

Sobre hombros de gigantes

Lugares y maestros de la ciencia en la Edad Media Europea
20/08/2005 - Meeting de Rimini 2005

1.- Una herencia preciosa

La Edad Media europea fue un período de un gran fervor cultural y una difundida creatividad, que alcanzó metas extraordinarias en la producción artística, arquitectónica y literaria. Pero además ha aportado contribuciones también significativas, si bien menos conocidas, en el campo científico y tecnológico.

Se acostumbra a señalar el nacimiento de la ciencia moderna en los inicios del siglo XVII, al afirmarse el método experimental de Galileo, basado en la matemática como el lenguaje adecuado para la lectura de los fenómenos naturales y en la experimentación como instrumento de control de las hipótesis. Pero esto no se corresponde con el verdadero desarrollo histórico de los hechos.

El conocimiento científico hunde sus raíces en los grandes sistemas de pensamiento de la Grecia clásica (piénsese en Platón y Aristóteles) y en los primeros y fundamentales desarrollos de la matemática (con Tales, Pitágoras y Euclides). Tampoco se pueden ignorar las contribuciones del mundo islámico, en los campos matemático, instrumental y observacional.

Finalmente ha de ser considerado el amplio movimiento científico que comenzó en las abadías medievales para consolidarse después en la universidad, alcanzando su máximo nivel de expresión entre el siglo XII y la primera mitad del XIV. Los medievales redescubrieron la ciencia griega y árabe, reinventaron contenidos, procedimientos e instrumentos; pero sobre todo la insertaron en aquel horizonte de pensamiento y de vida que les confirió nuevas motivaciones y un gran impulso ideal, que consolidó los fundamentos conceptuales y que realizó las condiciones prácticas necesarias para un desarrollo duradero. Gracias a esta herencia los científicos del renacimiento pudieron después levantar el edificio de la ciencia que conocemos.

Es interesante entonces recorrer aquellos siglos, sorprender en acción a los maestros que guiaron el desarrollo cultural, describir los lugares que hospedaron una pasión por el conocimiento, deseosa de medirse con todos los aspectos de la realidad.

Para descubrir que quizás aquella experiencia tiene mucho que decir a quien está hoy implicado en la aventura de "hacer ciencia" y a quien, como todos nosotros, ha de medirse con el crecimiento acelerado de los conocimientos científicos y con los problemas a menudo dramáticos planteados por sus aplicaciones.

2.- El contexto favorable.

¿Cómo ha sido posible que la ciencia y la técnica renaciesen en la Edad Media europea? ¿Qué es lo que determinó el afirmarse de aquellas características originales que todavía hoy encontramos en la base del conocimiento científico y del desarrollo tecnológico?

La investigación histórica permite apuntar a una amalgama de condiciones favorables que "se conjugaron perfectamente por vez única en todo el transcurso de la historia humana" y sólo en el contexto de la cristiandad medieval. Un humus cultural particularmente fecundo y un ambiente social idóneo que se establecieron en aquellos siglos, fueron los que condujeron a la consolidación de algunos modos de pensar y a la formación de algunas instituciones que permitieron el cultivo de la ciencia de un modo estable.

Los testimonios literarios y artísticos nos ofrecen una copiosa y sugerente documentación sobre la visión medieval del hombre y de la naturaleza, dominada por:

? El sentido de que toda la Creación es positiva, y por lo tanto la valoración de la naturaleza y del conocimiento de ésta.

? La concepción fuertemente unitaria de la realidad, y por lo tanto el intento de realizar una construcción orgánica del saber.

? La idea de razón como obediencia a la realidad y a los datos que ésta presenta.

? La tensión constructiva, para resolver los problemas y responder a las necesidades.

? El interés por toda expresión de lo humano y la acogida de toda aportación proveniente de otras culturas y civilizaciones.

La genialidad medieval no se ha expresado únicamente a nivel del pensamiento sino que se ha concretado en la construcción de instituciones, o mejor dicho, de ámbitos de vida adecuados a la transmisión y al crecimiento del saber: desde las Abadías, a las Universidades, a las obras de las catedrales, a los talleres, a las corporaciones. Entre estas realidades, gracias al gran dinamismo y a la dimensión universal que animaba a sus protagonistas, se estableció una densa trama de relaciones que se dilataron espontáneamente en toda Europa garantizando y amplificando las posibilidades de difusión y transferencia, también de conocimientos científicos y tecnológicos.

