



# Universidad Nacional Autónoma de México

---

FACULTAD DE CIENCIAS

LA FÍSICA EN LA EDAD MEDIA

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el Título de

F I S I C O

presenta

LUZ FERNANDA AZUELA BERNAL

MEXICO, D. F.

1982



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

## I N D I C E

	PAG.
PROLOGO .....	10
INTRODUCCION .....	14
1. EL COLAPSO DEL VIEJO ORDEN Y EL PRINCIPIO DE LA FEUDAL MEDIA (SIGLOS IX-IV)	
1.1. Una época de guerras e invasiones .....	21
1.2. La Iglesia .....	22
1.3. La educación .....	23
1.4. Los albores de la ciencia. San Agustín .....	25
1.5. La enciclopedia .....	27
1.6. El nivel de comprensión del mundo natural .....	31
1.6.1. Cosmología y astronomía .....	31
1.6.2. Matemáticas .....	37
1.6.3. Frutos científicos de la Alta Edad Media .....	39
2. EL FEUDALISMO CLASICO Y LA ESTABILIDAD SOCIAL (SIGLOS V y XI)	
2.1. La revolución verde .....	43
2.2. El interés por las artes prácticas .....	45
2.3. Los primeros contactos con el Islam .....	46
2.4. Una nueva actitud ante la naturaleza. Gerberto de Aurillac .....	47

3. LA CRISTIANIDAD EN EXPANSION (SIGLO XII)	
3.1. La expansión territorial .....	50
3.2. El flujo de las ideas .....	51
3.3. El papel de la Iglesia y la influencia de los intereses prácticos .....	51
3.4. Las traducciones .....	52
3.4.1. Características y dificultades .....	52
3.4.2. Frutos .....	55
3.5. El nuevo filósofo natural. Chartres .....	56
3.6. Las nuevas ideas y la ruptura con el platonismo .....	58
3.7. La revaloración de las artes mecánicas .....	59
3.8. El siglo XII. Reconsideraciones .....	60
4. EL IMPACTO DEL NUEVO SABER (SIGLO XIII)	
4.1. Las innovaciones técnicas y su interdependencia con la ciencia y la sociedad .....	62
4.2. Una clase en ascenso. Consecuencias .....	63
4.3. El florecimiento de las universidades y el método escolástico. Características .....	65
4.4. El triunfo de Aristóteles y su cristianización .....	69
4.5. El sistema de pensamiento científico del siglo XIII. La Física .....	71
4.5.1. El sistema aristotélico. Disidentes y seguidores .....	72

	PAG.
4.5.2. Cosmología y astronomía .....	77
4.5.3. Óptica .....	83
4.5.4. Estática .....	89
4.5.5. Magnetismo .....	92
4.6. Los caracteres fundamentales de la nueva ciencia .....	94
4.6.1. El carácter pragmático .....	94
4.6.2. La matematización .....	95
4.6.3. La autonomía .....	96
<b>5. LA CRISTIANIDAD EN CRISIS (1270-1330)</b>	
5.1. La crisis social .....	98
5.2. La pugna entre la fe y la razón .....	100
5.3. Las condenas .....	102
5.4. La reacción en el ámbito científico .....	104
5.5. Los moderní .....	108
<b>6. EL SIGLO DE LA CALIDAD (SIGLO XIV)</b>	
6.1. La catástrofe .....	110
6.2. La tecnología y la ciencia .....	112
6.3. El auge de la ciencia .....	114
6.3.1. Cosmología .....	115
6.3.2. Astronomía .....	121
6.3.3. Mecánica .....	125
6.3.4. Óptica .....	130
6.4. El fin de la Edad Media .....	138

7. CONCLUSIONES	
7.1. Ciencia medieval. Una caracterización .....	140
7.1.1. Autonomía .....	140
7.1.2. La matematización .....	142
7.1.3. Las conceptualizaciones .....	142
7.2. Ciencia, tecnología y sociedad .....	143
7.3. La Edad Media y la historia de la Ciencia .....	144
7.4. La Ciencia occidental como producto de la Edad Media .....	145
APENDICE I. CUADROS CRONOLÓGICOS .....	147
APENDICE II. BIBLIOGRAFÍA SUGERIDA .....	154
NOTAS .....	155
BIBLIOGRAFÍA .....	171

## P R O L O G O

El estudio de la historia de la humanidad ha sido considerado, desde tiempos inmemoriales, como indispensable para la comprensión de nuestra sociedad, y aún para su eventual transformación. Este no ha sido el caso de la historia de la ciencia. Incluso en los medios científicos su importancia ha sido menospreciada e ignorada. Sin embargo, la situación ha cambiado poco a poco y cada día son más los estudiosos que recurren a ella para la elucidación de problemas controversiales o como apoyo para la clarificación de conceptos. En este grupo se sostiene la opinión, que comparto, de que el conocimiento de los orígenes y desarrollo de las ideas científicas constituye el único medio de entenderlas cabalmente.

Comprender la historia de la ciencia implica el estudio de todos los factores que contribuyen a su construcción y desarrollo. Las ideas científicas no surgen del vacío social e intelectual. En su ocurrencia confluyen muchos factores de carácter social, económico, cultural. La ciencia está inmersa en un contexto más amplio que el de su organización particular. Por ello, una historia de la ciencia que no dé cuenta de las interacciones de todos estos factores en la creación científica será siempre incompleta y necesariamente falseará la realidad.

Tomando en cuenta estos elementos, he elegido a la Edad Media para su estudio, por ser una época histórica generalmente pasada por alto por los especialistas por considerarla intrascendente para el desarrollo de la ciencia, y aún de la humanidad misma. Algunos de ellos han caracterizado este período como oscurantista, pero en recientes trabajos de revaloración se ha probado que la Edad Media es una época muy rica y compleja donde se forjaron la cultura occidental y la ciencia que prevalecen en nuestros días. Me refiero específicamente a la Ciencia en la Europa cristiana entre los siglos IV y XIV. Durante este período se generó y se llevó a cabo un proceso que transformó una sociedad mediterránea, cuyos fundamentos culturales fueron los de la Grecia Clásica y el Imperio Romano, en una civilización nórdica representada por los nuevos estados europeos de la cristiandad. A lo largo de esta metamorfosis la ciencia sufrió inevitablemente un profundo cambio.

En la primera etapa de la Edad Media, y en virtud de las condiciones de inestabilidad social que la caracterizan, la práctica científica había descendido a niveles por demás rudimentarios después del esplendor Clásico. Sus primeras manifestaciones estuvieron a cargo de los enciclopedistas quienes reunieron lo poco que se conservaba de la ciencia Clásica. Esta es la primera instancia de la ciencia medieval. Con el tiempo, y a través de la interacción de sociedad y tecnología, fue evolucionando hasta constituirse

en la ciencia del siglo XIV, que muchos han considerado como el antecedente directo de la Revolución Científica.

Durante este proceso tuvieron lugar varios hechos que son de especial interés para el estudioso de la ciencia: En primer término se contempla la evolución de una ciencia inserta en la filosofía con fuertes ligas teológicas hacia su autonomía (1). En segundo lugar durante la Edad Media, la Física en particular da lugar a una creciente matematización de las ciencias, habiendo partido de la negación de la utilidad de la Matemática para su desarrollo (2). Finalmente, los medievales formularon las definiciones y conceptualizaciones que consideraron imprescindibles, muchas de las cuales prevalecen hasta nuestros días (3). Algunos historiadores señalan, asimismo, que durante el medioevo tuvo lugar el nacimiento de la experimentación como práctica ineludible de la creación científica (4). Sin embargo, esta última cuestión es aún debatida por los especialistas y no existe consenso al respecto.

Esta tesis tiene justamente el propósito de ofrecer una visión del proceso que dió lugar a estas transformaciones. De ella se desprenderá que la Física de la Edad Media no sólo integra las bases de la ciencia moderna sino que está constituida por logros científicos de gran valor en sí mismos. Para cumplir estos propósitos fundamentales este trabajo no pretende exponer de manera exhaustiva el desarrollo de la Física en la Edad Media. Su objetivo es más

modesto: dentro de un panorama esquemático de la sociedad medieval, articulará el fenómeno científico ligándolo a la innovación tecnológica y el cambio social, y señalará las líneas de investigación que, a mi juicio, fueron más relevantes en la Física medieval.

## I N T R O D U C C I O N

El intento de escribir una historia de la ciencia en la que se de cuenta de todos los factores económicos, políticos y sociales que condicionan y modifican la práctica científica no es nuevo. Filósofos e historiadores debaten hasta la fecha sobre la validez de tal aproximación. El problema está abierto. Sin embargo, en mi opinión, si la ciencia ha de ser bien entendida debe contemplarse dentro de un amplio contexto social e intelectual y reconocer como ha sido moldeada por una extensa gama de fuerzas que le han imprimido su configuración.

Un error muy frecuente entre los historiadores de la ciencia es la pretensión de interpretar los logros científicos de un período histórico determinado a la luz de conceptos estereotipados de "Ciencia" y "Método Científico". Para Cohen (5), acercarse al problema del conocimiento científico de una época dada con un verdadero sentido de la historia implica no preguntarse la extensión con la que un determinado escrito satisfaría los cánones del siglo XX, sino más bien, tratar de encontrar en su estudio cuáles fueron sus propios cánones.

A lo largo de todo el trabajo considero a la ciencia en un sentido muy amplio sin tratar de sujetarla a alguna definición. En realidad, la concepción de la ciencia ha

cambiado mucho en el transcurso de la historia humana, y por ello no se puede establecer precisamente una definición. De hecho, el término ciencia tiene connotaciones en el siglo XX que son inaplicables en la Edad Media. Un rasgo elemental de la ciencia es su compleja interacción con las técnicas y la filosofía. Así pues, una caracterización muy flexible podría ser la del intento intelectual y práctico de establecer relaciones y explicaciones de los fenómenos naturales. En ese intento la tecnología, las condiciones socioeconómicas, la ideología, así como la filosofía, en el sentido de visión cosmológica y estructural del mundo y sus relaciones, juegan un papel fundamental (6).

El "científico" de la Edad Media no era en modo alguno el especialista de nuestros días sino un "erudito universal" que lo mismo hacía comentarios bíblicos que aportaciones a la ciencia de su tiempo (7). La interconexión de varias disciplinas, ahora autónomas, en el medioevo era muy profunda. Los intelectuales de ese tiempo tenían una libertad extraordinaria para cruzar las fronteras interdisciplinarias en el seguimiento de cualquier presa intelectual que capturara su imaginación (8). Estas fronteras interdisciplinarias que menciono no existían dentro del vasto ámbito de la filosofía medieval. En ella estaban comprendidas las que ahora conocemos como disciplinas autónomas. La filosofía medieval incluía todo lo que puede conocerse del universo especulativamente por medio de la razón. Nuestra ciencia mo-

terna corresponde aproximadamente a lo que los medievales llamaban "filosofía natural" y que comprendía a la astronomía, física, química, sicología, biología y matemáticas (9).

Si el intento de precisar los contornos de la ciencia medieval es tan ineficaz, aquél de delimitar el perfil de la Física lo es aún más, ya que la Física que conocemos ahora no existía en la Edad Media. Había sí, una serie de trabajos que pueden caer dentro de nuestra clasificación de las ramas de la Física. En ellos se estudiaron fenómenos cinemáticos, dinámicos y estáticos; problemas de óptica magnetismo y astronomía. Pero el espíritu con el que se abordaron no tiene ninguna correspondencia con el propósito de la Física de nuestros días. Sin embargo, y dado que mi objetivo es dar un panorama de los logros en este campo, señalaré en mi trabajo las líneas de investigación que, a mi juicio, fueron más importantes para el subsecuente desarrollo de la Física.

Al margen de los problemas que implican las definiciones de la ciencia y la Física medieval, existen otras dificultades para abordar su estudio. Una de ellas es la escasa bibliografía disponible y el nulo acceso a las fuentes. Este contratiempo es explicable en términos del desdén con que se ha contemplado a la Edad Media, que sólo será remediable en la medida en que se publiquen y difundan los estudios que a su respecto se vienen editando en el mundo desde principios de siglo. El material que reuní está dividido

en dos grandes grupos: los textos de historia política y social y los de historia de la ciencia.

Dadas las visiones parcializadas de la historia que son características en todos los textos disponibles, la estructuración del trabajo en los términos que he descrito en ocasiones fue muy difícil. Los textos de historia sociopolítica rara vez mencionan los desarrollos de la ciencia, y en los trabajos de historia de la ciencia la alusión a las condiciones sociales es, cuando más, ocasional. Por otra parte, con frecuencia los textos se muestran contradictorios o esquivos respecto a ciertas cuestiones. Dice Tuchman (10) que "puede tomarse como axiomático que cualquier exposición de un hecho sobre la Edad Media se tope (y probablemente lo hará) con una exposición opuesta o una versión diferente." En estos casos solamente pretendo esbozar la posibilidad que me parece más factible, aunque reconozco que cada situación de esta naturaleza merece un estudio más detallado y profundo.

Un examen más preciso de la Edad Media exige, por lo menos, el análisis de las obras clásicas que existen al respecto. Para ello he hecho una relación de la bibliografía que me parece fundamental por las continuas referencias que a ella se hacen en los trabajos que consulté (11). Además, es imprescindible la consulta de las propias fuentes, pues permitiría una visión de la ciencia medieval por los medievales mismos sin pasar por el filtro de modernas interpre-

taciones.

En este sentido, un factor más que juega un papel medular en el estudio de la historia de la ciencia son las traducciones. La lingüística moderna establece la "imposibilidad de la traducción" en su sentido más estricto. Un texto es relativo: está fechado y pertenece a una cultura determinada. La teoría del relativismo lingüístico establece que cada sociedad está encerrada en su lengua, cada lengua es una visión del mundo. De esta manera la traducción se convierte en un puente frágil y precario (12). En la Antigüedad y la Edad Media la actitud ante las traducciones no corresponde a la que he expuesto. En aquella época las traducciones tenían por objeto preservar lo que se consideraba "imprecedero y sagrado, universal e intemporal" (13). Y si existía algún relativismo en su concepción, éste se encontraba en los traductores mismos y en el método que cada uno usaba para trabajar, dando lugar a obras de mayor o menor calidad (14).

Dado que una parte importantísima de la labor científica medieval consistió en la recuperación y transmisión al latín de la herencia clásica, no deben perderse de vista las deformaciones que debieron ocurrir durante el proceso. Si a éstas añadimos las nuevas alteraciones introducidas en el paso a las lenguas modernas y, nuevamente, durante el desarrollo de este trabajo, en el estudio de bibliografía extranjera, los resultados, estrictamente, pueden calificar

se de endebles. La mayoría de los autores consultados, por su parte, escriben siempre los términos clave en la lengua original y luego traducen a su idioma nativo lo más fielmente posible. He tratado de hacer lo mismo.

Finalmente quiero referirme al papel de la filosofía en el desarrollo de mi exposición. Como señalé, la ciencia en la Edad Media se encuentra inserta en el discurso filosófico y como consecuencia, la especificidad del fenómeno científico, tal como lo conocemos ahora, es prácticamente indiscernible en el medioevo. Siendo pues, una parte integral de la perspectiva filosófica medieval, la ciencia de este período estaba definida por las concepciones de Platón y Aristóteles que configuraron la visión del mundo de los medievales en diferentes etapas. La obra de estos dos grandes pensadores, de los que se deriva todo el sistema filosófico hasta nuestros días fue comentada, admirada y criticada. Sus seguidores ampliaron, y en algunos casos restringieron sus criterios en virtud de sus particulares creencias religiosas. Los factores que forjaron la perspectiva filosófica de la Edad Media fueron operativos en diferentes tiempos y lugares e influenciaron la conceptualización global de diversas maneras. En cada caso la situación social fue decisiva para la adopción de una u otra escuela. Desde luego, es deseable una compenetración con los enunciados básicos de ambos filósofos, sin embargo me he propuesto establecer las características de su pensamiento que resultaron más deter-

minantes para el desenvolvimiento de la ciencia en cada etapa.

Algunos estudiosos cuyas aportaciones sirvieron de base para la Física medieval fueron Euclides, Ptolomeo, Arquímedes, Pitágoras, Galeno, Lucrecio, entre otros. Una obra medular para la eventual estructuración del sistema filosófico y científico occidental es la Biblia, rara vez mencionada como antecedente, pero que sin lugar a dudas estuvo en la mente de todos los científicos medievales en el momento de abordar sus investigaciones. La Biblia es una obra por demás central en virtud del predominio del cristianismo en el medioevo. De su confrontación con los clásicos griegos y del propósito de reconciliación entre la fe y la razón que dominó en la empresa intelectual de la Edad Media, surgió la ciencia occidental y nuestra Física.

Teniendo en mente las anteriores consideraciones, retrocedo al siglo IV de la era cristiana para exponer el resultado de mi investigación.

## 1. EL COLAPSO DEL VIEJO ORDEN Y EL PRINCIPIO DE LA EDAD MEDIA (SIGLOS IV-IX)

### 1.1. Una época de guerras e invasiones.

La Edad Media surge cuando las formas de gobierno de la Antigüedad se ven sustituidas gradualmente por el nuevo orden feudal que será característico y determinante de una nueva cultura. El inicio de este proceso tiene lugar durante las sucesivas migraciones de los pueblos germanos que invaden y ocupan los territorios que pertenecieron al Imperio Romano. Las necesidades bélicas de esta sociedad en transición imponen un nuevo tipo de organización que permita la manutención y el crecimiento de sus ejércitos. En una época en que la producción agrícola era precaria sólo la explotación de grandes extensiones territoriales permitiría la subsistencia de estos. Así se originaron las reparticiones de tierra a los mejores hombres del príncipe que se comprometían a luchar a su lado siempre que fuera necesario. Es pues, el nacimiento de la relación feudo-vasallaje, característica primigenia del nuevo orden.

A lo largo del período que nos ocupa la guerra fue una constante presencia en el territorio europeo. Las condiciones de inestabilidad política y social que se derivaron imprimieron su huella indelible en todas las relaciones

sociales. Aunque se dieron épocas en que la fuerza política de algunos gobernantes, como Carlomagno (siglo VIII), permitió una cierta estabilidad, y por tanto el desarrollo de manifestaciones culturales, en ningún momento dejó de estar presente la guerra, el hambre y la inseguridad.

### 1.2. La Iglesia.

Ante este panorama caótico la Iglesia Cristiana juega un papel fundamental como la única institución estable en medio del desconcierto. La Iglesia, que ya en el siglo III era la organización política más poderosa, influyente y esparcida del Imperio, extendió rápidamente su influencia entre los pueblos germanos. Así, el cristianismo como lazo común entre vencedores y pueblo sometido contribuyó a la unificación de las nuevas formaciones políticas al derrumbarse el Imperio Romano (15).

En los territorios recién conquistados las instituciones paganas carecían de la estructura centralizada y jerárquica que había de corresponder al nuevo Estado. El cristianismo, en su configuración eclesiástica ofrecía el cuadro opuesto en todos los aspectos. La introducción del cristianismo en un país constituía de inmediato una red de conexiones de naturaleza espiritual y administrativa orientada dearriba a abajo y extendida por todo su territorio (16). Siendo pues, las necesidades del Estado paralelas y complementarias a las de la Iglesia, una y otro se apoyaron mutuamente

para la satisfacción de las mismas.

El triunfo del cristianismo significó, además, que a partir del siglo IV en Occidente, y hasta el ascenso del islamismo en Oriente, toda la vida intelectual, incluyendo la ciencia, se vino a expresar ineludiblemente en función de los dogmas cristianos y, con el transcurso del tiempo, acabó limitada a los eclesiásticos.

Debido a su situación privilegiada, la Iglesia se había convertido en el único ámbito en el que se cultivaban y preservaban los valores culturales de la Antigüedad. Más aún, en poco tiempo, virtualmente todo el ejercicio intelectual, desde los rudimentos de la escritura y la aritmética, hasta el conocimiento del griego (que cada vez será más raro) fueron monopolio exclusivo de la Iglesia. Ante este estado de cosas, los príncipes debían recurrir a la Iglesia para la redacción de textos y decretos de gobierno; debían obtener el personal para sus órganos y cancillerías también de ella; y en virtud de las particulares relaciones entre Iglesia y Estado, el soberano debía rodearse de religiosos educados que lo asesoraran en una eventual toma de partido respecto a una discusión teológica.

### 1.3. La educación.

Si la Iglesia era la depositaria del saber de su tiempo, es lógico que también dispusiera de una organización de carácter educativo con el fin de preservarlo y transmitirlo.

En el seno de los monasterios había escuelas en donde se educaba a los religiosos con el fin de capacitarlos en sus labores misioneras de evangelización. Por ello no es extraño encontrar que las mentes más brillantes de este período pertenecieron a órdenes religiosas con un amplio programa misionero.

La participación del Estado en este tipo de proyectos educativos, aparentemente, fue nula en los primeros siglos del medioevo. Y esto es fácilmente comprensible dadas las circunstancias de inestabilidad de las nuevas formaciones políticas que hacían de la satisfacción de las necesidades bélicas una prioridad. Sin embargo, con Carlomagno (siglo VIII), la situación cambió. Del reconocimiento del imperativo de impulsar el fomento de los bienes culturales surgió la primera escuela palaciega de la Edad Media. Carlomagno, aun siendo analfabeto, encargó a Alcuino, originario de Northumbria, la dirección de la misma. Una de las reformas esenciales de Alcuino fue establecer escuelas adjuntas a las catedrales más importantes. De ellas surgió una brillante generación de filósofos, poetas y prebostes. A esta época, en la que se llevó a cabo un esfuerzo por elevar los estándares culturales mediante el estudio de materias profanas y sagradas, se le ha llamado "Renacimiento carolingio". No obstante, en cuanto a la ciencia, materia que nos preocupa, el renacimiento carolingio no aportó mucho.

#### 1.4. Los albores de la ciencia. San Agustín.

Los pensadores cristianos de este primer período, veían en el cristianismo las respuestas a cuestiones presentadas en la retórica y la filosofía y pretendían que se usara a éstas últimas cuando menos en estudios preparatorios al servicio de la verdad revelada. En general el pensamiento de Platón se veía como la mejor aproximación a la sabiduría cristiana principalmente por la cosmogonía expresada en el Timeo y las enseñanzas sobre la inmortalidad del alma en el Fedón (17).

Entre los padres latinos, Agustín (354-430) dió en el siglo V la más sistemática expresión del pensamiento neoplatónico. Su obra elabora una transición entre el dogma y la filosofía, encontrándose estrechamente enlazadas fe y razón en todos sus desarrollos. Para Agustín como para Platón, el mundo y su desarrollo se concebían como una serie de eventos en el tiempo, y no como para Ptolomeo y Galeno, como un sistema analizable a través de leyes. El mundo fenoménico es un conjunto de apariencias engañosas bajo cuyo incierto contorno se esconde un universo de formas estables. Estudiar a la naturaleza, según Agustín, es estudiar una copia de la realidad, que sin la iluminación de Dios es una empresa sin sentido. Para Agustín lo importante al estudiar a la naturaleza era dar una explicación que "salvara el fenómeno", pues la pretensión de ir más allá era absurda en su concepción pla-

tónica. Así pues, para Agustín como para sus seguidores neoplatónicos el conocimiento verdadero se obtiene a través de un proceso de iluminación.

Desde luego, las concepciones de Platón ya habían sido rebatidas por Aristóteles por contener un número de elementos bastante poco científicos (18). Sin embargo, la importancia de San Agustín está en que puso el acento en la herencia griega como un paso transitorio pero necesario, para educación cristiana. Platón fue así el primer filósofo griego "bautizado", que entra en la corriente del pensamiento medieval bajo el patronazgo de San Agustín y otros pensadores neoplatónicos. Agustín, por su parte, se convierte en el símbolo viviente de la continuidad entre la desvanecida civilización del pasado y la nueva cultura en génesis (19).

La concepción agustiniana del mundo dominó durante el período comprendido entre el siglo IV y el siglo XII. En el siglo IX, Juan Escoto Erígena (n. 877) volvió a subrayar la importancia de Platón. Aunque su interés por la filosofía natural era prácticamente nulo, dice Crombie (20) que el hecho de que entre sus fuentes estuviera incluido Platón, dió a las ideas sobre el Universo un carácter platónico o neoplatónico que perduró cerca de cuatrocientos años.

La razón para mencionar a pensadores que no se interesaron por la filosofía natural al hablar de los "albores de la ciencia", es muy sencilla: fue precisamente del reavivar el interés por los clásicos como Platón, de donde surgió

la revitalización del interés por las ciencias naturales. En efecto, en una sociedad cuya característica más singular era la desintegración política y la inestabilidad, la cosmología idealista e inmutable de Platón parece el contrapeso ideal. Esta es la causa del éxito social de los neoplatónicos. Paralelamente, el cristianismo platonizado ofrece el medio de controlar y explicar el universo natural, cuadro que no está presente en las tradiciones orales alternativas de los pueblos europeos en formación. San Agustín, al forzar la perspectiva de sus contemporáneos y sus sucesores hacia la Grecia Clásica, convierte a la Iglesia en el principal vehículo de preservación y difusión de la ciencia antigua.

#### 1.5. La enciclopedia.

El cristianismo pues, desde su atalaya platónica dominó las mentes de los pensadores de este período. La preservación y difusión de la ciencia antigua que se conservó en la debacle de la guerra se llevaba a cabo, desde el siglo V, a través de modestas resucitaciones del *quadrivium* (21), y dentro del formato de lo que se conocería, a lo largo de la Edad Media, como "la enciclopedia". La enciclopedia era el fruto de una paciente labor de recopilación y un ambicioso programa de codificación que se había iniciado ya en el siglo II como una tradición latina. Sus objetivos eran popularizar y diseminar las teorías y resultados, aunque no el

contenido técnico ni los procecimientos de la ciencia griega.

Entre los siglos IV y VIII los enciclopedistas produjeron una serie de trabajos que tendrían una influencia significativa a lo largo de la Edad Media. En este grupo los más importantes fueron Calcidio, Marciano Capella, Boecio, Casiodoro, Isidoro de Sevilla, y Beda el "venerable". Ellos realizaron traducciones de algunos trabajos de Aristóteles, Platón, Euclides y Arquímedes (estos últimos no se conservaron); dieron énfasis al quadrivium como parte integral de la formación intelectual de sus contemporáneos; y reunieron sus conocimientos y los de sus antecesores en sus enciclopedias.

El trabajo de los enciclopedistas se realizó gracias a la aparición de los monasterios con sus escuelas anexas que se iniciaron en Europa después del año 529. En ellas reestablecieron el quadrivium que se constituyó en el meollo del conocimiento científico de la Alta Edad Media. Las cuatro ciencias matemáticas (aritmética, astronomía, geometría y música) que lo comprendían, recibieron su forma condensada final en manos de los enciclopedistas latinos. En estos enclaves de la Cristiandad se instituyó un sistema educacional basado en la escritura y muchos textos de la ciencia romana que de otro modo se hubieran perdido fueron copiados y protegidos con asiduidad (22).

Aunque cada uno de los enciclopedistas que mencioné

tiene su estilo y características propias, existen elementos comunes en todos ellos. Siguiendo el método de los comentaradores de los textos sagrados, los enciclopedistas trataban de reconciliar los puntos de vista opuestos que encontraban a su paso. Asimismo, y seguramente por mera ignorancia, hablaban de cuestiones diversas como si se tratara de una sola. En resumen: estas obras confrontaban autores subsiguientes en una masa asistemática, caótica y conflictiva de información, frecuentemente irreconciliable e incomprendible, por encima de la cual poco se pudo edificar hasta que estuvo disponible el conocimiento de fuentes árabes y griegas en el siglo XII.

Pese a ello, se encuentran contribuciones positivas en sus obras. Boecio (~480-524) popularizó la división de la filosofía en theorica y practica, la primera ocupándose de la física, la matemática y la metafísica y la otra de ética, administración doméstica y política. Escribió acerca del quadriivium (término que él debe haber introducido para las cuatro ciencias matemáticas de las siete artes liberales), pero sólo sobreviven los tratados de música y de aritmética pitagórica. A esto se añadió traducciones de algunos de los trabajos de Aristóteles, tal vez los Elementos de Euclides y trabajos no especificados de Arquímedes que no se conservaron.

