

# Enseñanza

## TALLER Y LABORATORIO

### EXPERIMENTOS HISTÓRICOS LEGADO DE LA FÍSICA EN LA BAJA EDAD MEDIA

#### PRESENTACIÓN

La Edad Media corresponde al segundo período cronológico en que se divide la Historia. Comienza en el año 476 con la caída del Imperio Romano de Occidente<sup>1</sup> y finaliza con el descubrimiento de América, en 1492, aunque algunos historiadores prefieren asociar con el final otro año, como el 1493, por coincidir con la caída del Imperio Bizantino, el último vestigio del Imperio romano en Oriente, con la invención de la imprenta de tipos móviles por JOHANNES GUTENBERG (c1398-1468) o el final de la Guerra de los cien años<sup>2</sup>.

El paso de la Antigüedad a la Edad Media vino acompañado de cambios o transformaciones importantes. Desde la perspectiva económica afectan al modo de producción, pasando del esclavista a otro de naturaleza feudal y, desde el punto de vista social, desaparece el concepto de ciudadanía romana para dar lugar a una estructura estamental, resultado de un estilo de vida social más abierto. Además, desaparecen las estructuras centralizadas romanas dando lugar a una dispersión del poder. Por último, se asume la sustitución de la cultura clásica griega por otra, claramente teocéntrica, combinando el cristianismo con el islamismo, aunque siempre marcaron claramente su espacio.

Es habitual dividir la Edad Media en dos períodos denominados Alta Edad Media y Baja Edad Media, cro-

<sup>1</sup> Concepto que la historiografía asocia con la denominada “crisis del siglo III” en el que tuvo lugar el deterioro del poder romano y el hundimiento del Imperio de Occidente. Se ubica entre el fallecimiento del emperador Alejandro Severo (208-284) y la toma de posesión como emperador de Diocleciano (244-311).

<sup>2</sup> Conflicto bélico de origen feudal entre los reinos de Francia e Inglaterra que tuvo lugar entre los años 1337 y 1453 (en realidad duró 116 años. Se intentaba dirimir el control de las posesiones inglesas en Francia. La victoria supuso la retirada de los ingleses de las tierras francesas. [Towson, D.: *Breve Historia de Inglaterra*, Alianza Editorial, Madrid (2004).]

nológicamente definidos con relativa precisión. El primero, supone una época medieval temprana, escasamente diferenciada con la Antigüedad tardía, desarrollada entre los siglos V y X aproximadamente. El segundo período, la Baja Edad Media, se extiende entre los siglos XI y XV. Los estudiosos suelen marcar, especialmente, el siglo XIV como determinante del período medieval al asociarlo con una crisis que determinaría un período renovador social, político y científico.

Con frecuencia se considera al medievo como un tiempo intermedio, de escaso o nulo valor, entre la Edad Antigua y la Edad Moderna, es decir, entre el arte y la cultura grecorromana y la renovación aportada por la modernidad. Se asocia a una época oscura, una “edad de la tinieblas”, caracterizada por un retraso intelectual, cultural y científico. Planteamiento que intentaremos matizar.

Como se desprende del título de este artículo, en él trataremos algunas ideas acerca del pensamiento científico en la Baja Edad Media y procuraremos inscribirlo en el ambiente cultural y científico de la época. Concluimos con algunas reflexiones acerca de la continuidad entre la ciencia medieval y la ciencia moderna, preocupación importante entre los historiadores de la Ciencia desde comienzos del siglo pasado<sup>3</sup>.

#### EL AMBIENTE CULTURAL EN LA SOCIEDAD MEDIEVAL

La cultura clásica griega, sin duda brillante, no es asimilada adecuadamente por la civilización romana, preocupada por cuestiones eminentemente prácticas, sin la necesidad de crear centros o instituciones propicias al desarrollo y estudio de las ciencias de la naturaleza. Salvo raras excepciones, solamente mantuvieron aquellos centros nacidos al amparo de la cultura griega.

La capacidad científica de los romanos fue inferior a la de sus antecesores griegos. Carecían de interés por hacer traducciones rigurosas de los tratados griegos y

<sup>3</sup> Crombie, A.C.: *Historia de la ciencia: de San Agustín a Galileo*, Alianza Editorial, Madrid (1987). Lindberg, D.C.: *Los inicios de la ciencia occidental*, Ed. Paidós, Barcelona (2002).

tampoco existían romanos bilingües que pudieran acceder a los textos científicos.

El Imperio romano de Occidente poseía una lengua común, el latín, limitada a escasos ámbitos culturales pero, pasado algún tiempo, se convertiría en “lengua culta”. Las invasiones de otras culturas o civilizaciones supusieron una degeneración política, social y económica del pueblo romano. El resultado es conocido: la desintegración del Imperio Romano, acaecida hacia el siglo V.

Después surge la cultura islámica, hacia el siglo V, espléndida en muchos aspectos, llegando a alcanzar una buena difusión en el mundo medieval y, cuando inicia su decadencia, tres o cuatro siglos después, deja un valioso caudal científico. Le sigue un periodo de cierta inestabilidad política e importantes modificaciones sociales, propicias para un desarrollo cultural. No obstante, la Iglesia Católica, a través de sus instituciones, supo mantener cierto impulso intelectual.

La situación apuntada era poco propicia para que la población medieval se ocupara de cuestiones intelectuales, más preocupada en superar las dificultades diarias. Es fácil entender que el hombre culto o instruido de la época se refugiase en la Iglesia donde vivía en comunidad con apoyo a sus necesidades vitales. Así, los clérigos, pese a dedicar sus prioridades a las cuestiones religiosas, disponían de tiempo para atender a otras actividades. Es el comienzo de una lenta actividad científica nada despreciable.

Un resurgimiento científico y cultural lo protagonizó CARLOMAGNO (742-814), al frente del Imperio Carolingio<sup>4</sup>, cuando intenta una reforma de la educación, con la finalidad de unificar y el reforzar su imperio. A tal efecto, se inspira en la escuela palatina que funcionaba en su palacio, en Aquisgrán, destinada a la formación de los hijos del emperador, de la aristocracia y de jóvenes pertenecientes a destacadas familias. Encarga al clérigo inglés ALCUINO DE YORK (735-804) la creación de unas escuelas semejantes, incorporadas a los monasterios, escuelas monásticas, o a las catedrales, escuelas catedralicias. En todas ellas se establece el sistema de enseñanza diseñado por el político y escritor romano CASIODORO (485-580) en su publicación *Institutiones: Trivium* (Retórica, Gramática, Dialéctica) y *Quadrivium*

<sup>4</sup> El Imperio Carolingio se desarrolla entre los años 751 y 843 ocupando Alemania, Francia, así como parte de Italia y España. Carlomagno fue coronado emperador por el Papa León II en el año 800.

(Geometría, Astronomía, Aritmética, Música). Como es imaginable en estas escuelas se formaban, además, los futuros clérigos por lo que era importante la enseñanza de la doctrina cristiana, sin olvidar la transmisión del conocimiento, en la época, con la creación de bibliotecas, producción de manuscritos y difusión de las actividades de sus maestros. Más adelante, en los siglos XII y XIII, algunas de estas escuelas se convirtieron en Universidades.

En esta época aparecen determinadas condiciones políticas, sociales y climáticas, capaces de generar el llamado Renacimiento (alcanzando su esplendor en los siglos XV y XVI), afectando a todos los sectores; aumenta la población, se incorporan innovaciones técnicas en la agricultura, se mejoran los caminos, se facilita el comercio, aumenta el intercambio de ideas entre países y, en las ciudades, disminuye la dependencia de la agricultura y se aprecia un cambio de ubicación de las mismas, trasladándose al entorno de los monasterios y de las catedrales. Era un momento propicio para la creación de nuevas escuelas y su implicación en el tejido social.

No fueron despreciables los cambios resultantes del contacto establecido entre las culturas oriental y árabe, en especial, como consecuencia, de la Reconquista de la Península Ibérica, tras la invasión musulmana, y las Cruzadas<sup>5</sup>. Los árabes, en esos momentos, poseían un nivel cultural, científico y técnico elevado, consecuencia del conocimiento de la cultura griega clásica, adquirido mediante las traducciones realizadas y su dedicación a la ciencia. El esfuerzo traductor realizado por los árabes, en especial en Toledo y en el Sur de Italia, permitieron el notable avance de algunas disciplinas científicas durante los siglos siguientes y la creación de escuelas de traductores.

<sup>5</sup> Especie de campañas militares que a partir del siglo XI se emprendieron desde el Occidente cristiano contra los musulmanes con la finalidad de recuperar Tierra Santa. Su origen se debe a la iniciativa del Papa Urbano II tomada en el Concilio de Clermond (1095) tras la conquista de Jerusalén por los turcos; en esta decisión se incluían unas características religiosas que pretendían evitar las tensiones surgidas entre Roma y Constantinopla. Este tipo de movimiento también poseía otras motivaciones como el interés expansionista feudal, el control comercial en Asia, la postura hegemónica del papado y las situaciones personales de los participantes, así como su fervor religioso. Se realizaron varias cruzadas entre los años 1095 y 1291. [Malelouf, A.: *Las cruzadas vistas por los árabes*, Alianza Editorial, Madrid (2005); Runciman, S., *Historias de las cruzadas* (3 vol.), Alianza Editorial, Madrid (1973)].

Otro aspecto positivo a destacar fue la creación de las Universidades Medievales. Surgen a partir del siglo XII como instituciones educativas de la cristiandad latina que vienen a sustituir, en buena parte, a las escuelas palatinas, monásticas y catedrales existentes. En principio se denominan *Studium Generale* y luego se generaliza la utilización del nombre de *Universidades*. Aparecen en diferentes ciudades de Europa Occidental incorporando un modo de enseñanza superior con perspectiva de futuro. Nacen como comunidades de maestros y estudiantes preocupados por la enseñanza, la investigación y la producción del saber. Desde el comienzo se ven acompañadas de polémicas debido a su doble dependencia de los poderes políticos (reyes y emperador) y del eclesiástico (papas, obispos y órdenes religiosas). Además, se incorporan nuevos procedimientos de enseñanza de clara inclinación especulativa que daría acogida a la filosofía cristiana, también conocida como escolástica. Mantiene las enseñanzas del Trivium y Quadrivium complementados con disciplinas ligadas a otras titulaciones; también en algunas universidades restringieron sus enseñanzas favoreciendo una suerte de especialidad académica. En todas se crean bibliotecas cuyo desarrollo se vio afectado por diferentes circunstancias, recibiendo un impulso definitivo con la aparición de la imprenta<sup>6</sup>.

En el desarrollo cultural de esa época fue importante la creación de las nuevas órdenes monásticas, como los dominicos y los franciscanos<sup>7</sup>, aunque con preferencia se dedicaban a la vida contemplativa en los monasterios, defendían la doctrina cristiana con la predicación y por el uso de la razón en su convivencia con el mundo laico. Pronto estas órdenes religiosas establecieron contactos con las universidades, apareciendo una infraestructura para soporte de comunidades científicas y un impulso indiscutible para las ciencias de la naturaleza. A este respecto, fue importante

<sup>6</sup> La primera universidad europea es la de Bolonia creada en 1088, especializada en leyes. En 1208 se crea la primera universidad española en Palencia y diez años después se crea la de Salamanca.

<sup>7</sup> Los franciscanos, es una orden religiosa mendicante fundada por Francisco de Asís (c1181-1226) en 1209 siendo aprobada eclesiásticamente por el Papa Inocencio III. El español Domingo de Guzmán (1170-1221), profesor del Estudio General de Palencia, fundó la orden mendicante de los predicadores, también llamada dominicos, en fecha no precisada, siendo el Papa Honorio III el responsable de su autorización eclesiástica en 1216.

el esfuerzo realizado en las comunidades de frailes en la traducción de textos, organización y mantenimiento de bibliotecas, entre otras cuestiones. Así se entiende que hacia 1200 se disponía de traducciones correctas de la mayoría de las obras de los científicos griegos clásicos.

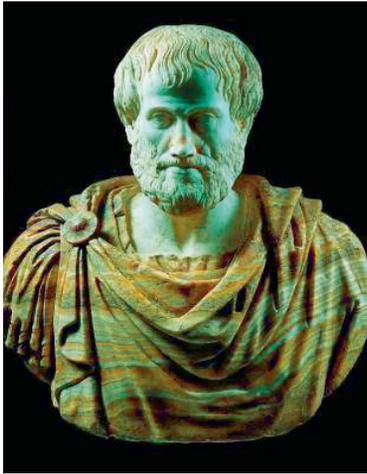


*Universidad de Bolonia (fundada en 1088).*

Un factor negativo fue la epidemia de “peste negra” o “muerte negra” aparecida en el siglo XIV, con un período de mayor incidencia el comprendido entre los años 1347 y 1356. El brote, posiblemente, fue causado por la bacteria denominada *Yersinia pestis*<sup>8</sup>, causante de la peste neumónica, bubónica y la septicemia, siendo el agente infeccioso, exceptuando a la malaria, que mayor número de muertes humanas ocasionó. La pandemia del siglo XIV afectó a un tercio de la población europea, en torno a 25 millones de personas, comenzó en Asia y llegó a Europa a través de las rutas comerciales marítimas.

Desde una perspectiva social, se han hecho diferentes estudios acerca de la influencia de esta pandemia medieval respecto al desarrollo científico. Es ilustrativo considerar que el tiempo transcurrido entre NICOLE ORESME (c1323-1382), tal vez el pensador más original del siglo XIV, uno de los fundadores de la ciencia moderna, y el sacerdote polaco NICOLÁS COPÉRNICO (1473-1543), autor de la teoría heliocéntrica del sistema solar, fue una etapa de doscientos años con un vacío científico de inevitables consecuencias.

<sup>8</sup> Nombre debido a su descubridor, el médico-bacteriólogo Alexander Mersin (1863-1943), cuando en 1834 trabajaba en el Instituto Pasteur de París.



