

FC1/TEMA 2. La revolución científica

Alfredo Marcos Martínez

<http://gramola.fyl.uva.es/~wfilosof/webMarcos/FC1.html>

Departamento de Filosofía

Universidad de Valladolid

amarcos@fyl.uva.es

Blog / Bitácora

Página actualizada el 06-03-2007

Parte I: La revolución copernicana

Estudiaremos en esta parte la revolución copernicana o revolución astronómica, es decir, el cambio en astronomía del modelo geocéntrico por modelos aproximadamente heliocéntricos y helioestáticos, así como sus implicaciones más inmediatas.

Este proceso fue iniciado por Copérnico, pero en él intervinieron de modo determinante otros astrónomos posteriores como Tycho Brahe, Kepler o Galileo.

Como es sabido, la tensión introducida en el seno de la ciencia por el cambio copernicano fue un factor desencadenante, quizá el principal, de la llamada revolución científica. La nueva imagen del universo que exigía el sistema heliocéntrico -aunque el propio Copérnico no alcanzase a verlo plenamente- implicaba un cambio radical en cosmología y mecánica. El resultado, a la larga, sería la acomodación de esas tensiones entre la nueva astronomía y la antigua física dentro del marco de la física newtoniana. La secuencia que nos lleva aproximadamente desde la revolución copernicana hasta la física de Newton es lo que se suele denominar la revolución científica, aunque tanto su carácter revolucionario como sus límites temporales son cuestión disputada entre los historiadores de la ciencia. La llamada revolución científica afectó a diversas disciplinas así como a la metodología de la ciencia y a la propia concepción de la misma.

En resumen, la revolución copernicana (o revolución astronómica) y la revolución científica son difícilmente separables, se trata de procesos imbricados y afectan tanto a la propia ciencia cuanto a la filosofía de la ciencia. Por conveniencia expositiva y claridad didáctica, adoptaremos la siguiente división: la nueva astronomía helioestática, desde Copérnico hasta Galileo y Kepler, será tratada en esta primera parte. La gestación de la nueva física será abordada la parte segunda.

Nos ocuparemos aquí, pues, de las aportaciones a la nueva astronomía realizadas por Copérnico y de la recepción de la idea heliocéntrica (I.1.), del sistema propuesto por Tycho Brahe y de las mejoras por él introducidas en la astronomía observacional (I.2.), de los desarrollos teóricos de Kepler (I.3.), y de las pruebas en favor del heliocentrismo halladas por Galileo (I.4.).

I.1. La innovación de Copérnico

Veremos la contribución del propio Copérnico a la revolución que lleva su nombre. También habrá que señalar los elementos tradicionales que se mantuvieron vigentes en el sistema copernicano y que fueron muchos. Esta duplicidad de carácter de la obra copernicana, innovadora en algunos aspectos y conservadora en otros, hace de la misma una típica obra de transición y de Copérnico el último de los astrónomos antiguos tanto como el primero de los modernos.

Desarrollaremos el relato por los siguientes pasos: en primer lugar trataremos las razones que impulsaron a Copérnico a introducir importantes modificaciones en el sistema astronómico (I.1.1.); en segundo lugar expondremos la astronomía copernicana propiamente dicha, su teoría para dar cuenta del movimiento aparente de las estrellas, del sol y de los planetas (I.1.2.); por último, incluiremos dos subapartados para hacer balance de los argumentos favorables y contrarios a la nueva teoría tal como pudieron verse en la época de Copérnico (I.1.3.), y para dar cuenta de la recepción de su teoría (I.1.4.).

I.1.1. Razones para el cambio

Copérnico expone sus razones para el cambio del estatuto de la Tierra en un prefacio dirigido al Papa Pablo III que antepone a su *De Revolutionibus*. Nos ceñiremos a las razones allí aducidas y trataremos de mostrar los vínculos entre algunas de ellas y ciertos supuestos filosóficos de raíz pitagórica y platónica.

El problema de los planetas, de los astros errantes, nunca había sido resuelto de modo completamente satisfactorio. El programa platónico para la astronomía, es decir, la reducción de las trayectorias observables a movimientos circulares y uniformes nunca se había cumplido de modo preciso. La duración exacta del año no podía ser calculada con precisión. Se necesitaba, en opinión de Copérnico, una reforma profunda de la astronomía para establecer un nuevo calendario. Las discrepancias entre los astrónomos eran comunes y existían del orden de una docena de sistemas ptolemaicos alternativos, ninguno de los cuales arrojaba predicciones exactas. Los errores se hacían más evidentes conforme se iban acumulando las observaciones. No era posible integrar en un sistema realista las teorías compuestas para cada planeta. La utilización del ecuante perturbaba especialmente la sensibilidad neoplatónica de Copérnico. En conjunto, la astronomía ptolemaica, en su paso por el Islam y el occidente medieval, se había hecho tan compleja que a los ojos de Copérnico aparecía como un monstruo, pero más por sus aspectos estéticos y falta de realismo que por la complejidad del cálculo. Por supuesto, el que Copérnico se mostrase insatisfecho con la falta de precisión, de coherencia, de simplicidad, tenía que ver con las deficiencias propias del sistema, pero también con las tendencias neoplatónicas de Copérnico. Además de todas estas razones para el cambio Copérnico esgrimió en su favor los antecedentes históricos que pudo de hallar de doctrinas no geostáticas.

I.1.2. La astronomía de Copérnico

Se expondrán los rasgos más importantes del sistema copernicano.

En el sistema de Copérnico las estrellas fijas están situadas en un orbe esférico y los planetas también son arrastrados por orbes cristalinos. En este sentido nada cambia. Pero el movimiento diario aparente del orbe de las fijas se justifica por un movimiento de rotación diario de la propia Tierra sobre su eje. Este es el primer cambio importante respecto a la astronomía tradicional.

La explicación del movimiento diario del Sol tiene la misma base que el de las estrellas, a saber, el giro cotidiano de la Tierra sobre su eje. Da cuenta del movimiento solar anual desplazando la Tierra del centro del Universo, que será un punto en las inmediaciones del Sol. Esta es la segunda innovación importante de Copérnico, el heliocentrismo (aunque sabemos que al igual que la idea de una Tierra móvil, tuvo precedentes en la antigüedad que ya han sido estudiados). La Tierra planetaria da una vuelta al Sol en el período que llamamos año. El efecto cosmológico inmediato, dada la ausencia de paralaje observable (a simple vista, se entiende) es un Universo mucho mayor de lo estimado hasta el momento. Esta consecuencia del heliocentrismo ya había sido señalada en la antigüedad por Arquímedes (en el Arenario). Aún así, seguimos hablando de un Universo finito contenido dentro del grandioso orbe de las fijas.