Isidoro de Sevilla (~560-636) incorporó todo su saber en dos enciclopedias que tanto en formato como en contenido

sirvieron de modelo a muchos autores medievales posteriores. La primera de ellas, Sobre la naturaleza de las cosas, trataba de las interrelaciones de los elementos, los humores, los planetas y el hombre. En las Etimologías reúne el saber clásico en gramática, retórica, matemáticas, medicina e historia (23).

Beda "el venerable" (~673-735) escribió dos tratados: Acerca de la división del tiempo y Acerca del cálculo del tiempo, donde se ocupa del cálculo de calendarios y estudia temas como cronología, astronomía, cómputos de calendarios, tablas de Pascua y mareas. Aunque tomó mucho de sus predecesores, especialmente de Isidoro, Beda fue capaz añadir bastante a su escasa herencia. Sus estudios permanecieron como modelos para el cómputo del tiempo y el cálculo de fechas durante muchos siglos. Debido grandemente a su influencia, se comenzaron a fechar los eventos relevantes a partir del nacimiento de Cristo (24).

Con la obra de Beda se completa la suma total de la comprensión científica de la Alta Edad Media. En los trabajos de los enciclopedistas cristianos está plasmado su esfuerzo para fundir las tradiciones orales (25) de los pueblos europeos dentro del contexto de la cultura clásica. Si su motivación fue más la de buscar la literaturización del mundo oral en el que se movían y que pretendían incorporar a su fe, que la de reestablecer una tradición científica perdida, esto se debió a las necesidades prioritarias

de la evangelización. Por ello la tradición monástica continuó siendo pasiva, transmitiendo más que estudiando textos científicos. No obstante, no debe perderse de vista la deuda que Occidente tiene con Isidoro y sus colegas enciclopedistas por su valiente intento de preservar y comprender los residuos harapientos de la ciencia antigua.

#### 1.6. El nivel de comprensión del mundo natural.

Un vistazo a las obras de los enciclopedistas bastaría para constatar la pobreza de la herencia clásica que se había rescatado. No obstante, me parece interesante visualizar, en cada área, las ideas más generales, y comunes, lo que permitirá tener una noción más clara del estado del conocimiento en esta primera época medieval.

##### 1.6.1. Cosmología y astronomía.

De acuerdo con sus raíces griegas, kosmos (universo) y logos (discurso), la cosmología será aquella ciencia que estudia al universo como un todo ordenado y, desde luego, las leyes que lo gobiernan. Siendo la estructura del universo una de las cuestiones que han dominado las mentes de los hombres desde tiempos inmemoriales, es lógico suponer que pese a las catástrofes hélias que asolaron a los europeos durante el medioevo, el intento de formular una cosmología haya sido también dominante durante esta época. Sin embargo, el intento de encontrar "la cosmología de la Alta

Edad Media", explícitamente mencionada en las fuentes ha sido poco remunerativo. Koestler (26), por ejemplo, dice que el nivel de comprensión del mundo natural había descendido tanto en la Alta Edad Media, que los primeros padres de la Iglesia hacen referencia a un mundo plano, chato y cerrado (27). Desde mi punto de vista, tal apreciación adolece de un defecto, ya que al generalizar, engloba a todos los pensadores del período bajo una concepción por demás simplista. Basta recordar que durante la Edad Media, y en particular en sus primeros siglos, los contactos con el mundo bizantino eran frecuentes. Bizancio conservaba textos clásicos en griego, por lo que su concepción del mundo no debía diferir mayormente de la Antigüedad. Así pues, aunque no niego la validez de tales afirmaciones para un grupo restringido de pensadores, considero que siempre hubo otros cuya visión acerca del universo tenían bases más firmes gracias a la observación y a la lectura de los residuos del saber griego (vg. Beda).

Por otra parte, es fundamental tener presente que si Platón era el autor consagrado por la Iglesia, su cosmología aderezada con una variedad de conceptos teológicos, debe haber constituido la imagen del mundo de la Alta Edad Media. Para Platón los cuerpos celestes eran esféricos y estaban ordenados de manera inmutable en esferas cuyos movimientos eran regulares, perfectos y circulares, "formando entre todos ellos la inaudible armonía de las esferas" (28). La con

dición de reposo de la Tierra está presente tanto en la cosmología platónica como en la cristiana, lo mismo que el carácter de orden, regularidad y perfección. Por estas razones considero que de la síntesis de ambas cosmologías surgió una nueva imagen que podemos llamar el "Universo Cristiano".

El universo cristiano será aquél que: a) fue creado por Dios en siete días; b) está constituido por cuerpos celestes esféricos, ordenados armónicamente en esferas cuyos movimientos son regulares, perfectos y circulares; c) en cuyo centro está la Tierra inmóvil, Tierra que es el patrimonio temporal de los hombres y que será destruída al final de los tiempos; d) en donde "no se mueve la hoja de un árbol si no es por la voluntad de Dios".

Es de sobra conocida la preferencia que daba Platón a las matemáticas sobre las demás ciencias, esto influyó en sus ideas sobre la estructura del mundo. Para él, los movimientos de los planetas estaban relacionados matemáticamente, es decir, por números, y la armonía que resultaba obedecía a las leyes mismas de la armonía musical, de la cual, ya en su tiempo, se conocían los principios.

Los pensadores neoplatónicos del medioevo consideraban que la astronomía era de gran relevancia para la situación humana, opinión presente en el Timeo. Boecio, siguiendo a Platón, afirmaba que la comprensión de los movimientos de los planetas debía realizarse con el "uso de los núme-

ros" (29). Isidoro, por su parte, consideraba que la astronomía permitía al hombre elevar su mirada por encima de los asuntos mundanos. Sin embargo, la preocupación dominante de los enciclopedistas a este respecto era la cosmología más que la astronomía matemática.

Isidoro, por ejemplo, dedica gran parte de su sección astronómica, en sus Etimologías, a las constelaciones y su mitología. Sin embargo, existen fragmentos de los trabajos de Isidoro y sus seguidores que tratan de astronomía matemática. Isidoro habla de los ejes del mundo y sus polos; también sabía que el zodiaco es un cinturón de estrellas que se angosta cinco grados de cada lado de la eclíptica (30); no obstante, no tenía nociones de las coordenadas celestes, ni podía precisar las posiciones de las estrellas. Para él, el Sol está hecho de fuego y es más grande que la Tierra y la Luna. La Luna recibe su luz del Sol y sufre eclipses cuando la sombra de la Tierra se interpone entre ella y el Sol. Isidoro habla también del movimiento de Occidente a Oriente del Sol y los planetas. Los planetas tienen movimiento propio mientras que las estrellas están fijas e inmóviles en los cielos y son trasladadas por una esfera celeste, aunque están situadas a distancias diversas de la Tierra. Sus cálculos de los períodos de revolución sólo son correctos para Júpiter y Saturno. También menciona el movimiento retrógrado pero no lo discute. (31)

Beda, por su parte, señala unos tiempos de revolución,

tomados de Plinio, que son mucho más correctos. Sabía acerca de los períodos de visibilidad de los planetas. Parece que Beda, como Plinio, asumía que los planetas se mueven al rededor de la Tierra en círculos excéntricos sin epiciclos. Sin embargo, su modelo es incapaz de dar cuenta del movimiento retrógrado, cuestión de la que parece no haberse percatado.

En el siglo IX, Erígena revivió el sistema llamado geoheliocéntrico, de acuerdo con el cual Venus y Mercurio se mueven en círculos alrededor del Sol mientras que el Sol se mueve alrededor de la Tierra (32). No está claro si amplió su teoría para los demás planetas (Marte, Júpiter y Saturno).

A pesar de lo escaso y erróneo de sus conocimientos, los astrónomos de esta época pudieron desarrollar una disciplina conectada con la astronomía: la ciencia del cálculo de la fecha de Pascua. Las primeras instrucciones sobre cómo llevar a cabo este cómputo fueron proporcionadas por Beda. En su tratado De temporum ratione expone cuidadosa, detallada y correctamente todos los problemas relacionados con el cálculo del tiempo. Este libro se convirtió en la base de la ciencia medieval de computus, disciplina matemática de altos niveles y relevancia práctica inmediata. Sin embargo, sus conexiones con la astronomía eran indirectas. Beda comprendía el nodo en que los calendarios civiles y eclesiásticos dependían, respectivamente, de los movimientos

del Sol y la Luna. Pero sus métodos calendáricos no estaban basados en un teoría geométrica de estos movimientos ni dependían de la observación astronómica. En cambio, estaban fundamentados en métodos puramente aritméticos y en parámetros heredados de la Antigüedad.

En el renacimiento carolingio, con su acento educativo, la enseñanza de la astronomía se colocó en una posición más firme. Un manual anónimo de esta época, De mundi coelestis terrestriue constitutione, revela el cuidado con el que se definen términos técnicos (33). Se empiezan a hacer distinciones entre los períodos sinódicos y siderales (34), y se separan algunos problemas intrincados en diferentes cuestiones. Además se experimenta con nuevos métodos matemáticos para describir el movimiento planetario. Existe un diagrama del siglo IX con un conjunto de círculos concéntricos sobre el cual, pueden representarse tanto el movimiento directo e indirecto en longitud, como el movimiento en latitud (35).

Por otra parte, la astronomía carolingia padecía de la falta de conexión entre observación y teoría. La astronomía teórica se limitaba a los pálidos residuos de la astronomía clásica, copiada, repetida, pero nunca entendida o contrastada. Mientras tanto, para la observación los carolingios no poseían otro instrumento que el burdo cuadrante solar. Los registros observacionales de este período se limitan, generalmente, a breves notas sobre los eclipses en los calendarios, obituarios y anales históricos. La causa fun-

damental de este nivel tan bajo en la práctica astronómica se halla en las limitadas y poco confiables fuentes con las que empezó la Edad Media. Señala Pedersen (36), que el hecho de que las discusiones astronómicas estuvieran repletas de citas de Virgilio en vez de Ptolomeo revela, más que cualquier otra cosa, con cuán poco contaba la Alta Edad Media para trabajar (37).

#### 1.6.2. Matemáticas.

Pese a la influencia de Platón entre los siglos VI y XI poco se sabía de matemáticas y menos aún se investigaba. El factor más importante para que así ocurriera era la ausencia de una tradición histórica que se remontara a la matemática griega. Las culturas bárbaras que sucedieron al dominio romano carecían de una tradición matemática propia y seguían por ello la pauta romana. Pero los romanos se habían interesado poco en las matemáticas más allá de sus aplicaciones prácticas a los negocios y la agrimensura. Según Mahoney (38), suceder a los romanos en matemáticas era ser los herederos de nada más allá de los rudimentos de la aritmética computacional en el ábaco y la geometría de mediciones inmediatamente aplicables a la práctica.

A pesar del trabajo de los enciclopedistas como Boecio, que tradujo parte de Euclides, e Isidoro que considera a la aritmética como "elemento indispensable para el conocimiento exacto de las Escrituras" (39), el resultado mues-

tra lo poco que había entre los romanos de matemáticas griegas y lo paupérrimo de la herencia recibida por los medievales. La falta de una tradición intelectual en esta disciplina, por otra parte, les impedía darse cuenta de lo que les faltaba.

Si, además, el interés prinordial en el estudio de la aritmética era su inmediata aplicación práctica, existía un factor más que dificultaba aun la ejecución de las operaciones básicas: el uso de los numerales romanos. Trate el lector de realizar una simple suma donde los sumandos tienen más de cuatro cifras. La tarea es abrumadora si se observa que este sistema no es posicional y que además no tiene cero. El mercader medieval debía hacer sus cuentas con los dedos, para lo cual existía una técnica especial, o usando el ábaco, cuyo manejo se transmitió también oralmente hasta el siglo IX (40).

El aprendizaje obtenido del *quadrivium* era, pues, muy limitado. La aritmética, que una vez se consideró esencial para la investigación filosófica, ahora se enseñaba en relación al cálculo de fechas y para su uso en pesos y medidas. Similarmente, la geometría se estudiaba como un instrumento útil para la agrimensura, la geografía y la arquitectura. La astronomía, como ya señalé, se limitó al propósito práctico de calcular fechas religiosas movibles de acuerdo con las fases de la Luna. Y finalmente, la música se consideraba como un arte para ser ejecutado, con énfasis en las re-

glas para la actuación coral e instrumental (41).

### 1.6.3. Frutos científicos de la Alta Edad Media.

Vista dentro de un amplio contexto en el que la situación social era altamente inestable, la labor de los pensadores de estos siglos es digna de reconocimiento. Si a pesar de sus esfuerzos el conocimiento de la naturaleza siguió siendo rudimentario en la Alta Edad Media, no fue debido a su inactividad. Muchos factores contribuyeron a que los resultados, a nuestros ojos, parezcan nimios. Las guerras y la destrucción y hambrunas consiguientes propiciaron muchas veces que las empresas educativas se vieran truncadas. Este es el caso del movimiento intelectual del carolingio que se vió frenado por una oleada de invasiones. Por otra parte, el estudioso carecía de la comunicación y los contactos con sus colegas para el enriquecimiento de sus trabajos y la solución de problemas. Un tercer factor que fue decisivo fue el hecho de que el conocimiento del griego que hubiera permitido la traducción de obras fundamentales se fue haciendo cada vez más raro con el transcurso del tiempo. Boecio fue el último filósofo bilingüe de la Alta Edad Media, condición que le permitió hacer de su obra una de las más ricas de este período. Por último, la singular situación de la Iglesia hacía que el conocimiento de la naturaleza fuera considerado de importancia secundaria. Según los historiadores (42), el interés por los hechos naturales residía en

encontrar ilustraciones de las verdades religiosas y morales. Puedo concluir, por tanto, que las contribuciones más permanentes al conocimiento científico fueron indirectas: el hábito de copiar e intercambiar textos para mejorar su exactitud, la renovación del interés por la astronomía, fruto de la obra cronológica de Beda y la compilación de bestiarios con fines moralizantes.

Sin embargo, quiero hacer énfasis, en la importancia que tuvo para la formación de la cultura occidental, y en particular de la ciencia, la existencia de una comunidad entre cuyos propósitos estaba el conocimiento y que absorbió muchas de las tradiciones orales de los germanos dentro de la trama del saber clásico. Esta fusión marcó los primeros rasgos de la nueva ciencia, nuestra ciencia, que cristalizaría dentro de la misma Edad Media como el producto de la interacción de varias culturas. Para que esto ocurriera, deberían producirse, en la cristiandad, cambios radicales, tanto en el ámbito de la tecnología como en el de las estructuras sociales.

Para finalizar este capítulo quiero hacer un breve resumen de las características de la Alta Edad Media. La principal de ellas y la más determinante, es el nacimiento del sistema feudal cuyos orígenes se encuentran en la introducción del estribo que revoluciona el modo de pelear en la guerra y da lugar al feudalismo como sistema económico diseñado para producir y sostener a la caballería (43). Con el

desarrollo de la tecnología bélica se condiciona la división de las clases sociales separando a la aristocracia guerrera de la masa campesina.

Si la guerra es la cualidad más significativa de este período, la Iglesia, en su modalidad de institución firme y estable adquiere una preponderancia tal que interviene en todos y cada uno de los asuntos de la sociedad medieval, en particular, como depositaria de los bienes culturales.

De la relativa estabilidad que vivió el período carolingio se derivó el resurgimiento de manifestaciones de civilización como las ciudades, el comercio, la moneda y la educación institucional. En lo que a la ciencia respecta, la importancia de este período radica en la continuada labor enciclopedista que impidió que se perdiera por completo la escasa herencia clásica que había sobrevivido; en la labor educativa de los monasterios que permitió la constante formación, en materias sacras y profanas, de frailes que constituyeron las primeras comunidades de estudiosos y de donde surgieron los grandes pensadores de la Edad Media; en la fusión de las tradiciones oral (germana) y escrita (cristiana y clásica) que marcó los caracteres de la ciencia occidental; en la vuelta a los clásicos vía Platón, cuya influencia se extendió por toda la Cristiandad a lo largo de la Edad Media, y que fue determinante para el desarrollo de ciertas áreas del conocimiento (44).

Si a algunos de nosotros, descendientes y herederos

de estos primeros artesanos de la ciencia occidental, nos parece nimia su trascendencia, es necesario recordar que el crecimiento de la empresa científica está íntimamente relacionado con las condiciones sociales en las que ésta se verifica. Además los posteriores desarrollos, que detallaré en su momento, difícilmente podrían haber ocurrido sin el esfuerzo desplegado por estos primeros pensadores medievales.

## 2. EL FEUDALISMO CLASICO Y LA ESTABILIDAD SOCIAL (SIGLOS X y XI).

### 2.1. La revolución verde.

Si el período anterior estuvo caracterizado por la inestabilidad social y la constante presencia de la guerra, esta época estará determinada por las innovaciones tecnológicas que darán lugar a cambios en las estructuras sociales y al logro de la estabilidad (45). Los progresos técnicos que se verifican entre los siglos X y XI, dan lugar a un auge agrícola de tal magnitud que se reconoce como la primera revolución verde de Europa. A partir del siglo X se difunde el uso del arado pesado, innovación que permite el ahorro de trabajo y el incremento del área de cultivo. Aunado a ello, se desarrolla el arnés de collera que, junto con la herradura clavada hacen del caballo una ventaja económica. Además, se introduce un nuevo método de cultivo (46) y viene un auge en el aprovechamiento de las fuentes de energía provenientes de las corrientes y caídas de agua y viento, con la generalización del uso de molinos.

La productividad agrícola aumenta en un 50%, y como consecuencia, el precio de las mercancías baja y el mercado se amplía. El desarrollo agrícola y el progreso comercial se manifiestan en la expansión de mercados y el desarrollo ur-

hano, signo bastante espectacular de la explosión demográfica. También fue de capital importancia para el florecimiento de las ciudades la diversificación de aplicaciones de los molinos. Ahora no sólo se usan para moler grano, sino que accionan sierras y batanes, facilitando la labor de los artesanos con la creciente mecanización de las industrias.

Al tiempo que los comerciantes y artesanos asentados en las ciudades empiezan a adquirir una cierta fuerza dadas sus actividades económicas, el sistema feudal se ve fortalecido. La Baja Edad Media (siglos X al XIV) ha sido caracterizada como la era del feudalismo clásico. El dominio ahora es hereditario y la acumulación de poder político en manos de los señores es tal que prácticamente son autónomos del monarca. La Iglesia, por su parte, no ha perdido su papel preponderante en la vida medieval. En el siglo X, Gregorio VII, promueve una reforma destinada a construir una organización que pudiera controlar las vidas y el pensamiento de todos los miembros de la cristiandad, desde los reyes hasta los siervos.

Todos estos cambios en la vida social y política del medioevo, que se iniciaron en el siglo X, son explicables a partir del auge agrícola. Es de comprenderse que en una sociedad en donde nueve décimos de la población se dedican directamente a la explotación de la tierra, cualquier cambio en el clima, fertilidad del suelo, tecnología, o cualquier otra condición que afectara a la agricultura, necesari-

riamente modificaría a la totalidad de la sociedad: población, riqueza, relaciones políticas y expresiones culturales (47).

## 2.2. El interés por las artes prácticas.

En los siglos X y XI se contempla una renovación en el interés por la geometría y las mediciones (¿tal vez sería posible vincularlo con el desarrollo de la propiedad feudal?). Este resurgimiento está señalado por el Computus de Helpérico de San Gall (s. X), un conjunto de tablas para cálculos astronómicos y de calendario, y manual de aritmética al mismo tiempo (48). Alrededor de la misma época, hubo intentos aislados de cuantificación que culminaron en la medición de Walcher de las diferencias longitudinales que separan Italia e Inglaterra, realizadas por medio del eclipse lunar del 19 de octubre de 1091 (49). En el siglo XI se intentó la aplicación de la geometría a la agrimensura. Esta práctica se demuestra en el redescubrimiento hecho por Gerberto de Aurillac del Cornus agrimensorum. Esfuerzos destinados a resolver problemas más teóricos se contemplan en el elemental De quadratura circuli (Sobre la cuadratura del círculo), escrito en 1050 por Franco de Liège, que resuelve la cuadratura del círculo uniendo pedacitos de pergamino. Otros tratados como la Segunda Geometría y una compilación de las lecciones de Euclides sobre el óvalo, así como el Cornus agrimensorum suministraron a Occidente su

primer contacto con los numerales árabes (50).

### 2.3. Los primeros contactos con el Islam.

El interés en la matematización no estaba limitado a los europeos. Desde el siglo X, la España musulmana proveía a los centros de la intelectualidad, tratados sobre el cuadrante (51). En términos generales, el espíritu de resolver problemas estaba apareciendo con más frecuencia en la vida intelectual del hombre. Esta actitud se vió reflejada en el intercambio cultural que se inició por entonces con los centros de saber árabe situados en España. En este sentido afirmo que los musulmanes fueron sólo un factor, de importancia vital por supuesto, entre muchos otros que acompañaron los cambios que en todos los ámbitos de la sociedad se sucedieron y que tendrían su culminación en el punto más relevante de la ciencia y la cultura medieval europea del siglo XII.

Para completar este capítulo, por lo tanto, es necesario volver la vista a los musulmanes asentados en España desde el siglo VIII. Pese a la proximidad geográfica, aún en el siglo X, eran considerados como una presencia extraña en el mundo europeo. Esta actitud fue cambiando poco a poco al establecerse los primeros intercambios comerciales y culturales.

Con la expansión territorial del Islam, hacia el siglo VII los musulmanes llegaron a dominar regiones en donde se había depositado el saber griego. Para el siglo VIII, inicia-

ron la labor de traducción al árabe de los textos griegos que encontraban a su paso. Pero el conocimiento clásico, en manos de los musulmanes, no sólo se afirmó bajo su influencia, sino que en algunos casos fue superado. De hecho, recibió nueva vida y no fue transmitido sin sufrir cambios.

Según Stock (52), hubo tres factores interdependientes que estimularon la tradición científica islámica: las traducciones, la fuerza cultural de su nueva religión y la asimilación de escribas no árabes. Además, en opinión de los lingüistas, el árabe es una lengua idónea para expresar construcciones científicas. El modelo para la transformación que se operó en su cultura era el Corán mismo que exigía la arabización del conocimiento para su comprensión. Esto llevó al pueblo islámico a una tendencia omnicomprendiva que dio a su ciencia, al incluir el conocimiento y el trabajo de escribas de otros pueblos, una peculiar ventaja respecto a la ciencia clásica.

De los siglos IX al XI la ciencia árabe estuvo en pleno florecimiento. Las características particulares del Renacimiento islámico, así como su final declinación, merecen estudio detallado. En este trabajo me limito a señalar la importancia que tuvo este fenómeno para la ciencia occidental.

#### 2.4. Una nueva actitud ante la naturaleza. Gerberto de Aurillac.

La nueva mentalidad occidental, influida tanto por los

intereses prácticos, como por los contactos con el mundo árabe, puede compendiarse en la figura de Gerberto de Aurillac (~930-1003), de origen francés, quien más tarde sería el papa Silvestre II. Gerberto fue un práctico matemático que ejemplifica el crecimiento de la cultura científica en el Norte y el ascenso a papeles más importantes en la jerarquía eclesiástica de personalidades de origen galo. Gerberto usó los contactos de la Iglesia en el Norte de España para adquirir algunos tratados árabes traducidos al latín. De los frutos de su investigación Gerberto hizo contribuciones en tres áreas de gran interés para los dos siglos que le sucedieron: el ábaco, el algoritmo y el astrolabio (53). Escribió un tratado sobre el ábaco, instrumento de cálculo que tenía fascinada a toda Europa y que hizo tanto para transformar las operaciones comerciales hasta la aportación aritmética de Leonardo de Pisa.

Su sistema permitía realizar las operaciones de suma, resta y multiplicación aún con el uso de los numerales romanos. Gerberto también se dio cuenta de la importancia de los numerales indo-arábigos (excepto el cero). Hasta el siglo XVIII, el término usual para este sistema de notación fue "algoritmo", derivado de una degeneración del nombre al-Khwarizmi (i. e. algoritmi) en traducción latina (54). De 972 a 989, enseñó las siete artes liberales en la escuela catedralicia de Reims, haciendo en las matemáticas y la astronomía. Construyó una esfera que simulaba los movimien-

tos de las constelaciones, usando alambres fijos en la superficie de la esfera para esquematizar las configuraciones estelares. Con la introducción del astrolabio, por otra parte, fomentó el interés en la astronomía que había abierto la obra de Beda.

En los trabajos de Gerberto se siente la inclinación pragmática del intelectual occidental dando sus primeros pasos hacia una ciencia más vinculada con la experiencia. Sus discípulos, profundamente impresionados, extendieron sus enseñanzas enfatizando el lugar de la ciencia como parte integral de las artes liberales. Muchas de las escuelas catedráticas que se hicieron preminentes y reemplazaron a las escuelas monásticas como centros de enseñanza durante los siglos XI y XII fueron fundadas o reanimadas por sus discípulos más eminentes.

En este ambiente intelectual se nutrió el interés por materias seculares y científicas, interés que trajo consigo un mayor entusiasmo por los trabajos de la Antigüedad. Durante los siglos XI y XII se desarrolló una veneración por el saber clásico que se manifestó en la movilización de los intelectuales europeos para adquirir la herencia científica del pasado. A partir de este momento se constituye uno de los puntos cruciales en la historia de la ciencia occidental y de la historia intelectual en general (55).

### 3. LA CRISTIANDAD EN EXPANSION (SIGLO XII).

#### 3.1. La expansión territorial.

Los siglos X y XI no sólo terminaron una fase de expansión agraria, también inauguraron la primera revolución industrial, comercial y artística de Europa Occidental. El fortalecimiento económico que se gestó en esta época, junto con la consolidación de las instituciones permitió que las invasiones que hasta entonces habían assolado su territorio cambiaran de sentido. Son ahora los europeos quienes marchan a buscar fortuna en las lindes y fuera de la Cristiandad. La explosión demográfica ha multiplicado a los hombres y el territorio que ocupan no es suficiente para asegurar el trabajo y la subsistencia del excedente poblacional.

En este marco se inicia la reconquista de España, la expansión de Alemania y la de los normandos. También las cruzadas se insertan en esta época con el doble incentivo de los bienes materiales y espirituales que se podían ganar (56). De este modo es válido caracterizar al siglo XII como la era del expansionismo territorial de Occidente.

La consecuencia más significativa de este movimiento expansionista fue el crecimiento comercial que se dió con la ampliación de sus mercados y la formación de verdaderos imperios mercantiles en Oriente. Su éxito fortaleció los

capitales en las ciudades italianas y aceleró el desarrollo del comercio en Europa.

### 3.2. El flujo de las ideas.

Con las ciudades como sus centros nerviosos, Europa despertó a un universo intelectual en el que las ideas como las mercancías empezaron a fluir fácilmente a través de sus fronteras internacionales. El mismo comercio que remonetizó economía, estableció una incipiente comunidad de intelectuales, cuya comunicación desinhibida sería la condición necesaria para el avance del saber (57). La característica principal del nuevo intelectual era que, como el artesano urbano, se trataba de un especialista. Con el renacimiento comercial de Occidente, primero en las escuelas catedralicias y después, en el siglo XIII, en las universidades, el peso del material tradicional forzó un progreso en las ideas a través de una creciente abstracción, clasificación y especialización del lenguaje. Las condiciones más liberales de las ciudades que habían alcanzado su autonomía fueron el clima ideal para el florecimiento del nuevo saber.

### 3.3. El papel de la Iglesia y la influencia de los intereses prácticos.

La Iglesia, por su parte, en tanto que evangelizadora, jugó un papel clave dentro del movimiento expansionista, que impulsaría el trabajo de los traductores. Sus autoridades te

nían gran interés en el estudio de lenguas no occidentales así como en la continuación de los contactos con los mundos musulmán y bizantino, establecidos por la reconquista de la Península española y los esfuerzos de los cruzados en el Cercano Oriente (58). Fue por ello que se fomentó el flujo de estudiosos occidentales a los centros de saber árabes. El conocimiento de otras lenguas permitiría la evangelización, y el acceso a los centros de saber no cristianos redundaría en el establecimiento de enclaves occidentales en otras tierras.