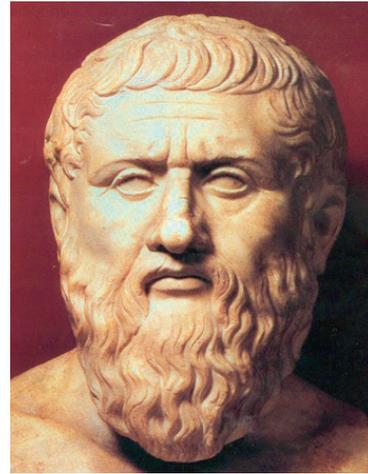
*Aristóteles (384-322 a.C.).*

Hacia el siglo XV aparece lo que se ha dado en llamar “humanismo renacentista”, que intenta romper con la visión teocéntrica del Universo y la concepción filosófica-teológica medieval. De esta situación se desprende una pérdida de aparente interés acerca de las doctrinas aristotélicas relacionadas con las ciencias de la naturaleza. Son muchos los estudiosos convencidos que consideran, no sin razón, que en los momentos renacentistas iniciales existe un estancamiento en el desarrollo de las ciencias naturales. Una explicación se puede encontrar en la vuelta a los textos científicos antiguos, pues despiertan un interés por las concepciones ptolomeica y aristotélicas del Universo, relegando el planteamiento escolástico decidido en establecer un orden racional de la naturaleza frente a la postura de los renacentistas inclinada por considerar el Universo como una concepción divina, ajena de racionalidad, pero que podía ser comprendida mediante la experimentación<sup>9</sup>.

Para terminar estas consideraciones generales acerca del marco en que se desarrolló la ciencia medieval, apuntamos la relación entre el cristianismo y el estudio de la naturaleza. Un buen ejemplo lo encontramos en AGUSTÍN DE HIPONA (354-430), también conocido como San Agustín,<sup>10</sup> cualificado en las doctrinas cristianas y en el Universo. Aceptaba la importancia del conocimiento pero eran más importantes los dogmas cristianos y, en consecuencia, cualquier

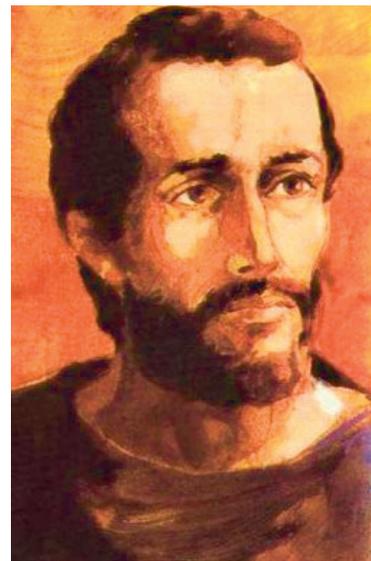
<sup>9</sup> Sambursky, S.: *El mundo físico de los griegos*, Alianza Editorial, Madrid (1990).

<sup>10</sup> San Agustín: *Obras Completas*, Biblioteca de Autores Cristianos, Madrid (1981).



*Platón (427-347 a.C.).*

intento para comprender las escrituras debía hacerse teniendo presente los conocimientos disponibles sobre la naturaleza.



*Agustín de Hipona (354-430).*

El contacto de los árabes con la ciencia griega lo hicieron a través del Imperio bizantino y a través de otros lugares conocidos en sus viajes como, por ejemplo, en Persia donde, desde los siglos VII y VIII, se hicieron traducciones al siríaco, considerada como lengua culta en el Asia occidental desde el siglo III. Tras la conquista árabe se realizó la traducción de las obras científicas griegas al siríaco para luego trasladarlas al árabe. Desde el siglo X, en ciudades como Damasco o Bagdad, surgieron grandes centros de traducción que, incluso, lo hacían directamente del griego al árabe. Así, poco a poco, la cultura científica recuperada por los

árabes fue introduciéndose en la cristiandad occidental; sin duda, estas relaciones científicas se vieron beneficiadas por las relaciones establecidas en los diferentes viajes comerciales.

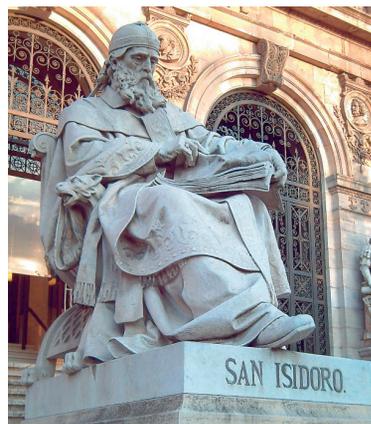
## LOS INICIOS DE LA CIENCIA MEDIEVAL

La ciencia en el Occidente latino, en sus primeros momentos, se puede considerar originada por las compilaciones o aportaciones realizadas por los latinos. En esta época, el único texto dedicado a las ciencias de la naturaleza es el realizado por un científico latino PLINIO EL VIEJO (23-97)<sup>11</sup>, autor de la *Naturalis Historia* (Historia Natural), tratado en el que recopila diferentes cuestiones sobre Botánica, Geografía, Fisiología, así como unas ideas generales sobre cosmología. Es una obra muy difundida hasta la llegada de las primeras traducciones de las obras griegas y árabes.

En el campo de las matemáticas y de la lógica, el trabajo más representativo es el realizado por el filósofo romano BOECIO (480-524), miembro de una destacada familia que llegó a acumular gran poder. Su obra más importante es el resultado de compilar algunas ideas elementales sobre Geometría, Aritmética, Astronomía y Música, aparecidas en los textos de EUCLIDES (c325-265), NICÓMACO (fl 100) y PTOLOMEO (90-168). Además, Boecio, tradujo las obras lógicas de Aristóteles (384-322 a.C.) al latín. Su aportación original se limita a cuestiones sencillas relacionadas con las operaciones comerciales y, también, con las medidas geométricas referidas a la agrimensura.

Una figura ilustre es la del obispo visigodo ISIDORO DE SEVILLA (560-636), preocupado por el saber científico griego y su utilización en el mundo occidental. Buen ejemplo de su esfuerzo es la obra denominada *Etimologías*<sup>12</sup>, monumental trabajo, con cuestiones relacionadas con los conocimientos científicos de la época, abarcando desde la Medicina hasta la Astronomía. De inmediato se consideró como una indiscutible fuente de conocimientos y referencia obligada en todos los centros de estudios. Para Isidoro el Universo poseía unas dimensiones limitadas, establece su antigüedad en unos cuantos milenios de años y considera que es finito, es más, aventurará un final próximo. Avanza en el conocimiento del Universo adelantando un modelo en el que la Tierra tiene

forma de rueda y ocupa el centro de un conjunto de esferas concéntricas en las que se alojaban las estrellas y los planetas para describir movimientos circulares respecto de la Tierra. Por encima de la última esfera sitúa el “cielo superior”.



Isidoro de Sevilla (560-636).



*Etimologías* (muestra de una página).

Las iniciativas de Boecio e Isidoro se inscriben en la forma de trabajo de la época. Se puede pensar, sin equivocarnos, que muchos de los trabajos medievales se limitan a recopilar los trabajos efectuados por otros autores, reorganizando los textos originales, modificando la redacción, aportando traducciones no siempre más pre-

<sup>11</sup> Plinio el viejo: *Historia Natural*, Ed. Gredos, Madrid (1963).

<sup>12</sup> Existe una edición bilingüe latín-español, de esta obra, editada por la Universidad de Sevilla en 2004

cisas, etc. En este sentido, es conveniente señalar las recopilaciones realizadas, en especial, por BEDA EL VENERABLE (673-735) y también por otros teólogos como Alcuino de York y el monje benedictino RÁBANO DE MAURO (776-856). La preocupación por los fenómenos naturales de San Beda o Beda el Venerable aparece en *De rerum natura*, texto sobre cuestiones muy diferentes en el que incluye afirmaciones como que la Tierra es redonda y, así mismo, calcula la edad de la Tierra. Curiosamente, es el primero en diferenciar dos etapas históricas: “antes de Cristo” y “después de Cristo”.

Cuando aparecen los árabes, el mundo cristiano occidental percibe el fuerte impacto, consecuencia de unos nuevos argumentos sociales, culturales y religiosos. Desde la perspectiva científica, aparecen nuevas ideas de clara influencia griega, inspiradora y rectora del mundo científico hasta entonces. La respuesta por parte cristiana fue conservadora, manteniendo los conocimientos y la información recibida de los enciclopedistas principalmente. Se resguardan en los monasterios o abadías al buen cuidado de los frailes, así como en las escuelas monacales en las que se apunta un brote intelectual significativo. A lo largo de este trabajo incluiremos suficientes referencias para justificar lo dicho<sup>13</sup>.

En la época del mencionado Plinio se aprecia cierta asimilación del llamado neoplatonismo<sup>14</sup>, determinante a mediados del siglo XII. Para entender este proceso recurrimos a San Agustín por dos motivos. Uno, por su desesperado interés en buscar la verdad, disociando el binomio “razón y fe”, entendiéndolo que la fe era una manera de pensar y sin la existencia de un pensamiento no puede existir la fe. Por lo tanto, la fe y la razón pueden coexistir manteniendo dos posiciones equilibradas y complementarias. El segundo motivo, se justifica por la

<sup>13</sup> Vernet, J.: *La cultura hispano árabe en Oriente y Occidente*, Ed. Ariel, Barcelona (1978).

<sup>14</sup> Es una referencia a una revitalización del platonismo establecido por Platón (c427-347 a.C.). Nace en Alejandría, hacia el siglo III en un contexto intelectual caracterizado por el humanismo tardío en la época romana. En este movimiento además de las ideas platónicas se incluye algunas relacionadas con Pitágoras (c580-495 a.C.), Aristóteles (384-322 a.C.) y, en menor grado, por Zenón de Elea (490-430 a.C.). Como se puede considerar que estuvo vigente hasta el siglo XV durante, este tiempo, recibió otras influencias, tanto de intelectuales bizantinos como árabes. Es habitual considerar como impulsores de este amplio movimiento a Amonio Saccas (c175-242), Plotino (205-270) y a su discípulo Porfirio (232-304), recopilador de las obras de Plotino en un texto titulado *Eneas* y autor de una biografía de su maestro.

influencia ejercida por el platonismo en las doctrinas científicas avaladas por el cristianismo.

Algunas de las ideas científicas de San Agustín pueden ilustrar este relato. Así, por ejemplo, acepta el evolucionismo propuesto por ANAXIMANDRO (610-546 a.C.), físico jonio, continuador de TALEDES DE MILETO (624-543 a.C.) y maestro de ANAXÍMENES (585-524 a.C.). Esta idea viene a considerar la existencia de un principio de todas las cosas que es el *aire*, domina todo el Universo de forma análoga a como lo hace el alma con el cuerpo. Además, piensa que el cielo realiza un movimiento de rotación alrededor de la estrella polar.

La cosmología agustiniana considera la Tierra plana y formada como consecuencia de una condensación del aire. También los cuerpos celestes son planos y fueron creados a partir de la Tierra, tras un proceso de rarefacción del aire añadiendo el fuego (el fuego es el aire rarefocado). Los cuerpos celestes se mueven alrededor de la Tierra y se encuentran alojados en el aire, un elemento indispensable para la vida. Existen otros cuerpos sólidos en los cielos que explican fenómenos como los eclipses y los meteoritos. Por fin, añade que la existencia de diferentes seres es una consecuencia de los fenómenos que suceden en el aire (rarefacción y condensación, por ejemplo).

El neoplatonismo ayudó a la asimilación del pensamiento griego por la cristiandad latina, al considerarlo como un proceso de conocimiento en el que los sentidos solamente aportaban un estímulo mental en la búsqueda de la esencia del Universo. Era necesaria una apuesta firme por la utilización de las matemáticas como herramienta para avanzar en este conocimiento pero, lamentablemente, en esos momentos no parecía necesaria. Tal vez, una causa se encuentra en la aparición de una nueva traducción del *Timeo* de PLATÓN (427-347 a.C.) realizada por CALCIDIO (siglo IV), filósofo cristiano platónico que, probablemente, vivió en el siglo IV o principio de siglo siguiente. Esta traducción fue utilizada durante toda la Edad Media, pues en ella convivía la visión platónica con la neoplatónica del Universo.

En los primeros momentos del medievo se consideraba importante el estudio de los fenómenos de la naturaleza, aunque con escaso interés científico. Existía cierta preocupación en encontrar ilustraciones religiosas y morales que pudieran ayudar a entender los hechos naturales. Así, por ejemplo, la imagen de la Iglesia reflejaba la luz divina, el viento era una imagen del espíritu, el número 11 era augurio de mala suerte porque superaba al

número 10, coincidente con los mandamientos divinos, era una imagen del pecado.

Esta preocupación por la simbología se pone de manifiesto en los denominados *Bestiarios*, es decir, textos o gráficos utilizados para ilustrar las virtudes y los vicios humanos<sup>15</sup>. En esta línea se manifiesta SAN AMBROSIO DE MILÁN (340-397) cuando recurre a la representación de diferentes animales como símbolos morales para comentar la Biblia. Otro ejemplo lo proporciona el erudito inglés ALEXANDER NECKAM (1157-1217), teólogo y preocupado por la historia natural. Su obra científica la recoge en *De rerum natura*, escrita hacia 1190, que ha trascendido por contener la primera referencia europea de la brújula (empleada por los marineros chinos para orientarse en sus viajes marítimos desde hacía más de cien años). Este simbolismo moral se extendió hasta bien entrado el siglo XIII como muestran los *Lapidarios*<sup>16</sup> que recogían el interés por el valor medicinal de las piedras así como sus propiedades mágicas.