Copérnico necesitaba un tercer movimiento para que el eje de rotación mantuviese la dirección adecuada. Este tercer movimiento del eje terrestre viene exigido por la presencia de un orbe que transporta la Tierra, de modo que abandonados los orbes celestes se puede prescindir también del mismo.

La Tierra en movimiento sirve para dar adecuada cuenta de las trayectorias observables de los planetas, de los inferiores y superiores. Las retrogradaciones se siguen de modo natural como efecto de los adelantamientos entre la Tierra y el resto de los planetas, no se requiere la presencia de epiciclos mayores para dar cuenta de ellas, con la consiguiente ganancia en simplicidad, al menos mientras nos ciñamos al aspecto cualitativo. También las variaciones en el brillo y la desigualdad de los años de ciertos planetas pueden ser explicados sin necesidad de supuestos arbitrarios.

La simplicidad de las explicaciones cualitativas se pierde cuando se trata de buscar predicciones cuantitativamente exactas. El sistema copernicano necesita para su ajuste de más de una treintena de círculos. Aunque evita los epiciclos mayores, requiere epiciclos menores y excéntricas. Por otra parte, la precisión obtenida es del mismo orden que la de los mejores sistemas ptolemaicos. Por ejemplo, el centro de la órbita de la Tierra, a la hora del ajuste fino, no es exactamente el Sol, sino un punto que gira lentamente en torno a otro que gira a lo largo de una circunferencia cuyo centro es el Sol.

Como sucedió con el sistema de Eudoxo y con el de Hiparco y Ptolomeo, la precisión también fue ganada por Copérnico a expensas de la simplicidad, a base de introducir

más y más círculos. Esta relación, como veremos, se invierte de manera sorprendente con Kepler y ello fue uno de los más poderosos argumentos que se pudieron aducir en su favor.

I.1.3. Evaluación de la nueva astronomía

Por un lado están las dificultades de carácter astronómico que quedaban sin resolver: el sistema cuantitativo seguía siendo muy farragoso y no mucho más preciso que los mejores de la tradición ptolemaica. A éstas se suman otras de carácter cosmológico: la ausencia de paralaje observable obliga a pensar en un Universo enorme, difícil de aceptar por la mentalidad de la época, con una separación entre el cielo de Saturno y el de las fijas desproporcionadamente grande. Pero quizá lo más llamativo en contra del sistema de Copérnico era lo mal que concordaba con la física terrestre del momento. Además, Copérnico no fue precisamente un físico brillante y las respuestas que ofreció en este terreno no eran particularmente convincentes. Las objeciones relacionadas con la teorías del movimiento ya habían sido presentadas en la antigüedad y se reeditaron en los últimos siglos de la Edad Media.

Los argumentos más poderosos en favor del copernicanismo fueron apareciendo en años posteriores a la publicación del *De revolutionibus*. Los veremos más tarde al tratar sobre Brahe, Kepler y Galileo. Los presentados por el mismo Copérnico estaban estrechamente ligados a la mentalidad neoplatónica propia del momento. En este sentido, Copérnico se esforzó por mostrar las llamadas armonías de su sistema: el límite en la elongación máxima de los planetas inferiores se explica sin necesidad de recurrir a hipótesis ad hoc, como la vinculación de las órbitas solar y planetaria introducida por los ptolemaicos; el orden y las dimensiones relativas de las órbitas planetarias se establece a partir de las posiciones observadas, sin necesidad de hipótesis suplementarias; muchas anomalías en las trayectorias aparentes se explican por un sólo hecho, el movimiento terrestre, es decir, una sola pieza conecta hechos hasta el momento inconexos, lo cual refuerza su pretensión de verdad (Whewell llamó a este efecto confluencia inductiva). Hay que insistir en la importancia que Copérnico otorgaba al argumento de la simplicidad (en lo cualitativo) y simetría del sistema, al orden geométrico que creyó haber descubierto. Sólo sus convicciones filosóficas y su intenso interés por los problemas estrictamente astronómicos le permitió confiar en un sistema que generaba una fuerte tensión con teorías bien establecidas en el ámbito de la física.

I.1.4. La recepción del heliocentrismo

El libro de Copérnico estaba dirigido al astrónomo especialista, de modo que su efecto entre los intelectuales en general fue tardío. Pero cuando llegó a un público amplio, los astrónomos ya no podían prescindir del enfoque copernicano y los argumentos a favor

de su tesis central eran ya de mucho peso. En la segunda mitad del siglo XVI el *De Revolutionibus* era ya una obra de referencia inevitable para los cálculos de los astrónomos, adoptasen o no una interpretación realista del movimiento terrestre. La aparición de las Tablas Prusianas, de Reinhold, basadas en *De revolutionibus* fue un factor clave. Aludiremos a la fuente de la interpretación instrumentalista (o interpretación de Wittenberg, pues fue adoptada de modo señalado por los astrónomos de esta escuela), es decir, el prefacio de Osiander al *De revolutionibus*, y a la función de la *Narratio prima* escrita por el único discípulo de Copérnico, Georg Joachim Rheticus. La obra de Rheticus fue algo más que una exposición previa de las tesis del maestro, constituye más bien un comentario lúcido y crítico en algunos puntos en el que emergen las consecuencias cosmológicas del nuevo helioestatismo. En general, habrá que decir que la aproximación a la teoría copernicana a través de la interpretación instrumentalista de la misma favoreció y preparó su aceptación plena.

Entre los profanos, mientras, la discusión sobre la hipótesis copernicana había ido creciendo y subiendo de tono. Será necesario exponer las reacciones inmediatas de los teólogos protestantes y las más tardías, pero también adversas, de la Iglesia Católica, que hasta el momento nunca había adoptado una doctrina cosmológica como oficial y, de hecho, había visto nacer en su seno la copernicana. Además de los argumentos teológicos y bíblicos, la Tierra móvil fue objeto de discordia (e incluso burla) por sus implicaciones contrarias a la física aristotélica y al sentido común de la época. Por otra parte, dentro de la renacida tradición neoplatónica, hubo quien acogió con entusiasmo la idea copernicana aunque no pudiese captar en profundidad sus desarrollos geométricos. Es el caso, por ejemplo, de Giordano Bruno. Por último, y quizá esto es lo más importante para el resto de la historia, un pequeño grupo de astrónomos con tendencias neoplatónicas, sensibles a las armonías que esgrimía Copérnico y al lugar que otorgaba al divino Sol, no pudieron dejar de ver en su teoría una hipótesis prometedora en pro de la cual merecía la pena trabajar.

I.2. El compromiso de Tycho Brahe

Al tratar la astronomía de Tycho Brahe tenemos que hacer referencia a dos aspectos de la misma que incidieron de modo diverso en el curso de la revolución astronómica. Se trata, por un lado, de su actividad como astrónomo teórico y del sistema ideado por él y, por otro lado, de la labor como observador, que fue uno de los factores más importantes en el desarrollo de la nueva astronomía. Dedicaremos un subapartado a cada una de estos aspectos.