Otro factor, que ya señalé en el capítulo precedente, es la influencia de los intereses prácticos, que empujó a la intelectualidad occidental a buscar respuestas en los textos griegos y árabes. Así pues, la labor de traducción del siglo XII no puede contemplarse como una pura "hambre intelectual" de los europeos, como insisten en señalar muchos historiadores. Sin embargo, reconozco que de ninguna manera estoy tomando en consideración todas las fuerzas de orden social y de otro tipo que impulsaron este movimiento. Considero que un estudio profundo al respecto debe hacerse (59).

### 3.4. Las Traducciones.

#### 3.4.1. Características y dificultades.

La transmisión cultural que nos ocupa, dice Bernal (60), tuvo un carácter enteramente diferente a las ocurridas en épocas anteriores. En este caso se trata de la entrega de los frutos de una cultura en pleno vigor y no del traspaso

de una tradición prácticamente muerta. Además, las ideas transmitidas representaban para Occidente una nueva recepción de la cultura helénica que ya constituía el cimiento del saber medieval. Y no sólo eso, sino que los propios musulmanes enfrentaban el problema del conocimiento con el mismo espíritu de reconciliación entre la fe y la razón que los pensadores cristianos.

Estas condiciones posibilitaron el movimiento intelectual sin precedentes cuya cúspide se encuentra en el siglo XII. Durante su transcurso el interés por las traducciones se amplió en dos direcciones: por una parte hacia textos de saber filosófico y científico en general, ya que antes se limitó a obras médicas y astronómicas; por otro lado el movimiento se difundió a todo lo largo de Europa, dándole así un carácter internacional que queda de manifiesto en las diferentes nacionalidades de los traductores más destacados.

De todos los centros españoles de traducción el principal fue Toledo. Ahí se reunieron los europeos con los nativos árabes, judíos y cristianos, y unieron sus esfuerzos para pasar la ciencia, la técnica y la filosofía del lenguaje árabe al latín, lengua que Occidente había convertido en el vehículo de comunicación universal y de expresión de su pensamiento. En términos generales cada traductor trabajaba en aquellos textos escritos en la lengua que dominaba. Si era ésta el árabe, traducía directamente, si no, hacía

equipo con un árabe o un judío. Ocasionalmente, si sabía español se unía con alguno que tradujera del árabe al español, y luego él lo transcribía al latín. Esto produjo que una sola traducción al latín pasara por una cadena de lenguas y, durante el proceso sufriera una distorsión significativa de su contenido. Un factor de capital importancia para que esto ocurriera era la falta de un vocabulario técnico en el latín, lengua que había sido durante siglos inocente a los nuevos conocimientos. De cualquier modo, las deformaciones eran inevitables. Es en este sentido que cabe señalar la "imposibilidad" de la traducción que sostiene la lingüística moderna que discutí en la introducción. Sin embargo, es digno de apreciarse el enriquecimiento del vocabulario con el que se beneficiaron las lenguas occidentales al introducirse términos árabes en su seno.

Es característica de este proceso la falta de orden y coherencia. No existió una dependencia, dice Lindberg (61), que coordinara los esfuerzos y asegurara una adquisición ordenada y sistemática del saber griego y árabe. Los traductores transcribieron al latín lo que les interesaba a ellos o a sus patronos y los textos que estaban más a la mano. Así, la brevedad y la disponibilidad fueron factores cruciales para decidir si una obra se traducía o no. Algunos trabajos de gran significación se ignoraban mientras que obras menores y muchas veces triviales se traducían y estudiaban sucesivamente con gran asiduidad. Otra medida de la falta de

sistematización es la duplicación de esfuerzos en torno a una misma obra.

Además de las dificultades que mencioné, el traductor se enfrentaba con tratados técnicos de temas no familiares que requerían de conocimientos previos, además de que los manuscritos eran con frecuencia difíciles de leer o estaban defectuosos. Por ello, la suma de los logros totales de este movimiento es altamente impresionante. Vistas como un todo, las traducciones proporcionaron a la Cristiandad Occidental un adecuado conocimiento de los logros intelectuales griegos y árabes y, por tanto, el material básico con el que construiría su propio sistema de ciencia y filosofía.

#### 3.4.2. Frutos.

Las traducciones del siglo XII afectaron inevitablemente diferentes disciplinas de maneras diversas, pero su impacto fue inmediato. A principios del siglo XII estuvieron disponibles los Elementos, Data y Optica de Euclides; las tablas trigonométricas y astronómicas y el Algébra de al-Khwarizmi. Hacia 1160 aparecieron versiones latinas del Almagesto. Mientras que la Física de Aristóteles no estuvo disponible en su totalidad hasta 1200, en esta época se conocían fragmentos de su Librii naturales elaborados por autores médicos. Por otra parte, se estudiaba asiduamente a Calcidio, el más conocido comentador de Platón. Con estas toscas guías las mentes del siglo XII empezaron a reconsiderar la teoría física a lo largo de nuevos lineamientos.

### 3.5. El nuevo filósofo natural. Chartres.

En las escuelas de Chartres, París y otras al Norte de Francia los maestros intentaron dar la primera explicación del universo en términos de causas naturales. Thierry de Chartres en un comentario del Génesis intentó dar una explicación racional de la Creación y declaró que era imposible entender la historia de ésta sin la formación intelectual del quadrivium, pues toda explicación racional del Universo dependía de las Matemáticas. Su Física sugiere que el Universo creado por Dios está compuesto esencialmente de materia y número. Su cosmología era fundamentalmente platónica (62). La caída y elevación de los cuerpos fue explicada de acuerdo con el Timeo, suponiendo que los cuerpos de naturaleza semejante tendían a estar juntos. El espacio, para Thierry y sus contemporáneos, era un plenum. El movimiento, por tanto se realizaba al desplazar un cuerpo a su vecino y ocupando su lugar. La influencia directa del Timeo sobre ellos se patentiza en la creencia acerca de la indestructibilidad de la materia y en su explicación de las propiedades de los elementos en función del movimiento de las partículas en las que la velocidad y la solidez eran complementarias, porque ningún cuerpo podía ser puesto en movimiento sin la correspondiente reacción sobre un cuerpo inmóvil (63).

Participaron también en este movimiento Guillermo de

Conches, quien adoptó una forma de atomismo basada en las ideas de Platón y Lucrecio. Bernardo Silvestre, por su parte propuso una teoría del cambio material que da cuenta de la forma interior ideal y exterior tangible de las cosas. Guillermo, Thierry y Bernardo retomaron el problema platónico de "salvar las apariencias", pero en ellos no era el modelo lo que las salvaba, sino el mundo real quien salvaba al modelo (64).

La mezcla de tradición e innovación del siglo XII puede discernirse claramente en la carrera del más temprano representante de la nueva ciencia, Adelardo de Bath. Una vez que Adelardo dominó el saber de las escuelas catedralicias, fue en busca de textos árabes a Sicilia y tal vez también al Cercano Oriente. Tradujo las Tablas astronómicas de al-Khwarizmi e hizo la primera traducción completa de los Elementos de Euclides, fundamento de la matemática occidental. Adelardo el innovador, transfirió a Occidente material astronómico y matemático de fundamental importancia y señaló la necesidad de basarse en los sentidos para adquirir el conocimiento. En contraste, su parte tradicionalista no había asimilado completamente el saber que transmitía y seguía siendo el humanista que derivaba su información de las autoridades tradicionales. En algunos de sus trabajos Adelardo puede desligarse del viejo platonismo, mientras que en otros vuelve invariablemente a la tradición platónica.

El centro occidental de actividad científica más impor

tante durante este período, fue la escuela de Chartres. Las cualidades que la hicieron sobresalir fueron el naturalismo filosófico, la exactitud en la lectura de textos antiguos y la negativa a comprometer el ideal humanístico de una educación completa por la unilateralidad de la Lógica. La tradición de este centro se remonta a Fulberto (m. ~1028) y continúa en las personalidades de Bernardo de Chartres, Thierry y Guillermo de Conches. En el siglo XII se vió enriquecida por la presencia de viajeros como Adalardo de Bath, Bernardo Silvestre, Herman de Carintia y Juan de Salisbury. La importancia de Chartres está en la adaptación de nuevos ideales culturales: la defensa de los estudios seculares como parte integral de la educación cristiana; la delimitación de lo cognoscible en disciplinas cuya comprensión se lograba a través de la razón pura y la reintroducción de la idea de Naturaleza como un sistema consistente que obedece a un conjunto de leyes verificables. Estos principios, ya presentes en las obras de Casiodoro, Boecio y Beda, adquirieron nuevo significado y cometido en Chartres y desde ahí influyeron a los nuevos intelectuales de la Cristiandad (65).

### 3.6. Las nuevas ideas y la ruptura con el platonismo.

Durante la primera mitad del siglo XII hicieron su aparición una serie de ideas destinadas a jugar un amplio papel en la historia subsecuente de la ciencia medieval. Una de ellas era la eternidad del mundo, concepción que viene

en las obras de Ptolomeo, Galeno, y Aristóteles. Inmediatamente relacionada con la eternidad del mundo está la cuestión de la interpretación del mundo, bien platónicamente, o como un estado dinámico, independiente de su creación. En el camino hacia la elucidación de estas cuestiones fue emergiendo, por un lado la matematización de las ciencias físicas, y por otro, la especificidad de las diferentes disciplinas hacia su autonomía respecto a la filosofía y la teología. En este momento crucial podemos apreciar la ruptura entre la influencia de Platón y el renacimiento de Aristóteles. Alrededor de ella cristalizó la aparición de la Naturaleza como entidad organizada y racionalmente discernible.

3.7. La revaloración de las artes mecánicas.

De la mano con la revaloración de la realidad fenoménica vino un crecimiento en el interés por las artes mecánicas. El siglo XII se encuentra situado en la mitad del camino entre el rechazo de la Antigüedad por estas disciplinas y su amplia aceptación en el Renacimiento con la expansión industrial que va surgiendo en su transcurso. El autor que enunció más claramente esta doctrina fue Hugo de San Víctor (m. 1141), quien dividió a la filosofía en teórica, práctica, mecánica y lógica. (66). Con él la tecnología se elevó al mismo status que las ciencias (67).

Al revalorar las artes mecánicas, Hugo y sus contemporáneos abrieron la posibilidad de relacionar la teoría he-

redada con la práctica acumulada. La novedad no surgió de ninguna disciplina en particular sino de un cambio en los hábitos de pensamiento de una sociedad situada en una coyuntura de cambios sociales significativos. El mundo del siglo XII explora nuevas técnicas, que se difunden con gran rapidez para beneficio de la clase social en ascenso, la burguesía. Esta nueva sociedad daría fin a la era de la teoría pura. Según Stock (68), lo normativo, lo experimental, la regla empírica, habían emergido como líneas legítimas de acción. La ciencia latina de la segunda mitad del siglo XII en adelante estará caracterizada por el neo-empiricismo, la ampliación del interés en teoría y práctica y la tácita aceptación del vínculo entre innovación técnica y progreso económico.

### 3.3. El siglo XII. Reconsideraciones.

El análisis previo intenta dar cuenta de la fertilización cruzada que ha tenido lugar en la ciencia medieval. Por una parte, la sociedad cambiante que le imprime sus características, en segundo lugar la ruptura entre el neoplatonismo tradicional y el racionalismo aristotélico, y en tercer lugar la influencia indeleble del saber griego y musulmán que se procuró en este período.

Sin las aportaciones de los traductores de los siglos XII y XIII, en opinión de Grant (69), la Revolución Científica del siglo XVII difícilmente podría haber ocurrido. La

masa de ciencia nueva abrumadora, tanto en sus alcances, como en su magnitud, debía primero ser absorbida, proceso que ocupó todo el siglo XIII. Después vino un período de elaboración detallada y alteración definitiva. La visión aristotélica del mundo que trajo consigo fundamentó la filosofía escolástica y llevo también a su crítica posterior. Más aún, los problemas científicos más revolucionarios que se resolvieron finalmente en el siglo XVII entraron a Europa Occidental con las traducciones.

#### 4. EL IMPACTO DEL NUEVO SABER (SIGLO XIII).

##### 4.1. Las innovaciones técnicas y su interdependencia con la ciencia y la sociedad.

La expansión comercial de Occidente, que ocurrió con las cruzadas, así como los progresos técnicos y agrícolas que preceden este período, tienen su plena realización en el siglo XIII. A lo largo de él, nuevamente la tecnología ocupará un lugar relevante, así como los problemas prácticos derivados de los cambios sociales que se originan.

Un área en donde se ve claramente esta interdependencia es el comercio. Estimulado por los factores que ya mencioné, se vio nuevamente favorecido con el uso de artefactos como la brújula y el timón de codaste, que facilitaron el comercio marítimo. Los problemas aritméticos surgidos en relación con los intereses, el cambio y el descuento, por su parte, fueron incentivos de gran importancia para la investigación matemática. Así, Leonardo Fibonacci de Pisa (m. ~1240), hijo de un comerciante, escribió el Liber Abaci donde explicaba extensamente el uso de los numerales arábigos. Esta obra tuvo una influencia significativa en el auge comercial del siglo XIII, pues facilitó las tareas de cómputo al difundirse con amplitud en los medios comerciales. Paralelamente, el poder que los comerciantes habían acumulado

en este período era tan grande que originó un cambio en la actitud de la Iglesia frente a las prácticas de usura. El comercio empieza a considerarse un "trabajo" para beneficio de la comunidad, cuyas ganancias deben contemplarse como justa remuneración.

La gran expansión del uso de molinos de agua y de viento, así como la diversificación en sus aplicaciones cada vez más acentuada, que tuvo lugar en estos años, junto con el crecimiento de la industria, produjo una etapa esencialmente nueva en la técnica mecánica. La acelerada difusión del uso de estas fuentes de energía hace que se sustituya rápidamente el trabajo humano en las industrias básicas. Asimismo, artilugios e instrumentos mecánicos de la Antigüedad como las bombas, las prensas, las catapultas, las ruedas dentadas y los martinets; así como el tornillo, la rueda, la leva, el trinquete y la polea, se utilizan en una escala hasta entonces desconocida. A ellos se une la manivela, invento medieval que hizo posible convertir el movimiento de vaivén en movimiento rotatorio, técnica básica de la maquinaria moderna. El pedal también hizo su aparición en el siglo XIII en máquinas como el torno, la sierra y los telares. Como consecuencia, el siglo XIII presenta un considerable aumento en la productividad de los artesanos (70).

#### 4.2. Una clase en ascenso. Consecuencias.

El desarrollo y la aplicación de esta tecnología pro-

dujo en la Edad Media la misma clase de cambios y trastornos económicos y sociales que se reproducirían, en escala mayor, en los siglos XVIII y XIX. La sociedad del siglo XIII lleva el germen de la transformación del régimen feudal. El crecimiento del comercio y la superación de las técnicas lo impulsan hacia una economía mercantil y monetaria. Esta conlleva la ascensión cada vez más segura de una nueva clase social, la burguesía. El reconocimiento de este poder afecta a todas las clases sociales: clérigos, nobles y campesinos. Los clérigos, como clase, requerirán de una reestructuración institucional y del fortalecimiento de su aparato ideológico para no perecer. La Iglesia del siglo XIII se hace de un arma nueva y poderosa al autorizar las órdenes mendicantes y predicadoras (franciscanos y dominicos), que surgieron como expresión y también, parcialmente, como reacción, ante el cambio de las condiciones existentes (71). Las órdenes mendicantes, iniciadas por San Francisco de Asís (1182-1226), reflejaron en un principio la rebelión de los habitantes más pobres de las ciudades contra la riqueza de los detentadores del poder. Ante el éxito popular de los "imitadores de Cristo", la Iglesia no tuvo más remedio que capitalizar este movimiento e institucionarlo. Los predicadores de Santo Domingo (1170-1221), por su parte, dedicaron desde un principio sus esfuerzos para evitar la propagación de las herejías por medio de la persuasión. Su interés en la evangelización los llevó a interesarse por la filosofía

y la ciencia con el fin de evitar que el nuevo saber se vol-  
viera contra los cimientos de la Iglesia. Con ambos movimien-  
tos bajo el patronazgo de la monarquía pontificia fue posi-  
ble sustituir la cruzada por la evangelización pacífica, ex-  
tendiendo la influencia de la Cristiandad a países lejanos  
(72). Asimismo, de las órdenes mendicantes y predicadoras  
surgieron los grandes pensadores del siglo XIII y los funda-  
dores de la filosofía escolástica.

Los nobles del último período de la Edad Media, por su  
parte, ante la amenaza que se cierne sobre su economía ba-  
sada en la tenencia de la tierra y la prestación de servi-  
cios, aunada a los crecientes poderes tanto de la burguesía  
como del rey, cerrarán filas y tomarán partido por una u  
otro, acelerando de cualquier modo el debilitamiento del sis-  
tema feudal. Paralelamente, la monarquía, como poder central  
frente a la burguesía en ascenso y la potencia de los seño-  
res, se ve fortalecida y se la ve triunfar en Inglaterra y  
en España. Finalmente, el campesinado en un pequeño porcen-  
taje (10%) ascenderá a la clase acomodada por la monetiza-  
ción de la economía y el resto se empobrecerá con el aumen-  
to de impuestos y gabelas.

#### 4.3. El nacimiento de las universidades y el método escolástico. Características.

En esta sociedad cambiante el intelectual no permane-  
ce inmune. Por una parte, siente un fuerte interés por las

innovaciones técnicas, y por otra parte la educación que recibía desde Hugo de San Víctor acentuaba cada vez más la relación entre teoría y práctica (73). El sistema educativo estaba cambiando y la manifestación más relevante y de influencia más perdurable es la aparición de las universidades. Su nacimiento está íntimamente asociado con el alud de conocimientos adquiridos a través de las traducciones del siglo XII. El desarrollo intelectual de la Cristiandad, así como su sistema educativo, no estaban preparados para recibir la oleada enorme de saber nuevo. La única solución era precaverse con estudios más especializados dentro de un sistema superior. La respuesta fue el surgimiento de las universidades (74). Así, la universidad fue el medio institucional mediante el cual Europa organizaría, absorbería y expandiría un gran volumen de conocimiento; el instrumento a través del cual moldearía y diseminaría una herencia intelectual común para generaciones venideras (75).

La introducción gradual del nuevo saber volvió obsoleto el magro curriculum de las escuelas catedralicias, curriculum que preservaba un balance entre ciencia, literatura y humanidades. Al abrazar el nuevo conocimiento, las universidades forjaron un programa nuevo y más amplio que destruyó este equilibrio. Para mediados del siglo XIII el corazón del programa estaba formado por las obras de lógica, ciencias, y filosofía de Aristóteles.

Dejando a un lado sus trabajos de lógica, que fueron

estudiados cuidadosamente, las siguientes obras de Aristóteles eran fundamentales: Física (en ocho libros) dedicada a los principios del cambio y el movimiento en general; De Caelo et Mundo (en cuatro libros) que se ocupaba de los movimientos de los cuerpos celestes y terrestres; la Meteorología (en cuatro libros), descripción y explicación de los fenómenos que, según Aristóteles, ocurrían en la región subluar; De generatione et corruptione, que considera las transformaciones de los elementos materiales y los compuestos. Además se estudiaban los tratados de Aristóteles de biología, metafísica, psicología y ética (76).

En otras áreas, la Theorica planetarum (anónima), se constituyó en el libro clásico de astronomía, junto con De sphaera de Juan de Sacrobosco. Para geometría se usaron los libros del I al VI de los Elementos de Euclides y para aritmética, la Aritmética de Boecio con los libros del VII al IX de los Elementos de Euclides. Para las operaciones fundamentales se empleaba el Algoritmo de Sacrobosco (77).

El resumen anterior da una idea del cuerpo de conocimientos disponibles en el siglo XIII. Respecto a la forma en que se transmitían, Murdoch (78), afirma que "al tratar los trabajos de Aristóteles como textos de enseñanza, los medievales sintieron que su primera obligación era clarificar el significado de Aristóteles y volver sus trabajos comprensibles para su nuevo público latino, mientras que su segunda labor era la de modificar o revisar, tal vez aún

corregir los puntos de vista aristotélicos si fuera necesario." Muy posiblemente, de esta actitud de los estudiosos surgió el método escolástico.

Una forma del método escolástico usada en las universidades consiste en la exposición sistemática de una obra, frecuentemente de Aristóteles, en la cual se presentaba una porción del texto seguida inmediatamente por la explicación de su significado por el comentarista, con ocasionales inserciones de su opinión personal o su interpretación. Este era el método de Tomás de Aquino.

El razonamiento escolástico, propiamente, pasa por cuatro momentos: el primero es la lectura de un texto (lectio); el segundo es el planteamiento (quaestio) de un problema que en su origen se había planteado en la lectura; la discusión de este tema (disputatio) constituye la médula del proceso, el paso esencial del tercer momento; y por último viene la solución (determinatio), que es una decisión intelectual. Este método es el más usual y significativo para estudiar el contenido de los textos. Sus orígenes se remontan al siglo XII (79), pero recibe su formato único en el curso del siglo XIII, convirtiéndose en la expresión virtual de la ciencia escolástica.

La solución a los problemas planteados durante el proceso sigue del procedimiento formal de las discusiones verbales sostenidas en las cátedras universitarias. Aunque, señala Grant (80), "la mayoría de las questiones eran poco

imaginativas y repetitivas", es más digno de hacer notar que muchos intelectuales hallaron en la escolástica un vehículo conveniente para interpretar a Aristóteles e iniciar algunas de las principales discusiones que traerían consigo la crítica de su física y su cosmología. Por otra parte, este método, al exigir la toma de posición en su determinatio final, convierte al intelectual que lo utiliza en un creador de problemas que solicitan su reflexión, excitan su pensamiento y lo conducen a una toma de partido (61). Con el método escolástico el pensador del siglo XIII deja de ser el exégeta de la Alta Edad Media y la tradición enciclopedista.

La trascendencia de la escolástica, a largo plazo, está expresada por Koyré en estos términos: "Son los escolásticos los que han llevado a cabo la educación filosófica de Europa y han creado la terminología de la que nos servimos aún; son ellos quienes con su trabajo han permitido a Occidente volver a tomar, o incluso, más exactamente, tomar contacto con la obra filosófica de la Antigüedad." (68)

#### 4.4. El triunfo de Aristóteles y su cristianización.

En virtud de que las universidades seguían siendo monopolio de la Iglesia, aunque con tendencias cada vez más firmes hacia su secularización, no es extraño que el espíritu con el que los pensadores medievales abordaran sus estudios tuviera tintes teológicos. El principal problema que enfrentaban era el de la relación entre la cosmología cris-

tiana, basada en la Revelación y la cosmología racional dominada por Aristóteles. El propósito de su investigación era descubrir la realidad permanente e inteligible detrás de los cambios experimentados por el mundo percibido por los sentidos. Es decir, importa el descubrimiento de la inteligibilidad oculta tras el acto creador de Dios. En el camino para la elucidación de esta cuestión central se llevó a cabo la cristianización de Aristóteles. Una vez bautizado, la investigación en filosofía natural se pudo abordar con confianza, este es el momento en el que se produce la física del siglo XIII, y cuando se abordan los problemas que más adelante minarían la gran catedral gótica de la escolástica.

Antes de pasar a la exposición del sistema de pensamiento científico del siglo XIII, quiero discutir brevemente algunos factores que, en mi opinión, posibilitaron el triunfo de Aristóteles y su repercusión en el entorno social. He señalado como el siglo XIII ve los orígenes de una nueva estructura social. Sin embargo, el hombre que vive esta génesis contempla una estabilización en todos los órdenes, que responde, de manera casi inmediata, a la cosmología aristotélica de un universo ordenado y armonioso. De cierta manera, la escolástica es la respuesta más viable al mundo en transición, la defensa al orden imperante. Paralelamente, la industrialización y la mecanización en progreso requieren de explicaciones racionales que sólo podrán encontrarse en la nueva ciencia. San Agustín no podía seguir dominando

desde su posición neoplatónica. El hombre del siglo XIII cambia su entorno con nuevas modalidades técnicas y por medio de su experiencia, y está consciente de ello. Así, la teoría de la iluminación divina no le es útil, en cambio, el acento en la racionalización de la experiencia va más de acuerdo con sus intereses. Aristóteles, en mi opinión, coadyuva a la realización del auge industrial y comercial a través de su filosofía natural.

#### 4.5. El sistema de pensamiento científico del siglo XIII. La Física.

De lo anteriormente expuesto se deduce que los trabajos de Aristóteles eran centrales en la educación y en la vida intelectual del siglo XIII en adelante. Y en virtud de que Aristóteles mismo había "definido a la naturaleza como un principio (esto es, una fuente o causa) del movimiento" (33), el objeto de la filosofía natural será el estudio del movimiento. En esta época, el movimiento era considerado en su sentido más amplio, significando cualquier cambio perceptible para los sentidos: alteración, aumento, crecimiento, generación y corrupción, así como movimiento local. Como el objetivo central de mi trabajo es dar un panorama general de la Física en la Edad Media, y ésta no existe en esta época con las características y delimitaciones de la época actual, me restringiré a tratar (tal como lo hacen los historiadores modernos) aquellas partes de la filosofía natu-

ral y otras ciencias como la óptica y la estática que se contemplan fuera de ella, pero que tienen correlación con nuestro concepto de Física (84).

#### 4.5.1. El sistema aristotélico. Disidentes y seguidores.

De acuerdo con A. C. Cronbie, fue de su definición de naturaleza de donde parte Aristóteles para proponer su teoría de las causas del cambio (85). En esta definición introdujo el concepto de physis (naturaleza) como un principio activo cuya actividad espontánea era la fuente intrínseca del comportamiento característico y regular de cada cosa natural. Aristóteles llamó "forma" a la physis o naturaleza como fuente intrínseca espontánea del cambio y del reposo; para él, "materia" connotaba el principio pasivo que implicaba la potencialidad para recibir los atributos que se actualizan con la forma. La forma y la materia determinaban la "naturaleza" de una cosa. Una cosa se comportaba "naturalmente" cuando lo hacía según la naturaleza de su principio intrínseco de cambio; si no era así, su comportamiento le era impuesto y se reconocía como forzado o violento.

Una potencialidad "natural" implicaba una tendencia intrínseca hacia un fin. La operación de una causa final constituía, por lo tanto, la esencia de la concepción aristotélica de la naturaleza. La sustancia o "forma sustancial" poseía una tendencia natural a completar su naturaleza o

forma, (por ejemplo, una semilla "tiende" a ser un árbol en plenitud). Realizar este fin equivalía a poseer positivamente las potencialidades naturales en su completa actualidad; y de este modo, la "naturaleza" era la fuente activa no sólo del cambio o movimiento naturales sino también de la plenitud natural o reposo.

Según Aristóteles, las potencialidades pasivas sólo podían actualizarse por algún agente activo ("todo lo movido debe ser movido por algo"). Este agente podía ser una fuente intrínseca de actividad, como en los seres vivos (movidos por las "almas") y en la actividad espontánea natural de las sustancias inanimadas, como la caída natural de un objeto al suelo. El agente podía también ser externo, como en el movimiento violento, cuando se arroja una piedra, o bien cuando los atributos potenciales se actualizan por el contacto con otra sustancia en la que están actualizados, como cuando se quema un palo al ponerlo en contacto con el fuego.

Así, Aristóteles distinguía cuatro tipos de causas: la material y la formal que definían la sustancia que padecía el cambio, y la eficiente y la final que producían el movimiento efectivo. Todos los cambios de cualquier tipo que daban explicados por el mismo principio de que los atributos que habían sido potenciales llegaban a ser actuales. Para Aristóteles había cuatro tipos de cambio: el movimiento local; el crecimiento (o decrecimiento); la alteración (o

cambio de cualidad); el cambio sustancial (o generación y corrupción). En el movimiento local, la identidad perceptible del objeto permanecía durante todo el proceso; en el cambio sustancial el objeto perdía todos sus antiguos atributos y se convertía en una nueva sustancia. Esto lo explicaba concibiendo a la sustancia como pura potencialidad, capaz de determinarse por cualquier forma y sin poseer existencia independiente.