Durante algún tiempo la preocupación por las propiedades mágicas y astrológicas de los objetos existentes en la naturaleza asociados a los símbolos morales fue característica de la cristiandad occidental hasta el siglo XIII. Así, por ejemplo, en la obra de Plinio se incluyen muchos datos mágicos y considera que cada animal poseía unas propiedades ocultas que fueron recogidas en lo que podemos denominar “historia natural popular”. San Agustín no fue capaz de oponerse al libre albedrío ligado a los conceptos astrológicos. Finalmente, Isidoro de Sevilla estaba convencido de la presencia de fuerzas mágicas en la naturaleza. Era capaz de diferenciar entre una astrología para estudiar los cuerpos celestes y, otra, eminentemente supersticiosa, dedicada a la preparación de los horóscopos, pues consideraba que los cuerpos celestes ejercían un influjo astrológico sobre los humanos y estudió la influencia de la Luna tanto sobre la vida animal como sobre la vegetal. Hasta el siglo XVII, fue ha-

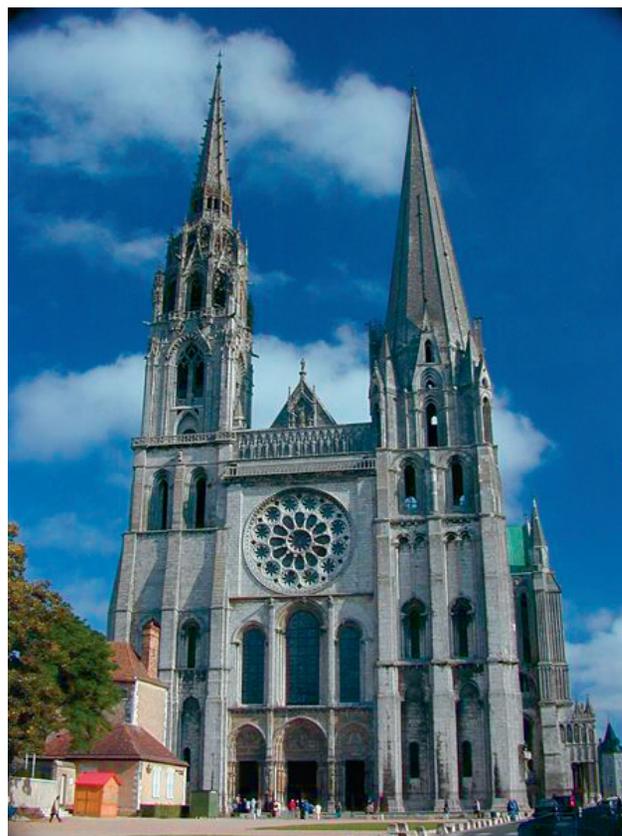
<sup>15</sup> Para algunos autores el origen de los *Bestiarios* se remonta a Esopo e, incluso, Séneca en el siglo I lo utiliza en *Quaestiones Naturalis* y en una publicación del siglo posterior conocida como *Physiologus* se recogen un buen muestrario de todos los bestiarios moralizadores.

<sup>16</sup> El *Lapidario* más importante se debe a la iniciativa de Alfonso X el Sabio (1221-1284), rey de Castilla entre los años 1252 y 1284. Es un tratado médico y mágico redactado en 1250, modificado posteriormente en 1276 y 1279 (esta última edición también se conoce como *Tablas del lapidario*). Existe una edición accesible: Rodríguez Montalvo, S. y Lapesa, R., (editores): *Lapidario*, Ed. Gredos, Madrid (1981).

bitual establecer cierta correspondencia entre una enfermedad, las fases de la Luna y el movimiento de los cuerpos celestes.

Esta creencia, en el medievo, estaba muy arraigada incluso entre algunos científicos cristianos (como, por ejemplo, ROGER BACON [1214-1291] y Nicolás Oresme, entre otros) que aceptan la astrología y establecen una clara relación entre los estudios médicos y la astronomía.

La interpretación astrológica del mundo natural supone establecer cierta correspondencia entre el macrocosmo y el microcosmo, es decir, entre el Universo y el individuo humano, aparecida en el *Timeo* de Platón y desarrollada por los estoicos en su relación con la astrología. Es el caso de HILDEGARDA DE BINGEN (1098-1179), tal vez la mujer medieval más influyente, miembro de una familia noble y acomodada alemana, abadesa benedictina y autora de una extensa obra como, por ejemplo, *Physica* sobre las ciencias naturales y *Cause et cure*, donde pone de manifiesto su conocimiento sobre el cuerpo humano, incluye recetas relacionadas con el manejo de ciertas plantas consideradas medicinales y relaciona las distintas partes del cuerpo humano con diferentes partes del macrocosmos.



Catedral de Chartres.

Con la llegada del siglo XII la concepción medieval de la ciencia de la naturaleza se desprende de la simbología y de las cuestiones morales, para explicar el Universo atendiendo a las causas naturales. Este cambio de postura tiene lugar, en la conocida Escuela de Chartres<sup>17</sup> de París, que luego se extendió a otras ciudades del norte de Francia. Posee una clara influencia del platonismo recibido a través de San Agustín, de Boecio o directamente de las obras de Platón, en especial del *Timeo*, sin olvidar a Aristóteles. Se establece un cierto equilibrio entre la razón y la fe.

Defensor insigne de esta Escuela fue JEAN DE SALISBURY<sup>18</sup> (c1110-1180). En su obra *Metalogicon* (1159) recoge una frase de BERNARDO DE CHARTRES, filósofo neoplatónico, repetida con posterioridad por algunos físicos notables: “somos como enanos sentados sobre los hombros de gigantes para ver más lejos”.

Esta idea platónica del Universo permaneció durante un período de tiempo considerable, hasta que las influencias árabes y la recuperación de la ciencia griega clásica proporcionan una nueva significación al pensamiento científico.

## EL PENSAMIENTO CIENTÍFICO EN LA BAJA EDAD MEDIA

A partir del siglo XIII, el pensamiento científico se sustenta en los textos griegos y árabes, conocidos mediante las traducciones disponibles en esa época, dando lugar a un conjunto de principios generales que permanecieron sustancialmente hasta el siglo XVII. Este proceso se vio acompañado de inconvenientes y ventajas derivados de las contradicciones existentes por las aportaciones de otros científicos, así como, las dificultades surgidas entre los fenómenos observados y las interpretaciones dadas. Aparece un nuevo método científico para hacer inteligible el mundo natural, manifestando el interés por la observación y la experimentación, así como la incorporación de los conocimientos matemáticos en la explicación de los resultados obtenidos, sin olvidar los desarrollos surgidos en la tecnología, capaces de aportar una mayor precisión en las explicaciones dadas a los fenómenos estudiados.

<sup>17</sup> Fue fundada hacia el año 990 pero no alcanzó su máximo esplendor hasta el siglo XII, siendo su primer director Bernardo de Chartres (1119-1126); también participó en la Escuela su hermano Thierry (fallecido en 1154) y sus discípulos Gilberto de Poitiers (1076-1154) y Guillermo de Conches (1080-1145).

<sup>18</sup> Raña Dafonte, C.: *Jean de Salisbury*, Ediciones Orto, Madrid (1999).

Estos cambios afectaron a todos los aspectos de las ciencias naturales con resultados diferentes pero suficientemente importantes como para culminar en el siglo XVII con la conocida *revolución científica* determinante de la *ciencia moderna*. Es destacable la concepción de una única actividad filosófica encaminada a la búsqueda de la realidad y la verdad, que incluía a la investigación científica para explicar los cambios experimentados en el Universo percibido por los sentidos.

La posible respuesta había sido proporcionada por los antiguos científicos griegos mediante el concepto de *sustancia*, considerada como una identidad permanente que se podía ver afectada por la idea de *cambio*. Esta idea, dada por Platón, y modificada por Aristóteles, proporciona una significación nueva a la investigación científica consistente en definir la *sustancia* subyacente y la *causa* de los efectos observados. La estructura metodológica de la ciencia se basa en un proceso inicial claramente *inductivo* seguido de otro *deductivo*. Mediante un procedimiento inductivo se puede determinar o diseñar las formas y, por deducción, se conocen los efectos observados y explicados a partir de un principio más general, ligado a la causa que lo produce.

El objetivo de la Física es el estudio del cambio y del movimiento de las cosas materiales siendo las matemáticas fundamentales para la explicación de los fenómenos físicos. Conclusión a la que había llegado Aristóteles al considerar los objetos estudiados por las matemáticas como abstractos, es decir, aspectos cuantitativos de las cosas materiales. Por eso, considera que las matemáticas se encuentran subordinadas a las ciencias físicas.

En el sistema filosófico aristotélico el concepto de la naturaleza posee tanto un aspecto pasivo como activo, pues la naturaleza era el escenario donde tenían lugar no sólo los cambios o movimientos naturales, sino también el reposo: todo lo movido es consecuencia de la acción de alguna causa. Este agente “productor” de cualquier cambio o movimiento puede ser, por ejemplo, una *causa intrínseca* (como sucede en los seres vivos) o una *causa natural*, así ocurre en las sustancias inanimadas (por ejemplo, cuando una piedra cae al suelo).

La idea de movimiento se aplica tanto al cambio de lugar como a cualquier otro tipo de cambio. Aristóteles establece los siguientes cambios posibles: el movimiento local, el crecimiento o decrecimiento, la alteración o cambio de cualidad y el cambio sustancial ligado al proceso de generación o de corrupción. Es evidente que los tres primeros eran perceptibles durante todo el proceso,

mientras que el último es una realidad cambiante pues, tras la pérdida de algunos de sus atributos, la sustancia se convierte en otra diferente. Por lo tanto, los aristotélicos consideran la idea de “sustancia” como una identidad permanente y también como una potencialidad, pues puede adquirir una forma cualquiera. Más adelante, esta potencialidad de la sustancia se denominó *materia prima*, por lo tanto, cualquier cosa material se puede concebir como una materia prima asociada a una forma determinada.

Sobre la idea de sustancia, dada por Aristóteles, se sustentó toda la explicación para los fenómenos de la naturaleza en los siglos XIII y XIV, aunque fueron criticadas especialmente por los neoplatónicos, defensores de una idea diferente acerca de la naturaleza de la sustancia. Éstos suponen la sustancia permanente a diferencia de los aristotélicos que la consideran como potencial. La teoría platónica de la materia se encuentra enriquecida por algunos filósofos árabes, AVICENA (979-1073) y AVERROES (1126-1198) entre otros, que consideran que las cosas materiales poseen una forma continua en todo el Universo.



Grosseteste (1168-1253).

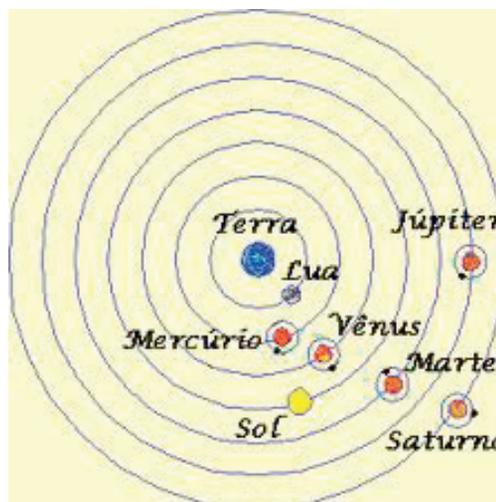
La importancia de las doctrinas neoplatónicas radica en facilitar el empleo de las matemáticas para explicar la ciencia natural y su adecuación para la especulación. Un ejemplo lo encontramos en ROBERT GROSSETESTE (1168-1253), al identificar la corporeidad común de los neoplatónicos con la luz que por “autodifusión” es engendrada por la esfera de los cuatro elementos y los cuerpos celestes, confiriendo a la materia su forma y dimensiones. Lo pone de manifiesto al establecer las le-

yes geométricas de la Óptica, considerándolas como el fundamento de la realidad física, sin olvidar que las matemáticas son esenciales para la comprensión y explicación de la naturaleza.

Sin miedo a exagerar podemos afirmar que el estudio de las causas del movimiento entre los siglos XII y XVII fue el objeto principal de la Física y supone una incorporación constante y gradual de las matemáticas en los métodos experimentales.

La cosmología aristotélica se funda en la observación y se sustenta en los dos principios siguientes: uno, el comportamiento de las cosas se relaciona con unas formas determinadas cualitativamente en la naturaleza, y dos, la totalidad de los integrantes del cosmos se encuentran jerárquicamente ordenados en el mismo.

Estas ideas se basan en los planteamientos platónicos y de otros griegos como EUDOXIO (c408-355 a.C.) y su discípulo CALIPO (fl siglo IV). En esencia, consideran el cosmos esférico, formado por un número de esferas concéntricas, la Tierra se encuentra situada en el centro y en la esfera más externa se alojan las *estrellas fijas*. Ésta es en esencia la cosmología aristotélica: Asocia la fuente original de todos los movimientos en el Universo con el “primer motor” o *primus movens*. La Tierra es esférica y se encuentra rodeada de diferentes esferas concéntricas. Las tres primeras esferas concéntricas corresponden a los tres elementos terrestres (agua, aire y fuego), a la esfera del fuego le rodean las esferas cristalinas en las que se alojan los siete planetas (Luna, Mercurio, Venus, Sol, Marte, Júpiter y Saturno), tras la esfera del último planeta se encuentra la de las estrellas fijas, concéntrica con las restantes, y después de la última, nada.



Sistema aristotélico.

En este esquema, cada cuerpo ocupa un lugar natural, posee un movimiento natural, y los movimientos se refieren al centro de la Tierra, que coincide con el del Universo. El comportamiento natural de los cuerpos depende del lugar ocupado en el cosmos así como de la sustancia que los compone. Por otra parte, la esfera lunar divide al Universo en dos regiones: terrestre y celeste. En la primera, los cuerpos se ven afectados por cuatro clases de cambio, estando dotados de un tipo de movimiento natural, es decir, en línea recta hacia su lugar natural en el interior de la esfera que constituye su materia. Cuando un cuerpo ocupa su lugar se puede encontrar en reposo, y a este proceso se le denomina la “realización de su naturaleza”. Por esta razón se puede entender que el fuego ocupe un lugar alto, pues parece ligero, mientras que el lugar natural de la Tierra, que se supone pesada, sea abajo. Estas direcciones representan posiciones arriba y abajo absolutas. La tendencia a realizar este movimiento depende de la naturaleza de la sustancia que forme el cuerpo.

De la esfera lunar hacia arriba, el componente de los cuerpos es una sustancia ingenerable o incorruptible, denominada *quintaesencia* o *quinto elemento*, afectado solamente de un movimiento uniforme circular, “movimiento eterno en un Universo finito”. Las esferas de los planetas y estrellas compuestas del quinto elemento giran alrededor de la Tierra.

Como hemos dicho, para Aristóteles el movimiento, lo mismo que otros cambios, se considera como un proceso por el que un cuerpo alcanza un lugar o posición procediendo desde un estado de “privación” o “potencialidad”. Para llevar adelante un cambio se necesita una *causa*, es decir, un principio intrínseco de movimiento en el caso de un movimiento natural o un motor externo como sucede cuando se trata de un movimiento violento o “no natural”. La velocidad del movimiento es proporcional a la fuerza o potencia motriz. El *primus movens* se movía a sí mismo debido a la actividad eterna e inmóvil de Dios y el movimiento circular uniforme era la máxima “aspiración” de cualquier cuerpo físico que se encuentre en ese estado. El movimiento es comunicado por el *primus movens* a la esfera inferior y después a las esferas internas.