(.) La Edad Media no debe de ser considerada más interesante que otras épocas por el hecho de que entonces todos fueran más devotos, o capaces de comportarse de modo moralmente menos reprobable, sino por una mentalidad unitaria. El origen de la propia personalidad es una Realidad viviente; el criterio con el que se miran las cosas y según el cual después vendrán utilizadas, está al nivel de la conciencia del sujeto.

Luigi Giussani, Por qué la Iglesia, Ed. Encuentro

El hombre medieval, como carácter, no era ni un soñador, ni un aventurero del espíritu; era un organizador, un codificador, un hombre práctico. Su ideal podría - no injustamente - ser resumido en el viejo refrán dicho de las amas de casa: "Cada cosa en su (justo) lugar, y un lugar para cada cosa". Tres elementos caracterizan el tipo de hombre medieval. Primero, el exiguo número de catedrales para las que se verdaderamente se realizó el proyecto del arquitecto. Segundo, la Summa de Santo Tomás de Aquino. Tercero, la Divina Comedia de Dante. En todo ello vemos la misma tranquila, infatigable, exultante energía de una mente apasionadamente lógica, que coordina en unidad una enorme masa de particulares heterogéneos. Los hombres de la Edad Media deseaban unidad y proporción, todas las virtudes clásicas, tanto como lo deseaban los antiguos griegos. Pero tenían una colección más basta y variada de cosas para ordenar, y les entusiasmaba hacerlo. De aquí la Comedia, que creo que sea su resultado supremo: saturada como una estación de tren en la víspera de vacaciones, pero ordenada y lineal como un batallón en reposo.

Clive S. Lewis, *L'immagine scartata. Il modello della cultura medievale*, Marietti 1990

(...) de un monumento a otro, es todo el arte románico lo que en cada ocasión se inventa. El constructor ha sabido poner su sentido creativo al servicio de las formas necesarias. Mejor dicho: al servicio de las funciones necesarias, de las que nacen las formas, que son al mismo tiempo semejantes y sin embargo siempre renovadas. En aquel tiempo se sabía que el hombre, hablando con propiedad, no puede concebir nuevas formas pero puede imaginar de una manera inextinguible combinaciones de éstas. Todo era entonces pretexto para la creación; todo lo que su visión le sugería se convertía en tema de ornamento. (.) En aquel tiempo no se ignoraba que todo lo que el hombre concibe, tiene el deber de hacerlo en esplendor. De aquí el tiempo que se pasaba esculpiendo una piedra angular o un capitel, según lo que la imaginación sugiriese al picapedrero, sin exceder el espacio asignado en el edificio a una y a otro.

Regine Pernoud, *Medioevo*, Bompiani 1983.

La actividad de la inteligencia occidental que se ha manifestado tanto en las invenciones técnicas y científicas como en los descubrimientos geográficos, no fue el efecto de una herencia propia de un tipo biológico particular. Fue el resultado de un largo proceso educativo que cambió gradualmente la orientación del pensamiento humano y engrandeció las posibilidades de la acción social. (...) El resto de las grandes civilizaciones mundiales realizaron su propia síntesis entre religión y vida y después conservaron sin cambios este orden sagrado establecido durante siglos y milenios. La civilización occidental, por el contrario, fue el gran fermento de la evolución mundial debido a que la transformación del mundo formaba parte de su ideal cultural. Varios siglos antes del perfeccionamiento de la ciencia moderna y de la técnica, el hombre occidental había concebido la idea de una magna instauratio de las ciencias que habría de abrir nuevas vías al conocimiento y cambiar el destino de la humanidad.