El concepto de sustancia tal como lo desarrolló Aristóteles fue la base de la explicación natural en los siglos XIII y XIV. Pero no todos los pensadores de este tiempo lo aceptaron sin reservas. Una escuela de neoplatónicos, basados en Agustín y Erígena consideraban que la extensión actual, esto es, potencialidad pura, de la materia, era lo que subyacía a todos los atributos de las cosas materiales (los medievales la llamaron materia prima). En cambio para Aristóteles era meramente potencialidad pura. La diferencia pues, concierne a la naturaleza de la sustancia que permanecía a través del cambio sustancial. Filósofos árabes como Avicena, al-Ghazzali y Averroes sostenían que la forma de cada cosa natural poseía una "corporeidad común" que la hacía extensa. Roberto de Grosseteste (~1168-1253) pertenece a esta corriente neoplatónica. Para él, esta "corporeidad común" es la lux, forma primera o materia prima, que al multiplicar su especie en todas direcciones constituye la dimensionalidad corpórea y el universo entero, de acuerdo con determinadas

leyes de proporcionalidad matemática. A partir de ahí concluía que las leyes geométricas de la Óptica eran el fundamento de la realidad física. Propone como método de trabajo la observación y la experiencia, y como instrumento esencial para la comprensión de la naturaleza a las matemáticas (86). Sus ideas fueron aceptadas con entusiasmo entre los franciscanos de Oxford, en particular Roger Bacon y Peckham, quienes hicieron importantes contribuciones a la óptica de su tiempo y a la matematización de la Física en el Merton College del siglo XIV.

En la Universidad de París, Alberto Magno y Tomás de Aquino fueron los arquitectos de un nuevo aristotelismo que puso al conocimiento secular en una posición equiparable a la de la verdad revelada y dió firmes fundamentos para el crecimiento científico del medioevo. Alberto Magno (~1200-1280) fue el primero en darse cuenta de que la ciencia greco-árabe podía servir mejor a la fe cristiana concediéndole autonomía en su propia esfera. Su labor en el ámbito de la filosofía natural fue muy extensa. Escribió en latín una paráfrasis del corpus aristotélico completo, desde metafísica hasta las ciencias especializadas. Fue un infatigable observador cuyos intereses se centraron en la biología, aunque hizo aportaciones en casi todos los campos. Su opinión de que la filosofía natural es autónoma en sus principios y no se basa en las matemáticas fue fundamento para el desarrollo de los trabajos de sus discípulos.

Tomás de Aquino (1225-74), alumno de San Alberto Magno, fue el teólogo más grande de la Edad Media. Su famosa síntesis teológica puede contemplarse como una "aristotelización del cristianismo" (o cristianización de Aristóteles). La base de su metafísica consiste en una acabada comprensión de los principios aristotélicos de potencialidad y actualidad. Usó estos principios para refinar la discusión entre esencia y existencia, y luego aplicó la doctrina resultante de una manera novedosa y original a una amplia gama de problemas, desde los relacionados con Dios y la Creación, hasta las concernientes al alma y sus actividades. Aquí no fue reconocido en su tiempo como un lógico competente y filósofo natural de gran importancia. Sus comentarios sobre los trabajos aristotélicos, Analítica posterior, Física, De generatione et corruptione y Meteorología, se encuentran clasificados entre los mejores producidos durante la Edad Media.

Tanto para Alberto como para Aquino la Física de Aristóteles era importante por dar los fundamentos de la metafísica y la teología, pero aún era más importante por la teoría general para el estudio racional de la naturaleza y el mundo que contenía. Ambos insistían también en la autonomía de la filosofía natural respecto a las matemáticas. Al asumir esta posición estaban en conciencia discrepancia con Grosseteste y la escuela oxoniana al no compartir su teoría de la luz y el matematicismo que implicaba. Al mismo tiempo, con-

traponían su racionalismo con el neoplatonismo de éstos últimos.

La relevancia de Grosseteste, Alberto y Aquino en la historia de la ciencia occidental está en que se empezó a dar énfasis al papel de las matemáticas en la física, los tres subrayaron la importancia de la experiencia sensible en el estudio del mundo natural y dieron los primeros pasos para asegurar la autonomía de la física respecto a la metafísica y la teología, como fuente de conocimiento válido del cosmos.

#### 4.5.2. Cosmología y astronomía.

La cosmología aristotélica proporcionó a la Edad Media un cuadro altamente integrado y generalmente satisfactorio de la estructura del mundo. Aunque de tiempo en tiempo un aspecto u otro de ella fuera atacado severamente en el campo astronómico, físico o teológico, su cosmología dominó hasta los siglos XVI y XVII cuando fue derrocada. Presentaba un mundo ordenado y armonioso fácilmente inteligible a los hombres instruídos. Además, sus rasgos más generales se podían presentar vívida y gráficamente a todos los niveles de la sociedad. Su éxito se debió, por un lado, a que durante la Edad Media algunas de las cosmologías rivales eran desconocidas o eran presentadas a través de Aristóteles en versiones hostiles y con el fin de refutarlas. Por otra parte, en términos generales y con escasas excepciones (87),

era compatible con las Escrituras y la teología cristiana, además de estar en consonancia con la estructura social las clases en el poder deseaban perpetuar.

La cosmología aristotélica tenía dos principios fundamentales: el primero, que el comportamiento de las cosas se debía a su "naturaleza"; el segundo, que la totalidad de esas "naturalezas" estaba dispuesta para formar un conjunto jerárquicamente ordenado (88). El cosmos aristotélico consistía en cincuenta y cinco esferas concéntricas que rotaban alrededor del eje terrestre, que traspasaba el centro del Universo. Así, quedaba situada en el centro la Tierra esférica, y el Universo estaba limitado por la esfera de las estrellas fijas, que se convirtió en el primum movens de los escolásticos, fuente original de todos los movimientos del Universo (89). Cada cuerpo o sustancia del Universo poseía su lugar y movimiento naturales respecto a un punto fijo: el centro de la Tierra.

La esfera de la Luna dividía al Universo en dos regiones: la terrestre y la celeste. En la primera los cuerpos estaban sujetos a las cuatro clases de cambio y el movimiento que les era natural iba en línea recta hacia su lugar natural, en donde podían estar en reposo (90). De la esfera lunar hacia arriba los cuerpos estaban compuestos por un quinto elemento ingenerable e incorruptible cuyo único tipo de cambio era el movimiento circular uniforme. Los planetas y las estrellas estaban incrustados en las esferas y éstas

los acarreaban alrededor de la Tierra.

En la Edad Media, la cosmología aristotélica fue estudiada y elaborada por filósofos naturales y no por astrónomos (91). Y aunque la astronomía establecía algunas de las condiciones de frontera para su elaboración, se hubiera requerido del empleo de la altamente desarrollada astronomía matemática de Ptolomeo para dar cuenta de los fenómenos observables. Así, quedaron escindidas dos disciplinas que debieron conformar un solo cuerpo de conocimientos. La visión del mundo de la Edad Media fue organizada por aristotélicos y no por ptolemáicos. Como consecuencia, la estructura del Universo nunca se concibió solamente en términos físicos, sino que debió hacerse compatible con concepciones teológicas que transformaron, finalmente, "el cosmos aristotélico en el Universo Cristiano" (92).

Con el empleo del método escolástico para su estudio, nunca se obtuvo una síntesis lógicamente cohesiva y sistemáticamente estructurada (93). Lo que resultó fue una serie de problemas distintos discutidos independientemente. Estos se encuentran en los comentarios a los trabajos físicos de Aristóteles (especialmente De Caelo), al Tratado sobre la esfera de Juan de Sacrobosco (siglo XIII), a las Sentencias de Pedro Lombardo (siglo XII), y al Génesis. En estos comentarios los escolásticos formularon una amplia gama de questiones que constituyen el meollo de la cosmología medieval.

Entre las más importantes de estas cuestiones, tanto desde el punto de vista físico, como por la reacción que suscitaron en los medios eclesiásticos, están las siguientes:

- 1) Si el mundo es eterno (sin principio ni fin),
- 2) Si el mundo es único.
- 3) Si el mundo es finito en extensión. (Esta cuestión lleva ha a la existencia, o no, del vacío.)

La primera cuestión surgió de la afirmación aristotélica de la eternidad del mundo. Esta aseveración entraba directamente en conflicto con la doctrina cristiana basada en el acto creador de Dios. Durante el siglo XIII se desarrollaron tres corrientes alrededor de este problema. En un extremo, los averroístas, siguiendo a Aristóteles, sostenían que la eternidad del mundo era racionalmente demostrable. En el otro extremo agustinianos como San Buenaventura, insistían en que el origen temporal del mundo era susceptible de demostrarse racionalmente. Tomás de Aquino se situaba en medio, y siguiendo a Maimónides, afirmaba que la razón no podía demostrar ninguna de las dos cosas. Y aunque la eternidad del mundo se siguió discutiendo, de Aquino en adelante se le rechazó como contraria a la fe sin necesidad de demostración (94).

Sobre la unicidad del mundo, Aristóteles y la Cristiandad estaban de acuerdo: sólo había uno. Sin embargo, bajo la aparente armonía, la prueba racional de Aristóteles sobre la imposibilidad de más de un mundo entraba en conflic

to con la omnipotencia divina, ésto es, aún si Dios lo desea ¿no podría crear otros mundos? Entre los años de 1260 y 1270, este problema fue causa de fricciones entre teólogos y filósofos. Después fue resuelto por decreto.

Lo mismo ocurrió con la cuestión sobre la finitud del mundo.

Era usual en la Edad Media distinguir varios ciclos en el mundo. En una división típica, Aquino distinguía tres cielos en la región supralunar: el empíreo, el cristalino y el sideral, que a su vez consistía en las siete esferas planetarias y la esfera de las estrellas fijas. Así, Aquino concebía un total de diez esferas celestes distribuidas sobre tres cielos.



Fig. 1

Astronómicamente este sistema de diez esferas concéntricas era aún más inadecuado que el de Aristóteles e incapaz de explicar hasta las más obvias observaciones del movimiento planetario. Esta inadecuación con la experiencia llevó al debate entre la cosmología aristotélica y el modelo ptolemáico de excéntricas y epiciclos. Pocos en la Edad Media dominaban las complejidades de la astronomía ptolemáica y a lo largo del siglo XIII fueron ellos quienes se dieron cuenta de que ésta era capaz de "salvar el fenómeno astronómico" (95). Desde entonces tanto los astrónomos prácticos (ptolemáicos), como los escolásticos trataron de formular una teoría intermedia, logro del siglo XIV (96).

Pero las contribuciones de la astronomía del siglo XIII no estuvieron centradas en ese debate. La astronomía práctica realizó observaciones que permitieron completar y mejorar las tablas que tenían a su disposición. Se comentaron y tradujeron trabajos árabes de gran importancia; Juan de Sacrobosco introdujo una serie de términos astronómicos que formarían, a partir de entonces, el vocabulario de la astronomía teórica; finalmente, con la aparición de nuevos instrumentos hacia 1300, la exactitud observacional mejoró (97).

Como último punto, en el siglo XIII la teología natural originó la creencia de que la investigación de las operaciones visibles de la naturaleza podría descubrir sus causas ocultas y así revelar algunos de los motivos de Dios. La astronomía se volvió particularmente importante por el

Primer Motor de las esferas celestes de Aristóteles, que podía asociarse fácilmente con la idea de Dios como creador (98). Aquí queda nuevamente en relevancia la exigencia de carácter espiritual que constituía el descubrimiento de la racionalidad e inteligibilidad detrás de la Creación. Esta situación ha sido considerada por los historiadores de la ciencia como el sustrato de la empresa científica del medioevo.

#### 4.5.3. Óptica.

En su clasificación de las ciencias Aquino situó a la Óptica y la Astronomía como disciplinas intermedias, scientiae mediae, situadas entre la Matemática y la Física. Explicaba esta disposición en virtud de que ambas usaban principios matemáticos para lograr la comprensión de objetos físicos.

La Óptica fue una de las ciencias en donde la aportación árabe fue más valiosa. Desde la Antigüedad, no obstante, se desarrollaron "teorías de la visión" que a la larga se convirtieron en la base de toda investigación futura. Hay tres vertientes de estas teorías, según Lindberg (99). La primera, la llama teoría de la "introversión" y fue desarrollada por los atomistas, quienes sostenían que de los objetos sensibles "salían" pequeñas películas de átomos en todas direcciones, manteniendo siempre una configuración fija y penetrando finalmente en el ojo del observador. La recepción de una serie de tales imágenes constituía la impre-

sión visual del objeto. La segunda teoría era una teoría de "extroversión" y fue propuesta por Euclides y desarrollada por Ptolomeo. En ella, la radiación parte del ojo del observador en forma de cono y viaja en línea recta a menos que se refracte o se refleje. Si cae en un objeto opaco el objeto es percibido, y de cierta manera (no explicada) regresa al ojo. Las obvias dificultades que conllevaban ambas teorías impulsaron a Aristóteles a formular una tercera opción, en donde el objeto visible transmite sus cualidades visibles a través del aire (u otro medio transparente) hasta el ojo del observador. Los cuerpos de color producen cambios cualitativos en el medio y estos se transmiten instantáneamente a los humores del ojo. A esta teoría la llama Lindberg "mediúmfística" porque el contacto entre el objeto y el observador se establece a través del medio.

Pero, continúa Lindberg, estas teorías pueden clasificarse de acuerdo con criterios más básicos y significativos. La teoría euclidiana es más que una teoría de extroversión, una teoría matemática de la visión, pues no fue diseñada teniendo en mente su plausibilidad física sino como una teoría matemática. En contraste, la teoría de introversión, atomística o aristotélica tenía como propósito explicar en términos físicos cómo se comunican las cualidades visibles de los objetos al órgano de la visión. Otra teoría, la de Galeno, es puramente anatómica, y aunque influyó en algunos trabajos medievales, siempre se concretó a estudiar el fenómeno desde

un punto de vista fisiológico y anatómico, y por tanto fuera de mi discusión.

En el siglo XI, Alhazen (965-1039) trató de formular una teoría de introversión que satisficiera simultáneamente criterios matemáticos, físicos y fisiológicos. Se basaba en al-Kindi quien sostenía que la radiación no salía de la superficie del cuerpo como un todo sino que cada punto de la superficie irradiaba luz en todas direcciones. La posición de Alhazen era que a partir de un análisis puntiforme del objeto visible se podía construir una teoría sostenible de la visión. Además reconoció la necesidad de una correspondencia uno a uno entre los puntos del objeto y puntos en el ojo.

Mientras los árabes reconstruían las teorías de la visión de la Antigüedad, Occidente empezaba a recibirlas. La teoría platónica (extroversión) dominó hasta el siglo XIII. En esta época, los estudiosos se enfrentaban a la tarea de encontrarle sentido y, de ser posible, reconciliar los elementos de su herencia óptica. Las figuras claves en este proceso fueron Alberto Magno y Roger Bacon. Dada su formación, Alberto Magno tomó partido por la teoría mediumística. Escribió una larga refutación de la teoría de extroversión y trató de dejar establecida la teoría aristotélica. Sin embargo, introdujo elementos ajenos a ella, dándole énfasis al humor cristalino como la sede de la potencia visual, establecido por Galeno, y la pirámide cónica de Euclides. A

través de su influencia y la de otros escolásticos la teoría aristotélica dominó en los ámbitos universitarios.

La segunda tradición occidental fue fundada por Roger Bacon (m. ~1292). Proviene de la escuela neoplatónica de Grosseteste, quien dió importancia al estudio de la luz porque creía que era la primera forma corporal de las cosas materiales, de cuya actividad resultaban todos los cambios del universo. Roger Bacon sostenía que las formas (o especies) son emitidas por cada punto del objeto visible, entran en el ojo del observador y se arreglan sobre la superficie del humor cristalino en el mismo orden que en el campo visual de donde fueron emitidas. La influencia de Alhazen es clara. Sin embargo, Bacon consideraba que los rayos de introversión eran por sí solos insuficientes para la visión. Era necesario, decía, que el ojo emitiera rayos virtuales o especies para excitar el medio y las especies del objeto visible, volviéndolo capaz de estimular la vista. Con esta opinión integró las teorías de Euclides y Ptolomeo con las de Aristóteles y Galeno. Bacon expuso sus conclusiones en su Perspectiva (nombre que se daba en aquella época al estudio de ciertos fenómenos que caen dentro del campo de la Óptica). La influencia de su obra fue tan significativa que, señala Lindberg (100), este libro es responsable, en gran parte, del origen de la tradición occidental óptica. Entre sus contemporáneos le siguieron Juan Pecham (m. 1292) y Witelo (m. ~1277). Ambos escribieron textos de óptica en donde la cien-

cia de la perspectiva se articuló y diseminó. A partir de ellos, la tradición óptica fue sacada adelante por perspectivistas y no sólo por matemáticos (101). Desde Alhazen esta corriente se preocupó no sólo de la matemática de la visión, sino de la física y fisiología involucradas en el proceso (102). El hecho de que los perspectivistas fueran los únicos que se ayudaron de la matemática para explicar el fenómeno les dió una ventaja positiva sobre las otras escuelas. No debe perderse de vista, sin embargo, que los aristotélicos tenían muchísimos más seguidores que los perspectivistas. Pero es de mayor importancia el hecho de que la tradición perspectivista persistiera a lo largo de la Edad Media pese al ambiente predominantemente aristotélico.

Si las teorías de la visión fueron centrales en la óptica medieval, también atrajeron la atención de los estudiosos la naturaleza y la propagación de la luz y el color. La distinción entre luz y color era universal en la óptica temprana, se les consideraba como propiedades o cualidades de los objetos visibles. Esta concepción se remonta a la Antigüedad en donde fue refinada y extendida por Aristóteles. Los árabes hicieron contribuciones adoptando variedades de la teoría aristotélica. Era comúnmente aceptado que tanto la luz (lux) como el color propagan sus formas a través del medio transparente hasta el observador. El problema era la naturaleza física de su propagación y el status de la luz y el color en el medio.

Alberto Magno concluyó que la luz y el color se encuentran "corpóreamente" en el medio, con extrema rareza y sutileza (103). Bacon, por su parte, señalaba que lo que se propaga es la especie o forma corpórea que surge de la potencialidad del medio transparente y se propaga sucesivamente.

La propagación rectilínea de la luz fue establecida por Euclides y Ptolomeo. Durante la Edad Media fue aceptada tácitamente, aunque Alhazen, en un libro que nunca fue traducido al latín, suministró una demostración experimental del hecho. Si la luz (o sus especies o formas) se propaga en línea recta, su trayectoria puede representarse por medio de un rayo lineal. Basados en esto, construyeron un sistema elaborado de geometría de rayos. Esta geometría llevó a la comprensión de las leyes de reflexión y refracción. La ley de reflexión fue completa y correctamente entendida en la Edad Media (104). En cuanto a la refracción, se sabía desde la Antigüedad, que un rayo que pasaba de un medio menos denso a otro más denso se refractaba respecto a la perpendicular de la interfase. También se entendía que la imagen de un punto visible, visto en un espejo o a través de un medio transparente, por refracción, aparecería localizado donde la extensión del rayo incidente del ojo interseca la perpendicular de la superficie reflectora o refractora del objeto visible.

Usando esta geometría de rayos los perspectivistas medievales pudieron determinar la localización de imágenes

en la superficie de espejos o a través de interfaces transparentes, planos y esféricos. Witelo fue uno de los que más elaboraron la perspectiva en este sentido. Sin embargo, los estudiosos medievales no desarrollaron una teoría acabada, de las lentes. Su objetivo no era establecer los principios de los instrumentos ópticos, sino la comprensión de las leyes de la naturaleza aplicables a casos generales. La óptica medieval, señala Lindberg, no era una instancia de la ciencia aplicada sino de la filosofía natural (105).

Entre las contribuciones prácticas que se derivaron de esta ciencia está el invento de las gafas, fuertemente vinculado, por otra parte, con el desarrollo de la industria del vidrio (106). Bernal señala, por su parte, que el interés de los árabes en esta disciplina, y sus primicias en el siglo XI, en el invento de los anteojos se deben a la abundancia de las enfermedades oculares en los países desérticos y tropicales (107). La lente, como la primera extensión del aparato sensorial del hombre, abrió las puertas para el posterior desarrollo del telescopio, el microscopio y la cámara fotográfica. Finalmente, es claro que las aportaciones medievales en este campo se debieron, en gran parte, a la creciente matematización de las ciencias.

#### 5.4.4. Estática.

Otra disciplina que debe su desarrollo a la matematización fue la estática. Los intelectuales del siglo XIII la

llamaron scientia de ponderibus, la ciencia de los pesos, e investigaba las condiciones que producían el equilibrio (108). La teoría básica de la estática del siglo XIII se encuentra en la obra de Jordano de Memora, basada en la tradición arquimediana de los pesos (109), Elementos para la demostración de los pesos (Elementa super demonstrationem ponderum). En ella demostró que la fuerza efectiva que movía a un cuerpo en un momento dado, podía ser descompuesta en dos. Su demostración incluía un diagrama en el cual una línea vertical representaba la caída libre y otra horizontal, la fuerza "violenta" de proyección, resultando una línea oblicua que representaba el movimiento compuesto (110).

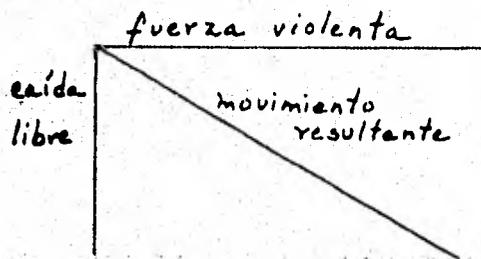


Fig. 2

Jordano vislumbró el principio del trabajo como el producto de la fuerza por la distancia, aunque nunca lo estableció así ni explotó por completo su aplicabilidad. Entendía que una fuerza dada puede realizar operaciones equivalentes contra cargas distintas cuando los pesos y las distancias del pivote de una palanca se varían simultáneamente (111).

En otro tratado, Sobre la teoría del peso (De ratione ponderis), anónimo, pero tan fiel a Jordano que le ha sido atribuido, se estudió la palanca angular del plano inclinado. De este último concluyó el autor: "si dos pesos descenden por planos de distinta inclinación y los pesos son proporcionales directamente a las longitudes de las inclinaciones, estos dos pesos tendrán la misma fuerza motriz en su descenso." (112)

La obra de Jordano Memorarius y de su escuela no fue apreciada del todo por sus contemporáneos, prueba de ello es que las obras que heredaron permanecieron sin correcciones durante siglos. Pero gracias a sus aportaciones, los fundadores de la mecánica moderna tuvieron un punto de partida sólido para sus desarrollos: desde molestas inconsistencias por rechazar hasta brillantes aportaciones por integrar al nuevo corpus.

En la práctica la estática sí tuvo impacto significativo. El siglo XIII es la época en la que se construyeron grandes catedrales como la de Reims y Chartres (113). Villard de Honnecourt, brillante arquitecto que diseñó parte de ellas, dejó un cuaderno de notas que muestra su habilidad para generalizar problemas de tensión y elevación de pesos. También en su obra se hallan vestigios que señalan su conocimiento de la óptica de su tiempo. En sus dibujos se puede observar el logro medieval del dominio de la perspectiva en conexión con la pintura. A partir del siglo XIII,

y con Villard de Honnecourt, la perspectiva se estudia geométricamente (114).

#### 4.5.5. Magnetismo.

Otra área de la Física que debe su desarrollo a la influencia directa de la tecnología es el magnetismo. A partir del siglo XI Europa empezó a conocer el magnetismo con referencia a la aguja magnetizada utilizada en China para la geomancia. En el siglo XII China ya usa el compás para la navegación. A finales del siglo XII aparece el compás marino en Europa, y para 1225 su uso se ha generalizado. Casi inmediatamente después de su introducción, este instrumento técnico empezó a estimular el pensamiento de los europeos acerca de sus propiedades.

En su De universo creaturarum, escrito en 1231, el obispo de París Guillaume d'Auvergne, usó la analogía de la inducción magnética para explicar el movimiento de las esferas celestes. En 1269, en su trascendente Epistola de magnete, el ingeniero militar Pierre de Maricourt (también conocido como Petrus Peregrinus) expone sus observaciones sobre los imanes. Su obra es considerada como la piedra angular de todo el trabajo subsecuente sobre magnetismo (115). En ella indica cómo reconocer los imanes, cómo determinar los polos y distinguir el Norte del Sur; habla de la repulsión de los polos iguales, de la inducción en el hierro del polo opuesto al del imán con el que es frotado, la rotura de

una aguja magnética en otras más pequeñas y la atracción a través del agua y el vidrio (116). Su explicación sobre la inducción magnética en un trozo de hierro estaba basada en los principios aristotélicos de la potencialidad y actualidad. El imán era un agente activo que actualizaba el magnetismo potencial del hierro.

Peregrinus no atribuía el comportamiento del imán a los polos magnéticos de la Tierra. Sin embargo, un contemporáneo suyo, Juan de San Amando (m. 1300), en su Antidotarium Nicolai (tratado médico, por cierto), afirmaba que en la Tierra "la dirección Norte-Sur atrae más fuertemente" que la dirección Este-Oeste, y cuando un imán se orienta N-S, es porque "la parte Sur atrae a [parte del imán] que tiene la propiedad y naturaleza del Norte" (117). Aunque no parece haber más desarrollos hasta Gilbert en el siglo XVII, la obra de Pierre de Maricourt causó una impresión perdurable en los medios intelectuales de su época. En el siglo XIV se hará referencia a fenómenos magnéticos como analogía para ilustrar fenómenos físicos, como por ejemplo, el movimiento local (118).

Desde luego, la repercusión más trascendental del interés en el magnetismo fue en el ámbito de sus aplicaciones. La brújula en la navegación tuvo un efecto comparable al de la introducción del arnés de collera en la agricultura. En este punto se observa nuevamente la estrecha interrelación de las artes prácticas con el progreso científico.

#### 4.6. Los caracteres fundamentales de la nueva ciencia.

##### 4.6.1. El carácter pragmático.

Tal como señalé en el capítulo anterior, la nueva ciencia tiene un carácter neoempirista con fuertes intereses en la aplicación práctica. Los pensadores medievales del siglo XIII han adquirido una nueva actitud exploratoria ante la naturaleza. Actitud que puede apreciarse en el breve panorama de la Física de este período que acabo de exponer. Resaltan en él, por una parte, la determinante influencia de los avances tecnológicos en el proceso de investigación de áreas como el magnetismo, y por otro lado, las repercusiones, en los logros técnicos, de disciplinas como la estática en el ámbito de sus aplicaciones. Asimismo, queda en relevancia la nueva personalidad del filósofo natural que quiere hacer de sus sentidos y de su experiencia, los instrumentos legítimos para su quehacer intelectual. El científico del siglo XIII, aunque tiene aún fuertes ligas con las autoridades clásicas, da sus primeros pasos en pos de una ciencia balanceada entre la especulación y la observación.

Sin embargo, y en virtud de que el siglo XIII es una etapa de asimilación de la herencia greco-árabe, la nueva ciencia permanece encuadrada en los límites de la escolástica y el cristianismo que le imprimen inevitablemente sus

contornos. A esto se debe la escasa resonancia, en su tiempo, de las disciplinas menos ortodoxamente aristotélicas (y más prácticas) como la óptica de Bacon y la estática del Jordano, en comparación con el enorme impacto de las obras de Alberto Magno o Tomás de Aquino, por ejemplo. En mi opinión, su escaso éxito se debió a que no se apegaron, como los otros, al propósito fundamental de la ciencia de su época: develar los misterios ocultos tras el acto creador.

Pese a estas desemejanzas todos los pensadores del siglo XIII en adelante pusieron el acento en la necesidad de referirse a la realidad fenoménica como un paso necesario para la comprensión del mundo natural.

#### 4.6.2. La matematización.

Aunque desde los primeros siglos de la Edad Media se había enfatizado la importancia de las matemáticas en la educación y en la filosofía, es hasta el siglo XIII cuando la discusión al respecto se profundiza y amplía. En efecto, he señalado el papel de la matemática en el quadrivium medieval y ha quedado claro como ésta ha jugado un papel de singular importancia en el desarrollo del conocimiento científico. Sin embargo, es precisamente en el contexto de la discusión entre los neoplatónicos y los aristotélicos tomistas en donde se dieron los primeros pasos hacia una matematización, que finalmente resultaría inevitable. Los primeros, en su empeño platónico por ver en la matemática un modelo

del mundo natural pusieron todo su empeño en utilizarla aun que su actitud los colocara en franca contradicción con los colosos de su época, los escolásticos. Estos últimos, no supieron hallar un lugar para la matemática dentro del sistema de pensamiento que forjaron basados en Aristóteles, y como él, afirmaron que la filosofía natural no se basa en las matemáticas sino en la observación. No obstante, los escolásticos mismos fueron quienes finalmente usaron a la matemática como auxiliar en sus investigaciones. Y si esto fue posible, fue gracias a la discusión que al respecto enfrentó a dos facciones de pensadores que coincidirían en un corto plazo.

