucho más grande de lo que hasta entonces se admitía. Se mirara donde se mirase, el número de estrellas se multiplicaba; pero, al contrario que ocurría con los planetas, su apariencia siempre era la misma: puntos matemáticos de luz sin ningún diámetro aparente. Esto sólo podía obedecer a una razón: las estrellas estaban tan lejos que, aún con los aumentos del telescopio, no dejaban distinguir ninguno de sus detalles. Con esto se demostraba, por fin, lo que había afirmado Copérnico setenta años atrás con el fin de contrarrestar la paralaje: que entre Saturno y las "estrellas fijas" había mucho más espacio del que se había supuesto. No obstante, este descubrimiento era un arma de doble filo; ya que podía

---

<sup>45</sup> SOLÍS, C.; SELLÉS, M.: *Historia de la Ciencia*. Ed Espasa. Madrid, 2005.

<sup>46</sup> Ídem

relacionarse fácilmente con la teoría de los “infinitos mundos” que diez años antes había llevado a la hoguera a Giordano Bruno.<sup>47</sup>

Si Galileo pensaba que los aristotélicos más pertinaces iban a darse por vencido tras estos descubrimientos, estaba muy equivocado. Por entonces, se tenía la idea de que la única manera de llegar a la realidad era a través de los sentidos, directamente, sin intermediarios. Dios había dado al hombre los ojos para que pudiera conocer el mundo exterior; y todos los instrumentos diseñados para “multiplicar, desviar, ampliar o reducir, duplicar o invertir las imágenes visuales eran medios para distorsionar la verdad.<sup>48</sup>” No había una confianza en que las lentes pudiesen mostrar la verdadera realidad. Simplemente, los filósofos naturales estaban convencidos de que ningún conocimiento serio podría fundarse en instrumentos que se interpusieran entre los sentidos y el mundo físico. Un reconocido matemático, como era el padre Clavius, afirmó, por ejemplo, que él también podía enseñar los satélites de Júpiter si le dejaban “meterlos primero en unas lentes”<sup>49</sup>.

Pero la ciencia estaba llamada a romper la tiranía de los sentidos, y a ello se aplicó Galileo a partir de su visita a Roma en el año de 1611. Su cruzada en defensa del heliocentrismo le costaría un proceso inquisitorial y el arresto domiciliario de por vida.

---

<sup>47</sup> Aunque las motivaciones de Bruno eran absolutamente distintas; la conclusión a la que ambos llegaban era peligrosamente similar. Por lo demás, la teoría de un universo infinito ya había sido postulada por algunos autores, como Thomas Digges; sin que alcanzara demasiada trascendencia. Era, de nuevo, la prueba sensorial lo que hacía tan delicado el descubrimiento de Galileo.

<sup>48</sup> BOORSTIN, DANIEL J.: *Los descubridores*. Ed. Crítica. Barcelona, 2000

<sup>49</sup> Ídem

## *El proceso de Galileo*

En 1611, durante el pontificado de Pablo V, Galileo partió a Roma en calidad de embajador científico de la Toscana. Por supuesto, llevó consigo su famoso telescopio, al que incluso se acercó a mirar el muy influyente cardenal Bellarmine. El astuto prelado, que comprendió enseguida las implicaciones del nuevo invento, nombró a un grupo de jesuitas para que dieran buena cuenta de los fenómenos que con él podían observarse. Las conclusiones a las que estos llegaron no diferían mucho de las del propio Galileo: el relieve irregular de la Luna, los cuatro satélites que orbitaban Júpiter, los centenares de estrellas que formaban la Vía Láctea o la observación de las fases de Venus.