Los cuerpos terrestres situados en la región sublunar se mueven hacia su lugar natural, el motor es su propia “naturaleza” o “forma sustancial”, que alcanza su plenitud al ocupar su lugar de reposo. Dejan de estar en esa posición por la transformación de un elemento te-

rrestre en otro o por la “violencia” debida a un motor externo.

La astronomía aristotélica se puede considerar en plena vigencia hasta el siglo XIII y todavía seguiría durante algún tiempo en su totalidad o parcialmente. El camino seguido pasa desde la posición platónica, que considera el movimiento de los cuerpos celestes como movimientos circulares uniformes, al modelo aristotélico basado en esferas concéntricas. Este sistema se complicó al añadir nuevas esferas para dar cuenta de las diferentes circunstancias derivadas de las observaciones realizadas. Se llegó a la conclusión de un Universo formado por una serie de esferas concéntricas y, por lo tanto, la distancia de cada cuerpo celeste a la Tierra era invariable. Esto era un defecto pues hacía imposible explicar un número apreciable de cuestiones observadas, como las variaciones del brillo aparente de los planetas, el diámetro aparente de la Luna y el hecho de que los eclipses solares fueran unas veces totales y otras, anulares. Los científicos griegos tardíos intentaron dar una explicación recurriendo a diferentes artificios o procedimientos con desigual fortuna, cuya permanencia en el mundo de la ciencia no gozó de especial aceptación y pronto fueron olvidados. Estimamos que sin duda la aportación más significativa tiene lugar en el siglo II de nuestra era: es la propuesta de Ptolomeo (fl 127-151) difundida a través de su publicación *Almagesto*<sup>19</sup>, que incluye un catálogo de estrellas basado en el realizado por HIPARCO (c190-120 a.C.), así como algunas descripciones de instrumentos adecuados para las observaciones y la descripción de algunos procedimientos trigonométricos utilizados. Fue aceptado ampliamente y domina el pensamiento astronómico occidental hasta la llegada del sistema copernicano, también fue preferido por la astronomía islámica e incluía un tratamiento matemático innovador en su momento, como veremos a continuación.

El sistema astronómico de Ptolomeo se puede considerar como un artificio geométrico por medio del cual se consiguen explicar los fenómenos observados y, además, permite “salvar las apariencias”, es decir, intenta que las observaciones coincidan con las explicaciones dadas. La Tierra se encuentra en el centro del Universo y los diferentes planetas giran alrededor de

<sup>19</sup> El título original era *Megale mathematike sintaxis*, conocido como *Megiste* (Mayor); con la llegada de los árabes, en sus traducciones aparece con el nuevo título de *Almagesto*.

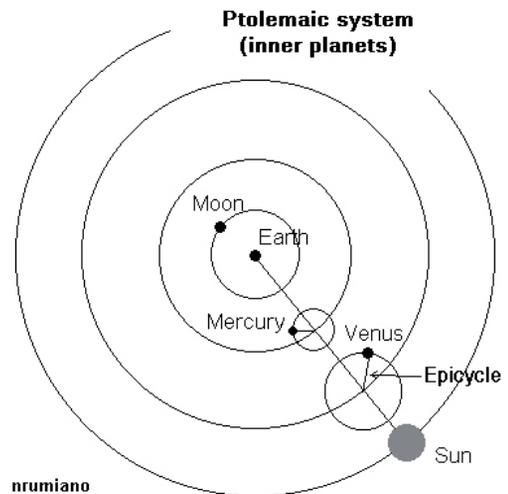
ella y se sitúan en distancia creciente con respecto a la Tierra: la Luna, Mercurio, Venus, el Sol, Marte, Júpiter y Saturno. Para explicar los movimientos apreciados en los cielos, recurre a los epiciclos y excéntricas empleadas por Hiparco<sup>20</sup>, añadiendo algunas innovaciones propias. Servía para predecir las posiciones de los planetas con antelación y suficiente exactitud, requeridas en las observaciones que se hacían a simple vista. TYCHO BRAHE (1546-1601), catorce siglos más tarde, efectuó mediciones más exactas coincidentes, en buena parte, con las realizadas por Ptolomeo.

Al considerar el sistema ptolemaico, sorprende la inmovilidad de la Tierra y el rechazo de la hipótesis planteada por ARISTARCO DE SAMOS (c320-250 a.C.) referida al movimiento de la Tierra sobre su eje y alrededor del Sol, mientras que el Sol y las estrellas permanecen en reposo. Este planteamiento permite calcular con sencillez los movimientos de los astros, pero las apariencias le obligaron a desecharla.

Los criterios matemáticos empleados adoptan la doctrina platónica sobre los movimientos (uniformes y circulares en los cielos). Mediante la observación aprecia que todos los cuerpos celestes vuelven en su movimiento a la posición original. Ptolomeo es considerado por algunos historiadores como un científico *convencionalista*, pues utiliza procedimientos geométricos que le permiten asociar las trayectorias físicas reales de los planetas a un cálculo exacto de las mismas.

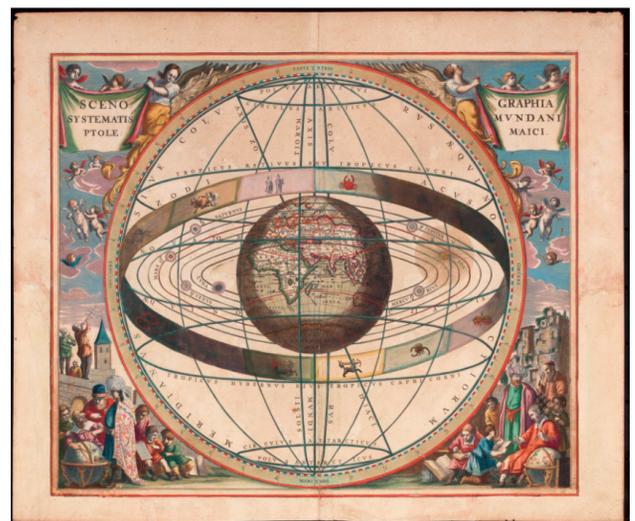
En sus explicaciones utiliza el *excéntrico móvil*, consistente en suponer que el movimiento circular de los planetas se realiza respecto a un punto no situado en el centro de la Tierra sino en una posición colocada en la línea que une el centro de la Tierra con el Sol, este punto excéntrico, a su vez, se mueve alrededor de la Tierra. También utiliza el *epiciclo* para demostrar el equivalente geométrico del *excéntrico móvil* y supone que el planeta se mueve en círculo alrededor de un centro, moviéndose a su vez en otro círculo cuyo centro es estacionario respecto a la Tierra, aunque no es necesario que se encuentre situado sobre ella. El círculo interior se denomina *deferente* y el círculo exterior en el que se desplaza el planeta es el *epiciclo*. No limita el número de círculos utilizados, siguiendo el propósito de “salvar las apariencias”. En prin-

cipio admite la posibilidad acerca de la velocidad lineal del centro del epiciclo en torno al deferente, que podía no ser uniforme, pero supone que la velocidad angular es constante respecto un punto, el *ecuante*, ubicado en el interior de la deferente, aunque no tiene que coincidir con su centro.



numiano

Esquema del sistema ptolemaico.



Dibujo clásico del sistema ptolemaico.

La descripción facilitada por Ptolomeo no se puede considerar perfecta pero permite dar una descripción correcta de los movimientos y de las “apariencias” de los planetas. En una obra posterior, *Hipótesis de los planetas*<sup>21</sup>, incorpora algunas explicaciones para ciertos fenó-

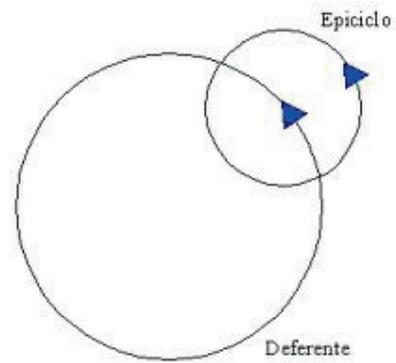
<sup>20</sup> Hiparco, tal vez el más importante astrónomo griego, estableció un nuevo esquema del universo sustituyendo al de Eudoxio, Calipo y Aristóteles y lo hace más manejable recurriendo al punto de vista apuntado por Apolonio (fl 250-220 a.C.) medio siglo antes.

<sup>21</sup> Ptolomeo, C.: *Hipótesis de los planetas*, Alianza Editorial, Madrid (1987).

menos como por ejemplo la precesión de los equinoccios –es decir, el aumento regular constante de la longitud de una estrella, permaneciendo su latitud invariable–, suponiendo en el exterior de la esfera una comunicación con la esfera de las estrellas, un movimiento diurno del Este al Oeste; al mismo tiempo, la esfera de las estrellas, junto con la esfera de los planetas, gira lentamente en la dirección opuesta respecto a la novena esfera. En consecuencia, por el hecho de separar el *primus movens* de la esfera de las estrellas se necesita una nueva esfera, la décima, situada más allá de la novena.

El sistema ptolemaico, al ser comparado con la propuesta aristotélica, dio lugar a polémicas en la que no vamos a entrar. En realidad, surgían las dudas entre dos sistemas del cosmos, uno físico (el aristotélico) y otro matemático (el ptolemaico). Se puede considerar que a partir del siglo XIII se atribuye a Ptolomeo el mejor procedimiento o artificio geométrico para describir las órbitas reales de los cuerpos celestes y explicar la causas de sus movimientos. Las excéntricas y los epiciclos de Ptolomeo fueron considerados inadecuados por algunos estudiosos por entrar en conflicto con algunos de los principios incluidos en el sistema físico de Aristóteles. Así, la teoría de los epiciclos se considera incompatible con la teoría aristotélica que asocia el movimiento circular con un centro fijo sólido alrededor del cual gira. En definitiva, la teoría ptolemaica de la precesión precisaba que la esfera de las estrellas tuviera dos movimientos diferentes al mismo tiempo, entrando en conflicto con Aristóteles que consideraba que los atributos contradictorios no pueden pertenecer a una misma sustancia al mismo tiempo.

Algunos de los defectos físicos ptolemaicos no se encontraban en las teorías aristotélicas, éstas eran inferiores respecto a la descripción matemática de los hechos observados. Tal vez, después de Aristóteles los griegos fracasaron en encontrar un único sistema astronómico que diera una adecuada explicación de los fenómenos observados. Entonces, surgen muchas opiniones de astrónomos preocupados en elaborar una idea o procedimiento para explicar dichas observaciones sin entrar en la controversia entre la física aristotélica y las matemáticas ptolemaicas. Se intenta encontrar una hipótesis lo más sencilla posible y de fácil comprensión. Comienza un largo camino para los astrónomos en busca de una respuesta satisfactoria que finalizó con el establecimiento de las teorías de KEPLER.



Representación del deferente y del epiciclo.

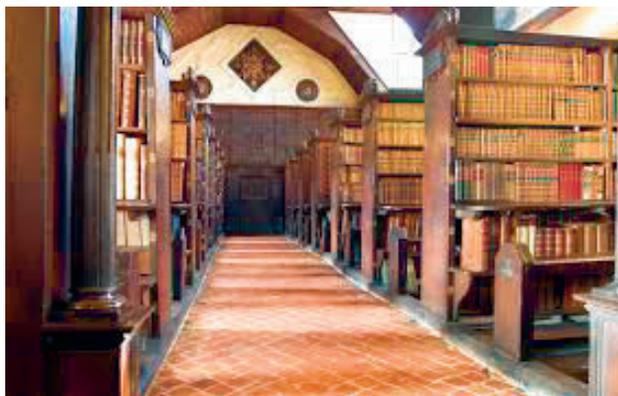
A finales del siglo XIII en la ciencia medieval parece relegarse el sistema aristotélico y se acepta el planteamiento de Ptolomeo. No obstante, la controversia entre ambas doctrinas continuaba y, sin duda, la postura más radical tiene lugar en el siglo XIV cuando se enuncia que la Tierra gira y las estrellas permanecen en reposo, defendida por el escolástico francés JEAN BURIDAN (1295-1382) y el ya mencionado Nicolás Oresme. Al mismo tiempo se aprecia cierto interés en recuperar alguna de las hipótesis basadas en las especulaciones de los griegos. La más importante tiene lugar en el siglo XIV, se refiere a la hipótesis de HERACLIDES DE PONTO (c388-315 a.C.), semejante a un sistema “semi-heliocéntrico” en el que Venus y Mercurio giraban alrededor del Sol, mientras que éste lo hacía alrededor de la Tierra. Por otra parte, recordemos a Aristarco de Samos y su propuesta de un sistema heliocéntrico enunciado en el siglo III a.C., desconocido en la época medieval.

Con la llegada del siglo XIV la Óptica, o los estudios sobre la luz, había adquirido cierto desarrollo como consecuencia de la atención prestada por los neoplatónicos por motivos a veces ajenos al interés científico. Para San Agustín y otros neoplatónicos la luz se encontraba ligada a la gracia divina y a la iluminación de la inteligencia humana. Por otra parte, desde el primer momento se consideró su estudio muy apropiado para la utilización de las matemáticas y de la geometría.

Los primeros estudios rigurosos de esta disciplina se deben a Grosseteste<sup>22</sup>, importante introductor de Aristóteles en Europa. Asoció el estudio de la luz con la primera “forma formal” de todas las cosas materiales, considerándola responsable de las dimensiones espaciales y

<sup>22</sup> McEroy, J.: *Robert Grosseteste*, Oxford University Press, Oxford (2000).

también del primer principio del movimiento, así como de la causalidad eficiente. Los cambios observados en el Universo eran consecuencia, en último término, de la actividad de esta forma corpórea fundamental; además, la acción a distancia de un cuerpo sobre otro era el resultado de una “especie de propagación de rayos de fuerza”<sup>23</sup>. La luz emitida por un cuerpo luminoso era una “especie” que se multiplicaba de un punto a otro, a través del medio, según un movimiento rectilíneo. Por otro lado, considera una variedad de causas eficientes como, por ejemplo, el calor, el influjo astrológico y la acción mecánica, entre otras. Todas ellas eran consecuencia de la propagación de las especies y estima que la única manera de estudiarla era la luz visible. En resumen, entiende que el estudio de la Óptica tiene una significación especial para entender el mundo físico.