I.2.1. El sistema de Tycho Brahe

En el sistema tycónico la Luna y el Sol giran en torno a la Tierra, mientras que el resto de los planetas lo hacen en torno al Sol. Se pondrán de manifiesto las razones que

podieron conducir a Tycho a la presentación de un sistema como éste y los precedentes históricos (ya estudiados) del mismo.

Por una parte, resulta geoméricamente equivalente al sistema copernicano, y las nuevas armonías copernicanas se conservan en él, pero, por otra parte, al mantener la Tierra inmóvil en el centro del Universo, los inconvenientes de carácter físico (e incluso teológico) quedan eliminados.

Como antecedente histórico cabe mencionar el sistema de Heráclides del Ponto.

En contra del sistema de Tycho Brahe contó el extraño aspecto de un cosmos en el que la mayor parte de los planetas giran descentrados en torno al Sol. No convenció a los neoplatónicos, fueron los astrónomos no copernicanos los que vieron en él una solución aceptable.

Pero, si el sistema copernicano rompía con el cosmos tradicional por el movimiento terrestre, el de Tycho Brahe exigía la desaparición nada menos que los orbes cristalinos que durante siglos habían sido imprescindibles para transportar y sostener los planetas y para transmitir el movimiento de las fijas. La razón de semejante exigencia es que, tal como Tycho Brahe coloca las órbitas, necesariamente algunas de ellas se intersecan.

1.2.2. Las observaciones de Tycho Brahe

La actividad observacional de Tycho Brahe influyó en el curso de nuestra historia. En primer lugar y de modo general, las observaciones de Brahe fueron tan precisas que pusieron muy alto el nivel de precisión exigido a los constructos teóricos. Así, cualquiera de los sistemas a base de círculos y otras curvas que Kepler construyó antes de optar por la elipse era más preciso que los mejores sistemas ptolemaicos y copernicanos, y hubiese sido dado por bueno de no ser porque Kepler pudo contrastar sus teorías con los datos de Tycho Brahe. El legado de Tycho Brahe en forma de anotaciones sobre las posiciones de los astros, y muy especialmente de Marte, fue determinante para el éxito teórico de Kepler.

Por otra parte, hay que mencionar otro conjunto de observaciones hechas por Tycho Brahe que contribuyeron de modo importante a la revisión de la imagen del mundo tradicional: el registro de novas y cometas y su ubicación cierta más allá de la Luna hizo dudar seriamente de la inmutabilidad de los cielos.

La nova registrada por Tycho Brahe en 1572 ya había desaparecido del cielo en el momento en que los datos fueron publicados. La repetibilidad e intersubjetividad de los detalles de la observación quedan en entredicho y sólo se pueden apuntalar con la credibilidad general de Tycho Brahe como observador y con el repetido registro de cometas que llevó a cabo y que suponían, en definitiva, también cambios en "lo inmutable".

Registros análogos sobre cometas y novas ya habían sido obtenidos en la antigüedad, pero habían sido interpretados, conforme al esquema teórico vigente, como fenómenos

sublunares. Los presupuestos teóricos, claramente, condicionan nuestra interpretación de los datos. Sin embargo, este condicionamiento en la interpretación de los datos tiene un límite. Así, Hiparco, tras la observación de una nova, emprendió la elaboración de un catálogo de estrellas, quizá para confirmar (él o, más probablemente, otros astrónomos venideros) la inmutabilidad de los cielos. Por otra parte, ya Séneca había puesto en duda la naturaleza sublunar de los cometas. Parece seguirse que no hay una observación definitiva, un dato que acabe con un sistema teórico, pero, en contrapartida, la confianza en una teoría no es inmune a la repetida aparición de datos no previstos a priori y de comprometido encaje a posteriori.

I.3. La nueva astronomía de Kepler

Kepler será tratado en este punto sólo como astrónomo. En astronomía Kepler radicaliza las tesis copernicanas tomando plenamente en serio el nuevo estatuto planetario de la Tierra y la nueva función del Sol como centro y motor del sistema. Los planos de las órbitas, por tanto, no tienen por qué cortarse en el centro de la órbita terrestre (como los dispuso Copérnico), sino precisamente en el Sol.

Kepler acaba proponiendo la elipse para dar cuenta de las trayectorias observadas. En una labor de casi diez años probó diversas posibilidades para explicar el movimiento de Marte. Contó para ello con los datos legados por Tycho Brahe.

La primera ley de Kepler para el movimiento planetario (aunque fuese la segunda en ser propuesta por Kepler): los planetas describen una órbita elíptica con el Sol en uno de los focos de la elipse.

Cabe ponderar el cambio radical que constituye esta primera ley. Desde los comienzos de la astronomía teórica griega las órbitas utilizadas para salvar el fenómeno fueron siempre circulares, nunca hasta Kepler se había probado otra curva. Por otra parte, los orbes, que habían sido mantenidos incluso por Copérnico, también desaparecen. Los sistemas de deferentes y epiciclos, así como el ecuante y las circunferencias excéntricas son ya prescindibles.

La segunda ley del movimiento planetario trata sobre la velocidad del mismo. Está conectada con el modelo magnético en que pensaba Kepler y la importancia que éste concedía a la realidad física del impulso con que el Sol anima los planetas.

El trabajo de Kepler, hasta aquí, depende de los datos de Tycho Brahe, de su profunda convicción copernicana y también de la filosofía neoplatónica a la que se adhería. Este último aspecto aparece con mayor intensidad en la discusión de la tercera ley del movimiento planetario, la que introduce una cierta armonía y aspecto sistemático en el - ahora propiamente dicho- sistema solar. Existe, según esta tercera ley una relación constante entre los períodos orbitales y las distancias medias al Sol.

Habrà que tener presente que para Kepler el descubrimiento de una simple regularidad matemática detrás de un fenómeno constituye ya una explicación del mismo. La

búsqueda de estas regularidades fue constante en el quehacer de Kepler. Por ejemplo, para calcular las dimensiones de los orbes tomaba como base los cinco sólidos regulares. Ésta es una idea temprana en la vida intelectual de Kepler, pero aún en *Harmonices Mundi* junto con la tercera ley, incluye una relación entre las velocidades orbitales y los intervalos consonantes de la escala musical. Kepler es un buen caso histórico para reflexionar sobre la función, por un lado, de las ideas metafísicas, estéticas y religiosas y, por otro, de la base observacional en ciencia.

Por último, notaremos que la fuerza de convicción con que contaba el sistema de Kepler vino dada por la combinación de simplicidad y precisión (de la que son muestra las Tablas rodolfinas editadas por Kepler en 1627). Como ya se ha apuntado, hasta Kepler, la astronomía había pagado cada incremento de precisión con un aumento en la complejidad matemática de los sistemas empleados. Por primera vez un sistema consigue ganancias simultáneas en ambos frentes. Este hecho pudo convencer a muchos astrónomos, cosmólogos y físicos de su adecuación.