A primera vista, aquella visita había sido un éxito. El papa había quedado encantado, los jesuitas comenzaban a tomarse en serio el sistema copernicano, y el prestigio de Galileo había crecido tanto que, cuando un aristotélico se atrevió a decirle que las montañas lunares debían estar rodeadas por una esfera cristalina que les devolviera su perfección, le respondió de esta manera:

“No cabe duda de que se trata de una bella obra de la imaginación; el único problema es que ni está demostrada ni es demostrable [...] mas si nos permitimos imaginar lo que nos dé la gana, si otros dicen que la Luna se halla rodeada esféricamente de un cristal transparente aunque invisible, lo aceptaré de grado con tal de que con igual cortesía se me permita decir que dicho cristal posee en su superficie un grandísimo número de montañas inmensas y treinta veces mayores que las terrestres, que no podemos ver nosotros por ser de una sustancia diáfana. De esta forma podré imaginar otra luna diez veces más montañosa que la primera.<sup>50</sup>”

La cálida acogida que el Vaticano dispensó a los descubrimientos de Galileo hizo que éste comenzara a manifestar más abiertamente su adscripción al copernicanismo. Pero dejemos esta cuestión al margen por un momento, para acercarnos a otro de los problemas que más le inquietaban: hacer compatible la verdad científica con la verdad de fe. En el fondo de este debate, subyace una idea que cobraría toda su fuerza en la Revolución Científica: la naturaleza es el libro que Dios había escrito a la humanidad; y lo había hecho en caracteres matemáticos. Por tanto, no podía haber contradicción entre ambas verdades, pues las dos habían sido reveladas por Dios. Galileo tenía muy claro -y hay en ello un rasgo

---

<sup>50</sup> Carta de Galileo a G. Gallanzoni, 16 de Julio de 1611). En ARANA, J.: *Materia, Universo, Vida*. Ed. Tecnos. Madrid, 2001.

de modernidad evidente- que religión y ciencia seguían caminos bien distintos.<sup>51</sup>

No obstante, los primeros años del siglo XVII no eran la mejor época para defender tales ideas. En función del cada vez mayor antagonismo entre católicos y protestantes, un cristianismo beligerante se extendía por Europa como nunca antes lo había hecho; hasta que en 1618 estalle la Guerra de los Treinta Años. Es lógico, por tanto, que en un Vaticano más amenazado que nunca, la interpretación particular de las escrituras para adaptarlas al copernicanismo, comenzase a oler a herejía.

A la altura de 1615, Galileo está de nuevo en Roma para defenderse de una acusación de plagio que ahora no nos interesa detallar. Lo realmente importante es que tanto sus revolucionarios descubrimientos como su habilidad dialéctica para defenderlos, le habían creado muchos enemigos en la curia. Si a esto le añadimos el clima de inquietud ante el protestantismo, comprenderemos por qué las ideas de Copérnico fueron consideradas heréticas en 1616. Mientras hubiera sido un modelo matemático sin correspondencia con la realidad y sólo accesible para los entendidos, el nuevo sistema no tuvo problemas. La prohibición llegaría cuando el poder de persuasión de las imágenes telescópicas comenzara a usarse con fines “copernicanos”.

A partir de entonces, a los católicos les estaría vedada la defensa del modelo heliocéntrico. Los -pocos- jesuitas que habían comprendido su utilidad se refugiaron en Brahe<sup>52</sup>; y Galileo comenzó a buscar evidencias en la Tierra que pudieran demostrar su movimiento. Una de las grandes bazas de los aristotélicos era que el sentido común parecía negar el movimiento de la Tierra. Las mordaces palabras de Jean Bodin son buena muestra de ello:

“Nadie que esté en su sano juicio ni cuente con el más mínimo conocimiento de física pensará nunca que la Tierra, con su gran peso y volumen, se bambolea arriba y abajo, [...] pues veríamos cómo las ciudades y las fortalezas, los pueblos y las montañas salían despedidos. Un cortesano llamado Aulicus dijo, volviéndose hacia el criado que estaba sirviendo el falerno, al oír que un astrólogo de la corte defendía la teoría de Copérnico ante el duque Alberto de Prusia: “Ten cuidado de que no se te derrame el vino.”<sup>53</sup>

---

<sup>51</sup> No hay duda de que estamos en una época de grandes cambios. En este sentido, será también en el siglo XVII cuando Baruch Spinoza realice el mayor intento por fundamentar la crítica bíblica sin atenerse a una interpretación literal.

<sup>52</sup> Recordemos que su modelo era geocéntrico; pero con la peculiaridad de que, aunque el Sol gira alrededor de la Tierra, todos los demás planetas giran alrededor del sol.