*Biblioteca del Merton College.*

En la época medieval se plantean las diferencias entre los aspectos matemáticos y físicos de la Óptica anticipados, en cierta manera, por Aristóteles. Grosseteste<sup>24</sup> manifestó su interés por estudiar la *causa de la visión* llegando a la conclusión de que la luz o el color no eran un movimiento sino un “estado de la transparencia” en un cuerpo, como consecuencia de un cambio cualitativo en un medio transparente. El desarrollo de esta disciplina fue posible gracias a las aportaciones de filósofos griegos y árabes, entre los que se cuentan el ya citado Aristóteles, Euclides, Platón, EMPÉDO-

<sup>23</sup> Grosseteste utiliza la expresión *multiplicación de las especies* o de *virtud*.

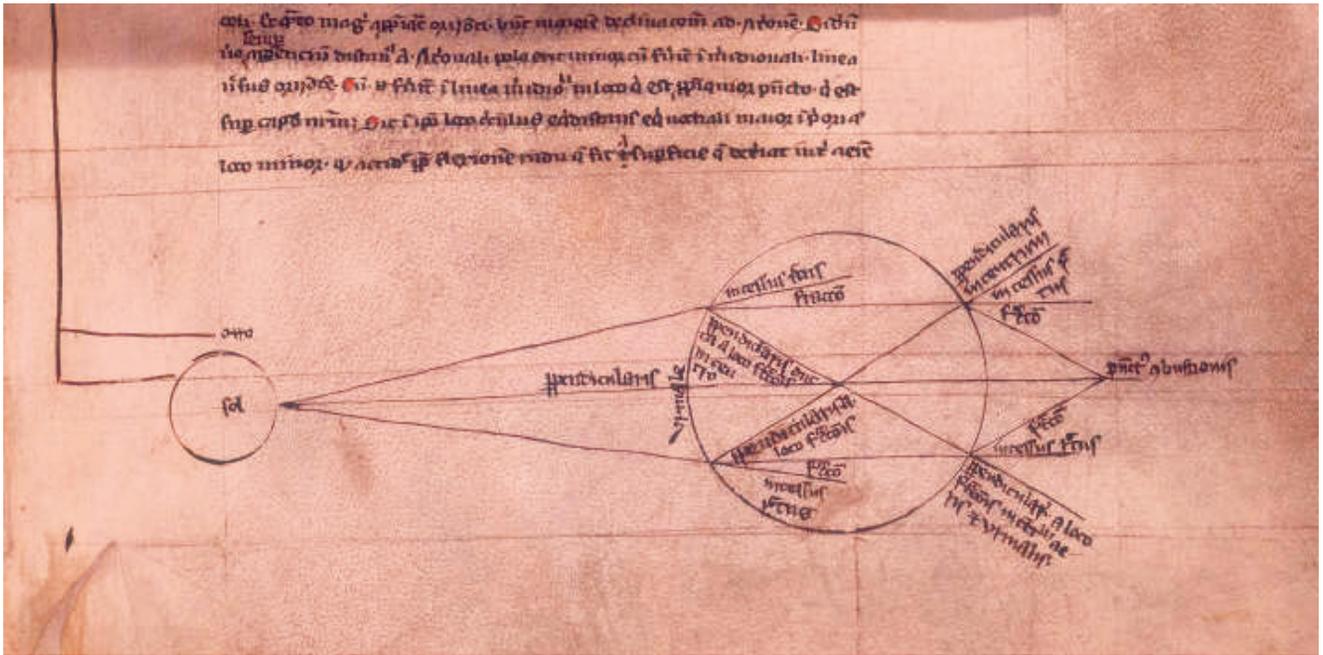
<sup>24</sup> Importante representante del Merton College de la Universidad de Oxford, en el que un grupo de matemáticos y científicos estudiaron diferentes problemas del movimiento, también conocidos como los *calculadores*. Fue fundado hacia 1260 por Walter Merton, obispo de Rochester y secretario de Enrique III. Es el colegio más antiguo de esa universidad.

CLES (490-430 a.C.) y Ptolomeo. Entre los árabes<sup>25</sup> podemos citar a ALHAZEN (965-1040), Avicena y Averroes.

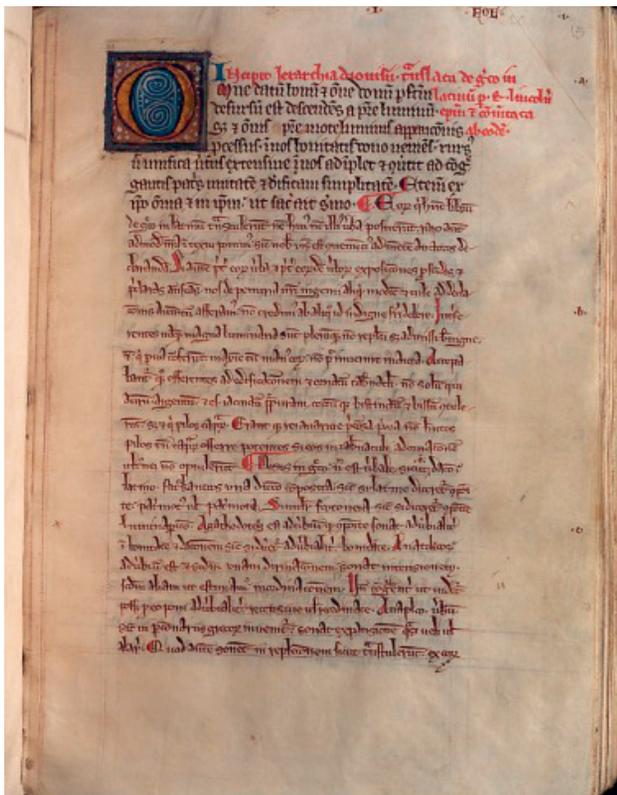
Algunas pinceladas de las explicaciones aportadas por algunos de estos científicos pueden ser una ayuda para mejor entender el comienzo de la Óptica. Empédocles considera a la luz un movimiento que necesitaba tiempo para propagarse, Platón asocia la visión con un conjunto de rayos individuales que salían del ojo hasta el objeto visto y, en contraste, los estoicos dicen que la visión es debido a un conjunto de rayos luminosos que entran en el ojo partiendo del objeto. La teoría de los rayos, inicialmente propuesta por Euclides y Ptolomeo, implicaba que los mismos seguían una trayectoria recta. También fue Ptolomeo el primero en medir el ángulo de refracción de los rayos al pasar del aire tanto al agua como al vidrio, que estima siempre menor que el ángulo de incidencia y supuso que esto ocurría siempre en una proporción constante. De estos estudios se desprendía una conclusión acerca de que la posición aparente de una estrella no coincidía siempre con la posición real a causa de la refracción atmosférica. Especial mención merece Alhazen, sin duda, autor de la más importante aportación en la óptica física y fisiológica en el Occidente medieval, en cierto aspecto revolucionaria. No obstante, cometió algún error como suponer que la parte sensitiva del ojo se encontraba en el cristalino pero, por el contrario, establece que el ángulo de refracción no es proporcional al de incidencia y que la transmisión de la luz no es instantánea, al tiempo que rechaza la teoría de la emisión planteada por Euclides. Por último, recordar que Ptolomeo se mostró a favor de la idea de que la luz viajaba desde el objeto al ojo, concretamente al cristalino donde se forma su imagen.

El arco iris es un fenómeno óptico y meteorológico que se manifiesta en el cielo mediante la aparición de un espectro de frecuencias (colores) continuo cuando los rayos solares atraviesan las gotas de agua distribuidas en la atmósfera terrestre. Se trata de un fenómeno vistoso que desde el principio fue observado con curiosidad e inquietud por los hombres y considerado de interés científico. Aristóteles consideró que era causado por la reflexión en las gotas de agua contenida en las nubes, como si se tratara de una gran lente, con posterioridad aparecieron nuevas ideas, ninguna definitiva hasta llegar Grosseteste, que estudia la refracción de la luz, recogida en su publicación *De Iride*.

<sup>25</sup> Los árabes aportaron numerosos datos sobre la fisiología del ojo que no vamos a mencionar.



Página de un texto de Óptica de Grosseteste.



Manuscrito de Grosseteste.

La contribución a la Óptica de este científico pone de manifiesto la importancia de las metodologías experimental y matemática para avanzar en el conocimiento positivo. En el estudio cuantitativo que realiza Grosseteste de la refracción deja claro el conocimiento de la

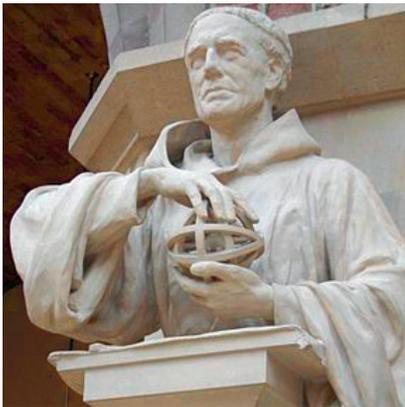
obra de Ptolomeo. Establece que la visión es consecuencia de los rayos emitidos hacia el exterior de los ojos y la refracción sucede cuando pasa un rayo de un medio a otro de densidad mayor, el rayo se refractaba desplazándose hacia la perpendicular trazada en la superficie común, dividiendo en dos partes iguales el ángulo formado por la proyección del rayo visual en la perpendicular. Esta ley cumple el *principio de economía*<sup>26</sup> y emplea la regla clásica para localizar la imagen óptica tras la reflexión con la finalidad de obtener una regla que le permitiese localizar la imagen refractada. Según Grosseteste, la imagen debía ser vista en la unión de la proyección del rayo visual y la perpendicular trazada a la superficie refractante desde el objeto visto, y cuando un rayo pasaba de un medio más denso a otro menos denso se desviaba en dirección opuesta.

Este razonamiento lo emplea para explicar tanto la forma del arco iris como el comportamiento de la luz al incidir sobre una lente esférica. El rayo solar se refractaba dos veces, una cuando penetra en la lente y la otra, al salir por el lado opuesto. Considera una acción combinada de las dos refracciones que concentran a los

<sup>26</sup> Establecido por Guillermo de Ockham (1280-1349) de la forma siguiente: *en igualdad de condiciones la explicación más sencilla suele ser la correcta* o, de otra manera, cuando dos teorías en igualdad de condiciones tienen las mismas consecuencias, la teoría más simple tiene más probabilidades de ser correcta que la compleja.

rayos en un punto, el foco. Al mismo tiempo, sugiere la utilización de las lentes para acercar los objetos lejanos y para agrandar los objetos lejanos<sup>27</sup>. Otra de sus contribuciones importantes se relaciona con la teoría geométrica, casi mecánica, de la propagación rectilínea tanto de la luz como del sonido, como una serie de vibraciones, pues considera que tanto la luz como el sonido son movimientos semejantes.

Un ilustre discípulo de Grosseteste fue Roger Bacon, cuyas primeras aportaciones en el campo científico se pueden considerar como una continuación de las de su maestro.



*Roger Bacon (1214-1294).*

Realiza nuevas experiencias acerca de la reflexión y la refracción, inspiradas en las realizadas por ALKINDI (801-873) y Alhacen. Obtiene resultados originales, como la determinación de la distancia focal de un espejo cóncavo iluminado con luz solar, y considera que los rayos del Sol al llegar a la Tierra son paralelos. Supone que la velocidad de la luz era muy grande, aunque finita, e imagina el acto de la visión como “algo psíquico” brotando del ojo. Describe las propiedades de la luz, siguiendo a Grosseteste, como algo semejante a una vibración que se propaga de un lugar a otro más deprisa que el sonido; refuerza esta idea con ejemplos sencillos, como el hecho de ver el relámpago antes de escuchar el trueno. Mejora la descripción fisiológica del ojo humano, así como el de muchos vertebrados, perfecciona algunos aspectos de la teoría de la visión e introduce la utilización de lentes plano-convexas para mejorar sus defectos. Bacon también se ocupa de estudiar las causas por las que se produce el arco iris, comenzando por analizar fenómenos semejantes, por ejemplo, los colores producidos en los cristales o

<sup>27</sup> Recordamos que las gafas fueron inventadas en Italia a finales del siglo XIII.

por el agua pulverizada por los remos o las ruedas de un molino al ser iluminada por la luz solar, llegando a la conclusión de que siempre aparece en una dirección opuesta al Sol, el ojo del observador y el Sol se encuentran en línea recta y establece una relación entre las alturas del Sol y la del arco iris. Lo considera como la base de un cono que se elevaba o descendía según la altura del Sol, dando lugar a arcos iris de mayor o menor dimensión; así mismo, su altura depende de las diferentes latitudes. La imagen de este fenómeno depende de la posición del observador y su forma es consecuencia de la reflexión de la luz en las gotas esféricas de agua en las nubes; éste fenómeno es percibido cuando los rayos reflejados inciden directamente en los ojos del observador. No todas sus ideas son concluyentes, situación que, por otra parte, se repite hasta que NEWTON (1642-1727) aporta la explicación definitiva sobre la dispersión de la luz. Es posible que estas ideas fueran utilizadas por DESCARTES (1596-1650), en 1637, para explicar este fenómeno.

Así mismo, recordamos los trabajos posteriores sobre el arco iris realizados por el jesuita MARCO ANTONIO DE DOMINIS (1560-1624) que, tras enseñar en Padua y Brescia publica, en 1611, un tratado en el que recoge su teoría sobre el mismo. En su propuesta llama la atención el hecho de que en cada gota de agua expuesta a la luz solar tienen lugar dos refracciones y una reflexión intermedia.

Al margen de la Astronomía y de la Óptica, la Mecánica fue la parte de la Física que más se desarrolló en la época medieval, siendo una referencia o fuente de inspiración tanto las obras aristotélicas sobre estas cuestiones como algunos de los tratados de los griegos clásicos y de los filósofos islámicos.