1.4. Los descubrimientos de Galileo

Galileo también será tratado más abajo como físico y como filósofo de la ciencia. En el presente apartado nos limitaremos a mencionar su defensa de la astronomía copernicana (en *Diálogos sobre los dos máximos sistemas del mundo*) y, sobre todo, a exponer sus hallazgos en la práctica de la astronomía observacional. Tales hallazgos tuvieron una enorme repercusión, pues contaban a favor del copernicanismo ante gentes que no se hubiesen sentido impresionadas por la armonía metamática lograda por Kepler. Las aportaciones de Galileo tuvieron como efecto la extensión definitiva de la polémica más allá del ámbito de los astrónomos expertos. El propio Galileo, como sabemos, fue víctima de esta extensión de la polémica copernicana. Los argumentos por él ofrecidos en pro del copernicanismo tenían un aspecto empírico inmediato. Por otra parte, el instrumento utilizado por Galileo en sus observaciones, el telescopio, constituía una novedad radical. Es la primera vez que el hombre escruta los cielos con algo más que su ojo. Por supuesto, los propios datos obtenidos a través del telescopio exigen interpretación. La captación de puntos luminosos como ilusiones ópticas o como satélites de Júpiter depende de los presupuestos teóricos bajo los cuales tomemos los datos telescópicos.

Relataremos cada uno de los descubrimientos de Galileo y explicaremos en qué sentido constituían un argumento a favor del copernicanismo o en contra de la visión tradicional del mundo. Trataremos en este sentido la constatación del relieve lunar, el descubrimiento de los satélites de Júpiter, de las fases de Venus, de las manchas solares y la rotación del Sol, de la auténtica naturaleza de la Vía Láctea, de estrellas nunca vistas. Es importante reparar en que ninguno de los impresionantes descubrimientos de Galileo demostraba la verdad del sistema copernicano. El que más

cerca estaba de hacerlo era el de las fases de Venus, a todas luces inexplicables desde el sistema geocéntrico, pero asumible dentro del sistema tycónico. Sin embargo, la acumulación de pruebas en contra de la cosmología y de la física tradicionales hacían que la coherencia de la astronomía ptolemaica con ellas no pudiese ser ya más un argumento en favor de dicha astronomía. Por otra parte, la anticipación de algunos de los fenómenos por parte de los copernicanos forzó el efecto "ya te lo había dicho" al que se refiere Kuhn y cuya capacidad de convicción se podrá comprender desde los modelos de cambio de Lakatos.

Parte II: La revolución científica. Mecánica y cosmología

La revolución científica tiene al menos dos caras, ambas de sumo interés para el filósofo de la ciencia: la histórica y la historiográfica. Es decir, tanto el hecho histórico como los modos del relato merecen ser tenidos en cuenta.

Por otra parte, como se sabe, los ritmos de cambio en las distintas disciplinas científicas no fueron idénticos. La tensión introducida por las modificaciones en astronomía incidió de modo más directo e inmediato sobre la cosmología y la mecánica que sobre otras ciencias. Trataremos los cambios producidos en cosmología y mecánica encaminados a resolver las tensiones mencionadas y que nos llevarán hasta las obras de Newton y Leibniz. Trataremos en primer lugar el desarrollo de la mecánica desde Galileo hasta Newton (II.1.), y el de la cosmología desde el mundo cerrado, que todavía es el de Copérnico, al universo infinito, con especial atención al debate entre Leibniz y Clarke (II.2.). Tras ello nos referiremos a las diferentes disputas historiográficas sobre la revolución científica (III.3.), pero, junto con la explicación de cada una de ellas avanzaremos un paso en el conocimiento de la propia revolución y sus antecedentes. Así, a la par que exponemos las disputas historiográficas introduciremos factores como la influencia de la física medieval, la del platonismo, la del puritanismo o el progreso de la artesanía, y la relación entre la tradición hermética y la nueva ciencia.

II.1. Algunos aspectos de la mecánica entre Galileo y Newton

En este apartado nos dirigiremos a la nueva mecánica creada a partir de las aportaciones de Galileo, Descartes, Borelli, Huygens, Hooke o Newton. Mostraremos cómo con ella se resuelve la tensión entre disciplinas científicas generada por una Tierra en movimiento. Y no sólo eso, sino que se unifican en una misma ciencia los dos mundos que habían permanecido escindidos desde la antigüedad, el sublunar y el supralunar. Fueron, claro está, los copernicanos quienes en primer lugar trabajaron en favor de esta nueva física. Veremos las teorías magnéticas de Gilbert y Kepler, así como

las intuiciones sobre el impetus de G. Bruno, que presagian la posibilidad de acciones a distancia. Agruparemos estas primeras aproximaciones al problema en un único subapartado (el II.1.1.). Atenderemos después a la dinámica galileana, que consigue describir correctamente la caída de graves o el movimiento de proyectiles (II.1.2.), a las ideas mecanicistas cartesianas, contrarias a toda acción a distancia (II.1.3.), a los avances producidos en la tradición cartesiana y galileana, con físicos como Borelli, Huygens o Hooke (II.1.4.), y finalmente a la síntesis creativa realizada por Newton en sus Principia (II.1.5.).

II.1.1. Comunidad de naturaleza, magnetismo, impetus

Se trata de un repaso sumario a las primeras tentativas de solución al problema físico de una Tierra en movimiento.

Nos referiremos a las ideas expresadas por Copérnico en el libro I de su *De revolutionibus*, señalando su afinidad con soluciones ya propuestas en la antigüedad (recuérdense algunos pasajes de Plutarco) y su continuidad con el esquema tradicional. La clave de la explicación copernicana de los movimientos en la Tierra reside en su noción de comunidad de naturaleza.

Nos ocuparemos, además, del interés manifestado por Kepler en dar explicación física de los movimientos planetarios, y no sólo descripción geométrica adecuada. Es más, difícilmente se puede entender cómo llegó Kepler a su brillante solución de las órbitas planetarias si no se tiene en mente su intención de explicar además la causa física de este movimiento.

Kepler comprende que las tendencias naturales, hacia puntos concretos en el espacio, deben ser sustituidas por fuerzas de atracción generadas por los cuerpos. Pero Kepler sigue entendiendo la inercia como la tendencia a no moverse, la pereza de los cuerpos que sólo puede ser vencida por la acción de fuerzas. Dispone tres clases de fuerzas distintas a la hora de explicar por qué los planetas se mueven en contra de la natural tendencia a la quietud: la fuerza motriz que emana del sol en forma de nervios o cadenas y que hace girar los astros, pues les comunica la rotación del propio sol sobre sí mismo; una fuerza de carácter magnético que mantiene al astro en su trayectoria elíptica; y una fuerza de gravedad al estilo de la copernicana, es decir, que liga cuerpos de la misma naturaleza.