Christopher Dawson, *Il cristianesimo e la formazione Della civiltà occidentale*, Rizzoli-Bur 1997

El XII es el siglo del florecer, un período de grandes comienzos. Un variado patrimonio espiritual ya ha entrado en la civilización europea: junto al sustrato greco-romano, se constatan filones hebreos y árabes, y también orientales. El muestrario de tipos humanos es heterogéneo: "Vagabundos, estudiantes errantes, clérigos sin oficio, eremitas pululantes, monjes descontentos y monjes felices, poetas y santos, trabajadores de todo tipo y soldados, prelados ambiciosos y abades empeñados en la administración y en cuestiones mundanas". Es un mundo vivaz, que se nutre en centros prestigiosos: Chartres, Reims, Laon, Orleans, París, Bolonia, Oxford, Padua... Una inteligencia se abre, en busca de soluciones a problemas que no han sido aún espiritualmente elaborados; una confianza excesiva en el poder de la razón, en el poder del número, de las matemáticas y de la geometría.

Reginald Gregoire, *La civiltà dei monasteri*, Jaca Book 1985

La Edad Media fue un largo aprendizaje de la mentalidad de la Europa occidental en el sentido del orden. Pudo existir alguna falta en la aplicación, pero la idea no perdió jamás la toma de corriente. Fue una época de pensamiento ordenado, racionalista desde la cima hasta el fondo. (.) Para la ciencia todavía es indispensable algo más que el sentido general del orden de las cosas. No hace falta que yo precise cómo se enraizó totalmente el hábito del pensamiento claro y riguroso en la mentalidad europea bajo el largo predominio de la lógica y de la teología escolástica. (.) Sin embargo no creo haber puesto todavía en evidencia la gran contribución de la Edad Media a la formación del movimiento científico. Trato de hablar de la fe inexpugnable en que cada acontecimiento particular puede estar correlacionado, de modo perfectamente definido, con sus precedentes y hacer las veces de ejemplo para la formación de principios generales. Sin esta fe, el enorme trabajo de los científicos sería desesperado. Esta fe instintiva, vivamente sostenida por la imaginación, es la que constituye el principio motor de la investigación: existe un secreto, y este secreto puede ser descubierto.

Alfred N. Whitehead, *La scienza e il mondo moderno*, Boringhieri 1979

Otros, para encontrar a Dios, leen un libro. La propia belleza de lo creado es un gran libro: mira, considera, lee el mundo superior y el inferior. Dios no ha trazado con tinta textos para que lo puedas conocer. Delante de tus ojos ha puesto lo que ha creado. ¿Por qué buscas una voz más fuerte? S. Agustín, *Sermones*, 68, 6

Toda la naturaleza habla de Dios, toda la naturaleza amaestra al hombre, toda la naturaleza genera una inteligibilidad: no hay nada estéril en el universo. Hugo de San Víctor, *Didascalicon*

Soy movido por la dulzura espiritual hacia el creador y Regidor de este mundo, porque yo lo sigo con veneración y reverencia mayores cuando contemplo la inmensidad, la belleza y la permanencia de Su creación.

Vincenzo di Beauvais, *Speculum maius*, prologo, cap. VI

Uno debería enseñar aquello que dice el Filósofo (Aristóteles), por la autoridad de su doctrina y por el respeto que merece, y cada uno debería interpretar aquello se dice según su propio conocimiento y habilidad. Pero es necesario comprender, según el propio Filósofo, que uno no debería nunca separarse de aquello que es evidente a los sentidos. Teodorico de Freiberg, De Iríde

La difusión de los saberes en Eurasia

Matemáticas

Siglo III A.C.- Siglo XIII D.C.

1.- En el mundo griego del siglo III a. C. la matemática ya está madura. Alejandría de Egipto es el centro del pensamiento matemático griego hasta la época helena:

- . Euclides funda su escuela y escribe los Elementos (300 a.C.)
- . Arquímedes (287-212 a.C.) y Apolonio de Pergamo (250-175 a.C) los estudian.

2.- En los primeros siglos d.C. en Alejandría encontramos:

- . Ptolomeo (100-178 a.C.)
- . Diofanto (c. 250 d.C.)
- . Pappo (c. 320 d.C.)

3.- En la Alta Edad Media, los manuscritos y la tradición matemática y científica griega se mantienen dentro de los confines del imperio bizantino. El occidente latino católico y el oriente griego ortodoxo están separados.

En la corte de Teodorico en Ravenna:

Severino Boezio (480-524 a.C.), cónsul romano y maestro de palacio, traduce del griego al latín una parte substancial del corpus lógico de Aristóteles (que hasta el siglo XII seguirá siendo el único Aristóteles conocido); escribe manuales de aritmética y música y traduce parte de los Elementos de Euclides, así como la Aritmética de Nicómaco.