<sup>53</sup> BOORSTIN, DANIEL J.: *Los descubridores*. Ed. Crítica. Barcelona, 2000

Galileo creyó encontrar estas pruebas en el movimiento de las mareas, los vientos alisios y la evolución de las manchas solares. También tuvo ideas para fundamentar una gravedad local; pero no fue capaz de unificarla. En cualquier caso, abrió el camino a Newton, y se dio cuenta de un hecho trascendental: que los procesos celestes y terrestres estaban regidos por los mismos principios. Más allá de romper con la discontinuidad aristotélica del mundo sublunar y el supralunar; la verdadera trascendencia de esta afirmación residía que el hombre podría ser capaz de comprender el funcionamiento de todo el cosmos mediante la aplicación de leyes matemáticas universales. La física había perdido su primacía como única ciencia capaz de explicar el mundo real.

Aunque hoy sabemos que Galileo se equivocó en algunos argumentos, para la época eran tan “abrumadores en número y fuerza que, exceptuando al ejército de Loyola, la República europea de las Letras abandonó a Ptolomeo y Brahe.”<sup>54</sup> El decreto de 1616 había prohibido la defensa del copernicanismo; pero no su exposición. Así, en 1629 salió a la luz el *Diálogo sobre los dos sistemas máximos del mundo: ptolemaico y copernicano*. En él, Salviati, Simplicio y Sagredo departen en torno a los dos modelos. A pesar de que la obra obtuvo el *imprimatur*, pasando la censura de la Inquisición por considerarse imparcial, la fuerza de los razonamientos en torno al heliocentrismo era irrefutable.

El Vaticano se vio desbordado. Urbano VIII, que había llegado al papado con “ínfulas afrancesadas, opuestas al severo conservadurismo español”<sup>55</sup>, tuvo que hacer frente a un momento político muy delicado. La Guerra de los Treinta Años amenazaba más que nunca a la Iglesia de Roma. La católica Francia se aliaba con los protestantes Suecos, mientras los ejércitos imperiales intentaban detenerlos a toda costa. ¿Es que el papa estaba del lado francés? ¿Iba a permitir que Galileo siguiera escribiendo a favor de la herejía copernicana, ridiculizando a los jesuitas? Desde el lado español comenzaron a oírse voces que amenazaban con la destitución de un pontífice que se permitía tal debilidad en el peor momento. Lo último que se pretendía era dar más razones a los protestantes; y la tibieza con el modelo de Copérnico era un argumento teológico que, sin duda, iban a utilizar en contra del catolicismo y en favor de la mayor pureza de su fe.

Si a esto añadimos que Galileo había perdido a sus principales valedores (como Cosme II Médici o Pablo V), estaremos en disposición de comprender el desarrollo del juicio al que fue sometido en el año de 1633. Urbano VIII tuvo que ceder. Abandonó la política de su primera época, “y quiso hacerse pasar por más ortodoxo y conservador que nadie. Cediendo a la lucha ideológica de los jesuitas, les entregó al símbolo de la apertura:

---

<sup>54</sup> SOLÍS, C.; SELLÉS, M.: *Historia de la Ciencia*. Ed Espasa. Madrid, 2005.

<sup>55</sup> Ídem.

Galileo.<sup>56</sup> El romántico conflicto entre religión y ciencia adquiere así una nueva dimensión, probablemente mucho más ajustada con la realidad; enmarcada en el seno de las luchas internas de la Iglesia. En las últimas décadas, algunos investigadores han ido más allá, sopesando la posibilidad de que las acciones de Galileo partieran de una verdadera inquietud religiosa; e intentaran salvaguardar la fe separándola de los nuevos descubrimientos científicos<sup>57</sup>.

Su proceso fue un dechado de irregularidades. En realidad, no había ninguna prueba concluyente que inculpara a Galileo; pero se buscaba por todos los medios un chivo expiatorio que pudiera calmar los ánimos –sobre todo– de jesuitas y españoles. Por otro lado, el hecho de que importantes autoridades eclesiásticas hubieran presentado ante la Inquisición un falso cargo de herejía habría sido un escándalo demasiado grande como para que la Iglesia pudiera permitírselo en una situación tan delicada. Galileo debía ser condenado.<sup>58</sup> Tras amenazar con torturarlo (¡a un anciano de setenta años!), éste comprendió que la actitud más prudente pasaría por abjurar públicamente del copernicanismo y reconocer todos sus “errores”.