Hemos visto que, según Kepler, en los estudios sobre el magnetismo (una de las tres fuerzas mencionadas) podía atisbarse la solución a su problema de las trayectorias planetarias. Puesto que la Tierra ya había sido considerada por Gilbert como un gran imán, tal vez lo fuese también el Sol y las influencias magnéticas pudiesen dar cuenta de la marcha de los planetas.

Por último, Giordano Bruno, aboga por la utilización del concepto de impetus. Incluso recupera el modelo, sobre el que habían trabajado ya los nominalistas de París, de la

Tierra como un barco en movimiento, donde los objetos caen acompañando al barco en su desplazamiento, es decir, siguiendo la línea del mástil.

II.1.2. El estudio del movimiento en Galileo

En 1638 Galileo hace publicar en Holanda (a fin de evitar la censura papal) sus *Consideraciones y demostraciones sobre dos nuevas ciencias*. Este es uno de los textos más importantes en la historia de la ciencia. Las dos nuevas ciencias de que habla Galileo son la estática, básicamente la de Arquímedes, y la dinámica creada por el propio Galileo. Tal dinámica es un intento de descripción matemática de las trayectorias y velocidades de los móviles. No se hace alusión a las causas de tales movimientos que habían sido el objetivo de la física aristotélica. Si bien se puede entender que para un platónico, la detección de las regularidades matemáticas podía ser considerada como algo más que una simple descripción: era ya una explicación.

En primer lugar nos referiremos al estudio del movimiento uniforme, en segundo término al del movimiento en caída libre y, en tercer lugar, al estudio del movimiento de los proyectiles.

Galileo siguió teniendo por inercial el movimiento circular.

Por otra parte, los relatos sobre Galileo son casi un subgénero dentro de la historia de la ciencia y, claro está, existen tantas versiones como historiadores. Es evidente que no podemos hacer justicia a todas ellas, pero un buen paliativo puede ser la lectura del artículo de I. Stengers "Episodios galileanos", donde a la par que se cuenta la historia, se repasan las versiones historiográficas más influyentes.

II.1.3. El mecanicismo de Descartes

En el mundo físico no hay más que materia y movimiento. La geometrización de la realidad se cumple hasta el extremo, ya que la materia misma es mera extensión.

La negación de la acción a distancia y la formulación del principio de inercia son puntos de interés. Todos los movimientos que observamos se producen de modo mecánico por el contacto entre el motor y el móvil. Lo que a simple vista pudiera parecer acción a distancia no es sino el movimiento transmitido a través de la materia sutil que llena el mundo. No hay, pues, vacío posible. La materia cartesina es puramente pasiva, inerte, pero inerte en el sentido moderno de la palabra. La inercia de la que habla Descartes no es ya la resistencia al movimiento, sino la resistencia al cambio de estado, de movimiento a reposo o viceversa y la resistencia al cambio de dirección, sentido o velocidad en las trayectorias de los móviles. Si la materia es pasiva y sin embargo vence la inercia, hay que pensar que Dios comunicó al mundo una cierta cantidad de movimiento, cantidad que, según establece Descartes, se conserva.

Descartes llega a dar explicación del movimiento de los planetas a través de vórtices o torbellinos de materia que rompen con la tendencia inercial al desplazamiento rectilíneo. Las trayectorias peculiares de los móviles que acompañan a la Tierra en su desplazamiento también se intentan explicar mediante el recurso a los mencionados torbellinos. La mecánica cartesiana generó explicaciones cualitativas convincentes de infinidad de fenómenos.

Si bien la física cartesiana no logró ningún éxito en el plano cuantitativo, sin embargo, sí tuvo una enorme influencia en el continente; resistió durante un tiempo la invasión de la física newtoniana y contribuyó a configurar la mentalidad mecanicista asociada durante mucho tiempo a la ciencia.

II.1.4. Las aportaciones de Borelli, Huygens y Hooke

Nos referiremos a la aportación del italiano Giovanni Alfonso Borelli, según el cual los planetas al girar saldrían disparados de su órbita a no ser que el Sol ejerciese sobre ellos una fuerza de atracción que compensase exactamente la fuerza centrífuga. Esta afirmación depende, claro está, de un principio de inercia rectilínea.

La matemática de las fuerzas centrífugas fue desarrollada por Christian Huygens -siguiente estación en nuestra historia-, quien también aceptaba la inercia rectilínea. Estima el movimiento planetario como generado por dos fuerzas, una centrífuga y otra centrípeta gravitacional que evita la fuga. La influencia de Descartes se deja ver también en la obra de Huygens, quien, a la hora de explicar la fuerza centrípeta, opta por los torbellinos de Descartes, frente a las fuerzas no mecánicas de las que hablaba Kepler. Introduce, no obstante, modificaciones en las doctrinas cartesianas hasta aceptar la existencia de vacío.

En Inglaterra, más ajena a la influencia cartesiana, sucede el resto de nuestra historia. Robert Hooke avanza hacia una teoría de la gravitación universal. Hooke fue el primero en concebir el movimiento planetario como un movimiento inercial modificado por una fuerza de atracción universal y variable según la distancia entre los cuerpos, pero no consiguió formular la ley de tal variación. A tal efecto recabó la colaboración de Newton quien acabó por hallar la matemática de dicha fuerza.

II.1.5. Los Principia de Newton

Además de los antecedentes ya señalados habrá que apuntar la influencia sobre Newton de los neoplatónicos de Cambridge, que se oponían a los puntos de vista cartesianos postulando la intervención continua de Dios sobre la materia para dar cuenta del movimiento. La noción newtoniana de gravedad no hubiera podido fraguarse dentro de la ortodoxia mecanicista que negaba la acción a distancia. Por supuesto, se puede intentar una explicación mecanicista de la gravedad, pero este camino, tras muchos

esfuerzos, fue abandonado por Newton, que parece ser que la concibió, más bien, como una manifestación de la acción directa de Dios sobre el mundo.

La exposición de la mecánica newtoniana se halla en los Principios matemáticos de filosofía natural. Expondremos la estructura de la obra, las definiciones que establece Newton en su sección introductoria, las tres leyes del movimiento que en la obra se enuncian, desarrollan y aplican, y la de gravitación universal que le permite resolver el sistema del mundo.