4.- El empuje misionero de la iglesia oriental y la fuga de personalidades del mundo bizantino introdujeron en Persia, en los primeros siglos d.C, un cierto conocimiento de la cultura griega. Estudiosos cristianos sirios que viven en Persia conocen el griego y el árabe, y ello permitirá la transmisión del saber griego al mundo islámico.

5.- Desde 632 se inicia la expansión islámica, que llega a Siria, Egipto y el Norte de África. En el siglo VIII Bagdad, capital del califato oriental, se convierte en un centro cultural floreciente, en el que se realizan las primeras traducciones de los antiguos manuscritos griegos, al sirio y por tanto al árabe.

6.- En el siglo VIII, la llegada de astrónomos desde la India a Bagdad, permite la difusión de las cifras indias decimales dentro el mundo árabe.

7.- En el siglo IX comienza a florecer una matemática árabe original, en concreto en el campo del álgebra. En particular: las obras de Al-Khwarizmi ejercieron una gran influencia en Europa.

8.- En 711 el Islam entra en España. Desde el siglo X la corte árabe de Córdoba es un centro de cultura en el que están

presentes las obras matemáticas griegas antiguas (traducidas al árabe) y las árabes más recientes.

9.- Alrededor del año 1000, desde Andalucía: Gilberto de Aurillac, futuro papa Silvestre II, lleva a Francia por vez primera las cifras indo-árabes que si difundirán, gradualmente, por el resto de Europa.

10.- En el siglo XI empieza la lenta Reconquista de España por parte de la cristiandad. En la reconquistada Toledo del siglo XII, se inician las primeras traducciones de obras matemáticas y científicas desde el árabe al latín; mediadores entre los dos mundos son los cristianos mozárabes y los hebreos españoles.

11.- En el curso del siglo XII, gracias a la labor de traducción de muchos estudiosos europeos, importantes obras griegas antiguas y árabes medievales se difunden en occidente: Adelardo de Bath Platón de Tívoli Robert de Chester Gerardo de Cremona ponen a disposición, traducidas al latín, los escritos de Euclides, Apolonio, Ptolomeo y de los algebristas árabes. La obra de estos traductores, según Edward Grant, "modificó radicalmente el desarrollo de la ciencia occidental".

12.- En la Sicilia de los siglos IX al XIII se suceden las dominaciones de los Bizantinos, Arabes, Normandos, Hohestaufen y Anjou.

En la corte de Palermo, punto de encuentro entre tradiciones muy diversas, se crea un ambiente cultural científicamente vivaz. En los siglos XII y XIII se completan nuevas traducciones desde el griego al latín (sin utilizar el árabe como intermediario) de obras científicas, en particular de Arquímedes.

La difusión de los saberes en Eurasia

Ciencias Naturales

Siglo VI A.C. - Siglo XI D.C.

1.- En los siglos VII y VI a.C. puede decirse que nace la cosmología física en la región de Jonia:

- . Tales (624-548 a. C)
 - . Anaximandro (611-547 a. C)
 - . Anaximenes (586-528 a. C)
- que después se desarrolla entre los siglos V y IV a.C.:
- . Filolao (siglo V-IV a. C)
 - . Anaxagoras (500-428 a. C)
 - . Empedocles (483-423 a. C)

Aparecen también las primeras doctrinas atomistas:

- . Leucipo (480-470 a. C)
- . Demócrito (460-370 a. C)

2.- En Samos nace la escuela de los pitagóricos en el siglo VI:

- . Pitágoras (570 a. C.-496 a. C) introduce la noción de Cosmos
- y en el siglo III a. C.:
- . Epicuro (342 a. C.-271 a. C) sostiene las teorías atomistas
 - . Aristarco (310-230 a. C) mide la distancia a la Tierra del Sol y de la Luna, formula el concepto de paralaje estelar y elabora un modelo cosmológico heliocéntrico.

3.- En la isla de Kos,

- Hipócrates (460-370 a. C) funda la Escuela de medicina y escribe los 60 volúmenes del Corpus Hippocraticum.