“Yo, Galileo, hijo del difunto Vincenzo Galileo, florentino, de setenta años de edad, citado ante este tribunal y arrodillado ante vuestras eminencias, [...] considerando que después que este Santo Oficio me hubiera hecho llegar un requerimiento judicial en el sentido de que abandonar completamente la falsa opinión de que el Sol es el centro del mundo y que es inmóvil, y que la Tierra no es el centro del mundo y se mueve, y de que no debo sostener, defender ni enseñar de manera alguna, de palabra o por escrito, dicha falsa doctrina, [...] abjuro, execro y abomino los errores y herejías anteriormente citados, así como cualquier otro error [...] contrario a la Santa Iglesia.<sup>59</sup>”

Y, sin embargo, se mueve.

---

<sup>56</sup> Ídem

<sup>57</sup> Esta visión aparece en autores como Drake: “Galileo no fue un copernicano fanático, sino que su preocupación apuntaba más al futuro de la Iglesia católica y a la defensa de la fe religiosa contra cualquier descubrimiento científico que pudiera hacerse. [...] Se me ocurrió de repente que acaso tuviera sentido suponer que Galileo había hablado sinceramente acerca de su celo por la Iglesia y que eso mismo fuese lo que le indujo a correr ciertos riesgos.” DRAKE, 1983, 14. Citado en ARANA, J.: *Materia, Universo, Vida*.

<sup>58</sup> “...las miradas de toda Europa se centraban en un Papa a punto de quedar como un cochero. Por lo que parece, siguiendo una táctica inquisitorial bien tipificada en los manuales, se hizo un rato extrajudicial con Galileo en el que se le prometió una sentencia benévola a cambio de una confesión que salvase la cara a la Iglesia.” SOLÍS, C.; SELLÉS, M.: *Historia de la Ciencia*. Ed Espasa. Madrid, 2005.

<sup>59</sup> BOORSTIN, DANIEL J.: *Los descubridores*. Ed. Crítica. Barcelona, 2000

## *Una valoración de conjunto*

Por su pertinaz insistencia en el empirismo para justificar la teoría heliocéntrica, Galileo es considerado uno de los precursores del método científico. El telescopio marcó un antes y un después en el desarrollo de la Astronomía; y el estudio del universo adquirió proporciones hasta entonces inimaginables. Con su propio modelo, Huygens logró vislumbrar por primera vez a Titán y desvelar el misterio de los anillos de Saturno. El cielo se cartografiaba, se medía; y las nuevas leyes descubiertas eran comprobadas al detalle con los nuevos instrumentos. Con la eliminación de las barreras entre el mundo sublunar y supralunar, Galileo había abierto la puerta que permitiría al ser humano comprender el funcionamiento del cosmos. La Tierra podía estar muy distante de las estrellas de la Vía Láctea; pero unas mismas leyes matemáticas las regían.

Con el legado de Copérnico, Kepler y Galileo, la Astronomía científica, ya definitivamente desgajada de la astrología, se asentaba sobre sólidas bases en el siglo XVII. Sin embargo, este modelo cosmológico carecía aún de la unidad necesaria. Sus leyes estaban basadas únicamente en el empirismo: simplemente, ocurrían; pero nadie había sido capaz de explicar *por qué*. Kepler descubrió los tres principios que explicaban el movimiento de los planetas; pero no fue capaz de relacionarlos entre sí. Galileo lo intentó, postulando una gravedad local que no fue capaz de universalizar. La nueva ciencia necesitaba a un nuevo Aristóteles que, esta vez, nacería en Inglaterra.

## IV. El nacimiento de la ciencia moderna

Con la obra de Newton, la ciencia moderna alcanzó su mayoría de edad. La Gravitación Universal supondría un avance de tal calibre que, hasta la llegada de Einstein, todos los científicos serán posnewtonianos. Por eso mismo, corremos el peligro de que su inmensa figura nos eclipse los trabajos de otros investigadores como Hooke o Halley. Y es que, en el siglo XVII, una vez que la física aristotélica había caído, el averiguar *qué* ponía en movimiento al universo se había convertido en una pregunta fundamental.