II.2. Cosmología: hacia el universo infinito

La revolución científica se puede relatar de múltiples maneras. Koyré ha mostrado que una de las posibles, y quizá una de las más iluminadoras, sea el seguimiento de la cosmología desde el mundo cerrado al universo infinito, desde la cosmología tradicional hacia el asentamiento de la imagen moderna del cosmos. En este apartado daremos cuenta de dicha trayectoria. Nos detendremos en las primeras concepciones infinitistas vinculadas más a la filosofía que a la ciencia, las de Nicolás de Cusa y Giordano Bruno (II.2.1.). Se estudiará después la posición respecto a este tema de Copérnico y los astrónomos copernicanos, como Digges, Kepler o Galileo (II.2.2.). A continuación nos referiremos al debate cosmológico entre Descartes y More (II.2.3.) y, por último, al famoso debate, semejante en algunos aspectos al anterior, entre Leibniz y Clarke (II.2.4.).

II.2.1. El universo infinito de Cusa y Bruno

Nicolás de Cusa introduce desde la pura reflexión filosófica concepciones cosmológicas que coinciden en muchos aspectos con aquellas que serán defendidas por los científicos del XVII. En su *De Docta ignorantia*, redactado en 1440, no llega a afirmar la infinitud del universo, atributo que reserva para Dios, pero lo concibe como sin límite, "interminado", en cierto modo podríamos decir que impreciso y, por tanto, no cognoscible sin residuo de duda o ambigüedad. De ahí que acerca de estas cuestiones cosmológicas, quien reflexione en profundidad tendrá que aceptar su ignorancia.

La consecuencia inmediata de un cosmos sin forma ni límites definidos es que se pierde la posición especial del centro y de la periferia, como dirá Cusa, el espacio deja de estar dividido en regiones con distintas propiedades y se convierte en un todo homogéneo. Una infinidad de mundos, y quizá de mundos habitados empieza a ser pensada.

Giordano Bruno extrema aún la concepción infinitista hasta afirmar abiertamente la infinitud del universo. Se le puede reconocer a G. Bruno, pues, la prioridad en la propuesta de un universo infinito.

Además Bruno modifica las valoraciones tradicionales de movimiento y reposo. En el cosmos aristotélico el reposo es un estado de mayor perfección que el movimiento. Se

mueve aquello que está fuera del lugar que le es propio y lo hace para buscar su acomodo natural. Sin embargo, para Bruno el movimiento es perfección y el reposo incapacidad de movimiento.

II.2.2. Copérnico y los copernicanos

Copérnico hace que crezca el universo pero no llega a considerarlo infinito, termina con la esfera de las fijas. Pero el cambio copernicano libera a la esfera de las fijas de gran parte de sus funciones, de manera que algunos copernicanos estuvieron tentados a deshacerse de ella. Este fue el caso de Thomas Digges, quien, en su *A perfit Description of the Caelestiall Orbes* (de 1576), introduce un gráfico del sistema copernicano en que por primera vez las estrellas se distribuyen por la página libres ya de cualquier orbe. El mundo copernicano modificado de Digges incluye un cielo infinito.

No todos los copernicanos abogaron inmediatamente por el infinito. Kepler, por razones epistemológicas, científicas y teológicas, se niega a admitir la infinitud del universo. Si el universo fuese infinito no habría lugares singulares, como el centro y la periferia. De ello se sigue, para Kepler, que las infinitas estrellas se distribuirían de modo perfectamente homogéneo, a falta de razón suficiente para hacerlo de otro modo cualquiera y el aspecto del cielo para nosotros no sería el que de hecho observamos. Además, la misma noción de una distancia actualmente infinita le parece absurda; dicho de otra manera, entre la Tierra y cualquier estrella queelijamos siempre habrá una distancia determinada, no infinita. Mantiene la distinción entre las estrellas fijas y el Sol, que no será una más de las estrellas, sino el centro de un universo finito y la representación sensible del mismo Dios Padre. La periferia será la imagen del Dios Hijo y el espacio intermedio del Espíritu Santo. Kepler niega también la posibilidad del espacio vacío, que sería simplemente nada. El lugar está vinculado a los cuerpos. Descubrimos en cosmología un Kepler todavía muy aristotélico.

Quizá por el desgraciado antecedente de Bruno o por los procesos inquisitoriales sufridos por él mismo, las afirmaciones de Galileo en este terreno nunca fueron claras. Acerca de la cuestión de la infinitud del mundo se niega a tomar partido, afirma que es indecidible. Lo que sí afirma es que las estrellas no están en el mismo plano, que distan unas de otras también en profundidad y que el Sol no tiene por qué ser el centro del universo.

Galileo inicia la utilización de instrumentos ópticos para la observación de los cielos. El mundo visto a través de éstos es distinto y nuevo en muchos aspectos. Por primera vez el hombre ve la Vía Láctea descompuesta en múltiples estrellas, observa muchas más de las que hasta entonces había registrado, se enfrenta a la asombrosa cara de la Luna, y encuentra otras lunas. Sin embargo, el debate infinitarista no se vio muy afectado por la utilización de instrumentos ópticos.

II.2.3. El debate entre Descartes y More

El mundo cartesiano es el espacio geométrico de Euclides materializado, sin lugar para el vacío y sin límites en su extensión. No llega a afirmar su infinitud. En este punto adopta una posición muy semejante a la de Nicolás de Cusa, reservando la infinitud actual para Dios. Durante su intercambio de correspondencia con More se desplaza desde el reconocimiento de que el universo podría tener límites, pero que en todo caso éstos nos son desconocidos, hasta la más radical tesis de que el universo, en efecto, no tiene límites. Es ilimitado, pero no infinito. Esta distinción se perfila a lo largo del debate como muy afín a la aristotélica entre infinito en potencia e infinito en acto. De este modo, de paso, se evita la objeción kepleriana que apunta el absurdo de una distancia actualmente infinita.

El sistema solar, en un universo de este estilo no puede ocupar el centro ni lugar especial alguno, por la sencilla razón de que no tiene sentido hablar de un centro para un universo ilimitado, como ya hemos visto en Cusa.

More, por su parte, apremia a Descartes a que se defina: o el universo es infinito o bien es finito, pero no se puede dar una tercera opción, la ilimitación o indefinición de la que habla Descartes. More tiende a identificar el espacio con Dios o con alguna propiedad o atributo de Dios, de manera que no tiene problema en asignarle sin más la infinitud. Además, dado que el espacio es distinto de la materia, se puede pensar perfectamente en un espacio vacío (de materia, entiéndase). A partir de este momento veremos que el debate se vuelve abiertamente teológico y se complica con cruzadas acusaciones de ateísmo. En opinión de More, el mundo cartesiano expulsa a Dios de su seno y funciona al margen de la acción divina, no deja lugar ni función para Dios, que pasa a ser un adorno prescindible. Es, por tanto, una cosmología propicia al ateísmo. Descartes por su parte, podrá acusar a More de materializar a Dios al hacerlo espacial y temporal.