*Retrato de Buridan (1295-1358).*

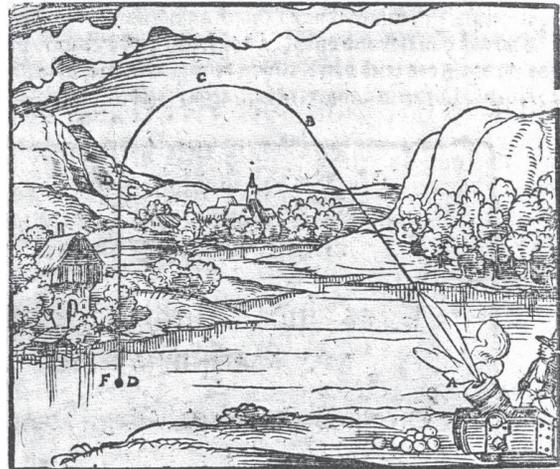
Jean Buridan<sup>28</sup>, rector de la Universidad de París entre 1328 y 1340, realiza numerosos comentarios a algunas obras de Aristóteles, que tuvieron una aceptable difusión en Europa. Se le puede considerar como un “nominalista mitigado” pues, en contra con la posición auténtica de éstos, admite el valor de la causalidad y su utilización para demostrar la existencia de Dios. Su principal aportación científica, a nuestro entender, fue enunciar una teoría sobre el movimiento y el *impetus*, considerado como el “impulso” comunicado a un proyectil al ser lanzado, concepto que emplea para explicar la caída de los cuerpos al caer bajo la acción de la gravedad. No fue el primero en enunciar estas ideas nuevas pero las aplicó a diversos casos y fueron recogidas y ampliadas por algunos de sus discípulos (Oresme y Alberto de Sajonia, entre otros). Se le considera como creador de la Escuela de Física de París<sup>29</sup> en la que se realizaron importantes trabajos con originales ideas y amplia difusión, si bien el más importante miembro de la misma fue Nicolás Oresme por su influencia intelectual y eclesiástica.

La teoría de *impetus* permite explicar las características del movimiento constante y acelerado; se fundamenta en el concepto de *virtus impressa* aristotélica, es decir, todo movimiento necesita de un motor, siendo la causa proporcional al efecto. Por eso, la teoría de *impetus* se inscribe como un desarrollo de la física aristotélica y no como el inicio de la nueva dinámica de la inercia, plenamente ignorada por Buridan. Convencido de la importancia de la teoría, se esforzó en su desarrollo con adecuada exactitud cuantitativa, superior a la de sus antecesores. Concluye que el *motor* imprime al cuerpo un cierto *impetus*, equivalente a una fuerza motriz que permite la continuación del movimiento hasta verse afectado por la acción de fuerzas “externas” o “independientes”. Este planteamiento es utilizado

<sup>28</sup> Adquirió cierta popularidad mediante el *asno de Buridan*: un burro ante dos montones de paja iguales para escoger, moriría de hambre. Es una manera de ejemplificar la imposibilidad de acción del libre albedrío cuando estamos sometidos a dos impulsos opuestos y compensados. Esta experiencia no se encuentra recogida en sus textos.

<sup>29</sup> La denominada “Escuela de Física de París”, ligada a la Universidad de París, comenzó en el *Colegio de Navarra*, fundado por Juana de Navarra (hija de Enrique I, rey de Navarra) que contrajo matrimonio con Felipe IV el Hermoso por lo que fue reina de Navarra y de Francia. En su testamento fechado el 25 de marzo de 1304 legó recursos para la construcción de este Colegio de Navarra, instalado, en 1315, en el “Hotel de Navarra”, para luego trasladarse a unos terrenos próximos a los de la Universidad de París. El impulsor de esta Escuela fue Buridan, alcanzando su mayor dimensión científica con Oresme. Fue suprimido durante la Revolución francesa en 1790.

para el estudio del movimiento de proyectiles; en este caso, se reduce progresivamente por la resistencia del aire y de la “gravedad natural”<sup>30</sup>, como una fuerza aceleradora, añadiendo incrementos o “impulsos” sucesivos a los ya adquiridos. Define el *impetus* de un cuerpo como el producto de la “materia” por la velocidad.



Esquema del movimiento de proyectiles de Buridan.

En sus desarrollos Buridan identifica el *impetus*, pero su propósito era proponer una causa del movimiento y piensa que no debe ser algo transitorio, como el propio movimiento, pues exigía la presencia de un agente continuo para ocasionarlo. Lo considera como una “fuerza motriz duradera” capaz de mantener el cuerpo en movimiento, sin cambio, a excepción de las fuerzas externas que actúan sobre el mismo para modificarlo (por ejemplo, aumento o disminución de la velocidad).

Estas ideas son consideradas como una anticipación del *impeto* o *momento* enunciada por GALILEO GALILEI (1564-1642), la *quantité de mouvement* de Descartes e, incluso, con el *momento* de Newton. En el *Impetus* de Buridan, un móvil en ausencia de fuerzas independientes podía continuar describiendo un círculo, como ocurre en los cuerpos celestes, y una trayectoria rectilínea en los cuerpos terrestres, mientras que para Newton todos los cuerpos permanecerían en movimiento rectilíneo, precisando una fuerza para describir una trayectoria circular. Galileo mantiene una postura intermedia entre Buridan y Newton. También, este concepto nuevo presenta cierta semejanza con la *force vive* enunciada por LEIBNIZ (1646-1716).

<sup>30</sup> En algunos textos a la “gravedad natural” también la denominan *impetus*.

El filósofo y científico alemán ALBERTO DE SAJONIA (1316-1390) utiliza la teoría de Buridan para explicar el movimiento de los proyectiles, recurriendo a una idea denominada “*impetus* compuestos”<sup>31</sup>. Según Aristóteles, un cuerpo posee solamente un movimiento pues no puede poseer dos atributos contradictorios al mismo tiempo, uno destruye al otro. Establece en la trayectoria de un proyectil tres fases: *inicial*, con un movimiento violento ocasionado por un *impetus* que aniquila la gravedad natural; *intermedio*, que es simultáneamente violento y natural; y *final*, con un movimiento de caída vertical hacia abajo después que la gravedad natural y la resistencia del aire han sido superadas por el *impetus impreso*. Esta idea, con ligeras modificaciones, fue seguida entre otros por NICOLÁS DE CUSA (1401-1464) y LEONARDO DA VINCI (1452-1519) y modificada por TARTAGLIA (1499-1557) con la incorporación de un tratamiento matemático, siendo Galileo, en el siglo XVII quien le dio la formulación definitiva. Insistimos en que este desarrollo se opone al aristotélico que consideraba que el movimiento de un cuerpo necesitaba de una fuerza impulsora continua y suponía que el aire sustituía a esa fuerza continua cuando el ímpetu inicial cesaba. Para Buridan, el “ímpetu inicial” era suficiente y, una vez suministrado, permanecía en el cuerpo indefinidamente. También trasladó esta teoría a las esferas celestes, considerando que, una vez puestas en movimiento por Dios, continuaban su movimiento sin intervención ajena. Tres siglos después Newton estableció las leyes del movimiento.



Nicole Oresme.

<sup>31</sup> Esta idea es análoga a la presentada por Hiparco en el siglo II.

Nicolás Oresme es una persona polifacética preocupada por la teología (en 1377 fue nombrado obispo de Lisieux), la ciencia, la filosofía y la economía; así mismo, se le considera un innovador en la comunicación científica en lengua francesa. Manifiesta total desconfianza hacia la astrología, escribiendo varios artículos en contra de su utilización, redactó diferentes escritos sobre matemáticas y más de diez relacionados con cuestiones de Física. En 1355 escribe un tratado sobre cuestiones económicas (origen y utilidad de la moneda, cambio de moneda, usura y abusos feudales), siendo probablemente un pionero en estas cuestiones.

Su obra científica es extensa y variada<sup>32</sup>. En sus obras de matemáticas abarca diferentes cuestiones: los números fraccionarios, emplea el término de *proportio*, en referencia a una fracción o proporción simple, potencias de fracciones, etc. Estudia la conmensurabilidad e inconmensuralidad, que emplea en batalla contra la astrología. Establece las series matemáticas infinitas e incorpora las coordenadas para la representación gráfica de cualidades, de interés para la Física, pues permite asociar expresiones cuantitativas a los fenómenos cualitativos. Sin duda es la aportación matemática más importante hasta el establecimiento del cálculo diferencial en el siglo XVII. PIERRE DUHEM (1861-1916) lo considera como el autor que da los primeros pasos para la creación de la geometría analítica.

Para Oresme, cualquier cualidad puede adquirir, sucesivamente, diferentes intensidades que representa mediante una línea vertical situada sobre cada punto del sujeto afectado por la misma. Con una línea horizontal representa la extensión del cuerpo afectado por esta cualidad y, sobre ella, dibuja una recta vertical de altura proporcional a la intensidad de la cualidad. De esta manera se consigue una figura geométrica para mejor comprender las características del fenómeno estudiado. Estas ideas las emplea en el estudio del movimiento de los cuerpos, estableciendo la ley del movimiento acelerado, después atribuida a Galileo sin olvidar la clara referencia de Oresme. Este desarrollo del concepto de cualidad medieval pone de manifiesto el interés innovador y original de la Física medieval.

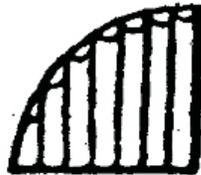
<sup>32</sup> En la publicación Grant (ed.): *A source Book in Medieval Science*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts (1974) se incluyen fragmentos destacados de la obra de Oresme.

z

iratio reddit vnifor  
 le). ¶ Latum: vni  
 it ex cellis graduz  
 portoz e. la m e p  
 it ex cellis graduz  
 ent pportoz eqnta  
 nic dicitis ut p; ex  
 um secūde ouiliois  
 io seruat tunc nulla  
 is in latitudine tali z  
 difo:m ē difformis  
 fformiter difformis  
 duū eque distantuz  
 orponem sic. in se  
 lotandum tamen est  
 fuitōib<sup>9</sup> ubi loqtur  
 r se eoue distantium



D. ffōrū dīffōrīe



of) of, d. ffōrīe

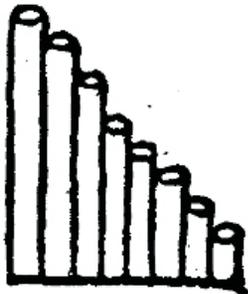


Gráfico de Oresme.

También estudia la caída de los cuerpos, que considera como un movimiento sin causa aparente; parece estar convencido de que se trata de un movimiento uniformemente acelerado, pero se limitó a avanzar unas proposiciones a modo de enunciado conceptual de este fenómeno, relacionado con la pluralidad de los mundos. Recordemos que en la doctrina platónica todos los cuerpos tienden a unirse con los semejantes en la naturaleza, en contra a lo señalado por Aristóteles, pues éste suponía la existencia de otros mundos y los cuerpos no tenían un lugar natural. Estas aportaciones repercutieron en algunas teorías cosmológicas, pues permitía prescindir de una Tierra fija e inmóvil cuyo centro coincidía con el del Universo, y en el establecimiento de la dinámica newtoniana.

Cuando se llega al siglo XIV podemos resumir las ideas principales de la Mecánica asumidas por el mundo científico de entonces de la siguiente manera: En primer lugar, una clase de cambio es el movimiento local, que es un proceso para modificar la potencia de un cuerpo; así mismo, es necesaria la acción continua de una causa para mantener el movimiento: cuando cesa la causa des-

aparece el efecto. Todos los cuerpos en movimiento precisan de un principio intrínseco, responsable del movimiento natural de los mismos. El efecto es proporcional a la causa, y la velocidad de un cuerpo en movimiento varía en proporción directa al *poder* o *virtud* (equivalente a un poder o habilidad por hacer algo) de la naturaleza intrínseca o de un motor externo. Para un mismo cuerpo y el mismo “poder del motor”, influye en el movimiento el medio en el que se desarrolla en proporción inversa a la resistencia que ofrece.

La velocidad del movimiento se puede considerar determinada por dos fuerzas: una, interna o externa que impela al cuerpo y, otra, externa al cuerpo, que representa la resistencia del medio. Aristóteles no poseía el concepto de masa o de resistencia interna de un cuerpo en movimiento; este concepto de *masa* fue establecido en el siglo XVII partiendo de la hipótesis de que en el vacío, o en un medio cuya resistencia de fuera pequeña comparada con el peso del cuerpo, todos los cuerpos caen con la misma velocidad. Cuando un cuerpo cae libremente, la fuerza o poder causante del movimiento es el peso y se puede explicar, mediante los principios anteriores, que la velocidad de un cuerpo es proporcional a su peso y, además, en el caso de que un cuerpo se desplace en un medio que no presente resistencia, su velocidad debe ser infinita. En esta conclusión Aristóteles vio un argumento contra la existencia del vacío.

Como hemos dicho, a partir del siglo XIV se realiza un examen lógico y empírico de las ideas dinámicas y sus consecuencias físicas, como por ejemplo la imposibilidad de la existencia del vacío. De esta manera, se prepara el camino para que, en el siglo XVII, superando los principios aristotélicos, se establezcan los fundamentos de la revolución científica. A continuación, exponemos brevemente los resultados de este proceso de crítica y los avances que proporcionó.