4.- En Atenas

- Aristóteles (380-322 a. C) funda el Liceo y trata de construir un saber universal.

5.- En Siracusa

- Arquímedes (287-212 a. C) estudia la palanca, diseña máquinas militares y formula los principios de la hidráulica.

En Alejandría

- Eratóstenes (276/272-196/192 a. C) estima la longitud del meridiano terrestre con notable precisión.

6.- En el mundo romano

- La teoría atomista es recogida por Tito Lucrecio Caro (98-55 a. C.) en el De rerum natura.

7.- La época helenística tiene sus centros en Pérgamo y en Alejandría de Egipto

- Galeno (129-200 d. C.) desarrolla todos los campos de la medicina

- Claudio Tolomeo (100-170 d. C.) desarrolla en el Almagesto un modelo geocéntrico muy elaborado para el movimiento de los planetas, que da cuenta de las observaciones astronómicas con óptima precisión.

8.- En el siglo VI, siempre en Alejandría

- El neoplatónico Giovanni Filipono rechaza la idea del medio como causa del movimiento y habla de una fuerza motriz incorpórea impresa sobre el cuerpo en movimiento.

9.- En Sevilla

- El obispo Isidoro (560-636) completa las Ethymologiae, que durante muchos siglos representaron la fuente del saber en muchos campos, desde la astronomía hasta la medicina.

10.- En Northumbria en los siglos VI-VIII se desarrolla un gran movimiento cultural, que culmina con

- Beda el Venerable

y más tarde fue transferido a Alemania por

- San Bonifacio di Crediton (675-753)

y a la corte carolingia de Aquisgrán por

- Alcuino de Cork (730-804)

11.- En los siglos X-XI florecen los monasterios benedictinos en la Alemania meridional: San Gallo, Tegernsee, Reichenau, donde

- Ermanno llamado el Lisiado (1013-1054), desarrolla amplios estudios de matemáticas y astronomía, y construye un astrolabio.

12.- Hacia el final del siglo V comienza a haber un gran interés por la ciencia en la cultura islámica, que continuará hasta el siglo XII

- En la escuela de Bagdad

Masaallah (770-815) completa un tratado sobre el astrolabio plano

Hunain ibn Ishaq (809-877) traduce al árabe el Almagesto de Ptolomeo

Al Battani (850-929) determina la oblicuidad de la eclíptica, la precesión anual, el año trópico.

- En Persia

Damascio (ca 458-533) hace la hipótesis que el tiempo se compone de intervalos.

- En Egipto,

Alhazen (965-1039) estudia la funcionalidad del ojo

El filósofo y médico hebreo Moisés Maimónides (1135-1204) admite la existencia de los átomos y del vacío.

- En Persia

Avicena (980-1037) redefine la doctrina aristotélica sobre el movimiento

- En España

Avempace (m 1138) considera la velocidad como diferencia entre potencia y resistencia (según Aristóteles la velocidad era en cambio la relación entre éstas)

Averroes (1126-1198) sostiene que los átomos son puntos geométricos.

<foto> El Almagesto de Ptolomeo (en una miniatura del siglo XIV).

4.- Del claustro al cosmos

Desde los primeros siglos después de Cristo se afirma en el occidente europeo un comportamiento radicalmente nuevo frente a la naturaleza. El potente concepto de Creación, heredado de la tradición judía y particularmente exaltado por los Padres de la Iglesia, y la concepción de la naturaleza como "signo" del Creador, invitan a una mirada positiva e interesada hacia los fenómenos naturales; hasta sostener que los "fieles tengan el deber de descubrir las leyes de la naturaleza". Descubrimiento que se preanuncia como una sorpresa continua y que determina un desarrollo evolutivo de los saberes, el cual difícilmente podría haberse producido sin otra adquisición típica de la visión medieval: la "liberación del tiempo" del vínculo del eterno retorno y de una concepción cíclica que paraliza todo progreso.

Hasta el siglo XII esta dinámica cognoscitiva viene sostenida y alimentada en lugares bien precisos: las abadías, que han florecido en toda Europa, y las escuelas surgidas junto a las catedrales.