La cosmología de Newton debe mucho a las enseñanzas de More (aunque Newton nunca reconoce la deuda). Las ideas de More fueron recogidas por Newton e influyeron en su noción del espacio y el tiempo absolutos como sensorios de Dios.

II.2.4. El debate entre Leibniz y Clarke

La correspondencia entre Leibniz y Clarke, quien según todos los indicios actuaba como portavoz de Newton, se mueve continuamente entre el terreno de la cosmología y el de la teología. Las acusaciones cruzadas de ateísmo se reeditan con mayor virulencia y las discrepancias entre el racionalismo continental y el newtonianismo británico aparecen aún más evidentes que en el debate anterior.

En esencia, Leibniz trata de establecer que el mundo newtoniano sería la obra de un Dios muy chapucero, que debe intervenir y reconducir su artefacto continuamente; un Dios, por lo demás, excesivamente espacial y temporal, excesivamente caprichoso, y exento de obrar bajo el principio de razón suficiente. En la otra orilla de la disputa (y del

Canal) el peligro de ateísmo se veía venir por la ociosidad del Dios sabático de Leibniz, artífice de un mundo-reloj perfecto en sus regularidades, guiado por la necesidad natural que puede dar cuenta también de su existencia desde siempre, sin apelación a creador alguno.

Los argumentos que se suceden alcanzan un alto grado de sutileza e incluyen cuestiones físicas, metafísicas y teológicas.

II.3. Historiografía de la revolución científica

Las distintas líneas historiográficas han contribuido de modo muy positivo a nuestro conocimiento de la revolución científica. Cada una ha puesto de manifiesto aspectos muy reales de su desarrollo.

Sin embargo, la estructura causal de un fenómeno tan dilatado en el tiempo, tan extendido en el espacio y que atañe a tantos campos del saber, no puede ser sencilla. Es probable que se pueda hablar de concausas, de bucles causales y relaciones dialécticas. Por tanto, las diferentes aproximaciones historiográficas a la revolución científica han errado en la misma medida en que han pretendido ser cada una de ellas exclusivas.

De modo que, en mi opinión, no hay problema para reconocer a un tiempo que el continuismo duhemiano muestra la muy cierta y hasta entonces olvidada influencia de la ciencia medieval; que la posición de Koyré nos enseña el no menos verdadero cambio intelectual producido por la resurrección del pitagorismo, el culto solar y otras tradiciones reavivadas a raíz de la caída de Bizancio; que la historiografía externalista nos aporta datos de sumo interés para comprender la dinámica de la revolución, condicionada por el puritanismo, el progreso artesanal y experimental o la institucionalización de la ciencia; y que algunos historiadores del renacimiento nos han hecho ver la vigencia de la tradición hermética aún en el XVII.

En consonancia con lo dicho, veremos las influencias recibidas por los científicos de la revolución, en primer lugar las provenientes de la ciencia bajomedieval, estudiadas por P. Duhem y otros medievalistas (II.3.1.), y, en segundo término, las influencias intelectuales provientes de la tradición platónica, tal y como refleja la historiografía de Koyré (II.3.2.). Todo ello nos dará pie para introducir el debate entre historiadores continuistas y no continuistas.

A partir de este momento atenderemos a otro de los grandes debates historiográficos, el que enfrenta a los historiadores internalistas y los externalistas. Los externalistas piensan que las causas de la revolución científica habrá que buscarlas en la sociedad de la época, marcada por el puritanismo y la valoración y progreso de los oficios artesanales. Esta tesis (la tesis de Merton) será tratada en (II.3.3.). El experimentalismo baconiano será tratado en este punto. Cabe considerar, asimismo, la función que en el surgimiento de la nueva ciencia tuvieron instituciones como las sociedades científicas. El

debate sobre la tesis de Merton se modifica sustancialmente con la distinción introducida por Kuhn entre ciencias clásicas o matematizadas y ciencias baconianas.

Por último, nos centraremos en un debate más que ha sacudido la historiografía de la revolución científica y que tiene un importante nexo con la cuestión de la racionalidad en ciencia. Trataremos, pues, sobre el grado de influencia que la tradición hermética y mágica tuvo en la nueva ciencia. A veces se ha tomado la revolución científica como ejemplo claro de una fértil combinación de mentalidad racional y empírica; la detección de elementos herméticos en el nacimiento mismo de la ciencia moderna puede matizar esta imagen, como han apreciado Garin, Yates o Rossi (II.3.4.).

II.3.1. La conexión medieval

Presentaremos la tesis continuista de Pierre Duhem, la conexión de ésta con su peculiar noción de ciencia y con sus intereses de carácter intelectual y religioso.

Hablamos de "revolución científica". Sin embargo, precisamente esto es lo que niega Duhem, que haya existido tal revolución en ciencia. Según él, en ciencia tenemos una fase de evolución continua desde los últimos siglos de la Edad Media y, si en algún terreno podemos hablar de revolución, éste es el de la epistemología científica, que muta desde el probabilismo bajomedieval hacia el realismo de los científicos del XVII.

Si hubo o no realmente una revolución en ciencia es un asunto que, al menos desde mi punto de vista, ha perdido su interés. Es evidente que en los comienzos de la modernidad se produjo un cambio importante y complejo en la ciencia, pero muy dilatado en el tiempo (del orden de siglos) y no surgido de la nada; un cambio en la ciencia, pero no de modo uniforme e isocrónico en todas las disciplinas; un cambio también en la concepción de la ciencia, en sus métodos y en su incidencia social, pero nunca de modo abrupto. Este cambio se puede llamar revolución científica, o primera revolución científica, pues es el uso común convenido. Las tesis de los continuistas, así como las de los no continuistas, evidencian diferencias filosóficas, como sugiere Koyré, pero son compatibles desde el punto de vista de los hechos históricos y sus causas.

II.3.2. Platonismo en la revolución científica

En este subapartado expondremos la versión no continuista de la revolución científica. Nos centraremos en los textos de Alexandre Koyré, para quien la recuperación del platonismo, de la confianza en un orden geométrico natural, constituye una radical innovación en el modo de acercarse a la naturaleza. Trataremos también la motivación metafísica y los antecedentes historiográficos de la obra de Koyré, las objeciones de Koyré al continuismo y las razones de su enfrentamiento con el positivismo.

II.3.3. Puritanos y artesanos. La tesis de Merton

Las historiografía de la ciencia externalista ha ubicado las causas de la revolución científica más en el terreno social y psicológico que en el puramente intelectual. Conforme a la tesis de Merton, la ideología del puritanismo con su valoración del trabajo, así como el progreso en los oficios artesanales, pudieron resultar claves para el cambio en ciencia. Los baconianos, según Merton, esperaban aprender de las artes prácticas y hacer de la ciencia algo útil. Los nuevos problemas abordados por la tradición artesanal y los métodos aprendidos hacen que nazca la nueva ciencia (este punto de vista, se basa en parte en la historiografía marxista). El puritanismo fue otro estimulante para el desarrollo de la ciencia. Además, entre ambos factores (la influencia del puritanismo y el desarrollo de la artesanía), se pueden apreciar conexiones. Así, Max Weber señala que el puritanismo contribuyó a legitimar el interés por la tecnología y las artes útiles.