#### 4.6.3. La autonomía.

Alberto y Aquino hicieron énfasis en la autonomía de la filosofía natural respecto a la matemáticas (119). Pero sus esfuerzos no se limitaron a desconocer el papel de éstas en la filosofía natural. Una parte significativa de sus obras está dedicada a establecer la autonomía de la filosofía natural respecto a la metafísica y la teología. De sus obras se derivan los primeros intentos por colocar el estudio racional del mundo en un nivel equiparable al de los estudios sacros de su tiempo. Aunque la independencia y la autonomía de la ciencia en general, y de la física en particular, no son logros medievales, en esta época reside el reconocimiento de tal necesidad y esto es una conquista en sí misma.

En su camino hacia la autonomía la filosofía natural deberá desprenderse de todos sus ropajes teológicos. Pero esto no es posible aún en el medio en el que se ha forjado, inmersa en el cristianismo, que en el período que nos ocupa está presente en todas y cada una de las prácticas sociales. El aristotelismo cristianizado, con todo lo que implica, es la única opción para el científico del siglo XIII. Los pocos disidentes de esta ortodoxia fueron vistos con sospecha y reprimidos. Y cuando el propio aristotelismo puso en peligro las estructuras sociales dominantes, las mismas autoridades que lo ensalzaron, no dudaron en condenarlo. La Edad Media fue escenario, a finales del siglo XIII, de una reacción teológica contra la ciencia que tuvo una importancia tan grande que cambió sus derroteros definitivamente.

## 5. LA CRISTIANDAD EN CRISIS (1270-1330).

### 5.1. La Crisis social.

El impulso que desde el siglo X animaba a Occidente empieza a disminuir a finales del siglo XIII. La primera manifestación se da en el sector agrícola y de ahí se extiende a todas las prácticas sociales. Las técnicas que permitieron la primera revolución agraria y el auge en la productividad se ven insuficientes para saltar determinados obstáculos. La rotación trienal de los cultivos agota los suelos que no son bastante ricos. La expansión en el uso del caballo, que conlleva la explotación del terreno para alimentarlo, es incompatible con la alimentación prioritaria de los hombres. La deforestación que se había venido realizando por siglos ocasiona cambios climatológicos desfavorables para la agricultura. La producción descende.

En la industria, las mejoras en los mecanismos que permitieron su florecimiento, tienen ahora que enfrentar un mercado que no es capaz de adaptarse a la sobreproducción. La industria textil sufre este fenómeno, mientras que la constructora, enfrenta el problema tecnológico del gigantismo gótico que la tecnología actual no puede superar (120). El comercio, por su parte, se ve afectado por el fracaso de la última cruzada en 1291 (121). Asimismo, la incipiente in

industria occidental no puede competir con el comercio de lujo oriental. La inseguridad de las fronteras aunada a lo anterior, pone en crisis el comercio europeo.

Poco a poco el hambre se va extendiendo por Occidente. Paralelamente hay un descenso en la acuñación de monedas debido a la escasez de metales preciosos. Las necesidades financieras de los gobiernos que intentan mantener un ejército y una burocracia, que los recursos feudales tradicionales ya no sostienen, agravan la crisis. Y peor aún, los monarcas recurren a la falsificación de monedas. Las devaluaciones que ocurren afectan evidentemente a rentistas y asalariados, perturban las transacciones y provocan el descontento.

La crisis económica está ligada a la crisis social.

Se agravan las diferencias entre pobres y ricos, esto ocurre tanto en las ciudades como en el campo. A partir de 1260 estalla una oleada de huelgas, motines y revueltas. En muchos casos el movimiento social, campesino o urbano, toma una coloratura religiosa, herética o paraherética. La víctima más poderosa es la aristocracia, quien defiende sus privilegios con violencia, masacrando y reprimiendo a los más desvalidos. La reacción señorial afecta también a los mercaderes, sospechosos de usura, y a los judíos y leprosos, que son responsabilizados de la catástrofe.

La Iglesia acusa la crisis con un debilitamiento del poder papal. A principios del siglo XIV se pone en entredi-

cho su supremacía sobre la del concilio. Esta pugna no es más que una nueva modalidad de la vieja pugna Imperio-papado. Pero la crisis de la Iglesia tiene mayor viveza hasta finales del siglo XIV. Sin embargo, es precisamente la reacción teológica de una Iglesia conmocionada por los acontecimientos que la hacen peligrar, la que genera y posibilita una nueva ruptura epistemológica.

### 5.2. La pugna entre la fe y la razón.

Situado en el marco de una profunda crisis social, el problema de la relación entre la fe y la razón estalló violentamente entre 1270 y 1277. Y para entender con precisión los elementos de este suceso deberá retroceder al impacto del aristotelismo en la Cristiandad, por una parte, y por otra a un pensador árabe del siglo XII, Averroes.

Al tiempo que los trabajos de Aristóteles eran centrales en la educación y la vida medieval, sus obras científicas y filosóficas eran vistas con sospecha por los teólogos. El miedo a su influencia provenía de sus libros de filosofía natural, que contenían juicios y opiniones subversivos para la doctrina cristiana y el dogma. Sus conclusiones más ofensivas eran cuatro:

Primera. Que el mundo era eterno, negando así el acto creador de Dios.

Segunda. Que una propiedad o accidente no pueden existir aparte de una sustancia material, punto de vista que choca-

ba con la doctrina eucarística de la transubstanciación (122), Tercera. Que los procesos de la naturaleza eran regulares e inalterables, lo que eliminaba los milagros.

Cuarta. Que el alma no sobrevivía al cuerpo, lo que negaba la creencia cristiana fundamental de la inmortalidad del alma.

Los estudiantes y profesores que discutían la filosofía natural y la metafísica aristotélicas usaban frecuentemente como guía los comentarios de Averroes (1126-98). El Aristóteles que él interpretó, ganándose el título indisputable de "Comentador", estaba neoplatonizado, pero no bautizado, y por tanto, no contaminado con elementos derivados de la doctrina cristiana. Y como él, sus seguidores cristianos, mantenían aparte la filosofía y la teología. Averroes entró a la universidad de París bajo el patronazgo de Alberto Magno y otros que promovieron la causa del aristotelismo. Al principio no se reconoció el peligro que entrañaban sus enseñanzas para el dogma, y pronto surgió un movimiento averroísta.

El propósito principal de Averroes era probar que las doctrinas aristotélicas eran demostrables por la razón natural, o por lo menos, que no se podía probar su falsedad. Si eran presionados, algunos averroístas admitían que donde la doctrina de Aristóteles entraba en conflicto con la fe, debía seguirse a esta última.

Los averroístas latinos más prominentes fueron Sigerio

de Brabante (m. ~1285) y Boecio de Dacia. Sigerio insistía en explicar las opiniones de Aristóteles independientemente de la verdad revelada. Si algunos puntos de la filosofía aristotélica entraban en conflicto con la fe, no podían desautorizarse por medio de la razón natural. El, por su parte, añadía, se acogía a las verdades de la fe. Boecio de Dacia iba más allá, ignorando la Revelación, por trascender ésta a la razón. Se dedicaba solamente a la filosofía y sujetaba toda cuestión a la razón humana. Boecio insistía en que el filósofo usará sólo la razón natural en sus investigaciones acerca del mundo físico.

Estas enseñanzas tenían ramificaciones que se oponían a la fe cristiana y, es digno de nota, que los averroísta latinos nunca negaron su fe, aunque sostenían que sus conclusiones filosóficas eran probables o aun necesarias.

### 5.3. Las condenas.

Los teólogos de la Universidad de París reaccionaron, previsiblemente, a estas enseñanzas. San Buenaventura, Alberto Magno, Tomás de Aquino y otros escribieron tratados polémicos contra Sigerio y sus seguidores. Alarmadas ante el crecimiento del averroísmo, las autoridades eclesiásticas también intentaron detener el aristotelismo ortodoxo con una serie de condenas. En 1270, el obispo de París, Étienne Tempier, reforzando algunas prohibiciones anteriores (123), condenó trece proposiciones que contenían enseñanzas aristoté-

lico-averroístas. El conflicto culminó en 1277 cuando el Papa Juan XXI, preocupado por la divisiva inquietud intelectual, instruyó a Tempier para que investigara las controversias que acosaban a la Universidad de París. De su investigación, en tres semanas, emitió una condenación general de doscientas diecinueve proposiciones sacadas de muchas fuentes, incluyendo algunas tesis sostenidas por Aquino. En el prólogo, Tempier acusó a los averroístas de decir que lo que era verdadero según la filosofía no era verdadero de acuerdo con la fe cristiana, "como si pudiera haber dos verdades contrarias", dando lugar a lo que se ha llamado "teoría de la doble verdad", aunque tal tesis jamás fue sostenida por Averroes ni ninguno de sus seguidores (124).

Entre las proposiciones condenadas, según Grant (125), había una extraña mezcla de creencias y opiniones, algunas de las cuales probablemente jamás se expresaron públicamente por escrito, pero que tal vez se pronunciaron en disputas públicas o en conversaciones privadas. Un buen número de proposiciones eran ofensivas pues planteaban límites a la omnipotencia divina. Entre ellas, jugarían un papel muy significativo para la ciencia del siglo XIV, las siguientes:

- Proposición 34. Que la causa primera (esto es, Dios) no pudo hacer varios mundos.
- Proposición 43. Que Dios no puede ser la causa de un acto nuevo (o cosa), ni puede producir algo nuevo.
- Proposición 147. Que Dios u otro agente no pueden hacer lo absolutamente imposible. Un error, si es imposible, se explica de acuerdo con la Naturaleza. (126)

Siendo la excomunión el castigo para el sustentador de cualquiera de las doscientas diecinueve proposiciones, el impacto de las condenas de 1277 fue inmediato y duradero. A este respecto la opinión de los historiadores está dividida. Alexandre Koyré, John D. Bernal, Le Goff, consideran que las condenas, o bien constituyeron un freno para el desarrollo de la ciencia, o ésta por sí misma había llegado a sus propios límites y aquéllas sólo los reforzaron. En contraposición, Duhem, Crombie, Wallace, entre otros, sostienen que las condenas abrieron el camino a nuevos desarrollos. En lo personal, me adhiero a esta última posición por las razones que expondré enseguida.

#### 5.4. La reacción en el ámbito científico.

Si Aristóteles había fallado en la teología, se preguntaron los pensadores, ¿no podría también haberse equivocado en sus concepciones de filosofía natural? Tempier, al sembrar esta duda entre sus contemporáneos, estimuló la imaginación científica y abrió el camino hacia la consideración más plena de cosmologías alternativas a la aristotélica.

Con la mente en la omnipotencia divina, característica esencial de la filosofía natural del siglo XIV, limitada sólo por la ley de no contradicción, las nuevas líneas de pensamiento salieron de los confines del aristotelismo. En este ampliado horizonte, las doctrinas físicas y metafísicas de Aristóteles, junto con sus limitadas reglas, podían re-

chazarse y violarse impunemente. El resultado fue que los argumentos y concepciones de Aristóteles fueron sometidos a un proceso de comprobación lógica sin precedentes (127). Aunque no toda la filosofía natural de Aristóteles era lógicamente insostenible, y por tanto impugnabile, hubo casos en que este proceso de contrastación llevó a los medievales a reformular algunas de las concepciones aristotélicas (128). Es sabido que el aristotelismo siguió dominando las mentes de los pensadores hasta la Revolución Científica (129), pero mi propósito es precisamente examinar estas nuevas direcciones como parte de la obra científica del medioevo.

Parte de la reacción a las condenas se orientó en dos líneas de pensamiento, derivadas de los escritos de Juan Duns Scoto y Guillermo de Ockham. Wallace (130), las denomina la "reacción crítica y escéptica en filosofía". Duns Scoto (~ 1265-1308) propugnaba la autonomía de la filosofía con respecto a la teología y defendía a esta última de la mera posibilidad de intrusiones del racionalismo naturalístico. Para ello desarrolló una epistemología en donde se muestra más como un metafísico que como un filósofo natural. Ejemplo de ello es que negó la validez necesaria del principio "lo que se mueve debe ser movido por algo", diciendo que es cierto para los movimientos violentos pero no para los naturales. Y a partir de esto probó la existencia del Primer Motor Inmóvil (Dios), basado en un análisis de la noción de posibilidad, mostrando como ésta impone la existencia nece-

saría de un ser incausado. Su deseo de garantizar la factibilidad de la teología como una ciencia, le llevó a negar los adelantos de Alberto y Aquino, quienes intentaron mantener la autonomía de la razón contra los agustinianos. Aunque Scoto y sus seguidores no descuidaron enteramente la filosofía natural, su importancia para la ciencia medieval proviene mucho menos de sus contribuciones positivas, que de la reacción que provocaron en Guillermo de Ockham.

Guillermo de Ockham (~1285-~1349), estuvo expuesto durante su formación a un entrenamiento scotiano y desarrolló su pensamiento como consciente oposición a él. Desde su punto de vista el mundo dependía enteramente de la voluntad de Dios, quien en su omnipotencia podría haber hecho las cosas distintas de como son. De ahí, que todo sea contingente. Como un agente libre, Dios puede hacer todo lo que no involucre una contradicción. Cualquier cosa que **El** creara a través de causas secundarias o naturales, podía también producirla sin agentes intermedios (131). Ockham desarrolló una epistemología que Grant llama "empiricismo radical" (132). Su rasgo fundamental es la convicción de que todo conocimiento se obtiene de la experiencia a través de una "cognición intuitiva". Esto quería decir que los objetos exteriores a la mente, así como los estados mentales personales, se perciben inmediatamente. De esta percepción directa uno puede saber si algo existe o no. No se requiere demostración, y no se puede producir ninguna, para probar la existencia de lo

percibido de esta manera.

Con esta tesis, Ockham admitía que en el orden de la naturaleza todo lo que no es autocontradictorio es posible, no hay una necesidad a priori en las operaciones naturales, y cualquiera que sea el caso, debe ser averiguado por la experiencia.

Otra tesis fundamental era un principio de parsimonia, llamado "navaja de Ockham", comúnmente expresado en la máxima: "Los seres no se multiplican sin necesidad." Ockham demostró que la existencia de una cosa no necesariamente implica la existencia de otra. Su visión del Universo era radicalmente contingente en sí misma: el efecto de cualquier causa secundaria podía pasarse por alto y reemplazarse por la causalidad directa de Dios. Aunque su epistemología era empiricista, con ella no era posible determinar si el mundo en que vivimos es simple o complejo. Dios podía decidir tercamente producir eventos y cosas de manera complicada en vez de simple. Aquí es donde sobresale su escepticismo.

El movimiento para Ockham no podía ser una entidad absoluta y, por tanto, no podía ser una realidad distinta del cuerpo que estaba en movimiento. La mayoría de las dificultades en intentos anteriores para decidir el movimiento, decía Ockham, provenían del inexacto uso del lenguaje, "al hablar del movimiento como si fuera algo diferente del cuerpo movido y del fin (terminus) que alcanza" (133). Al rechazar la definición aristotélica del movimiento como la actualiza

ción del potencial, Ockham tuvo también que hacer caso omiso de la necesidad de un motor para producir el movimiento local (134). Sus ideas fueron un *tour de force* en el ámbito filosófico y científico. Bühler (135) compara el impacto de Ockham en la filosofía con el de Aquino, y **prácticamente todos** los historiadores de la ciencia le atribuyen un papel crucial para el desarrollo científico en el Merton College de Oxford y en París.

Bajo el continuo ataque de críticos y escépticos el programa escolástico, iniciado en el siglo XIII, llegó a su fin. Los nuevos movimientos no negaban los puntos básicos del aristotelismo que habían animado la teología de los últimos tiempos, y desde luego, una nueva filosofía de la naturaleza estaba en germen. Sin embargo, en esta época la alta escolástica había llegado a su cima y comenzaba a desintegrarse en muchas escuelas y facciones opuestas, agotándose en interminables disputas por sutilezas, que serían ridiculizadas por los humanistas del Renacimiento (136).

#### 5.5. Los modernos.

En el campo de la filosofía natural estaban a la mano nuevos e innovadores patrones de pensamiento que ampliarían el saber medieval más allá de las fronteras planteadas por Aristóteles. Los críticos y escépticos posteriores a 1277, actuaron como agentes catalizadores de la nueva filosofía natural que iba desprendiéndose de las redes de las ideas

tradicionales. Reforzaron la opinión de que Aristóteles debía examinarse críticamente, corregirse, reformularse, y, en algunos casos rechazarse por completo. Esta actitud no se limitó, como veremos, a los casos en que entraba en conflicto con la verdad revelada, sino también cuando contradecía los datos manifiestos de la experiencia.

Para concluir, quiero referirme a la actitud de los medievales mismos ante esta crisis milenaria. La música de principios del siglo XIV es el Ars nova; Ockham y sus partidarios son los modernos; la actitud religiosa de fin de siglo, ejemplificada en el teólogo Eckhart (137) es la devotio moderna. Así, donde el historiador contemporáneo contempla una crisis, los medievales vieron una renovación.

Sin embargo, las estructuras no se han transformado en lo fundamental, el viejo orden sigue imperando, aunque el sistema feudal se tambalea. Entre 1270 y 1330 las nuevas modalidades técnicas, políticas y económicas que se fueron gestando en siglos anteriores chocaron inevitablemente con una estructura social que era cada vez más inadecuada. Para lograr la necesaria transformación estructural de la sociedad contra la resistencia de los poderosos, deberá transcurrir todo un siglo. El siglo XIV será pues, la época en la que se generarán, en medio de grandes catástrofes, los sistemas culturales, religiosos, políticos y sociales que servirán de fundamento al mundo moderno.

## 6. EL SIGLO DE LA CALAMIDAD (SIGLO XIV)

### 6.1. La catástrofe.

Numerosos epítetos han calificado el acontecer del siglo XIV: crisis, catástrofe, calamidad, desastre.... "la edad del triunfo de Satán en la Tierra" (139). La primera manifestación que justifica estos calificativos fue la peste negra de 1348 a 1350 que mató, aproximadamente, a un tercio de la población entre la India e Islandia. Sus consecuencias fueron, desde luego, devastadoras. Una de ellas, fue que la peste volviera en subsecuentes oleadas hasta el siglo XV. Pero no debe vérsela como causa en sí misma de los fenómenos que desencadenó. Según Romano y Tenenti (139) existe una fuerte relación entre carestía y epidemia, creándose "círculos viciosos" que debilitaron a la población y tuvieron graves consecuencias demográficas y económicas.

Ligada a la crisis que señalé en el capítulo anterior, entre 1313 y 1317 se verifica una gran carestía en Europa. Una población mal alimentada ofrece menos resistencia a los ataques de la enfermedad; la enfermedad reduce los brazos disponibles para el trabajo y se aumenta la posibilidad de nuevas carestías. Con el derrumbamiento del capital demográfico se generó la desorganización económica y social de la Cristiandad.

En la agricultura se contempla una contracción, un retroceso. Esta descomposición perfila el derrumbamiento del feudalismo. Con la disminución de la servidumbre, el señor deberá pagar para explotar sus propiedades. Hay un nuevo giro en las relaciones feudales de producción: la mano de obra pagada. Una aristocracia que pierde fuerza económica trata de procurarse compensaciones en otros sectores. En el siglo XIV se observa una tendencia de las unidades políticas a ampliar sus territorios. Como ha disminuido su fuerza económica, deja a un lado las grandes empresas (v.g. las cruzadas). Entonces sólo quedan dos caminos: las guerras privadas o, al menos en una fase inicial, seguir al soberano en empresas militares. La primera solución provoca una oleada de bandolerismo en la que participan los nobles que han entrado en conflicto con el poder, progresivamente fuerte del soberano. En algunos casos el bandolerismo degenera en forma de auténticas guerras privadas. (140).

La segunda opción también entraña sus dificultades. Durante sus empresas bélicas, el soberano se aparta cada vez más de los intereses de la nobleza. Su figura adquiere carácter nacional, mientras que los nobles siguen ligados a su feudo. Esta diferenciación de intereses tendrá como consecuencia la victoria del monarca, que apoyándose en las fuerzas nacionales, desmantela el poder de los señores consolidando el Estado moderno. Entre los grandes movimientos de afirmación nacional que se verifican en esta época, la

guerra de los Cien Años es paradigmática, en el sentido en que da lugar a la afirmación del Estado-nación en los países involucrados: Francia e Inglaterra.

Para finales del siglo XIV el único rival que le quedaba al gran poder monárquico era la Iglesia. Así, el "gran cisma de Occidente" (1378-1417) queda inscrito en el marco de la lucha por la hegemonía. El conflicto entre Iglesia y Estado estalla violentamente dejando tras de sí una larga secuela de Papas y antipapas (141); herejes martirizados y movimientos de carácter nacionalista incendiados en el conflicto (142). Detrás del contenido aparentemente dogmático (decidir si la autoridad papal estaba o no sobre la del Concilio), este cisma fue el pretexto para desahogar tensiones políticas. Si la Reforma no ocurrió en este momento sino hasta siglos después, fue por el contenido popular y revolucionario del movimiento. Para Huberman (143), Wycliffe y Huss amenazaron el poder y los privilegios de la nobleza, quien se unió a la Iglesia para aplastar el movimiento.

## 6.2. La tecnología y la ciencia.

Si la catástrofe demográfica y la inestabilidad política habían hecho tanto para trastocar viejos hábitos establecidos, la adaptación a un medio ambiente difícil y la recurrente escasez de mano de obra hicieron de los instrumentos ahorradores de trabajo una necesidad. En efecto, en el siglo XIV el desarrollo técnico no decae. Para esta época los mo

linos han sustituido el trabajo humano en las industrias básicas. La diversificación de sus aplicaciones se ha extendido a todas ellas, junto con la invención de nuevas máquinas (144).

La influencia que la tecnología tiene sobre el intelectual de este período es significativa. Se percibe una tendencia, en todos los órdenes hacia una cultura secular predominante. En las universidades, por ejemplo, los nuevos programas de estudios pueden caracterizarse como laicos por su inspiración y propósito (145). Surge la cultura urbana (146). Los pensadores del siglo XIV se ocupan de asuntos tan mundanos como las leyes de la oferta y la demanda, (Buridan), y la devaluación de la moneda (Oresme) (147). De su observación de una piedra de molino rotatoria, el mismo Buridan deduce su teoría del ímpetu. También en el siglo XIV técnicos e intelectuales unen sus esfuerzos para perfeccionar el reloj mecánico. En la segunda mitad del siglo XIV, Oresme pudo encontrar una metáfora del Universo como un "vasto reloj mecánico creado y echado a andar por Dios" (148).

Más aún, el siglo XIV es la época más fructífera del desarrollo científico de la Edad Media. Una pregunta que surge casi inmediatamente es la siguiente: si el pensador del siglo XIV vivía en medio de la catástrofe totalizadora que señalan los historiadores ¿cómo pudo ser tan creativo? La respuesta en las fuentes es esquivada. Un factor que parece determinante, es el surgimiento, cada vez más acentuado,

de grandes fortunas en pocas manos. En el seno de estas oligarquías pudieron darse las condiciones para el desarrollo intelectual de la época. Sin embargo, en mi opinión, también fueron fundamentales tres hechos más. En primer lugar, las necesidades características de una nueva sociedad en gestación; en segundo lugar, la liberalización de un aristotelismo que ya le quedaba estrecho; y, además, el hecho de que para el siglo XIV el papel se hubiera vuelto más barato, permitiendo que se multiplicaran las copias y se ampliara la distribución de los trabajos escritos. Todo ello derivó en un desarrollo sin precedentes en el ámbito científico, y en particular, en el de la nueva Física, que expondré enseguida.

### 6.3. El auge de la ciencia.

Con todos estos elementos, el campo estaba fértil para el crecimiento de patrones nuevos e innovadores del pensamiento científico, que extenderían la filosofía natural fuera de las fronteras establecidas por Aristóteles.

Las principales innovaciones en la filosofía natural, fueron la emergencia de nuevos métodos matemáticos para las investigaciones físicas y la introducción de conceptos cinemáticos y dinámicos que convirtieron a la mecánica de los cuerpos móviles en una nueva ciencia, y a la astronomía en una disciplina más exacta.

El sitio donde estas innovaciones tuvieron lugar fue

Oxford, donde la tradición matemática de Grosseteste estaba aún viva. Fue ahí, en el Merton College, donde una generación de pensadores como Walter Burley, Thomas Bradwardine, William de Heytesbury y Richard Swineshead hicieron contribuciones que pronto pasaron a la Universidad de París, y de ahí se transmitieron a otros centros de Europa Occidental.

### 6.3.1. Cosmología.

De acuerdo con mi exposición de la cosmología del siglo XIII, era de esperarse que las condenas de Tempier dieran lugar a importantes desviaciones en la visión del mundo medieval. Después de 1277 el contexto intelectual se había alterado dramáticamente y el problema de la existencia de otros mundos, así como una multitud de cuestiones insólitas y extraordinarias, no sólo se tomaron en consideración, sino que su estudio se volvió un lugar común (149). Autores de la talla de Buridan, Oresme y Alberto de Sajonia discutieron en el siglo XIV la pluralidad de los mundos, con las condenas de 1277 en mente. Su propósito, según Grant, lejos de limitarse a la mera presentación de una nueva cosmología, fue resolver problemas físicos hipotéticos que desafiaban los principios de la física de Aristóteles.

Nicolás de Oresme (m. 1382) propuso una versión de la pluralidad de los mundos que es históricamente significativa. Proponía la posibilidad de que mundos separados, uno to

talmente fuera del otro, existieran simultáneamente en un espacio imaginario. Cada mundo funcionaría exactamente como el nuestro y obedecería las mismas leyes. Cada universo tendría sus propios "arriba", "abajo", "centro" y "circunferencia". Con esta proposición Oresme rechazaba la unicidad del centro del Universo, base de toda la física y la cosmología aristotélicas. Porque si entre esos dos mundos simultáneos hipotéticos hubiera un objeto pesado, éste no se movería "naturalmente" hacia el centro de nuestro Universo.

Entre esos mundos hipotéticos había un vacío, cuestión en evidente contradicción con Aristóteles. Pero aun sin varios mundos, en un Universo Único, pensadores del siglo XIV se preguntaron sobre la existencia del vacío en sus confines. Por consideraciones teológicas esta propuesta no se ofreció como mera posibilidad sino como una realidad derivada de la infinita omnipotencia de Dios. Si el mundo está rodeado de vacío, entonces el mundo no debe suponerse infinito. Pero Dios es omnipotente, por tanto, Dios está en el vacío y como su omnipotencia no tiene límites, el vacío es infinito. El concepto medieval de un Universo finito y esférico, rodeado de un vacío infinito "lleno de Dios" continuó su influencia hasta los siglos XVII y XVIII, cuando fue discutido por Isaac Newton y otros (150).

Aunque la localización central de la Tierra en la cosmología tradicional no fue objetada seriamente hasta Copérnico, su condición de reposo total fue examinada cuidadosa-

mente en el siglo XIV. Alberto de Sajonia (fl. 1357), por ejemplo, declaró que la Tierra no necesitaba estar inmóvil para servir de punto de referencia a los movimientos celestes. Podría también funcionar como referencia si rotara, siempre que su rotación no fuera en el mismo sentido que la de los cielos. Desde luego, la Tierra, como punto de referencia, podía reemplazarse por un punto geométrico. Pero aun éste fue rechazado por Alberto de Sajonia y Oresme, basándose en la omnipotencia de Dios para mover el mundo entero en movimiento rectilíneo sin referencia a punto alguno.

Pese a las pruebas de Ptolomeo y Aristóteles contra la posibilidad del movimiento axial de la Tierra, Buridan y Oresme, ofrecieron gran cantidad de argumentos para "demostrar" que la rotación de la Tierra, junto con la inmovilidad de los cielos, podían "salvar el fenómeno" astronómico.