Retomando la idea platónica de que los astros eran “seres vivientes”, la cosmología tradicional explicaba sus movimientos aludiendo al concepto de “alma motora” (*animae motrix*). Dentro de una percepción absolutamente animista, cada planeta tendría un alma propia, responsable sus movimientos. Los *científicos* de la Edad Moderna habían demostrado que la física de Aristóteles no podía sostenerse; pero tampoco supieron darle una explicación alternativa<sup>60</sup>. La unidad del conjunto se había perdido.

Probablemente influidos por los avances en la mecánica, los filósofos naturales de los siglos XVI y XVII comenzaron a adoptar una visión mecanicista del mundo. Paulatinamente, el universo dejó de ser un ser vivo para convertirse en un instrumento mecánico gigantesco que funcionaba con una precisión absoluta; lo cual encajaba perfectamente con la doctrina de la Iglesia. Toda la creación era comparable al mecanismo de un reloj: estaba formada por cientos de piezas que podían funcionar de manera autónoma, sin necesidad de voluntad ni propósito; y a la vez, esas piezas encajaban armónicamente y hacían funcionar a todo el conjunto. Por otra parte, al igual que el reloj demostraba la existencia de un relojero, el perfecto diseño del universo hacía imprescindible la presencia de un creador inteligente que lo diseñara.

No obstante, la pregunta fundamental seguía en el aire: ¿cuál era el motor que movía al cosmos? A responder esta cuestión se dedicaron algunas de las mentes más lúcidas del siglo XVII; pero sería Newton quien finalmente consiguiera resolverla.

---

<sup>60</sup> “...todavía quedaba por resolver una cuestión capital: el modelo copernicano-kepleriano carecía de unidad interna. Postulaba movimientos que no podía explicar, prescribía leyes que no tenían otra justificación que su comprobación empírica.” En ARANA, J.: *Materia, universo, vida*. Ed. Tecnos. Madrid, 2001

## *La gravitación universal*

El impacto de la Guerra de los Treinta años, junto con la prohibición de las teorías de Copérnico y el juicio a Galileo, crearon un clima de inestabilidad en centroeuropa que provocó el desplazamiento del epicentro científico a las Islas Británicas. A pesar de la Guerra Civil, en Inglaterra la ciencia pudo seguir progresando hasta llegar a su culminación con la obra de Newton.

Isaac Newton nació en 1642, en el seno de una familia humilde. Logró entrar en el Trinity College de Cambridge trabajando para poder financiar sus estudios. Poco después de licenciarse, gracias a su pericia como matemático, consiguió allí el puesto de profesor. Seguramente, durante aquella estancia entró en contacto con las ideas de tres miembros de la Royal Society -Halley, Wren y Hooke-; que estaban de acuerdo en que “la fuerza centrífuga que “empujaba” a los planetas tendiendo a alejarlos del Sol debía ser inversamente proporcional a los cuadrados de sus distancias a este astro y que, por consiguiente, con el fin de que los planetas permanecieran en sus órbitas, tenían que ser atraídos por el Sol con una fuerza equivalente que contrarrestara totalmente a la fuerza centrífuga”<sup>61</sup>.

En otras palabras, lo que se venía a afirmar era que los planetas poseían una fuerza centrífuga que tendía a alejarlos del Sol; y que a su vez éste debería tener otra fuerza tal que fuera capaz de contrarrestar la centrífuga, y poder así mantener a los planetas en sus órbitas. Éste es el razonamiento que se encontraba detrás de la teoría del cuadrado inverso, o de la gravitación universal. La gran dificultad estribaba en poder demostrarla matemáticamente. Hooke lo intentó, y llegó a formular ideas muy similares; pero fue Newton, con su insistente método de la filosofía experimental, quien logró darles una base sólida. Más allá de una estéril polémica sobre la paternidad de dicha teoría, estos hechos nos demuestran que llegar a la gravedad constituyó un proceso lento, apoyado en las ideas de varios investigadores y que, en cualquier caso, no se debió a la caída fortuita de una manzana.<sup>62</sup>

---

<sup>61</sup> BOORSTIN, DANIEL J.: *Los descubridores*. Ed. Crítica. Barcelona, 2000