La posición de Merton se ha visto criticada por su definición de puritanismo y por el papel preponderante que otorgaba a Bacon en el nacimiento de la nueva ciencia. Por otra parte, los internalistas afirman que la ciencia nada debe a los valores económicos ni a las doctrinas religiosas. Si hacen falta novedades culturales para explicar por qué hombres como Galileo, Descartes o Newton de pronto fueron capaces de ver de una manera nueva fenómenos bien conocidos para ellos, debe observarse -como expone Kuhn- que tales novedades son ante todo intelectuales y que incluyen el neoplatonismo del renacimiento, el resurgimiento del antiguo atomismo y el redescubrimiento de Arquímedes. Conforme al argumento internalista, tales corrientes intelectuales se impusieron y fueron tan productivas en Italia y en Francia (católico-romanas), como en los círculos puritanos de Holanda o Inglaterra.

Creo que las matizaciones a la tesis de Merton propuestas por Kuhn, que tienden a salvar una versión débil de la misma, son de lo más atinadas.

II.3.4. El hermetismo y la nueva ciencia

Persistencia durante buena parte de la revolución científica de elementos animistas y vitalistas procedentes de la tradición hermética. El historiador Eugenio Garin fue uno de los primeros en poner de manifiesto la presencia del hermetismo en la nueva ciencia, así como Frances Yates y sus estudios sobre el hermetismo de G. Bruno, o Paolo Rossi y su importante reinterpretación de Bacon.

Nos ocuparemos de la noción de hermetismo, los antecedentes históricos y supuestos de dicho movimiento y del Corpus Hermeticum propiamente dicho, la recuperación y traducción del mismo por parte de Marsilio Ficino (a partir de 1460) y de la enorme influencia de la que gozó debido a su pretendida antigüedad. La datación del Corpus por parte de Casaubon (en 1614) marca el fin de la leyenda sobre el origen de estos escritos.

Existen conexiones entre la figura del hombre de ciencia moderno y la del mago hermético, sin duda relacionadas, al menos a través de la actividad experimental y de la confianza en las regularidades numéricas.

Este es un buen caso histórico para la discusión sobre el problema de la racionalidad en ciencia. La cuestión no se puede solventar, claro está, negando la presencia de elementos herméticos y mágicos en la misma raíz de la nueva ciencia, pues la historiografía vigente ha mostrado con claridad su presencia e influencia que llega incluso hasta Descartes y Newton.

ORIENTACIONES BIBLIOGRAFICAS

Existe edición en español del principal texto de Copérnico (1987), otros textos originales pertinentes para el tema se hallan recogidos en Copérnico, Digges y Galilei (1982) y Kepler (1984). De Galileo existe un amplio conjunto de obras traducidas, de las que aquí interesan más propiamente Galileo (1972 y 1984).

Para este tema resulta imprescindible Kuhn (1978). Los gráficos que se precisan se encuentran en Kuhn (1978) y de Solís (1991). También es muy útil la breve y clara exposición de Elena (1995). Pueden verse, así mismo, Elena (1985 y 1989) y Sellés y Solís (1991). Battaner (1991), Holton (1987) y Crombie (1974) siguen siendo de gran ayuda para algunos tópicos. Entre los clásicos, además del libro de Kuhn citado más arriba, pueden verse también Koyré (1961, 1977, 1979, 1980). La perspectiva filosófica adoptada por Hanson (1985) es muy sugerente.

Existe en español una buena representación de los escritos de los protagonistas de la revolución científica aquí tratados: Copérnico, Digges y Galilei (1982), Galilei y Kepler (1984), Galilei (1972, 1976, 1981, 1982), Bacon (1985, 1989), Descartes (1981, 1991, 1995), Hooke (1989), Newton (1977, 1982, 1983), Bruno (1986), Copérnico (1982, 1987).

Sobre la revolución científica siguen siendo útiles Kuhn (1978), Hanson (1985), Holton (1987), y lo son muy especialmente Solís (1991), Elena (1989 y 1985), Cohen (1983, 1989 parte tercera). Hall (1985) es un libro importante sobre la revolución científica desde el punto de vista internalista. El relato que hace I. Stengers (1991) de los episodios galileanos me parece muy claro y adecuado para los planos histórico e historiográfico de la revolución científica. Koyré (1979) es recomendable para las cuestiones cosmológicas aquí tratadas, para los debates entre Descartes y More y entre Leibniz y Clarke (del cual hay edición española en Rada (1980)). El debate entre Leibniz y Clarke está tratado en profundidad en Pérez de Laborda (1981). Koyré (1965, 1977, 1980) son magníficos estudios de varios aspectos de la revolución científica. Sobre el pensamiento del propio Koyré puede verse la introducción de Solís a Koyré (1994). El pensamiento historiográfico de Duhem puede consultarse en las propias obras del autor,

Duhem (1908, 1914), en Brenner (1990), Jaki (1984) y Marcos (1988). Además Duhem (1913-1959) sigue siendo una valiosa fuente para muchas cuestiones relacionadas con el presente tema, por ejemplo, para las influencias medievales, sobre todo en sus últimos volúmenes. La conexión medieval también recibe amplio tratamiento en Crombie (1974). El debate entre continuistas y no continuistas puede verse en las obras de Koyré ya citadas y en Fichant y Pecheux (1971). Además hay una muy buena información sobre los debates historiográficos en la imprescindible obra de Kragh (1989), en Kuhn (1983), en Redondi (1987) y Agassi (1978 y 1978a). Rossi (1990) contiene un buen relato de la polémica sobre externalismo e internalismo mantenida por Hill, Needham y Koyré, entre otros. La tesis de Merton y las ideas al respecto de Kuhn pueden consultarse en Merton (1977, 1984, 1990) y Kuhn (1983). Sobre la cuestión del ambiente intelectual del renacimiento y del hermetismo en el nacimiento de la nueva ciencia me parece adecuado Turró (1985), además de los más clásicos Yates (1974 y 1983), Garin (1981, 1981a y 1982), y Rossi (1989). En relación con este punto puede verse también Redondi (1990). Existen muchas publicaciones sobre Galileo, sobre su obra y también sobre su vida: Banfi (1967), Drake (1983), Fischer (1986) y Geymonat (1969). En relación a otro de los más importantes protagonistas de la revolución científica, Newton, puede consultarse Westfall (1980) y Manuel (1968); sobre Leibniz, Aiton (1992); sobre Bacon véase Rossi (1990a) y Farrington (1971).