Buridan (m. ~ 1358), quien presumiblemente escribió primero al respecto, reconoció que el problema era básicamente de movimiento relativo. Aunque nos parece que la Tierra, en la que estamos, está en reposo mientras el Sol se mueve alrededor nuestro en su esfera, lo contrario puede ser físicamente cierto, ya que los fenómenos observados se percibirían igualmente. En términos estrictamente astronómicos, Buridan estaba plenamente convencido de que cualquiera de las dos hipótesis "salvaría el fenómeno" astronómico. Sin embargo, fueron criterios no astronómicos los que favorecieron la decisión final. En favor de la rotación axial estaba

el principio aristotélico, comúnmente aceptado, de que el reposo es un estado más noble que el movimiento. Por tanto, sería apropiado que los cuerpos celestes estuvieran en reposo, mientras que la Tierra, el cuerpo más innoble rotara. Buridan ponía énfasis en que el fenómeno se salvara de la manera más simple: parecía mejor suponer que la Tierra, relativamente pequeña, girase con rapidez, mientras que las esferas superiores, más grandes, permanecieran en reposo. De esta manera, la Tierra, en su rotación diaria, requeriría de una velocidad menor que la que necesitarían las esferas celestes. Pese a este y otros argumentos favorables, Buridan terminó por adoptar la opinión tradicional.

En una discusión aún más brillante, Oresme señaló que la rotación axial de la Tierra era una interpretación fisicamente sostenible. Refiriéndose a la observación de los fenómenos astronómicos, Oresme, como Buridan, recurrió a la relatividad del movimiento. Si un hombre pudiera situarse en las esferas celestes en movimiento, y pudiera ver la Tierra en detalle, le parecería que ésta se mueve con movimiento diario, así como a nosotros nos parece que son los cielos los que se mueven (151).

Ptolomeo decía que si la Tierra girase de Oeste a Este soplaría un viento muy fuerte del Oeste. Oresme se opuso a este argumento diciendo que el aire rota con la Tierra, como el aire de la cabina de un barco que se traslada junto con él. Otro argumento que atribuye a Ptolomeo, pero que

probablemente es de Buridan, es el siguiente. Ptolomeo concluyó que si un pasajero en un barco, moviéndose velozmente hacia el Este, disparara una flecha verticalmente hacia arriba, la flecha caería hacia el Oeste, considerablemente atrás del barco. Oresme no halló en este ejemplo nada incompatible con la rotación de la Tierra: los movimientos en un barco que navega hacia el Este ocurren exactamente como cuando está en reposo. Entonces, a pesar del hecho de que el brazo del hombre está sometido a dos movimientos rectilíneos simultáneos, vertical y horizontal, si estirara su mano verticalmente, alineado con el mástil, su mano parecería moverse sólo en un movimiento vertical. Si ahora suponemos que la Tierra, el aire y toda la materia sublunar rotan diariamente de Oeste a Este, el retorno de la flecha a su sitio de lanzamiento puede explicarse con referencia a estos dos movimientos componentes simultáneos: vertical y "horizontalmente circular". Como la flecha comparte el movimiento circular de la Tierra y gira con ella a la misma velocidad, si se dispara verticalmente en el aire, la flecha se elevará directamente arriba del lugar desde donde se lanzó. El observador, que también comparte el movimiento circular de la Tierra, verá sólo una componente vertical del movimiento (152). Oresme concluyó que es imposible determinar por medio de la experiencia que los cielos tienen movimiento diario y la Tierra no.

También contribuyeron en su teoría factores no astronó

micos: Como el comportamiento de la Naturaleza debe explicarse, siempre que sea posible, con el menor número de operaciones, la rotación axial, al evitar movimientos contrarios simultáneos (de Este a Oeste para el movimiento diario, y de Oeste a Este para otros movimientos periódicos), contribuye a un Universo más armonioso. Además, siendo el reposo más noble que el movimiento, esta hipótesis, deja sólo a Dios en supremo estado de reposo. La rotación terrestre también hubiera obviado la necesidad de una novena esfera invisible cuya única función era la de producir un movimiento diario de las demás esferas celestes. Asignando una rotación diaria a la Tierra, Dios habría creado un mundo menos complicado.

Después de tan impresionante cúmulo de argumentos, es absolutamente chocante que Oresme se declarara a favor de la opinión tradicional. Sin embargo, su actitud no es, en modo alguno, irracional. Por una parte, téngase en cuenta el ambiente teológico posterior a Tumpier, y por otra, y tal vez más determinante, el propio status de Oresme dentro de la Iglesia. Oresme llegó a ser obispo de Lisieux y sus conclusiones finales seguramente estuvieron destinadas a proteger la fe cristiana. Cuando Oresme dice que la razón es insuficiente para determinar una cuestión física, donde hipótesis contrarias son igualmente defendibles, se revela como el heredero de la tradición escéptica y probabilística que surgió del conflicto entre la filosofía y la teología.

Si la rotación axial de la Tierra era insostenible en la Edad Media, esto no significa que no se le atribuyera ningún movimiento. En los mismos trabajos donde se discutía su rotación axial, Buridan y otros, admitieron la existencia de movimientos rectilíneos e insignificantes de la Tierra debidos a continuos cambios de su centro de gravedad. Los cambios geológicos, decían, alteraban perpetuamente su densidad y con ello su centro de gravedad se desviaba. El movimiento de la Tierra es, por tanto, el resultado inevitable de su esfuerzo por hacer coincidir su centro de gravedad con el centro geométrico del Universo.

### 6.3.2. Astronomía

El dilema medieval entre la astronomía ptolemaica y la cosmología aristotélica se puede contemplar como un enfrentamiento entre la astronomía matemática y la astronomía física. Por un lado, siendo el Universo una entidad material, su comportamiento deberá ser deducible de las leyes de la Física. Por otra parte, la astronomía matemática (de Ptolomeo) hace uso de construcciones geométricas que violan las leyes de la Física: hay excéntricas y epiciclos cuyos centros no coinciden con el centro del Universo, y hay movimientos circulares con velocidades angulares variables, clara violación a las rotaciones uniformes que Aristotéles asignó a la materia celestial.

La discusión entre aristotélicos y ptolemaicos, antes

de 1277, estaba cargada de argumentos que favorecían a los primeros, pese a que sus oponentes pudieran objetar que aunque sus construcciones suscitaban problemas físicos inoportunos, ellos eran los únicos capaces de hacer predicciones exactas de los fenómenos celestes. En el plano filosófico, este dilema originó largas discusiones acerca del status metafísico de las teorías matemáticas en la ciencia. En el ámbito de la teoría astronómica se formuló una teoría intermedia entre los sistemas aristotélico y ptolemáico, insertando toda la cinemática ptolemáica posible dentro de la maquinaria de las esferas materiales.

Aunque la solución apareció, tal vez primero en la Opus tertium de Bacon (153), fue hasta el siglo XIV en un clima más liberal, cuando fue aceptada. En este esquema, cada esfera planetaria incluía dos superficies: una exterior convexa y una interior cóncava, ambas concéntricas al centro del mundo, salvando así el fundamento del sistema aristotélico. La región limitada por estas superficies se dividía en tres o más orbes separadas, cuyos centros no coincidían necesariamente con el centro del Universo. El movimiento del planeta, pues, quedará explicado en términos de órbitas excéntricas y de epiciclos, de acuerdo con la teoría ptolemáica, mientras que la totalidad de la esfera, como un todo es concéntrica con la Tierra. De esta manera cualitativa, se satisficieron, tanto las exigencias más esenciales de la cosmología y la física aristotélicas, como las de la astro

nomía ptolemaica. Ahora la variación de las distancias planetarias, representadas en excéntricas y epiciclos, quedaba incorporada a un sistema de esferas planetarias concéntricas.

Al margen de la aceptación que tuvo esta teoría intermedia, es conveniente aclarar, que los astrónomos matemáticos tenían la carta de triunfo a largo plazo, pues la sociedad del siglo XIV en adelante estaría más interesada en predicciones exactas de los fenómenos celestes que en especulaciones aristotélicas sobre la naturaleza física del Universo.

Con las contribuciones del siglo XIII, los astrónomos del XIV pudieron poner al día tablas y calendarios. Asimismo, el espíritu práctico generalizado en la nueva sociedad los empujó a mejorar y escribir tratados de instrumentos para la observación y el cómputo.

Jean de Linières confeccionó un catálogo de las posiciones de cuarenta y siete estrellas. En 1342, Levi ben Gerson de Montpellier introdujo una ballestilla que servía para medir la distancia angular entre dos estrellas, y como instrumento de navegación para tomar la altura de una estrella sobre el horizonte (154). Durante la primera mitad del siglo XIV se desarrolló una importante escuela de astronomía en el Merton College. Ahí, John Maudit (fl. 1310) y Richard de Wallingford (~1292-1335) desarrollaron la trigonometría occidental.

Uno de los instrumentos astronómicos más importantes de la época moderna hizo su aparición en Europa hacia finales del siglo XIII y se perfeccionó en el XIV. Me refiero al reloj mecánico. Sus rasgos esenciales eran el empuje de un peso que ponía en movimiento un juego de ruedas dentadas y un mecanismo oscilante de escape que impedía la aceleración de la caída del peso, deteniéndolo a intervalos frecuentes. En el siglo XIV todas las ciudades importantes de Europa tenían un reloj (155), que además incluía una representación mecánica de los planetas girando en ciclos y epiciclos.

También en esta época se dieron los pasos decisivos para tocar las horas iguales (156) en todos los relojes, y se generalizó la división de la hora en sesenta minutos y del minuto en sesenta segundos. Según Crombie (157), la adopción de este sistema de división completó las primeras etapas en la medición científica del tiempo.

Del reloj mecánico se derivó la construcción de modelos astronómicos. En ellos, los astrónomos encontraron el medio de simular fenómenos astronómicos, e ilustrar los movimientos del Sol, la Luna y los planetas. La astronomía de finales de la Edad Media, según Pedersen (158), se muestra creciente abastecedor de las necesidades prácticas de una sociedad en mutación. La literatura astronómica se vio enriquecida por muchos tratados de índole práctica y el viejo corpus perdió popularidad.

De la mano con el creciente interés en las aplicacio-

nes prácticas de la astronomía, vino una difusión de esta disciplina en todos los centros de enseñanza. Los logros matemáticos y físicos del Merton College sirvieron también como estímulo para su expansión. Nuevos centros de actividad astronómica en Cracovia, Praga, Viena, comenzaron a completar la tradición astronómica.

### 6.3.3. Mecánica.

En el siglo XIV numerosas proposiciones aristotélicas fueron criticadas y reformuladas. Una de ellas era el axioma "Todo lo que se mueve debe ser movido por algo". En el caso del movimiento de proyectiles Aristóteles había dicho que el medio servía como fuerza motriz, cuestión difícil de creer pues era aparente que en la mayoría de los casos el medio resistía el movimiento. Una segunda dificultad surge de la división del movimiento en natural y violento. En el movimiento natural, los cuerpos pesados se mueven hacia abajo y los cuerpos ligeros hacia arriba. En el movimiento violento es al revés, los cuerpos son alejados de sus lugares naturales. En este caso, no era difícil ver que un agente externo causaba el movimiento. En el caso del movimiento natural las cosas eran más complicadas. Un cuerpo mixto (con elementos ligeros y pesados) en movimiento natural, sufriría los efectos de unos elementos que actuaran en él como fuerza y otros como resistencia. Más aún, en el caso de cuerpos elementales o simples no había manera de distinguir entre

motor y móvil. Había que referirse a la acción del Primer Motor o a la generación original del cuerpo.

Los comentadores medievales no dedicaron tanto tiempo a esta distinción entre motor y móvil como a deliberar sobre la continuación del movimiento del proyectil y su adecuación a los cánones aristotélicos entre motores y móviles (159). Guillermo de Ockham, como señalé con anterioridad, rompió con el axioma de Aristóteles. Para él, el movimiento era el "objeto móvil que coexiste con diferentes partes del espacio" (160).

Otra respuesta al problema se popularizó en el siglo XIV: la teoría del ímpetu. De acuerdo con ella, el movimiento de proyectiles debe explicarse diciendo que cuando se lanza un objeto, el lanzador transmite un ímpetu al objeto, que entonces continua actuando como causa interna de su movimiento. Este concepto de ímpetu representa, según Grant (161), un punto de partida radical y una adición importantísima a la física aristotélica.

El mejor exponente de la teoría del ímpetu fue Jean Buridan, quien trataba al ímpetu como una cualidad inherente al móvil, proporcional tanto a su masa (cantidad de materia), como a su velocidad. Buridan explicaba que si una pieza de acero y una pieza de madera con igual volumen y forma se movieran a la misma velocidad, el acero recorrería mayor distancia, pues teniendo más materia recibiría mayor ímpetu, y lo retendría por más tiempo contra las resistencias exter-

nas. (162). Así, Buridan concibió el ímpetu como una cualidad de permanencia que duraría infinitamente a menos que una causa externa (resistencia) interviniera. En el caso de las esferas celestes, donde no hay resistencia, Buridan decía que había bastado el ímpetu que Dios les dió en la Creación para que se movieran y continuaran así ad infinitum. En los proyectiles, este ímpetus se reduce progresivamente por la resistencia del aire y la gravedad natural los obliga a caer hacia abajo. En la caída libre, el ímpetu aumentaba gradualmente por la gravedad natural que actúa como una fuerza aceleradora que añade incrementos o "ímpetus sucesivos" a los ya adquiridos (163).

Como un todo, la teoría del ímpetu fue una desviación de Aristóteles, pero que no entraba en conflicto con el sistema general, pues el ímpetu, finalmente, podía contemplarse como una "internalización" de la fuerza que se aplica a un proyectil, por ejemplo. En todo caso, constituyó una mejora sobre Aristóteles en el sentido de que concordaba más con la observación.

El siglo XIV vió también un énfasis creciente en la búsqueda de lo que ocurría en el movimiento en cada punto de su trayectoria, en lugar de considerar al móvil sólo en sus puntos iniciales y finales. El campo en el que se dieron estas discusiones fue en la teoría de la "latitud de las formas", iniciada por Galeno para definir los diversos estados intermedios entre la enfermedad y la salud (164). Era, pues,

una teoría que daba cuenta de las variaciones de intensidad de las cualidades: cambios de matiz en los colores; cambios de temperatura; etc. El estudio y análisis de estos problemas se designaba como la "intensión y remisión (165) de formas y cualidades" (166).

Esta teoría se desarrolló principalmente en el Merton College de Oxford, en donde Heytesbury, Dumbleton y Swineshead estudiaron las variaciones en la velocidad (movimiento local), considerándolas como variaciones en la intensidad de una cualidad. La intensidad de una velocidad aumentaba con la rapidez, de la misma manera que la rojez de una manzana aumentaba con su madurez. La contribución original de la Edad Media se centra en definiciones originales y correctas de rapidez uniforme y movimiento uniformemente acelerado, empleadas posteriormente por Galileo, y que el mismo no pudo mejorar. En el Merton College y otras partes definían el movimiento uniforme diciendo que es aquel en donde se atraviesan distancias iguales en cualesquiera o todos los intervalos de tiempo, ya fueran grandes o pequeños. Como Galileo, los medievales añadían la palabra "cualquiera" para evitar la posibilidad de que distancias iguales fueran atravesadas, en intervalos iguales de tiempo, por velocidades no uniformes (167).

Extendiendo su definición a la clase más simple de velocidad variable, los mertonianos pudieron definir con precisión la aceleración uniforme como un movimiento en el cual

se adquiere un incremento igual de velocidad en cada uno de los intervalos de tiempo iguales, cualesquiera, fueran grandes o pequeños. También trataron de definir la velocidad instantánea (¡sin el concepto fundamental de límite!) en términos de velocidad uniforme. Se expresó como la distancia que atravesaría un punto o un cuerpo, si este continuara moviéndose uniformemente durante un período de tiempo con la misma velocidad que poseía en el instante en cuestión (168).

Usando esta definición, Heytesbury (~1313-1372), estudió el movimiento uniforme y uniformemente acelerado (o desacelerado). Para él, un cuerpo se mueve con movimiento uniformemente acelerado (desacelerado) cuando en iguales intervalos de tiempo gana (pierde) una misma cantidad de movimiento. En este contexto, Heytesbury, haciendo un uso admirable e ingenioso de sus definiciones, infirió el que ha sido llamado "teorema de la velocidad media". Probablemente, la más sobresaliente contribución medieval a la historia de la Física. Por facilidad, y aunque estos símbolos no existían en la Edad Media (169), puede expresarse como

$$s = 1/2 v_f t$$

donde  $s$  es la distancia recorrida,  $v_f$  la velocidad final y  $t$  el tiempo de aceleración.

Cuando en lugar de empezar desde el reposo, la aceleración uniforme comienza desde una velocidad particular  $v_0$ , caso frecuentemente discutido, la versión medieval puede re

presentarse como

$$s = \left[ v_0 + (v_f - v_0)/2 \right] t \quad (170)$$

Fueron estas concepciones de intensión y remisión las que dieron origen, en el siglo XIV, al método de expresar relaciones funcionales geoméricamente por medio de gráficas. Oresme propuso un sistema para medir cualidades o velocidades en dos "dimensiones" de latitud y longitud, donde la latitud se refería a la intensidad de una cualidad o movimiento, y la longitud a su extensión, bien en el cuerpo o móvil, o en el tiempo (171). Su propósito era representar la "cantidad de una cualidad" por medio de una figura geométrica de un área y forma equivalentes.

Oresme usó su sistema para tratar los movimientos de puntos, líneas, planos y sólidos. La cualidad o movimiento de un punto se representa por medio de una sola línea que indica su intensidad. Para la cualidad o movimiento de una línea, Oresme representó la extensión de un sujeto por medio de una línea horizontal en la base (v. fig. 3). Sobre esta base dibujó líneas verticales para representar la intensidad de la cualidad o velocidad del movimiento del sujeto en cada punto.

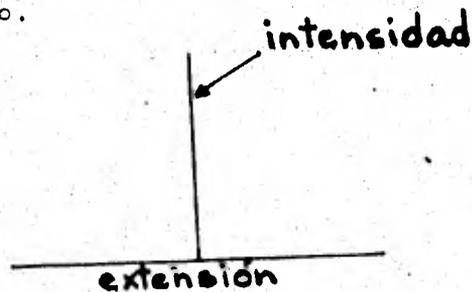


Fig. 3

Para una cualidad o movimiento uniforme, todas las verticales son iguales, y resulta un rectángulo. Para un movimiento uniformemente acelerado, la figura resultante es un triángulo, si parte del reposo (v. fig. 4), o bien un trapozoide si parte de una velocidad particular  $v_0$ .

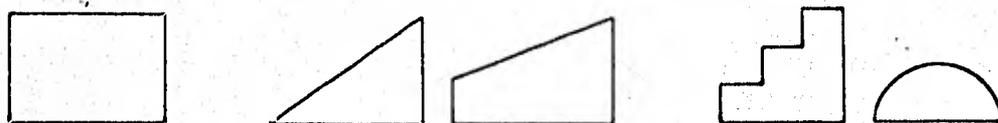


Fig. 4

Representó también otros movimientos mediante figuras escalonadas, semicírculos y otras figuras irregulares (173). Para los movimientos de planos, usó representaciones de sólidos; y pudo extender su sistema a objetos tridimensionales, donde éstos se imaginaban como sólidos interpenetrados (174).

Usando este tipo de "gráficas", Oresme pudo probar el teorema de la velocidad media geoméricamente. Un movimiento uniformemente acelerado es igual a su "grado medio" porque atraviesa el mismo espacio que atravesaría con velocidad uniforme en su "grado medio" en el mismo tiempo. "Esto puede probarse geoméricamente mostrando que el área del triángulo que representa el movimiento uniformemente acelerado, es igual al área del rectángulo que representa la velocidad uniforme en el 'grado medio' (v. fig. 5) porque am-

das cualidades contienen la misma cantidad de cualidad" (175).

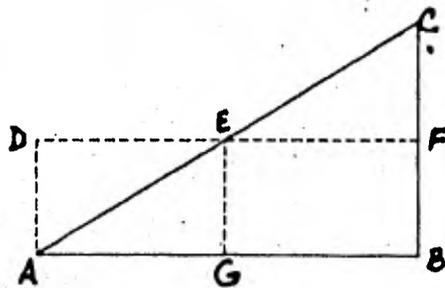


Fig. 5

Area  $ABC = \text{Area } ADFB$   
 porque  $\triangle ADE = \triangle EFC$

Después de la aparición de los trabajos de Heytesbury y Oresme, las discusiones sobre la intensión y remisión de cualidades se volvieron muy comunes, pero según Grant, "fue ron poco más que meros ejercicios intelectuales que refleja ban la imaginación y perspicacia lógica de los pensadores escolásticos" (176). Las contribuciones más trascendentales fueron las de Heytesbury y Oresme, a quienes generalmente se les toma como los "predecesores" de la física galileana. Sin embargo, en mi opinión, y consideradas dentro de su pro pia época, sus teorías representan una solución de gran va lor a los problemas clásicos surgidos del contexto de la me cánica aristotélica.

Por su particular importancia, tanto para el desarro llo de la Matemática como para el de la Física, he dejado para el final la exposición de la que los historiadores llaman, "teoría de las proporciones del movimiento", desarro

llo genuinamente medieval. Su origen, como el de toda la ciencia del siglo XIV, fue la crítica de Aristóteles.

En sus trabajos, Aristóteles había considerado las relaciones que se obtienen entre las velocidades, fuerzas y resistencias involucradas en la determinación de estas velocidades. Aristóteles sostenía que la velocidad de un cuerpo en movimiento violento es directamente proporcional a la fuerza aplicada, e inversamente proporcional a la resistencia del medio en que se produce el movimiento. En símbolos,

$$v \propto F/R$$

(177), en donde  $v$  es la velocidad,  $F$  es la fuerza aplicada y  $R$  es la resistencia del medio.

Después de él, muchos comentaristas latinos trataron de dar una formulación más apropiada. En el siglo XIII Tomás de Aquino habló de "reglas generales", pero nunca fue más allá de los ejemplos que el propio Aristóteles usó (179).

Esta tendencia a apearse a Aristóteles fue característica del siglo XIII. Sin embargo, y también como consecuencia de las condenas de 1277, la situación en el siglo XIV cambió dramáticamente. En el año de 1323, Tomas Bradwardine (m. 1349) escribió su Tratado sobre las proporciones de las velocidades en el movimiento, sacando el problema del contexto aristotélico donde se había venido discutiendo, e investigándolo por su propio derecho.

La obra de Bradwardine contiene tanto una detallada exposición de los preliminares matemáticos requeridos, como

la investigación y rechazo de varias teorías que pretendieron resolver el problema. Su solución introduce una nueva relación matemática basada en proporcionalidad geométrica. En nuestros términos, dice que las velocidades variarán aritméticamente cuando las proporciones de fuerza a resistencia, que determinan estas velocidades, varían geoméricamente. Para reducir a la mitad una velocidad con la nueva ley era necesario sacar raíz cuadrada de la razón  $F/R$ , esto es,  $(F/R)^{1/2}$  generaría la mitad de la velocidad, que la producida por  $F/R$ . (179). La diferencia con nuestro lenguaje moderno, es que cuando nosotros decimos que una proporción está "al cuadrado", los medievales hubieran dicho que estaba "doblada". (Bradwardine, de hecho, usaba relaciones matemáticas que involucraban exponentes).

Con su nueva ley, Bradwardine pudo reformular la ley de Aristóteles, es decir, la reinterpretó, evitando los problemas que presentaba al no adecuarse con la experiencia: si  $F$  era inicialmente igual que  $R$ , no hay ningún movimiento (Bradwardine); en la física aristotélica si había movimiento (180).

Su ecuación fue aceptada por Heytesbury, Dumbleton, Swineshead, Buridan, Alberto de Sajonia y Nicolás de Oresme. Swineshead y Oresme la desarrollaron y aplicaron yendo bastante más lejos que el propio Bradwardine. Estas aplicaciones provocaron un desarrollo de la teoría matemática que pronto hizo de la teoría de proporciones algo más que una

aplicación de la aritmética de fracciones. Traducir la nueva teoría a la aritmética hubiera requerido el concepto de exponente racional, simbolismo del que carecían por completo Oresme y sus contemporáneos y del que sólo tenían las nociones más rudimentarias (181).

El impacto que los trabajos de Oresme, Bradwardine y Swineshead tuvieron en la ciencia de la Edad Media es profundo. La tradición del cálculo de proporciones se extendió desde la medicina hasta la teología, ocupando un lugar preponderante en toda la actividad intelectual de su época. El concepto de "medida" se expresaba no con la utilización de constantes y medidas estándar, sino apelando a la teoría de las proporciones. Así, tanto para las velocidades, fuerzas y resistencias, como para las "distancias" entre Dios y sus creaturas, o donde quiera que se involucrara una medida, se usaron proporciones (182).

Lo más significativo, finalmente, es la interacción enriquecedora de dos disciplinas que la escolástica había pretendido separar, la Física y la Matemática. En el caso de la teoría de las proporciones se intenta formular un problema en términos matemáticos. Esto constituye, en mi opinión, una puerta de acceso hacia la matematización de la filosofía natural. Intento que con anterioridad habían hecho los neoplatónicos como Grosseteste y Bacon, en un contexto en el que difícilmente tuvieron el impacto que Oresme, Bradwardine y Swineshead.

La teoría de las proporciones también influyó en el campo de la Estática. Después de la publicación del Tratado sobre las proporciones de Bradwardine, apareció un tratado anónimo conocido como Aliud commentum (Otro comentario) sobre Jordano. En él se encuentra establecido el principio del trabajo de la manera más explícita dentro de toda la obra Medieval. En nuestras palabras dice: "Lo que es suficiente para levantar un peso  $W$  [en una palanca] a través de una distancia vertical  $H$ , será suficiente para levantar un peso  $KW$  a través de una distancia vertical  $H/K$ , y también será suficiente para levantar un peso  $W/K$  a través de una distancia  $KH$ ." (183)

Sin embargo, y como ya señalé con referencia al siglo XIII, estos resultados no fueron apreciados en todo su valor. La tendencia era la de armonizar y complementar unos trabajos con otros, aunque pertenecieran a escuelas distintas y aun antagónicas. Durante los tres siglos siguientes (antes de la obra de Tartaglia), poco se hizo. La gran obra de la estática medieval estuvo a cargo de Jordano y sus contemporáneos del siglo XIII.

#### 6.3.4. Óptica.

Una vez que la influencia de la "teoría de la multiplicación de las especies" dejó de ser dominante, las investigaciones se hicieron cada vez más escasas. Sin embargo, a principios del siglo XIV, Teodorico de Freiberg (m<sup>o</sup> 1310)

presentó una teoría sobre el arcoiris que se parece bastante a la moderna. En ella propone que la radiación solar entra a cada gota individual de la lluvia, sufre refracción y luego una o dos reflexiones en la superficie de atrás de la gota (una reflexión para producir el arcoiris primario, dos reflexiones para el secundario), y se refracta una vez más al salir de la gota hacia el ojo del observador. (v.

Fig. 6)

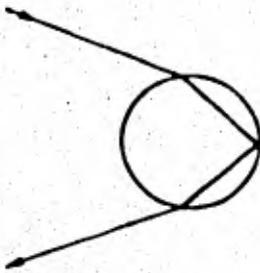


Fig. 6. Producción del arcoiris primario a través de una gota.

(184)

Teodorico afirma haber realizado experimentos con prismas y esferas cristalinas para confirmar su teoría, y desde luego, ésta es un logro notable de la teoría perspectivista. Pero... en su tiempo no tuvo impacto. Para sus contemporáneos fue tan plausible como las otras opciones (185), y ni se conoció ampliamente, ni se la discutió.

Esta teoría, en mi opinión, nos parece importante porque se parece a la nuestra, ya que, conciente o inconcientemente siempre tratamos de justificar nuestra ciencia buscándole ancestros. En este caso, el abuelo fue un fracaso. Tal vez, y no creo que sea muy aventurado decirlo, su investigación no estaba tan vinculada a la Ciencia (con ma-

yúscula) como a la técnica de los vitrales del siglo XIV (106).