<sup>62</sup> Boorstin lo refleja así en su obra *Los descubridores*: “Varias sugerencias formuladas de forma casual por otros científicos le habían estimulado [a Newton]: la idea de Hooke, basada en una intuición y no en datos demostrables, de que la atracción de la gravedad podía disminuir en razón del cuadrado de la distancia, y la especulación de Edmond Halley, derivada de la tercera ley de Kepler, en el sentido de que la fuerza centrípeta hacia el sol disminuiría en proporción al cuadrado de la distancia e cada uno de los planetas con respecto al sol. Pero estas no eran más que sugerencias. Newton todavía tenía que percibir la universalidad e los principios y hacer los cálculos necesarios para demostrarlos...” Ídem.

En 1684, Edmond Halley se encontraba en Cambridge y fue a visitar a Newton. Parece ser que en aquel encuentro, ambos debatieron sobre la gravedad y las órbitas de los planetas. Ahora que la física aristotélica había caído, el único *movimiento natural* que podía admitirse era el rectilíneo. Por tanto, si las órbitas de los planetas no presentaban una trayectoria en línea recta, era porque había algún tipo de fuerza que se lo estaba impidiendo. Kepler había demostrado que las órbitas eran elipses basándose en el más puro empirismo. El problema estaba en llegar a la misma conclusión *a priori*, mediante cálculos matemáticos. Sólo así podría fundamentarse una nueva cosmología. La sorpresa de Halley debió ser mayúscula cuando Newton le confesó que él ya lo había conseguido. Así nos lo ha transmitido su coetáneo Abraham de Moivre:

“En 1684 el doctor Halley fue a visitarle [a Newton] a Cambridge; después de pasar cierto tiempo juntos, el doctor le preguntó cuál pensaba que debía ser la curva descrita por los planetas suponiendo que la fuerza de atracción hacia el Sol fuera recíproca al cuadrado de su distancia a él. Sir Isaac respondió inmediatamente que sería una elipse; el doctor, alegre y sorprendido, le preguntó cómo lo sabía, a lo que él respondió “la he calculado”, sobre lo cual el doctor Halley le pidió ver esos cálculos sin la menor pausa, y Sir Isaac rebuscó entre sus papeles, pero no pudo encontrarlos, si bien le prometió rehacerlos y enviárselos.<sup>63</sup>”

Esta promesa sería el germen de un pequeño informe, *De Motu*, que acabaría dando lugar, en 1687, a la publicación de los *Principia Mathematica*. Su edición, a cuyo frente se encontraba Halley, estuvo plagada de contratiempos –acusaciones de plagio por parte de Hooke incluidas– que estuvieron a punto de dar al traste con la que probablemente sea la obra científica más importante de todos los tiempos. En ella se establecía, por fin, la ley de la Gravitación Universal: *dos cuerpos se atraen siempre con una fuerza que es proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa*<sup>64</sup>.

Con ella, Newton proporcionaba un fundamento para toda la física; dando “un esquema común para las dinámicas del cielo y de la tierra”<sup>65</sup>. Desde los minúsculos granos de arena hasta las más lejanas estrellas, todos los elementos del universo se regían por los mismos principios matemáticos que él había descubierto. El cosmos adquiriría de nuevo su unidad, y el hombre encontró a su alcance las herramientas para comprenderlo. En palabras de John Gribbin:

“... la razón por la que los *Principia* produjeron un impacto tan fuerte es que lograron materializar lo que los científicos habían estado buscando a tientas, a veces sin ser conscientes de ello, desde los tiempos de

---

<sup>63</sup> MOIVRE, A. Citado en ARANA, J.: *Materia, universo, vida*. Ed. Tecnos. Madrid, 2001

<sup>64</sup> Ídem

<sup>65</sup> BOORSTIN, DANIEL J.: *Los descubridores*. Ed. Crítica. Barcelona, 2000

Copérnico: la constatación de que el universo funciona según unos principios esencialmente mecánicos susceptibles de ser comprendidos por los seres humanos, y que el mundo no está regido por la magia ni por los caprichos de unos dioses veleidosos.<sup>66</sup>