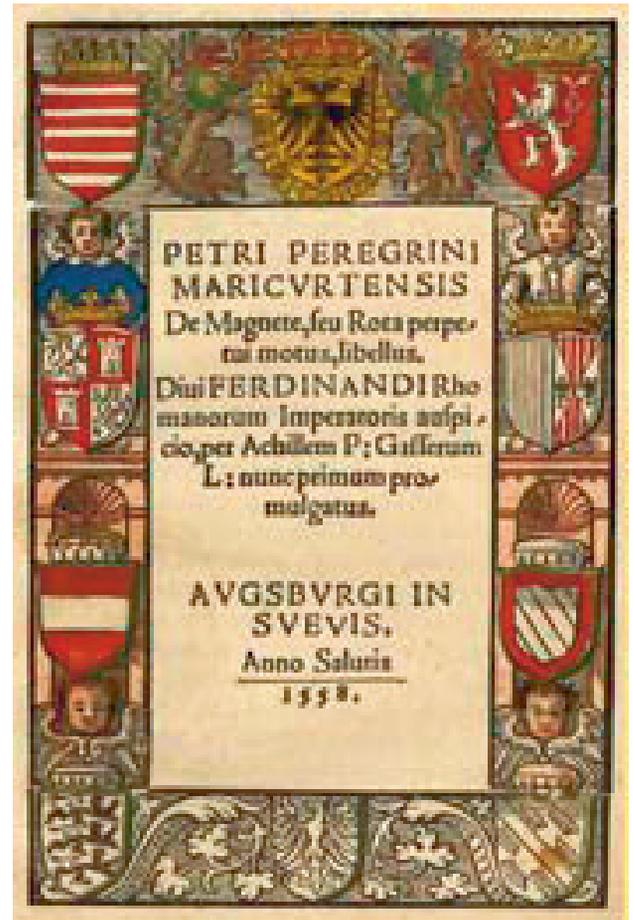
En primer lugar, nos referimos al dominico JORDANO NEMORAIUS (fl 1250), de cuya vida apenas se tiene información. Partiendo del conocido *axioma de Aristóteles* (la fuerza motriz se mide como el producto del cuerpo en movimiento por la velocidad adquirida), ofrece una demostración, sustentada en la idea de que los pesos que se balancean en los extremos de una palanca son inversamente proporcionales a las velocidades con que se desplazan al mover la palanca. Esta idea la presenta en su publicación *Elementa Jordani Super Demonstrationem Ponderis*; recurriendo a procedimientos geométricos, demuestra que dos pesos iguales a la misma distancia del punto de apoyo se

encuentran en equilibrio, lo que terminó siendo el *Principio de los desplazamientos virtuales*. También estudió el movimiento de un cuerpo cuando cae siguiendo una trayectoria oblicua o inclinada. La componente de la gravedad actúa a lo largo de la trayectoria y cuando más se aproxima ésta a la horizontal, menor es esta componente.

Una obra atribuida a Jordano<sup>33</sup> es *De Ratione Ponderis*, y en ella se desarrollan algunas ideas para el estudio del movimiento de los cuerpos sobre planos inclinados. Al tratar la componente de la gravedad que actúa sobre los cuerpos situados en un plano inclinado, considera que es la misma en todos los puntos del plano y explica un procedimiento para comparar el valor en planos con diferente inclinación. Concluye que si dos cuerpos descienden por planos de distinta inclinación, cuando los pesos, situados sobre su superficie, son proporcionales a las longitudes de inclinación, poseen la misma fuerza motriz en su descenso. Esta idea fue desarrollada con posterioridad por el ingeniero holandés STEVIN (1548-1620) y por Galileo Galilei. A Leonardo da Vinci se le considera como continuador de la escuela de Jordano y, más tarde, será el punto de partida de algunos de los más significativos progresos de la mecánica en los siglos XVI y XVII.

Desde el siglo XIII, en el mundo de la Física se prestó bastante atención teórica y experimental a la atracción magnética y fue considerada como una fuerza motriz. Tal vez la primera obra sobre estas cuestiones se debe al ingeniero francés PETRUS PEREGRINUS (fl 1270), también conocido como Pedro de Maricourt, titulada *Epistola de Magnete* (publicada en 1269) donde pone de manifiesto sus conocimientos sobre los imanes: describe y sistematiza sus propiedades. El magnetismo era una propiedad conocida por Tales de Mileto considerada como una virtud oculta; por otra parte, los chinos sabían de la tendencia de los imanes a orientarse en la dirección Norte-Sur, utilizada para construir la brújula, difundida en los contactos marítimos y comerciales que mantuvieron. Peregrinus, en la citada obra, describe algunos instrumentos, como la brújula (una aguja flotante sobre una escala dividida en 360°). Además, incluye cuestiones interesantes acerca de cómo reconocer los imanes, cómo determinar los polos, la repulsión de polos magnéticos iguales y la atracción mag-

nética a través del agua y del vidrio, entre otras. También realiza experiencias curiosas, como la determinación de los polos en un imán esférico con finalidad de ilustrar los movimientos celestes.



Portada del texto de Peregrinus.

Peregrinus no consigue explicar razonablemente la orientación de los polos de un imán, indicó que éstos apuntaban hacia los polos de los cielos sobre los que giraba la esfera terrestre y, basándose en este planteamiento, intentó diseñar un *perpetuum mobile*. Existen diferentes aportaciones sobre el magnetismo de algunos autores medievales, aunque pocas son innovadoras, hasta llegar a la aportación del médico WILLIAM GILBERT (1544-1603) que, en 1600, publica un tratado completo sobre el magnetismo, *De Magnete* (Del Magnetismo), referencia durante mucho tiempo sobre estas cuestiones, que supone un reconocimiento a las aportación de Peregrinus, incluso repite muchas de sus experiencias.

La acción a distancia de la atracción magnética, explicada por Averroes, era entendida como una manera de la

<sup>33</sup> Duhem considera a Jordano el “precursor de Leonardo”. Duhem, P.: *Les origines de la statique* (2 vol.), Ed. Hermann, París (1905-1906).

“multiplicación de las especies”; así, el imán tenía capacidad para modificar las partes del medio que estaban en contacto con él (aire, agua) y entonces éstas se modificaban hasta llegar a una “especie magnética” que se transformaría en hierro, en el que aparecía una virtud motriz provocando un acercamiento al imán. Una descripción posterior, más elaborada por diferentes científicos, indica que los polos de un imán apuntan a los polos de la Tierra y describe el magnetismo como una corriente que pasa desde el imán a través de una aguja colocada sobre él.

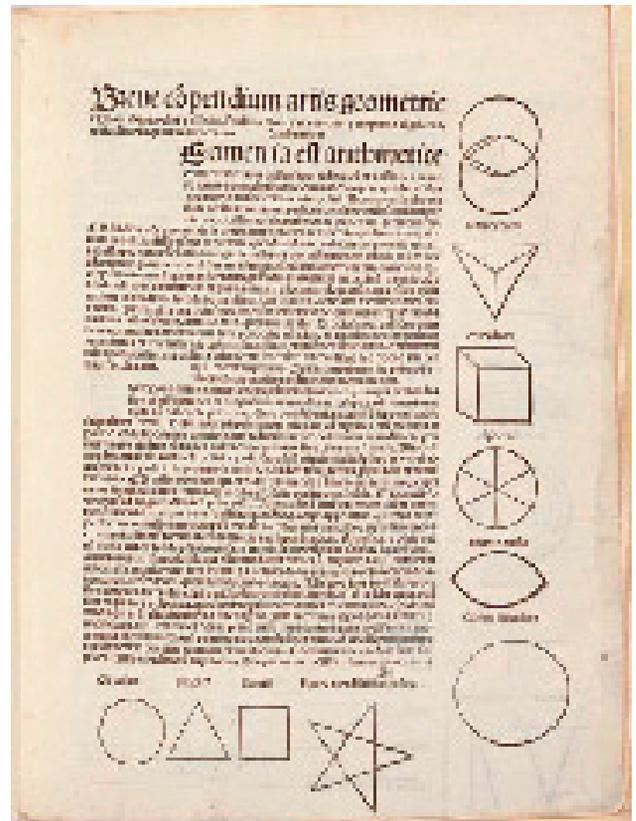
## LA EVOLUCIÓN DE LA FÍSICA MEDIEVAL

Hemos indicado que el pensamiento científico aristotélico estuvo presente a lo largo del medievo, pero siempre fue el blanco o referente de numerosas críticas, algunas desde la propia perspectiva aristotélica. Además, lógicamente, estuvo sometido a otras influencias ajenas al propio sistema (la ciencia islámica) y, asimismo, otros aspectos sociales, tecnológicos y religiosos tampoco fueron ajenos al desarrollo científico. Durante la Baja Edad Media o, tal vez, para ser más exactos, desde el período de tiempo comprendido entre las figuras científicas de Grosseteste y Galileo, todo este proceso crítico tomó una especial relevancia al ser decisivo para el salto científico que tuvo lugar en el siglo XVII con la ciencia moderna.

Al intentar realizar una visión general de los aspectos más importantes señalamos, en primer lugar, el avance científico como consecuencia del establecimiento de un nuevo método científico, con la incorporación de los criterios experimentales y el uso de las matemáticas para la explicación de los fenómenos físicos. Los conocimientos matemáticos medievales, por lo menos hasta el siglo XIV, eran limitados y encaminados a la resolución de cuestiones prácticas. También se avanzó en métodos para facilitar el cálculo con instrumentos como el *ábaco*.

En esta época existen matemáticos importantes. Podemos citar a LEONARDO FIBONACCI (1170-1240), también conocido como Leonardo de Pisa, inscrito en la tradición latina ligada a las matemáticas árabes, que hace aportaciones en álgebra y en geometría, siendo notable su esfuerzo por difundir el sistema de numeración decimal en Europa. Con el fin de generalizar las demostraciones, sustituye los números por letras. A la escuela grecorromana, liderada por Nicómaco y Boecio, pertenece Jordano Nemorarius; se dedica a la resolución de algunos problemas geométricos originales, generaliza soluciones a muchos problemas aritméticos, sienta las bases de lo que sería un

desarrollo de la geometría occidental y redacta un texto sobre algebra elemental, considerado como una recopilación de otros autores, pero de gran difusión. Sin embargo, el gran desarrollo matemático se produce con motivo de la publicación, hacia 1252, de una nueva edición de los *Elementos* de Euclides (325-265 a.C.) realizada por CAMPANUS DE NOVARA (c1281-1374), edición vigente hasta el siglo XVI, en la cual se incluía algunos estudios innovadores sobre las “cantidades continuas”.



Ejemplo de un texto de Bradwardine.

Además, en el grupo del Merton College (Oxford), trabajaba TOMÁS BRADWARDINE (1290-1394), seguidor de Grosseteste, influido por Buridan, que aporta ideas nuevas al estudio del vacío y su relación con Dios, maneja el concepto de “relación variable” entre cantidades diversas mediante la confección de tablas, antecedente al concepto de función definido en el siglo XVII. Es autor de *Tractatu de proportionibus velocitum*, en el que establece la diferencia entre “fuerza de resistencia” y velocidad de un cuerpo cuando la fuerza varía en relación con la resistencia.

Por otra parte, la mejora de los cálculos aritméticos fue definitivo hacia el siglo XIV. Es entonces cuando los procedimientos heredados de los hindúes

y árabes, muy imprecisos, son sustituidos por otros más sencillos y asequibles, en especial, la operación de dividir, hasta entonces reservada a personas muy instruidas.

Acerca de la naturaleza se llega a la conclusión de que debe estudiarse mediante la observación o la experimentación y los fenómenos observados deben ser explicados con el recurso de las matemáticas. Nace una nueva teoría de la ciencia experimental enclavada en la ciencia aristotélica y en la tradición científica de los griegos clásicos.

Uno de los primeros en entender y utilizar la nueva ciencia experimental es el fraile franciscano Roberto Grosseteste. Establece un nuevo concepto de ciencia relacionando el hecho científico y el conocimiento del motivo o razón de ese hecho. Contiene los tres aspectos metodológicos siguientes: inductivo, experimental y matemático. La inducción permite descubrir la causa a partir del conocimiento del efecto conseguido a través de los sentidos. Como los sentidos perciben objetos compuestos, mediante la inducción se descomponían en los principios o elementos que los causaban. Por lo tanto, considera la inducción como un proceso de abstracción, permitiendo pasar de los objetos, percibidos por los sentidos, a los principios abstractos, primeros en el orden de la naturaleza, aunque menos cognoscibles, en un primer intento, por nosotros. Mediante un proceso inductivo pasamos de los efectos a las causas como paso previo a la posibilidad de pasar a conocer el efecto. En resumen, para explicar un conjunto concreto de los hechos observados es necesario establecer el principio que los causa<sup>34</sup>.

Según Grosseteste, el método científico implica una concepción del tipo de las causas y de los principios a descubrir. Considera que la definición de los principios que explican un fenómeno supone establecer las condiciones necesarias y suficientes para producirlo. Recomienda un método a seguir que comienza por la resolución, es decir, por mostrar cómo ordenar y clasificar los principios o elementos del fenómeno considerado atendiendo a sus semejanzas y diferencias.

Con este proceso podía llegar al principio causal y, según lo señalado por Aristóteles, tenía la posibilidad de establecer una teoría para explicar los hechos observados, no despreciando, en este momento inicial, la

intuición o imaginación científica. La dificultad es cómo distinguir entre las teorías falsas y las verdaderas. Entiende que un procedimiento de discernimiento es diseñar experimentos adecuados o considerar la posibilidad de no interferir con las condiciones naturales. Un ejemplo puede aclarar esta dificultad: cuando se estudian los cuerpos celestes, no considera procedente realizar observaciones que faciliten dar la respuesta a las diferentes preguntas formuladas en relación con el fenómeno observado.

Por otra parte, mantiene que no siempre es posible llegar a una definición completa o a un conocimiento de la causa productora del efecto, pues el mismo efecto podía ser causado por más de una causa. Comprende la posibilidad de una aparente pluralidad de las causas y que, con los métodos disponibles, no es posible reducirla a una sola causa efectiva ligada unívocamente al efecto considerado. Considera que en la ciencia de la naturaleza se encuentran las explicaciones, aunque no siempre de forma científica. En ocasiones sólo se llega a la forma más probable, por eso considera que el uso de las Matemáticas permite, en sentido estricto, la explicación más científica en cualquier demostración. Defiende un procedimiento consistente en hacer deducciones de las diferentes teorías propuestas y eliminar aquellas que puedan ser contradictorias por la experiencia para llegar al auténtico conocimiento científico.

Para completar estas breves ideas sobre el método científico experimental de Grosseteste hacemos referencia a su procedimiento de eliminación o refutación en que basó su método. En primer lugar considera el “principio de uniformidad de la naturaleza”, es decir, las formas siempre se originan atendiendo al efecto que producen, en coincidencia con la teoría aristotélica. Además, recurre al “principio de economía” (la naturaleza siempre actúa siguiendo el camino más corto posible, argumento que empleó para demostrar las leyes de la reflexión y de la refracción).

Grosseteste aplica su metodología al estudio de diferentes fenómenos de la naturaleza como, por ejemplo, para comprender la naturaleza de las estrellas, los cometas, el calor y el arco iris. Acerca de la aparición de los cometas corrige la propuesta de algunos autores antiguos al considerar que eran consecuencia de la reflexión producida por los rayos solares al incidir sobre un cuerpo celeste. Esta hipótesis la invalida por dos razones: una, porque los rayos reflejados no podían ser observados, a no ser que estuvieran asociados a un medio trans-

<sup>34</sup> Crombie, A.C.: *Robert Grossetesta and the origins of Experimental Science 1100-1700*, Claredon Press, Oxford (1953).

parente de naturaleza terrestre (no celeste) y, dos, por encontrarse la cola del cometa según una dirección contraria a la dirección opuesta del Sol.