#### 6.4. El fin de la Edad Media.

El breve bosquejo de las principales líneas de investigación de la Física del siglo XIV que desarrollé en este capítulo, termina mi exposición. En él resaltan algunos aspectos en los trabajos de estos medievales tardíos, que difícilmente caben dentro del molde escolástico. No obstante, el filósofo de la naturaleza de este período lleva su creatividad y su imaginación hasta los límites que el contexto histórico le permite. Su tendencia es alejarse del análisis aristotélico de la naturaleza y, por tanto, de los trabajos de los comentaristas del siglo XIII. Siempre está acotado por la teología, de la misma manera que, incesantemente, el desarrollo técnico le abre horizontes cada vez más amplios para vincular teoría y práctica. La creciente matematización permite que se den trabajos de la altura de los de Oresme y Bradwardine. El mismo Oresme, sin embargo, es incapaz de sostener una cosmología que contradiga a San Aristóteles. Esta situación ambivalente, coloca a la ciencia del siglo XIV al borde de una línea divisoria.

El fin de la Edad Media, que una vez estuvo situado en 1500, ha sido movido continuamente por los historiadores. Algunos lo fijan en 1400 y aun en 1300. Por las características de este trabajo, yo prefiero dejarlo indeterminado en algún sitio de la segunda mitad del siglo XIV. Para mí, en es-

ta época ya han ocurrido los cambios más relevantes que darán lugar a una nueva concepción social y filosófica (incluso a la ciencia en ella). El nacimiento y consolidación del Estado-nación es un hecho en algunos países; las relaciones de producción han cambiado de la servidumbre a la mano de obra remunerada; la tendencia hacia la laización de la cultura es cada vez más acentuada; las epidemias y los adelantos tecnológicos han alterado radicalmente tanto el modo de producción, como las relaciones entre los hombres; la burguesía tiene cada día un poder más efectivo y preponderante; la ciencia, y en particular la Física, han dado pasos decisivos hacia su autonomía. Si bien, el sistema feudal no será abatido hasta la Revolución Francesa, y la nueva cultura aún no está bien enraizada, en mi opinión, suficientes modificaciones son ya efectivas, como para considerar esta etapa terminada.

## 7. CONCLUSIONES.

### 7.1. Ciencia medieval. Una caracterización.

#### 7.1.1. Autonomía.

La historia de la física medieval puede dividirse en tres etapas características: una etapa de conservación, un período de búsqueda y una jornada final de elaboración crítica. Cada una de ellas, con su aportación particular, expresa una instancia del crecimiento científico en la Edad Media. Durante su transcurso, la ciencia, en un principio inserta dentro del quehacer filosófico e imbuída de concepciones teológicas, dió sus primeros pasos hacia su autonomía. Los pensadores medievales, desde Boecio hasta Oresme, lucharon por dar un lugar a los estudios seculares en el sistema de conocimiento que heredaron y transformaron. Asimismo, hasta los escolásticos más ortodoxos pugnaron por la independencia de la filosofía natural respecto a asuntos metafísicos y teológicos. Curiosamente, fue la acción represiva de la Iglesia la que liberó, hasta cierto punto, a la ciencia medieval tardía de las fuertes ataduras de la autoridad aristotélica. Con ello, y aunque la física del siglo XIV no pierde aún su coloración cristiana y escolástica, se erige como una disciplina singular dentro del con

texto de la filosofía. El medioevo pues, inaugura el tránsito de la ciencia en general y de la física en particular, hacia su autonomía e independencia, logro que pertenece a la Revolución Científica.

#### 7.1.2. La matemización.

Dadas las circunstancias en las que Occidente se encontraba a principios de la Edad Media, se había perdido la tradición matemática que permitió el desarrollo de disciplinas como la astronomía ptolemaica y la estática arquimediana, en las que el uso de las matemáticas es imprescindible.

La Edad Media, pese a su inicial orientación platónica, rechazó el papel de la matemática en la filosofía natural. Esta, en su lucha por la autonomía, no supo encontrar un lugar para la matemática y pugó por independizarse de ella. Los escolásticos consideraron que por ser una ciencia abstracta que "deja de lado a la materia sensible para construir números y figuras en la imaginación" debería permanecer al margen de la Física que es "la menos abstracta de las ciencias especulativas y teóricas, en tanto que considera objetos materiales que tienen materia sensible como parte de su definición" (187).

Al mismo tiempo, como señalé en su oportunidad, los neoplatónicos dieron un lugar preponderante a la matemática, considerando que el Universo está determinado por "leyes de proporcionalidad matemática" (183). Hacia finales de la Edad

Media, la matemática había probado ser una herramienta útil para el desarrollo de teorías físicas.

La matematización de las ciencias naturales conllevó el progreso de la matemática misma. Sin embargo, no debe perderse de vista que los pensadores medievales que emplearon a las matemáticas no estaban realizando un esfuerzo consciente para lograr la "matematización de la ciencia". Algunos historiadores han querido ver en estos primeros indicios, el antecedente de la ciencia moderna matematizada. Desde mi punto de vista, si la ciencia de nuestros días se basó en los desarrollos, que al respecto hicieron los medievales (cosa que no es clara), lo hizo para su propia investigación, con su propio espíritu y la lógica que las necesidades de su tiempo le exigieron.

### 7.1.3. Las conceptualizaciones.

Toda sociedad, y por ello la ciencia que le es propia, requiere, para la satisfacción de sus necesidades, de la solución de problemas.

El científico de la Edad Media, enfrentado a un mundo cambiante y enigmático debió formular los conceptos y los métodos que le permitieran concretizar un sistema de pensamiento inteligible y coherente con su contorno social. De sus esfuerzos surgió el método escolástico como la estrategia más adecuada para cuestionar y comprender el mundo natural. Asimismo, debió hacer definiciones claras y precisas; sepa-

rar cuestiones diferentes que se le presentaron como una sola; trató de conciliar los puntos de vista de pensadores antagónicos para formular una teoría en la que se complementarían mutuamente. Algunos de sus esfuerzos no constituyeron un avance en el quehacer científico, como en el caso de su afán conciliador; otros, como ciertas definiciones -v.g. de términos astronómicos-, prevalecen hasta nuestros días.

Así, pues, los logros más permanentes fueron las conceptualizaciones. Al clarificar y concretar las ideas vagas que heredaron, los medievales abrieron paso a la discusión y el desarrollo de las mismas, ya que sólo es posible rebatir o sostener conceptos claros y precisos. En este sentido sí existe, en mi opinión, un fuerte vínculo entre la Edad Media y la Revolución Científica. Los problemas más cruciales que se resolvieron en esta última, ya habían sido delimitados y discutidos por los medievales.

## 7.2. Ciencia, tecnología y sociedad.

A lo largo de mi exposición he señalado repetidamente el papel medular que juega la tecnología para el desarrollo de todas las prácticas sociales. De hecho, la relación dialéctica sociedad-tecnología-ciencia se constituye en el hilo conductor del desarrollo global del medioevo (como de cualquier otra época). En particular, el crecimiento científico ha mostrado estar fuertemente vinculado con los cambios sociales y tecnológicos.

La orientación platónica de los primeros siglos; el contacto con el Islam y las traducciones; el triunfo de Aristóteles y su crítica final, están situados en coyunturas históricas significativas. Es por esto, que insisto en que si esperamos alcanzar una apreciación completa de los logros científicos medievales (o de cualquier período histórico), debemos examinar con cuidado el proceso de su historia en el contexto más amplio posible. Debemos juzgar todos y cada uno de los factores que influyen e interaccionan con el quehacer de la ciencia, y recordar que cada "ciencia" pertenece a una época y a un sistema socioeconómico determinado.

### 7.3. La Edad Media y la historia de la Ciencia.

La publicación de los trabajos de Pierre Duhem a principios de este siglo, marcó el nacimiento del estudio de la historia de la ciencia medieval con una concepción revalorizadora. Antes de él, la opinión generalizada caracterizada a la Edad Media como un período oscurantista, un largo paréntesis de diez siglos, entre dos épocas doradas de la humanidad.

He mostrado como tales apreciaciones adolecen de simpleza e indocumentación. Los logros medievales son innegables, pero su valoración puede hacerse desde dos puntos de vista: como anticipación de las concepciones básicas y logros teóricos del siglo XVII, o bien, en un intento de comprender a la ciencia medieval por sí misma, dentro de un amplio contex

to social e intelectual que influyó y fue influida por una miríada de fuerzas y disciplinas. Aunque personalmente me adhiero a la segunda opción, en ambos casos, la Edad Media ha demostrado ser una edad luminosa como sus catedrales góticas y su ciencia de la perspectiva.

#### 7.4. La Ciencia Occidental como producto de la Edad Media.

De la sutil transformación -que se llevó a efecto durante la Edad Media, surgió la Ciencia occidental y, por tanto, nuestra Física. La metamorfosis que cambió la civilización mediterránea en la cultura europea, absorbió la ciencia oral de los germanos, las aportaciones greco-árabes, las innovaciones técnicas de la China y la India y el modelo del esplendor bizantino. De este conglomerado de elementos disím-bolos, tejidos en la trama de la unidad virtual del Cristianismo como aspiración universal, emanó una cultura totalmente nueva, estructurada de manera por demás original.

A la luz de tan fundamental transición, la Edad Media no puede ser menos que revalorizada. Pues si somos los herederos de la Ciencia occidental, si la Física que estudiamos y hacemos es ésta, sus raíces están mucho más en la Edad Media europea y cristiana, que en la Grecia clásica, oriental y pagana. Y, por supuesto, sólo su estudio exhaustivo permitirá quitar las últimas tramas de oscurantismo de su

vasta y compleja historia, ya que como señaló justamente  
Gastón García Cantú,

No hay edades oscuras ni tene-  
bras, sino desconocimiento  
y prejuicios. Todas las edades  
son la historia de la creación  
y la destrucción. Cada época  
es un corto camino de asombros  
y conocimientos. (139)

## APENDICE I

## CUADROS CRONOLÓGICOS

Los cuadros cronológicos de las páginas que siguen presentan una visión global de cada una de las épocas que he discutido en los capítulos 1 al 6. Incluyen los acontecimientos más relevantes; las obras artísticas y los personajes históricos más influyentes; los avances tecnológicos de mayor trascendencia y los nombres de los científicos y filósofos mencionados a lo largo del trabajo.

Lejos de ser tablas cronológicas exactas, estos cuadros permiten la ubicación de un hecho (o un personaje) histórico de un solo vistazo. Desde luego, no son material indispensable para la lectura del trabajo, sino más bien un cuadro sinóptico de cada capítulo. Además, cabe aclarar que por limitaciones tipográficas se he visto obligada a sacrificar la exactitud por la claridad.

300 d.C.	400	500	600	700	800	
Eventos históricos	SAN AGUSTIN		Caída del Imp Romano		Conquista de España	Conversiones Cartas magas
Gobierno		Inocencio I Clodius	Bonifacio II Romulo Augusto Clodomiro	Dagoberto Teodorico II	Pipino Carlos Martel	Carlomagno
Ciencia y filosofía	Calcidio Casiodoro	Macelano Capella	Boccio	Isidoro	Beda	Erigena Alcuino
Tecnología						Introd. vidrio Introd. arado pesado
Artes			Mosaicos San Vital de Ravenna	Reedificación del Fuero Juzgo		Mezquita de Córdoba

	700	800	900	1000	1100
Eventos históricos	Corp. de España	Coronación Carlomagno	Tratado de Verdún Invasiones lúngaras	Fundación Elony 1a rev. agrícola GERBERTO Paz de Dios	Cisma Bizancio-Roma Reforma gregoriana
Gobierno	Ripino Carlomagno	Carlomagno Luis el Pi.	Carlos II Carlos III	Otón I Otón II Otón III	Enrique II Conrado II
Ciencia y filosofía	Beda Alavino	Escigara	RENACIMIENTO ISLAMICO ... al-Khwarizmi	Hipérico	Walcher Franco de Liège Fulberto Alhazen Avicena al-Ghazali
Tecnología	Difusión arado Difusión arado pesado	Aparición manubrio	Arnés de collar Herradura clavada Rotación trienal MOLINOS		Aparición volante
Artes			Hesquita de Córdoba		Arte Románico... Sta. María Riall Domesday Book Tapicaría Bayeux

	1000	1050	1100	1150	1200
Eventos históricos		<p>RECONQUISTA DE ESPAÑA ...</p> <p>Cisma de Avinión-Roma Reforma gregoriana Guerra Investiduras</p>	<p>Com. timea de Jerusalén 1ª Cruzada</p>	<p>Concordato de Worms 2ª Cruzada</p>	<p>Anuncio T. Becket III Concilio Letrán 3ª Cruzada</p>
Gobierno	<p>Enrique II Enrique III</p>	<p>Guillermo el Conq Papa Gregorio VII Eduardo el Confesor</p>	<p>Felipe I</p>	<p>Enrique I Papa Inocencio II</p>	<p>Federico Barbarroja Valdemar el Grande Gengis Khan</p>
Ciencia y Filosofía	<p>RENACIMIENTO</p> <p>Fulberto de Chartres Avicena</p>		<p>ISLAMICO</p> <p>Adelardo de Bath Hugo de San Víctor Thierry de Chartres</p> <p>al-Ghazzali</p>	<p>Bernardo Silvestre Guillermo de Conches Herman de Carintia Juan de Salisbury Averroes Haimónides</p>	
Tecnología	<p>Empleo de las lentes Uso intensivo del caballo Diversificación en los usos del molino Aparición del volante Molinos de mareas</p>		<p>Aplicación de la leva</p>	<p>Aparición del compás magnético Molinos de viento Aparición del pedal Invencción de la catapulta</p>	
Artes	<p>Arte Románico</p> <p><u>Canción de Roldán</u></p> <p>Constr. de Clonay</p>			<p>Arte Gótico</p> <p>Cantar de gesta <u>Poema del Cid</u></p>	

	1100	1150	1200	1250	1300
<b>Eventos Históricos</b>	Concilio Worms 2ª Cruzada	Asesinato T. Becket II Concilio Letrán	3ª Cruzada 4ª Cruzada	<p style="text-align: center;"><b>TOMAS DE AQUINO</b></p> Fund. de Berlín I Concilio Lyon II Concilio Lyon	Francia Última Cruzada
<b>Gobierno</b>	Enrique I Papa Inocencio II	Federico Barbarroja Valdemar el Grande Ricardo Corazón de León Felipe II Juan sin Tierra Gengis Khan	Papa Inocencio III	Enrique III Federico II Luis el Santo	Alfonso X el Sabio Felipe el Bello Papa Urbano II Eduardo I
<b>Ciencia y Filosofía</b>	Alhazen Avicena Averroes Adelardo de Bath Thierry de Chartres	Robert de Grosseteste San. Feo. de Asís Sto. Domingo Jordanano Leonardo de Pisa	Juan de Sacroboscio Pierre de Maricourt Juan de San Amando Roger Bacon Wilelmo Juan Peckham Alberto Magno San. Buenaventura Villard de Honnecourt		Guillermo de Oresme
<b>Tecnología</b>			Invento de las gafas Uso del resorte en máquinas Uso del pedal 1º Intento de usar el vapor 1ª armas neumáticas PILVORA Desarrollo armas de fuego 1ª representación del timón		
<b>Artes</b>	<u>Canción de Roldán</u>  Catedral de París	Arte Gótico Chamy		Alfonso X el Sabio Giotto Dante	Gonzalo de Berceo

	1250	1270	1297	1300	1328	1350	
<b>Eventos Acontecimientos</b>		CONDENAS					
		I Concilio de Lyon Viajes Marco Polo			Fracaso 1 <sup>a</sup> Cruzada	1 <sup>er</sup> Papa de Avinión Muevra en Occidente	Peste negra
<b>Gobierno</b>	Luis el Santo Conrado IV	Papa Inocencio II Felipe III Rodolfo I Eduardo I		Felipe el Bello Papa Bonifacio VIII	Juan el Bueno Papa Clemente V	Felipe VI Eduardo III	
<b>Ciencia y Filosofía</b>	Sigaris de Brabante Bocaco de Dacia Alberto Magno Tomás de Aquino Juan Pecham	Juan Duns Scotto Eckhart		Guillermo de Ockham Guillaume d'Auvergne Alejandro de Hales Tomás Bradwardine		Buridan	
<b>Tecnología</b>			Torno de hilar con banda	... Reloj mecánico			
<b>Artes</b>	<u>Smathologia</u>		Dante Alighieri Giotto di Bondone		Petrarca Boccaccio	Chaucer	

	1300	1325	1350	1375
Eventos Históricos	Financas última cruzada	PAPAS DE AVINION		Guerra de los Cien Años "La jacquerie" Fin de la república Avinion
Gobierno	Felipe el Bello Eduardo I	Papa Juan XXII Felipe II Papa Clemente V Eduardo II	Felipe de Valois Eduardo III	Carlos IV Papa Gregorio XI Juan II Carlos V
Ciencia y Filosofía	Teodorico de Freiburg John Maudslayi Leui den Gerson	Richard de Wallingford Tomás Bradwardine Heytesbury Dumblaton	Swineshead Jean de Linières Buridan Alberto de Sajonia	
Tecnología	Reloj mecánico	Pólvora Desarrollo de las engranajes Rueda de hilar Timón de codaste	La energía derivada de los molinos sustituye el trabajo humano Retrolabio de engranajes Emplo de cañones en la guerra	
Artes	Giotto di Bondone	Petrarca Boccaccio	Chaucer	Don Pero López de Ayala Arcipreste de Hita

## APENDICE II

## BIBLIOGRAFIA SUGERIDA

- Crombie, A. C. Historia de la Ciencia: de San Agustín a Galileo. 2 tomos. 2a. ed. Alianza Universidad, Madrid, 1979.
- Dijksterhuis, D. J. The Mechanization of the World Picture. Trans. C. Dikshoorn. 2a. ed. Oxford University Press. 1964. Engnd.
- Duhem, Pierre. Etudes sur Léonard de Vinci. 3 vols. Paris, 1906-13.
- Le système du monde. 10 vols. Paris, 1913-59
- Grant, Eduard. Physical Science in the Middle Ages. 1a ed. Cambridge University Press. EUA. 1977.
- , ed. A Source Book in Medieval Science. Cambridge University Press. EUA, 1974.
- Lindberg, David (ed.). Science in the Middle Ages. History of Science and Medicine Series. 1a. ed. University of Chicago Press. EUA, 1978.
- , Theories of Vision from al-Kindi to Kepler. Chicago, 1976.
- Pedersen, Olaf, y Pihl, Hogens. Early Physics and Astronomy: A Historical Introduction. London, 1974.
- Sarton, George. Introduction to the History of Science. 3 vols. Baltimore, 1927-48.
- Taton, René, ed. La science antique et médiévale. Paris, 1957.
- Thorndike, Lynn. A History of Magic and Experimental Science. 8 vols. New York, 1923-58.
- Weisheipl, James A., O. P. The Development of Physical Theory in the Middle Ages. New York, 1959.
- White, Lynn. Medieval Technology and Social Change. 2a. ed. Oxford University Press. EUA, 1972

## N O T A S

- 1.- Desde luego, la autonomía de la ciencia es un logro del siglo XVII.
- 2.- Pensadores como Ptolomeo y Arquímedes, que usaron ampliamente a las matemáticas, eran poco (o mal) conocidos en esta etapa. Sin embargo, fueron precisamente sus discípulos medievales quienes dieron énfasis a la utilidad de esta disciplina.
- 3.- Definiciones como movimiento uniforme, velocidad media, entre otras, son logros del siglo XIV (v. cap. 6).
- 4.- En este grupo se alega, por ejemplo, que Roger Bacon realizaba experimentos, en el sentido moderno del término, es decir, como comprobación de hipótesis. Otros, por el contrario, lo niegan, y señalan que la palabra experimentum significaba, en aquel entonces, experiencia de los sentidos, y de ningún modo, experimentación controlada.
- 5.- Cohan, B. "A sense of History in Science". American Journal of Physics, 1950, núm. 6, p. 346.
- 6.- Algunos estudiosos consideran que el factor psicológico, es decir, la personalidad de los grandes hombres de ciencia, juega un papel preponderante en la manera cómo se da la ciencia.
- 7.- Grosseteste, Bacon, Buridan y Cresme trabajaron tanto en el campo de la teología como en el de la física.
- 8.- Lindberg, D. "Preface". Science in the Middle Ages. History of Science and Medicine series. EUA. p. xv.
- 9.- Wallace, W. "The Philosophical Setting of Medieval Science". Science in the Middle Ages. History of Science and Medicine series. EUA. p. 92.
- 10.- Tuchman, B. A Distant Mirror. Ballantine Books. EUA. 1979. p. xvii.
- 11.- v. Bibliografía sugerida.

- 12.- Paz, O. "Palabra y Lenguaje". Conferencia durante el ciclo "Ciencia, humanismo y religión". CUC. 1980.
- 13.- Idem.
- 14.- Lindberg, D. "The Trasmision of Greek and Arabic Learning to the West". Science in the Middle Ages. History of Science and Medicine Series. EUA. pp. 56-57.
- 15.- La fecha que marca, tradicionalmente, la caída del Imperio Romano es el año de 476, cuando el último emperador romano es derrotado por los visigodos.
- 16.- Dhondt, J. La Alta Edad Media. Ed. Siglo XXI. México, 1976. pp. 106-107.
- 17.- El Timeo o de la Naturaleza es uno de los diálogos de Platón, en el que presenta una visión del conjunto del Universo desde la creación y el movimiento de los cuerpos hasta la fisiología humana. En él, Platón sostenía que Dios había construido el mundo físico usando a las Formas como modelo, sobre una trama numérica y geométrica.  
El Fedón o del Alma, otro diálogo de Platón, en el que Sócrates, condenado a muerte, expone sus ideas sobre la inmortalidad del alma. En este diálogo Platón demuestra la inmortalidad del alma; define la Idea como el principio de todas las cosas; y traza un cuadro del más allá, del destino de las almas perfectas y de la condena que sufrirán los grandes pecadores.
- 18.- Stock, B. "Science, Technology and Economic Progress in the Early Middle Ages". Science in the Middle Ages. History of Science and Medicine Series. EUA. p. 10.
- 19.- Koestler, A. The Sleepwalkers. Pelican Books. USA, 1979. p. 89.
- 20.- Crombie, A. C. De San Agustín a Galileo. Alianza Ed. Madrid, 1979. p. 28.
- 21.- Término que se refiere al conjunto de las cuatro ciencias matemáticas (aritmética, música, geometría y astronomía) de las siete artes liberales.
- 22.- Stock. op cit. pp. 34-35.
- 23.- Ibid. p. 34.
- 24.- loc. cit.

- 25.- Obviamente los pueblos germanos no carecían absolutamente de un sistema de prácticas y creencias para explicar y comprender el Universo en el que se desenvolvían. Entre estas manifestaciones estaba su religión y su visión del mundo, que fueron calificadas como magia, supersticiones y, aún herejías por los cristianos. Estas concepciones se hallaban y transmitían oralmente, a diferencia de las enseñanzas cristianas que se encontraban en forma literaria, si bien se transmitían al pueblo oralmente.
- 26.- Koestler, op. cit. pp. 87-89.
- 27.- "It was a walled-in universe like a walled-in medieval town" Koestler, op. cit. p. 97.  
"... the earth is shaped like the Holy Tabernacle..."  
Ibid. p. 92.
- 28.- Bernal, J. La ciencia en la historia. UNAM/Nueva Imagen México, 1979. p. 212.
- 29.- Pedersen, O. "Astronomy" Science in the Middle Ages. History of Science and Medicine Series. EUA. p. 303.
- 30.- La eclíptica es el círculo máximo que en un año parece describir el Sol en la bóveda celeste, y que se confunde con el plano de la órbita terrestre. Al seguir la eclíptica, el Sol pasa aparentemente ante las doce constelaciones del Zodiaco.
- 31.- El movimiento retrógrado es aquel de los planetas que después de haber seguido en el cielo el movimiento directo (en contra de las manecillas del reloj), se detiene y parecen retroceder. Este fenómeno se debe a la diferencia entre el período de revolución de los planetas y el de la Tierra, a la cual se debe que el planeta de período más corto parezca acercarse primero y luego, después de haber pasado por una misma longitud celeste, lo deja atrás y se aleja de él.
- 32.- Este modelo es de Heráclido de Pontus ( 388- 310 a.C.) quien señala que mientras que Marte, Júpiter y Saturno giran directamente alrededor de la Tierra, Venus y Mercurio, los planetas inferiores, eran excepciones que giraban alrededor del Sol, que a su vez giraba alrededor de la Tierra. En el siglo XVII Ticho Brahe extendió esta teoría y supuso que todos los planetas giran alrededor del Sol, quien da a su vez una revolución anual alrededor de la Tierra. Como es sabido, su teoría fue una seria alternativa al sistema copernicano. (v. Grant, E. Physical Science in the Middle Ages. Cambridge University Press. EUA, 1977. p. 10.)

- 33.- Definiciones como eclíptica, por ejemplo, fueron refinadas en el medioevo.
- 34.- Período sideral: tiempo al cabo del cual un astro vuelve a su posición original después de haber realizado una revolución completa.  
Período sinódico: tiempo que tarda un planeta en volver a hallarse en oposición o en conjunción con el Sol.
- 35.- El movimiento directo es el movimiento de traslación de un astro en torno a otro cuando se efectúa en el sentido contrario a las manecillas del reloj. El movimiento indirecto es el movimiento retrógrado, (v. nota 31). El movimiento directo constituye la regla en el sistema solar.
- 36.- Pedersen, op. cit. p. 308.
- 37.- La información concerniente a esta sección está tomada, en gran parte, de Pedersen, op. cit. pp. 303-308.
- 38.- Mahoney, M. "Mathematics". Science in the Middle Ages. History of Science and Medicine Series. EUA. p. 145.
- 39.- Grant, E. Physical Science in the Middle Ages. Cambridge University Press. EUA. P. 11.
- 40.- Mahoney. op. cit. p. 147.
- 41.- Kibre, P. y N. Siraisi. "The Institutional Setting: The Universities". Science in the Middle Ages. History of Science and Medicine Series. EUA. p. 122.
- 42.- Stannard, J. "Natural History". Science in the Middle Ages. History of Science and Medicine Series. EUA. p. 435. y Crombie, op. cit. pp. 29-32.
- 43.- White, L. Medieval Technology and Social Change. Oxford University Press. EUA. p. 3.
- 44.- La óptica del siglo XII fue producto de su influencia.
- 45.- Cuando hablo de estabilidad no me refiero a una paz social absoluta. En la Edad Media siempre hay guerras. Sin embargo, en contraste con el período anterior, esta época presenta un ambiente más estable que permite el desarrollo de los fenómenos que explicaré.
- 46.- v. White, op. cit., pass. passim.
- 47.- Ibid. p. 39.

- 48.- Stock, op. cit. p. 36 y Cronbie, op. cit. p. 37.
- 49.- Roma e Inglaterra están separadas, aproximadamente, 12°, es decir, hay alrededor de una hora de diferencia para la observación de un eclipse en uno y otro sitio.
- 50.- Stock, op. cit. p. 36.
- 51.- Cuadrante: instrumento astronómico que mide latitudes y que consiste en un arco de 90°, graduado, con una aguja (radial) móvil para medir ángulos.
- 52.- Stock, op. cit. pp. 13-16.
- 53.- Astrolabio: instrumento para medir la distancia angular entre dos objetos y que podía utilizarse para hallar la altura de un cuerpo celeste. (Para mayores detalles v. Cronbie, op. cit. pp. 29-32 y Pedersen, op. cit. pp. 309-312).
- Algoritmo: Sistema de numeración que incluye al cero, y en el cual se puede representar cualquier número disponiendo la cifra en un orden conveniente. El valor de una cifra se significa por su distancia del cero o de la cifra de la izquierda. Este sistema, respecto al nuevo ábaco, tiene una correspondencia, porque las columnas del ábaco daban un significado tangible a la noción de valor posicional. (v. Cronbie, op. cit. p. 56 y Mahoney, op. cit. p. 151)
- El ábaco romano, aunque facilitaba las operaciones del sistema numeral, era sumamente complicado. La expresión de un número como 7682 requería del uso de doce o veinticuatro ápicos (piedritas). El nuevo ábaco introducido por Gerberto, sólo requería cuatro ápicos y las operaciones estaban basadas en el sistema posicional. (v. Mahoney, op. cit. pp. 147-149)
- 54.- Stock, op. cit. p. 37.
- 55.- Grant, F. Physical Science in the Middle Ages. Cambridge University Press. EDA, p. 15
- 56.- Las cruzadas tuvieron un impacto significativo sobre la estructura social de la Edad Media, impacto que merece el estudio detallado del que ha sido objeto en otros trabajos. Sin embargo, para el propósito de éste basta señalar que las cruzadas tuvieron muy escasa influencia en cuanto a la aportación cultural, ya que la recepción del saber clásico se realizó principalmente a través de España y Sicilia.
- 57.- Me refiero al establecimiento de los intelectuales en las ciudades.