A partir de aquí, quedaban invalidados todos los argumentos en contra del movimiento de la Tierra, basados en que la fuerza centrípeta haría que las cosas salieran despedidas de ella; ya que esta fuerza sería contrarrestada por la propia gravedad del planeta. Aún así, los críticos de esta teoría reprocharon a Newton el tener que recurrir a un concepto tan oscuro y ambiguo como el de “fuerza” para explicar la realidad. En efecto, él se limitó a explicar el funcionamiento y cuantificar la gravedad; pero no pudo explicar *por qué* existía aquella fuerza. Pese a que el debate ha llegado hasta nuestros días, hoy la ciencia renuncia a explicar estas cuestiones, que escapan del campo de lo comprobable para adentrarse en el de la metafísica.

En cualquier caso, la polémica en torno a Newton sigue abierta. Para sus defensores, la gravitación supuso dar una cosmología coherente al nuevo universo kepleriano-copernicano. Sus detractores, en cambio, pensaban que lo único que consiguió fue dar a éste una “una presentación más coherente y simple de su armazón matemático<sup>67</sup>.” Un autor de nuestro tiempo dedica estas palabras a los logros newtonianos:

“... no cabe duda de que la gravedad de Newton “cala más hondo” que las leyes de Kepler o que la ley de la caída de los graves de Galileo; pero no creo que dé acceso a una verdad específicamente distinta al de las otras. Las diferencias sólo son de grado, de manera que, si se ha conseguido transponer con ellas el umbral de la “cosmología”, será porque dicho umbral ha sido arbitrariamente colocado entre ambos.<sup>68</sup>”

Es cierto que en los *Principia* quedaban muchos problemas sin resolver. Algunos eran de índole matemática, como el cálculo de la órbita de la Luna. La ley de la gravedad funcionaba perfectamente al relacionar dos fuerzas; pero en este caso estaban en juego las gravedades de la Luna, del Sol y de la Tierra. En su época, la solución sólo se pudo hallar de forma aproximada. Sin embargo, había otros problemas más complejos. ¿Por qué todos los planetas se mueven en el plano de la eclíptica? ¿Por qué giran todos en el mismo sentido? ¿Por qué el sistema se mantiene estable? Newton atribuía sus causas a Dios. Será tarea de sus seguidores fundamentarlas mecánicamente.

---

<sup>66</sup> GRIBBIN, J. *Historia de la ciencia, 1543-2001*. Ed. Crítica. Barcelona, 2003

<sup>67</sup> ARANA, J.: *Materia, universo, vida*. Ed. Tecnos. Madrid, 2001

<sup>68</sup> Ídem

## *La Astronomía posnewtoniana*

Newton logró reducir toda la estructura del cosmos a un único concepto: la fuerza gravitatoria. Su obra supuso una revolución de tal calibre en todas las ciencias que 1687, el año de la publicación de los *Principia*, se considera el punto de partida de la Revolución Científica, que acabaría sentando las bases de la comprensión del mundo tal y como lo entendemos en la actualidad.

Una vez rotas las esferas de Aristóteles, en el siglo XVIII los científicos comenzaron a ser conscientes de la verdadera inmensidad del espacio. Ya no cabía aceptar la hipótesis que consideraba a las estrellas como unas luminarias fijas y eternas pegadas a la octava esfera. Ahora, aquellos puntos de luz “se desparramaron por un espacio sin límites”<sup>69</sup>. Poco podía conocerse, no obstante, de su organización y estructura; y por ello los Astrónomos se centraron en el estudio del sistema solar. En 1781, Herschel descubrió Urano valiéndose de un telescopio de 40 pies. También se llevaron a cabo minuciosas medidas estelares, con el hito de la publicación de las cartas de Flamsteed; mucho más precisas que las de Tycho Brahe (su margen de error era de 10” de arco; mientras que en las del danés era de 4’).

En el epígrafe anterior, nos referíamos a Edmond Halley como el editor de los *Principia*, que se convertirá también en uno de los primeros astrónomos posnewtonianos. Además de predecir la vuelta del cometa que lleva su nombre, Halley empezó a comparar cartas estelares; y se dio cuenta de que algunas estrellas parecían haberse movido con el paso de los siglos. Hasta entonces se había pensado que las estrellas no tenían relación entre sí; pero a raíz de estos descubrimientos se dedujo que tendría que existir “un vínculo gravitacional a escala mayor que la del Sistema Solar”<sup>70</sup>. Es así como Wright comenzó a hablar de las galaxias, cada una de las cuales tendría un “centro divino” que explicaría la apariencia con que vemos en la Tierra la Vía Láctea. Pero eso ya es otra historia.