## CONCLUSIONES

Hay un aspecto, a nuestro entender, muy interesante relacionado con la ciencia medieval. Se trata de discernir si es posible considerarla como ciencia, o si se prefiere, como *verdadera ciencia*, es decir, si realmente sus desarrollos metodológicos coinciden con los aceptados por la ciencia moderna. Los argumentos a favor y en contra son numerosos.

Desde una perspectiva metodológica y conceptual, la *ciencia moderna* es una ciencia, afirmación refrendada por estudios rigurosos. Desde comienzos del siglo pasado, son numerosos los historiadores de la ciencia ocupados en establecer las analogías y disparidades entre la ciencia medieval y la moderna, planteando la posible *continuidad o discontinuidad* entre ambas. Es un debate inacabado pero parece encaminarse a una conclusión un tanto ecléctica, diferente según sean los aspectos considerados.

Intentamos aportar algunas ideas para ayudar a entender este dilema. La primera consideración es determinar si la ciencia medieval ha terminado, ha llegado a su final o a un punto de no retorno, es decir, si es una “ciencia completa”. La alternativa es considerar que la ciencia desarrollada, sobre todo en la Baja Edad Media, se puede considerar como un antecedente al pensamiento científico moderno.

Así, por ejemplo, FRANCIS BACON (1561-1626), autor de *Novum Organum* (1620),<sup>35</sup> piensa que el tiempo transcurrido entre su época y la antigüedad es poco propicio para el desarrollo del pensamiento científico y lo justifica por el hecho de que tanto los árabes como los escolásticos aportaron pocas novedades e, incluso, considera que “aplastaron” a la ciencia. Este argumento lo mantiene VOLTAIRE (1694-1778) al entender que el período medieval se corresponde con una época de decadencia y degeneración incompatible con el desarrollo científico. Esta misma postura mantiene, por último, el marqués de Condorcet, MARIE JEAN ANTOINE DE CARITAL (1743-1794), científico y político francés, al asociar el medievo con el triunfo

<sup>35</sup> Bacon, F.: *La gran restauración*, Ed. Tecnos, Madrid (2011).

y asentamiento del cristianismo poco inclinado al mundo de la ciencia.



Francis Bacon (1561-1626).

Cuando avanza el siglo XIX, algunos autores como BURCKHARD (1818-1857)<sup>36</sup>, autor del concepto moderno de Renacimiento, tratan de considerar la importancia de este período histórico como un resurgimiento de la cultura y ciencia clásica griega, permitiendo un redescubrimiento de los resultados obtenidos en la antigüedad. Considera que la ciencia moderna se fundamenta en la ciencia antigua y escasamente en la medieval.

El prestigioso historiador, ya citado, Pierre Duhem<sup>37</sup> considera que en los textos de la filosofía natural medieval se encuentra el fundamento de la ciencia moderna. Ilustra esta idea con la “Física moderna” al considerarla como una consecuencia de las teorías enunciadas por los filósofos medievales. Además, las aportaciones de los filósofos medievales se enriquecieron con las doctrinas cristianas, aristotélicas y árabes, con las aportaciones surgidas de las universidades medievales. Otro historiador, ALISTAIR C. CROMBIE (1915-1996)<sup>38</sup>, rela-

<sup>36</sup> Burckhard, J.: *La cultura del Renacimiento en Italia*, Ed. Akal, Madrid (1992).

<sup>37</sup> Duhem, P.: *Le système du monde*, Ed. Hemann, París (1913-1959).

<sup>38</sup> Posee dos obras importantes sobre estas cuestiones: *Robert Grosseteste and the origins experimental science 1100-1700*, Clarendon Press, Oxford (1953); *Estilos de pensamiento científico a comienzos de la Europa moderna*, Publicaciones Universidad de Valencia (1993).

ción la ciencia nueva con la metodología científica experimental establecida entre los siglos XIII y XIV, en buena parte desarrollada por Grosseteste.



*Pierre Duhem (1861-1916).*

Entre las posturas contrarias citamos, en primer lugar, a ALEXANDRE KOYRÉ (1892-1964)<sup>39</sup>, que considera que los primeros científicos modernos no recurrieron a la metodología medieval para desarrollar la ciencia moderna. También mantiene esta postura el seguidor de Koyré, A. RUPERT HALL (1920-2009)<sup>40</sup> al estimar que el Renacimiento supuso un drástico cambio en la idea de la naturaleza que desembocaría en la revolución científica.

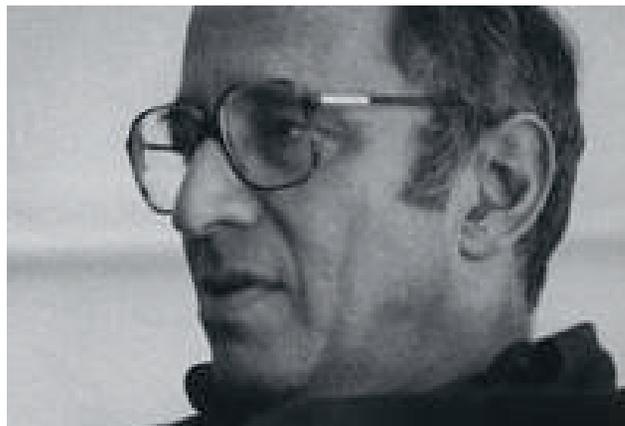
THOMAS S. KUHN (1922-1996)<sup>41</sup>, conocido por su teoría sobre las revoluciones científicas asociadas con periodos limitados en los que sucede un cambio radical, *cambio paradigmático*, inscritos entre periodos de escasa actividad, *ciencia normal*. Considera la Revolución de la Ciencia de los siglos XVI y XVII como un conjunto de “pequeñas revoluciones” independientes, circunscrito al ámbito de las diferentes disciplinas específicas. Así mismo, establece una diferencia entre las denominadas *Ciencias clásicas* (Óptica, Astronomía) y las ciencias ex-

<sup>39</sup> Koyré, A.: *Del universo cerrado al universo infinito*, Ed. Siglo XXI, Madrid (2000).

<sup>40</sup> Hall, A.R.: *La revolución científica: 1500-1750*, Ed. Crítica, Barcelona (1985).

<sup>41</sup> Kuhn, T.S.: *La estructura de las revoluciones científicas*, Ed. FCE, México (1962).

perimentales o *ciencias baconianas* (Electricidad, Química). Por último, para las disciplinas científicas nuevas o de aparición reciente, considera imposible la existencia de una revolución o cambio revolucionario al no tener una referencia o tradición medieval.



*Thomas S. Kuhn (1922-1996).*

Sin embargo, no olvidamos las condiciones personales de los historiadores y sus circunstancias, que se pueden imponer a cualquier actitud objetiva y, por otra parte, estamos convencidos del escaso interés de incorporar nuevos argumentos para identificar las causas del cambio continuidad/discontinuidad, pues es más interesante avanzar en la importancia relativa del cambio histórico.

Terminamos incluyendo un breve resumen de las aportaciones o logros científicos aportados por la ciencia medieval, dada su importancia para el nacimiento de la ciencia moderna. La nueva ciencia fue una extensión, adaptación o articulación de la concepción científica del Universo desarrollada en la etapa medieval. Este planteamiento supone, en primer lugar, considerar la ciencia medieval como una “ciencia de verdad”, desarrollada con una metodología científica diferente en cada momento; por lo tanto, el relato histórico tiene un planteamiento de continuidad o discontinuidad según los aspectos considerados. Sabemos que la metodología experimental y matemática, nacida en el período medieval, presenta alguna complejidad al sustituir a los procedimientos aristotélicos, basados en la generalización de las observaciones realizadas para llegar a las nuevas conclusiones a partir de los primeros principios. En definitiva, aparece un distanciamiento radical de Aristóteles debido a la mejora de los nuevos procedimientos usados, con unas técnicas de experimentación apropiadas para los

desarrollos matemáticos en ayuda al análisis y la medida. Tal vez, desde esta perspectiva, sí se puede considerar un cambio cualitativo, discontinuista, frente a los defensores de la continuidad.

Los logros más importantes de la ciencia medieval son:

1. **La recuperación de la “explicación científica” de la ciencia griega:** La explicación científica griega, también conocida como “euclidiana”, permite la descripción de los fenómenos observados, relacionándolos con unos principios generales o teorías, extendidas o generalizadas a otras circunstancias similares. Así, los métodos de inducción y experimentación, incorporados por los escolásticos, permiten la observación directa, la realización de experimentos diseñados especialmente, así como “idealizaciones” o “experimentos mentales”.
2. **Utilización de las Matemáticas:** Nace por influjo de la concepción neoplatónica de la ciencia que, en último extremo, implica una connotación matemática muy adecuada en el estudio de los fenómenos físicos. A este respecto, es evidente que los científicos medievales no avanzaron todo lo necesario, pero en los siglos XIII y XIV los procedimientos matemáticos se incorporaron a algunas disciplinas científicas (Mecánica, Óptica, Astronomía, ...).
3. **Generalizaciones sobre los conceptos de espacio y movimiento:** Las primeras aportaciones de los griegos en el campo del movimiento se referían a los cuerpos en reposo. A partir del siglo XIII, con la recuperación de las obras de ARQUÍMEDES (287-212 a.C.), se aprecia la aplicación de las Matemáticas a la idea del “cambio” y del movimiento, proporcionando las primeras aportaciones a una nueva dinámica y cinemática, surgen ideas sobre los conceptos de “infinito” y “vacío”, sin cabida en las teorías aristotélicas. Nace la nueva idea de *impetus* como una propiedad característica de la materia existente en un cuerpo y de su velocidad, después se estudia esta propiedad en ausencia tanto de la resistencia del medio como de la gravedad. En principio, la interpretación dada al *impetus* es aristotélica al ser considerada como una “causa física” pues consideraba el movimiento como un estado que no precisaba una causalidad eficiente.

Se elaboró una “teoría del *impetus*” utilizada para explicar fenómenos tan diferentes como el movimiento de proyectiles o la caída de cuerpos e, incluso, para el estudio de la rotación de los cielos y de la Tierra. Al estudiar estas situaciones aparece el concepto de “movimiento relativo” perfeccionado con posterioridad. Los primeros estudios cinemáticos del movimiento aparecen en el siglo XIV y, después, se aplican a los cuerpos que caen. También se inician los estudios sobre la naturaleza del continuo y de la masa.

4. **Tecnología:** Se diseñan y utilizan nuevas máquinas para fines diversos como, por ejemplo, para mejorar la utilización de la energía hidráulica y del viento. También se desarrollan o perfeccionan instrumentos de medida para uso científico mejorando la precisión de las medidas, situación inscrita en la necesidad derivada de los procesos empíricos y el desarrollo del hábito experimental. A este respecto podemos citar el reloj mecánico, astrolabio, cuadrante y la balanza, entre otros.



Astrolabio.

5. **Naturaleza de la ciencia:** En el período medieval aparece por primera vez un objetivo de la ciencia ligado a la idea de obtener un mejor y preciso conocimiento de la naturaleza. Planteamiento recibido con cierto recelo por los teólogos, pues mantenían que ni la acción de Dios ni la especulación del hombre podían reducir los límites impuestos por un sistema concreto de pensamiento científico y filosófico. Como es imaginable, estas ideas repercutieron en el estudio de las ciencias de la naturaleza, entre otros motivos, por poner de relieve que todas las teorías científicas tenían

una validez determinada y podían ser reemplazadas por otras más perfeccionadas y precisas, siempre ajustadas a los criterios impuestos por los métodos matemáticos y experimentales. Esta nueva metodología del pensamiento científico medieval iba a destruir el sistema aristotélico desde dentro, pues muchos científicos que habían sido convencidos seguidores de Aristóteles lo cuestionaban. Es un proceso desarrollado contra la resistencia de varios sectores de intelectuales, como los escolásticos u otros teológicos, y los partidarios radicales del humanismo, por su devoción a los textos antiguos. Los desarrollos de los métodos experimentales para las ciencias de la naturaleza sucedidos entre los siglos XIII y XV inciden en el movimiento histórico que culminó en el siglo XVII con la ciencia moderna.

Entre los científicos medievales y los del siglo XVII existen fundamentales diferencias pero, también, notables semejanzas más o menos explícitas. El punto de vista de los modernos se puede considerar como una superior asimilación de las traducciones de las obras científicas griegas y árabes, pero también accedieron a los trabajos medievales, pues conviene tener presente la labor realizada por la imprenta en la reproducción de las obras científicas, incluidas las originadas en la etapa medieval, que facilitó esta tarea.

Consideramos, para finalizar, que en la época medieval y, preferentemente en la Baja Edad Media, se estable-

ció un pensamiento científico resultado de aportaciones diferentes, pero suficientes para sentar los cimientos de una nueva “ciencia moderna”, con una proyección indudable y de resultados reconocidos. Nuestro interés se ha limitado a la Física, aunque hemos realizado algunas incursiones en las cuestiones cosmológicas, poniendo de manifiesto que el período medieval no se puede considerar como un período baldío en el desarrollo de la Ciencia. La hemos denominado y presentado como Física Medieval, preferimos desligarla de la denominada Filosofía Natural, conscientes de que, en el período considerado, es complejo marcar una diferencia entre ambas e, incluso, existen opiniones autorizadas a favor de no diferenciarlas.

Algunos autores modernos han puesto de manifiesto su referencia con la ciencia medieval. A modo de conclusión recordamos a los siguientes: Tartaglia recurrió a la teoría del *ímpetus*, de la misma manera que actuó Galileo; LEONARD DIGGES (1588-1635) cuando describe los trabajos de su padre sobre el telescopio reconoce la autoridad de Roger Bacon en Óptica; Descartes, en sus estudios sobre Óptica, muestra su admiración por Alhazen, compartida con Aristóteles, cuando escribe el texto titulado *Meteores*, cuyo contenido apenas difiere del aristotélico titulado *Meteorología*, en el que, incluso, sigue el mismo orden.

Joaquín Summers Gámez  
Dpto. de Física de los Materiales