- 58.- Kibre, op. cit. p. 123.
- 59.- Stock, op. cit. p. 53, confróntese.
- 60.- Bernal, op. cit. p. 60
- 61.- Lindberg, "The Transmission of Greek and Arabic Learning to the West". Science in the Middle Ages. History of Science and Medicine Series. EUA. p. 75.
- 62.- v. Crombie, op. cit. pp. 39-41.
- 63.- Un cuerpo desplaza a su vecino y ocupa su lugar en "una especie de torbellino". Crombie, op. cit. p. 42.
- 64.- Su física se basaba más en la observación del mundo que la de Platón.
- 65.- Stock, op. cit. p. 42.
- 66.- La teórica o especulativa (naturalis), comprendía a la Teología, las Matemáticas y la Física. Las matemáticas a su vez comprendían aritmética, música, geometría y astronomía.  
La práctica o activa (moralis), comprendía la Ética del individuo, la Ética de la familia (economía), y la Ética del Estado (política).  
La mecánica comprendía la fabricación de textiles, la fabricación de armamento, el comercio, la agricultura, la caza, la medicina, y el arte teatral.  
La lógica (sermocinales), comprendía la gramática, la dialéctica (lógica), y la retórica. (v. Weisheipl, J. "The Nature, Scope, and Classification of the Sciences". Science in the Middle Ages. History of Science and Medicine Series. EUA. p. 474.
- 67.- Clagget, M. "Some general aspects of Physics in the Middle Ages." Isis. 1948. núm. 6, p. 31.
- 68.- Stock, op. cit. p. 46.
- 69.- Grant, Physical Science in the Middle Ages. Cambridge University Press. EUA. p. 18
- 70.- Para información detallada sobre los orígenes, diseño y uso de estos artefactos v. White, op. cit. pp. 79-129.
- 71.- Bernal, op. cit. p. 313.
- 72.- Hay misiones en el Norte de Africa, Persia, China, Kiev.

- 73.- v. Cronbie, op. cit. pp. 164-167.
- 74.- Con el florecimiento de las ciudades se desarrollan las escuelas: primero como establecimientos religiosos y después bajo la competencia de autoridades urbanas, pero con el mismo carácter religioso.  
Las Universidades tienen carácter corporativo: autonomía jurisdiccional, derecho de huelga y de secesión, y el monopolio de la concesión de los grados universitarios. Funcionan en base a un estatuto que define su organización, programas, calendario y exámenes. En algunas universidades son los maestros los que dirigen el gremio (v.g. París), en otras son los estudiantes quienes lo forman y lo dirigen (v.g. Bolonia), mientras que los maestros ni siquiera forman parte de él.  
La diferencia de las universidades con los gremios industriales y comerciales, estriba en el status privilegiado de sus miembros, que se ocupan de la adquisición de conocimientos. En reconocimiento a esta distinción, los académicos gozan (desde la Antigüedad) de privilegios y exenciones.  
En el siglo XIII los universitarios reciben una remuneración justificada, no como "vendedores de ciencia (ya que ésta pertenece a Dios y no puede ser vendida) sino en tanto que trabajadores".  
Aunque la mayor parte de los estudiantes y maestros pertenecen al clero, en el siglo XIII se abre el acceso a los seculares. (v. Bühler, J. Vida y Cultura en la Edad Media. FCH. México, 1946. pp. 279-276; La Goff, J. La Baja Edad Media, Siglo XXI. México, 1974. pp. 243-250; Kibre, op. cit. pp. 120-123; Grinberg, C. Los siglos del Gótico. Ed. Daimón. Madrid, s/año. pp. 15-22)
- 75.- v. Grant. Physical Science in the Middle Ages. Cambridge University Press. USA, 1977. p. 20 y Kibre, op. cit. pp. 120s.
- 76.- v. Grant, Ibid. pp. 21 y 22; Kibre, Ibid. pp. 120, 131 y 135; y Cronbie, op. cit. pass. passim.
- 77.- v. Grant, loc. cit. y Kibre Ibid. p. 130.
- 78.- Murdoch, J. y E. Sylla. "The Science of Motion". Science in the Middle Ages. History of Science and Medicine Series. FCH. p. 200.
- 79.- En las Questiones Naturales de Adelardo de Bath.
- 80.- Grant, Physical Science in the Middle Ages. Cambridge University Press. USA. 1977. p. 23.

- 81.- La Goff, op. cit. p. 248.
- 82.- Hoyr6, A. Estudios de historia del pensamiento cientifico. Siglo XXI Ed. M6xico. p. 16.
- 83.- Murdoch, op. cit. p. 206.
- 84.- Me preocupa mucho la introducci6n, a todas luces forzada, de este tipo de c6nones. Sin embargo, dadas las limitaciones impuestas por este trabajo, y, desde luego, por mi formaci6n, no veo obligada a hacerlo. Pero sigo consciente de la distorsi6n que produce en la historia de la ciencia, la irrupci6n de patrones extra6os, dentro de un contexto particular.
- 85.- Crombie, op. cit. pp. 68-75. Esta secci6n es la fuente de gran parte de la discusi6n que sigue y contiene la bibliograf6a pertinente.
- 86.- Wallace, op. cit. pp. 95-96 y Crombie, op. cit. p. 75.
- 87.- v. Grant, Physical Science in the Middle Ages, Cambridge University Press. EUA, 1977. pp. 60-61.
- 88.- Crombie, op. cit. p. 76
- 89.- La concepci6n del primum movens en los escol6sticos es de origen teol6gico. Supone un "lugar" para Dios, fuente original del Movimiento, en tanto que creador del Universo. En Arist6teles la alusi6n al primum movens es obscura: el primum movens "se mueve a s6 mismo al aspirar a la actividad eterna e inm6vil de Dios". (cit. por Crombie, op. cit. p. 73.) De ah6 parte Arist6teles a la asignaci6n de "almas" a las esferas. El primum movens transmite su movimiento a la esfera interior, y 6sta a la esfera contigua, etc. En cuanto a la interacci6n del primum movens con los asuntos terrenos, Arist6teles consideraba al Sol como la causa de la generaci6n, crecimiento y declinar de las plantas y los animales.
- 90.- La interacci6n entre la esfera celeste y la terrestre estaba basada en el mismo principio de "lugar natural". Las esferas celestes que rodean a la Tierra correspond6n a las esferas de los elementos: agua, aire, y fuego (despu6s est6n las esferas de los planetas). Cada tipo de cuerpo o sustancia pose6a su lugar natural y, desde luego, un movimiento natural relacionado con 6l. El movimiento de un cuerpo depend6a tanto de su lugar actual en el Universo, como de la sustancia que lo compon6a. Por ejemplo, en una fogata, las cenizas, que

son tierra, se quedan en la Tierra; las llanas tienden hacia la esfera del fuego; y el humo, que es aire, hacia su esfera respectiva.

- 91.- Hago la distinción, que no existía en la Edad Media, entre filósofos naturales y astrónomos matemáticos, para diferenciar a los primeros, pensadores escolásticos que discutían las concepciones cosmológicas de Aristóteles sin confrontarlas, como hacían los segundos, con los datos observables. Los filósofos naturales se preocupaban por conformar una cosmología coherente, en el marco del aristotelismo cristiano, mientras que los astrónomos matemáticos se ocupaban de hacer tablas, mediciones, observaciones, calendarios y predicciones. Obviamente sus métodos de trabajo diferían grandemente.
- 92.- Grant, E. "Cosmology". Science in the Middle Ages. History of Science and Medicine Series. EUA. p. 266.
- 93.- Idem.
- 94.- Ibid. pp. 268-269. y Grant, Physical Science in the Middle Ages. Cambridge University Press, EUA. p. 61
- 95.- Dado que en la Edad Media se reconocía la influencia de los cielos sobre los asuntos terrenos, era labor de los astrónomos recabar toda la información pertinente a los astros y sus consecuencias sobre la Tierra. Sin embargo, la astrología como arte adivinatorio, y para la predicción de fenómenos sociales, etc., adquiriera preeminencia bajo la influencia árabe y para el siglo XIII, la Universidad de Polonia, por ejemplo, impartía la cátedra de astrología. La astronomía se vio beneficiada con este interés en las "estrellas", pues a partir de él, se vuelve a los tratados de astronomía ptolemaica y se da énfasis a la predicción exacta y a la observación.
- 96.- Crombie, op. cit. pp. 79-82. v. también Grant, Physical Science in the Middle Ages. Cambridge University Press. 1955. pp. 71-73; Grant, "Cosmology" Science in the Middle Ages. History of Science and Medicine Series. EUA. pp. 275-281; Pedersen, op. cit. pp. 320-322.
- 97.- v. Pedersen, op. cit. pp. 322-323.
- 98.- Ibid. p. 323.
- 99.- Lindberg, "The Science of Optics" Science in the Middle Ages. History of Science and Medicine Series. EUA. pp. 339-346.

- 100.- Ibid., p. 353.
- 101.- Desde luego esta distinción no es, en modo alguno tajante. Hago hincapié en que la división de estas "profesiones no existe en la Edad Media. Llamo matemático a aquel estudioso cuyo interés, actividad principal, u obra más influyente se centra en alguna rama de la Matemática. En este caso, la tradición euclidiana de la visión, fue desarrollada por pensadores preocupados por la geometría involucrada en el proceso. Los perspectivistas, en contraste, integran elementos de las teorías de Galeno y Aristóteles, y proponer una teoría que incorpora el interés en la Geometría al interés en la Física y en la Fisiología.
- 102.- Lindberg, ibid. p. 353 y 354.
- 103.- Rareza: "calidad de raro".  
Raro, ra: "(del lat. rarus) Que tiene poca densidad y consistencia." Diccionario de la Lengua Española. vol. V, p. 112.
- 104.- Desde la Antiquedad se sabía que "el rayo incidente y el rayo reflejado forman ángulos iguales con la superficie reflectora y que el plano formado por los rayos incidente y reflejado es perpendicular a la superficie reflectora (o su tangente)". Lindberg, ibid. p. 359.
- 105.- Ibid. p. 362.
- 106.- Crombie, op. cit. pp. 201-202.
- 107.- Bernal, op. cit. pp. 294s.
- 108.- Brown, J. "The Science of Weights". Science in the Middle Ages. History of Science and Medicine Series. FUA. p. 179.
- 109.- Ibid. pp. 163-165.
- 110.- Ibid. p. 162 y Crombie, op. cit. pp. 110 y 111.
- 111.- Brown, op. cit. p. 195.
- 112.- Duhem, cit. por Crombie, op. cit. p. 113.
- 113.- Surge el arte gótico.
- 114.- Crombie, op. cit. pp. 107, 134, 135, 136.
- 115.- White, op. cit. pp. 132 y 133.

- 116.- Crombie, op. cit. p. 114.
- 117.- San Amando cit. por Crombie, Ibid. p. 115.
- 118.- Buridan, en su teoría del impetus dice: "este impetus es una cualidad asignada por la naturaleza para mover el cuerpo sobre el cual se imprime, de la misma manera que se dice que una cualidad impresa por un imán sobre un pedazo de hierro mueve el hierro hacia el imán." cit. por Crombie, Ibid. p. 70
- 119.- La clasificación de las ciencias más conocida en el siglo XIII es la de San Víctor, junto con la traducción de De scientiis y De ortu scientiarum de al-Farabi. Los trabajos de Aristóteles se introducen en el curriculum de artes liberales como "las tres filosofías": filosofía natural, filosofía moral y primera filosofía (metafísica). Esta clasificación obedece a la doctrina de "los tres grados de abstracción formal" que confiere el primer grado a las ciencias naturales por ocuparse de la materia sensible; el segundo grado a las matemáticas cuyo objeto es la "abstracción de la materia sensible"; el tercer grado a la metafísica que hace abstracción de toda la materia. Situada entre la física y la Matemática pura, queda la scientia media, en donde los principios matemáticos se usan para "demostrar" ciertas propiedades de un objeto (como la astronomía y la óptica). En esta clasificación la autonomía de las ciencias naturales es perfectamente objetiva. (cf. Weisheipl, op. cit. pp. 474-477 y Wallace, op. cit. pp. 97-98.)
- 120.- Le Goff, op. cit. pp. 267-268.
- 121.- Le Goff señala que esta cruzada surgió desde 1270 con San Luis, rey de Francia en Túnez. (op. cit. p. 268). Después de esta derrota, las fronteras de la cristiandad empezarán a peligrar ante los avances turcos.
- 122.- De acuerdo con ella, una vez que la sustancia del pan y el vino se cambian en la totalidad del cuerpo y la sangre de Cristo, los accidentes del pan y el vino continúan existiendo, pero sin sustancia.
- 123.- Las primeras tuvieron lugar en 1210, 1215, 1231 y 1235. v. Grant, Physical Science in the Middle Ages. Cambridge University Press. EUA. pp. 24-25.
- 124.- Wallace, op. cit. p. 105
- 125.- Grant, Physical Science in the Middle Ages. Cambridge University Press. EUA. p. 27.

- 126.- Ibid. p. 28.
- 127.- Murdoch, op. cit. p. 210.
- 128.- La discusión de nuevos problemas a raíz de las condenas cambia, como se verá, la perspectiva científica medieval, y los currícula universitarios se modifican sensiblemente. Lejos de "supereditarse" a la teología, los nuevos programas tienden hacia la laización.
- 129.- Aún hoy vale preguntarse cuántos de nosotros concebimos el mundo como él.
- 130.- Wallace, op. cit. p. 107.
- 131.- En estas consideraciones estrictamente teológicas se refleja cabalmente el espíritu posterior a 1277.
- 132.- Grant, Physical Science in the Middle Ages. Cambridge University Press. BUA. p. 29.
- 133.- Wallace, op. cit. pp. 109-110.
- 134.- Algunos historiadores ven en este rechazo el origen del concepto de inercia, más adelante expondré sus ideas al respecto. En este momento me importa dejar clara la ruptura con el aristotelismo ortodoxo producida como consecuencia de las condenas.
- 135.- Bühler, op. cit. p. 130
- 136.- Wallace, op. cit. p. 111.
- 137.- Eckhart es el teólogo de la unión mística instantánea: Dios y el alma humana, sin la mediación eclesiástica.
- 138.- Tuchman, op. cit. p. xiii.
- 139.- Romano, R. y A. Tenenti. Los fundamentos del mundo moderno. Siglo XXI, México. pp. 1-9.
- 140.- Es significativo que durante el siglo XIV maduren leyendas como la de Robin Hood.
- 141.- Durante el conflicto la Cristiandad tuvo hasta dos y tres Papas simultáneamente.
- 142.- La crisis religiosa en Bohemia se transformó en movimiento social, y más aún, en crisis nacional. En 1415 tras la condena y muerte en la hoguera de Juan Huss, se desencadenó la guerra en Bohemia.

- 143.- Huberman, L. Los bienes terrenales del hombre. Ed. Nuestro Tiempo. México. pp. 103-104.
- 144.- White, op. cit. p. 39.
- 145.- La laización de la cultura medieval surge en parte como preámbulo del humanismo, y en parte como reacción a una Iglesia corrupta y preocupada más por los bienes mundanos que por los espirituales, característica de los Papas de Avignon. Por otra parte, la cultura laica se afirma en las universidades como un aspecto más de la autonomía con respecto a la teología que todas las disciplinas han buscado desde el siglo anterior. Desde luego, este fenómeno es perfectamente congruente con la, cada vez más pujante, sociedad burguesa laica.
- 146.- Boccaccio, Chaucer, Petrarca, Giotto, son algunos de los más sobresalientes exponentes de la cultura del siglo XIV.
- 147.- v. Huberman, op. cit. pp. 33 y 110; Silva Herzog, J. Historia del pensamiento económico-social. FCE. México, pp. 210-221.
- 148.- White, op. cit. pp. 116 y 125.
- 149.- Grant, Physical Science in the Middle Ages. Cambridge University Press. EUA. p. 74.
- 150.- Grant, "Cosmology". Science in the Middle Ages. History of Science and Medicine Series. EUA. p. 271. También v. Koyré. Del mundo cerrado al Universo infinito p. 222.
- 151.- Grant, Physical Science in the Middle Ages. Cambridge University Press. EUA. p. 67.
- 152.- Idea.
- 153.- Y es posible que ni siquiera él mismo la considerara aceptable. v. Grant. "Cosmology". Science in the Middle Ages. History of Science and Medicine Series. EUA. p. 223.
- 154.- Consistía en una vara con un asta móvil cruzada. Para medir el ángulo entre dos objetos se ponía un extremo de la vara a la altura del ojo y se ajustaba el asta móvil hasta que sus extremos "tocaban" los objetos en cuestión. La altitud de éstos podía leerse en una escala grabada en la vara. (Pederson, op. cit. p. 326)
- 155.- White, op. cit. p. 124.

- 156.- Había una diferencia entre las siete horas litúrgicas y las veinticuatro horas iguales del día.
- 157.- Crombie, op. cit. p. 104.
- 158.- Pedersen, op. cit. -p. 329.
- 159.- Murdoch, op. cit. p. 211.
- 160.- Ockham cit. por Murdoch, Ibid. p. 212.
- 161.- Grant. Physical Science in the Middle Ages. Cambridge University Press. EUA. p. 42.
- 162.- Ibid. p. 50.
- 163.- Ibid. p. 53; v. Crombie, op. cit. vol. II, p. 68 y White, op. cit. p. 125
- 164.- Murdoch, op. cit. p. 231.
- 165.- Intensión: "del lat. intensio, onis. Grado de energía de un agente natural o mecánico o de una cualidad".  
Rehición: "del lat. remittere. Ceder o perder una cosa parte de su intensidad". v. Diccionario de la Lengua Española.
- 166.- Grant. Physical Science in the Middle Ages. Cambridge University Press. EUA. p. 55.
- 167.- Idem.
- 168.- Aunque la definición es circular, es digno de nota, que ya en el siglo XIV se reconociera la necesidad de tal definición.
- 169.- Los medievales expresaban sus formulaciones retóricamente.
- 170.- Grant. Ibid. pp. 55-56; Murdoch, op. cit. pp. 235-236.
- 171.- Murdoch, Ibid.
- 172.- Las dos figuras anteriores están tomadas de Murdoch, ibid. p. 233.
- 173.- Las cualidades "deformemente disformes" se representan en estas figuras irregulares, sobreentendiéndose que cada línea que representa una intensidad debe comenzar en un punto de la línea horizontal de la base, correspondiente a un punto del sujeto. v. Murdoch, ibid. p. 239.

- 174.- Murdoch, Ibid. pp. 227-230.
- 175.- Ibid. p. 240.
- 176.- Grant. Physical Science in the Middle Ages. Cambridge University Press. EUA. p. 58.
- 177.- Nuevamente aclaro que esta simbología es anacrónica. Además cabe señalar que Aristóteles no se propuso generalizar las relaciones que estableció, sino elucidar los factores involucrados en el movimiento.
- 178.- "Aquino nos dice que las palabras de Aristóteles nos permiten inferir reglas generales para la comparación de movimientos, y que la razón detrás de estas reglas es que éstas preservan la misma proporción entre la velocidad de un movimiento y una resistencia variable (asumiendo fuerza constante) o entre la velocidad de un movimiento y una fuerza variable (asumiendo resistencia constante)." Murdoch, op. cit. p. 224.
- 179.- Grant. Physical Science in the Middle Ages. Cambridge University Press. EUA. p. 41.
- 180.- Si  $F = R$   $F/R = 1$ , pero  $\log 1 = 0$  (Bradwardine), entonces no hay movimiento.  
Si  $F > R$   $F/R > 1$  (Aristóteles).
- 181.- Mahoney, op. cit. p. 163
- 182.- Murdoch, op. cit. p. 230.
- 183.- Clagget, H. Science of Mechanics in the Middle Ages. Madison. EUA. pp. 78-79.
- 184.- Figura tomada de Lindberg, "The Science of Optics" Science in the Middle Ages. "History of Science and Medicine Series" EUA. p. 362.
- 185.- Aristóteles decía que el arcoiris resulta de la reflexión hacia el Sol de radiación visual de gotas de humedad de una nube. Grosseteste, en una teoría incomprensible sobre el arcoiris introduce el efecto de la refracción en las teorías sobre el arcoiris. Sus seguidores como Witelo, por ejemplo, decían que la luz del Sol es refractada por las gotas exteriores de una cortina de llovizna y luego es reflejada hacia el ojo del observador por la superficie convexa de las gotas interiores de la misma cortina. (Lindberg, Ibid. p. 362).

- 186.- He doy cuenta de la acrobacia. No obstante, creo que es un renglón que valdría la pena investigar en detalle.
- 187.- Wallace, op. cit. p. 97.
- 188.- Grosseteste, cit. por Wallace, Ibid. p. 95.
- 189.- García Cantú, G. "Política Medieval y política del espíritu". Conferencia dentro del ciclo "Ciencia, humanismo y religión" CUC, 1930

## BIBLIOGRAFIA

- Bernal, John D. La ciencia en la historia. Trad. Eli de Gortari. vol. I. 2a. Ed. en esp. UNAM/Nueva Imagen, México 1979.
- , La proyección del hombre. Historia de la física clásica. 1a. ed. Siglo XXI Ed. (Col. Ciencia y Técnica) México, 1975.
- Boyer, Carl B. A History of Mathematics. s/ed. Wiley International Ed. EUA. s/año.
- Buhler, Johannes. Vida y cultura en la Edad Media. Trad. W. Rocas. 1a. Ed. en esp. FCE. (Secc. de obras de historia) México, 1946.
- Chesneaux, Jean. ¿Hacemos tabla rasa del pasado? 1a. ed. Siglo XXI ed. México, 1977.
- Clagget, Marshall. Science of Mechanics in the Middle Ages. Madison. EUA. 1959.
- , "Some general aspects of physics in the Middle Ages" Isis. 1948 núm. 39, pp. 29-44.
- Cohen, Bernard. "A sense of history in Science" American Journal of Physics, 1950, núm. 6, pp. 343-359.
- Crombie, Alistair C. Historia de la Ciencia: de San Agustín a Galileo. 2 tomos. 2a. ed. Alianza Universidad, Madrid, 1979.
- Cajori, Florian. A History of Physics. s/ed. Mcmillan. New York, 1929.
- Delmas, Claude. Historia de la civilización europea. 1a. ed. en esp. Oikos-tau Ed. (Col. ¿qué sé? núm. 1), Barcelona, 1970.
- Derry, T. K. y Trevor I. Williams. Historia de la Tecnología. Desde la Antigüedad hasta 1750. (Vol. I), 2a. ed. Siglo XXI Ed. México, 1978.
- Dhondt, Jean. La Alta Edad Media. Historia universal. Siglo XXI, vol. 19, 7a. ed. Siglo XXI Ed. México, 1978.

- Dijksterhuis, E. J. The Mechanization of the World Picture.  
Trans. C. Dikshoom. 2a. ed. Oxford University Press.  
1964. England.
- Dobb et al. La transición del feudalismo al capitalismo.  
3a. ed. Ed. Prisma. Medellín, 1975.
- Elzinga, Aant. The Growth of Knowledge. Tesis del Theory of  
Science Institute. 1966. Actualizada a 1970.
- García Cantu, Gastón. "Política medieval y política del espí-  
ritu". Conferencia dentro del Ciclo Ciencia, humanismo y  
religión. En el centenario de la muerte de Alberto Magno.  
nov. 1960. CUC.
- Gosset, Pierre. Histoire du Moyen-Age. s/ed. Alphonse Lemerre  
Editeur. Paris, 1876.
- Grant, Edward. Physical Science in the Middle Ages. 1a. ed.  
Cambridge University Press. EUA. 1977.
- , ed. A Source Book in Medieval Science. Cambridge  
Univ. Press. EUA. 1974.
- Grimberg, Carl. Los siglos del Gótico. Historia Universal  
Daimón. Tomo 5. Ed. Daimón. s/ed. Madrid. s/año.
- , La Edad Media. Historia Universal Daimón. Tomo 6, Ed.  
Daimón. s/ed. Madrid. s/año.
- Guizot, F. Historia de la civilización en Europa. Profr. Orte-  
ga y Gasset. 1a. ed. esp. Alianza Ed. Madrid. 1966.
- Harré, P. El método de la ciencia. 1a. ed. esp. H. Blume. Ed.  
Madrid. 1979.
- Hegel, Georg Wilhelm Friedrich. Lecciones sobre la filosofía  
de la historia universal. Profr. Ortega y Gasset. Adver-  
tencia Gaos. Trad. Gaos. 1a. ed. Alianza Universidad.  
Madrid. 1960.
- Muberman, Leo. Los hitos terrenales del hombre. Historia de  
la riqueza de las naciones. Ed. Nuestro tiempo 6a. ed.  
México. 1977.
- Huizinga, Johan. The Meaning of the Middle Ages. 1a. ed.  
Penguin Books. England. 1955.
- Jeans, James. Historia de la física. 3a. ed. F.C.F. México,  
1963.

- Kempis, Thomas. L'imitation de Jésus-Christ. Trad. de un escrito del siglo XV. 5/ed. Ed. du Seuil. Paris. 1961.
- Koestler, Arthur. The Sleepwalkers. 2a. ed. Pelican Books. EUA. 1979.
- Koyré, Alexandre. Del mundo cerrado al universo infinito.
- , Estudios de historia del pensamiento científico. 2a. ed. Siglo XXI. ed. México. 1973.
- Le Goff, Jacques. La Baja Edad Media. Historia universal. Siglo XXI vol. II. 4a. ed. Siglo XXI ed. México. 1974.
- Lindberg, David (ed.). Science in the Middle Ages. History of Science and Medicine Series. 1a. ed. University of Chicago Press. EUA. 1978.
- Malet, Alberto. La Edad Media. 1a. ed. Libr. Hachette. Buenos Aires. 1943.
- Marx, Carlos. El Capital. Trad. M. Roces. vol. I. 2a. ed. F.C.E. México. 1973.
- Papp, Desiderius. Historia de la física, desde la Antigüedad hasta los umbrales del Siglo XX. 2a. ed. Espasa Calpe. Madrid. 1961.
- Paz, Octavio. "Palabra y lenguaje". Conferencia dentro del ciclo "Ciencia, humanismo y religión". CUC. nov. 1989.
- Pirenne, Jacques. Historia Universal. (vol. II). Desde el Islam al Renacimiento. 1a. ed. en español (de la 3a. en francés). Ed. Exito, S.A. Barcelona. 1973.
- Platón. Diálogos. Col. Sepan cuántos. Ed. Porrúa. México. 1972.
- Romano, R. y Tenenti, A. Los fundamentos del mundo moderno. Edad Media tardía, reforma y renacimiento. Historia Universal. Siglo XXI. vol. 12. 7a. ed. Siglo XXI ed. México. 1977.
- Sarton, Georges. Ensayos de historia de la ciencia. Selecc. y direcc. de Dorothy Stinson. 1a. ed. en esp. UTEHA. México 1968.
- Schwartz, George y Bishop, Philip (eds). Moments of Discovery. 2 vol. Prool. de Linus Pauling. Ed. Basic Books Inc. New York. 1958.

- Silva, Herzoy Jesús. Historia del pensamiento económico-social. De la Antigüedad al Siglo XVI. 5a. ed. F.C.E. México. 1966.
- Tuchman, Barbara W. A distant Mirror. The Calamitous 14th. Century. 1a. ed. Ballantine Books. New York. 1979.
- White, Lynn. Medieval Technology and Social Change. 2a. ed. Oxford University Press. F.U.S. 1972.