---

<sup>69</sup> SOLÍS, C.; SELLÉS, M.: *Historia de la Ciencia*. Ed Espasa. Madrid, 2005.

<sup>70</sup> Ídem.

## Conclusiones

El objetivo de estas páginas no ha sido otro que el de sintetizar los principales hitos que, en menos de doscientos años, consiguieron acabar con la manera de entender el mundo vigente desde hacía catorce siglos. A la altura de 1500, los principios de la física de Aristóteles tenían poco menos que la consideración de dogmas. En 1687, ninguno lograba sostenerse en pie.

Debemos el inicio de este proceso a un canónigo de Frauemburg que, en su intento por conseguir una mayor armonía en la explicación del cosmos, colocó al Sol en el centro de un universo aún esencialmente ptolemaico. Con este gesto, Copérnico abrió el camino a la ciencia moderna; pese a que sus motivaciones no tenían nada de lo que hoy podemos entender por científicas. En cualquier caso, la semilla estaba plantada, y sería Kepler, un austero luterano, quien recogiera su testigo. Él construiría la física encargada de sostener el modelo copernicano. Por primera vez, sería un modelo matemático el que acabara conllevando cambio total en la física.

El siguiente paso vendría de la mano de un nuevo instrumento: el telescopio. Con él, Galileo puso ante los ojos de toda Europa un universo muy diferente del aristotélico que reafirmaba, no obstante, el sistema de Copérnico. Ya había caído el geocentrismo. Luego, con la explosión de la supernova de Brahe, le tocó el turno a las esferas. Los movimientos circulares y uniformes acabaron cuando Kepler descubrió las órbitas elípticas. Y ahora, Galileo mostraba una Luna con tantos cráteres como la Tierra: desaparecía también la diferencia entre el mundo de arriba y el de abajo. El intento de cambiar principios tan sólidos en tan poco tiempo pronto concitó la oposición de las fuerzas dominantes; y en 1616, las ideas copernicanas fueron consideradas heréticas.

Sin embargo, el progreso de la nueva ciencia era imparable. En 1687, Newton publica sus *Principia Mathematica*. A partir de entonces, todo el universo quedaba soldado en función de un solo concepto: la fuerza gravitatoria. Por fin, el hombre podía comprender el gran reloj del cosmos recurriendo a leyes matemáticas universales; lo que es, sin duda, uno de los fenómenos más sorprendentes del mundo. Eugene Wigner, premio Nobel de física en 1963, lo expresaba en estos términos:

“La enorme utilidad de las matemáticas en las ciencias naturales es algo que roza lo misterioso, y no hay explicación para ello. No es en absoluto natural que existan “leyes de la naturaleza”, y mucho menos que el hombre sea capaz de descubrirlas. El milagro de lo apropiado que resulta el lenguaje de las matemáticas para la formulación de las leyes de la física es un regalo maravilloso que no comprendemos ni nos merecemos.”

## Bibliografía consultada

### **Libros:**

ARISTÓTELES: *Metafísica*. Ed. Espasa. Madrid, 1990

ARANA, J.: *Materia, universo, vida*. Ed. Tecnos. Madrid, 2001

BOORSTIN, DANIEL J.: *Los Descubridores*. Ed. Crítica. Barcelona, 2000

GRIBBIN, J. *Historia de la ciencia, 1543-2001*. Ed. Crítica. Barcelona, 2003

MARTÍNEZ, I; ARSUAGA, J.L.: *Amalur. Del átomo a la mente*. Ed. Temas de Hoy. Madrid, 2003

SOLÍS, C.; SELLÉS, M.: *Historia de la Ciencia*. Ed Espasa. Madrid, 2005

### **Direcciones de Internet:**

<http://www.cibernous.com/autores/aristoteles>

### **Materiales audiovisuales:**

SAGAN, C.: *Cosmos* (Serie de televisión)