Ya en la Regla de San Benito, la práctica de la lectura y la transcripción de manuscritos asumen un valor fundamental y es bien conocido el papel que desarrollaron las abadías en la recuperación y la conservación del patrimonio cultural de la antigüedad clásica.

En el siglo VIII, con el llamado "renacimiento carolingio", la actividad cultural viene institucionalizada y difundida bajo el impulso del monje Alcuino de York: "en cada diócesis, en cada monasterio, enséñense los salmos, los cantos, el cálculo, la gramática"; ténganse libros corregidos adecuadamente."

Es en estos lugares donde se inicia desde el final del siglo X una imponente labor de traducción al latín de los griegos y árabes clásicos; la variedad de las traducciones es enorme

pero entre 1125 y 1200 se traducen sobre todo obras científicas y filosóficas. La aportación de estas traducciones, sobretudo del pensamiento de Aristóteles, será decisivo para el desarrollo de las nascentes universidades y para la estructuración del pensamiento científico moderno.

5.- Enseñar matemáticas en la Alta Edad Media

A Carlo Magno se le reconoce el mérito de promover la enseñanza matemático-científica con un extenso programa de reformas (en 789) que preveía prescripciones precisas para la enseñanza en las escuelas monásticas en todo el imperio.

A nivel elemental, se enseñaba el cálculo. El término *calculatio* indica el estudio del calendario y el problema típico consiste en determinar la fecha de la Pascua: a ello se dedicaban el tratado de Rabano Mauro y los escritos de Beda el Venerable. En el siglo X comienza a adoptarse un nuevo método de cálculo gracias al ábaco, de modo que el término italiano *abacare* significa calcular.

Se recomienda explícitamente que en cada monasterio haya por lo menos un monje capaz de usar este método de cálculo. "El maestro explica que los tres últimos dedos de la mano izquierda, más o menos doblados sobre la palma, sirven para indicar las unidades; la posición del pulgar y del índice de esta mano indican las decenas. Los mismos gestos de la mano derecha permiten indicar la centenas (pulgar e índice) y los millares (3º y 5º dedo). Para las decenas y las centenas de millar, se llevan las manos hacia el pecho, después hacia el ombligo y por último hacia el fémur. Así se llega hasta 999.999, y si se quiere indicar el millón, las dos manos deben entrelazarse. Todos estos juegos transmitidos a viva voz, por escrito y e incluso dibujados en los manuscritos, eran bien conocidos, no solo por los jóvenes monjes, sino también por los jóvenes seglares. En el Manual escrito para su hijo, Dhuoda habla de los calculadores (articuladores) que cuentan hasta el 99 con las falanges de la mano izquierda, y al llegar a 100 pasan a la mano derecha".

La enseñanza secundaria consiste en el trivium y el *quadrivium*; este último es la base de la enseñanza científica del tiempo. Las fuentes son los escritos de Severino Boezio, basados en la traducción de algunos textos griegos. La geometría se enseña con textos que llevan el nombre de "ars gromatica", es decir, medida de la tierra. Se consideraba, por tanto, por su utilidad práctica, mientras que escapaba completamente al "espíritu euclídeo" por el que construir una teoría en la que toda propiedad tuviera que ser demostrada.

Hay que resaltar que una cierta predilección por los aspectos más prácticos que teóricos permanecerá en la matemática medieval incluso en el periodo de mayor desarrollo. Además del cálculo y las nociones de geometría, la enseñanza científica de las escuelas monásticas comprendía nociones sobre los pesos y las medidas, sobre los planetas y las constelaciones, sobre la meteorología y sobre la anatomía humana.

5.- UN SABER ORGANIZADO

La enseñanza en las escuelas conventuales y catedrales, se basaba en las siete artes libres repartidas en el trivium (gramática, dialéctica, retórica) y en el *quadrivium* (geometría, aritmética, astronomía y música).

En esta miniatura alemana del siglo XII, las artes libres se sitúan alrededor de la filosofía, que a su vez se divide en ética, lógica y política y se ejemplifica en el diálogo entre Sócrates y Platón. Los escribientes, en la parte inferior, representan la disciplina literaria.

6. APRENDE TODO Y DESCUBRIRÁS QUE NADA ES SUPERFLUO

En la primera mitad del siglo XI, la escuela del convento parisino de San Víctor se caracteriza por una innovadora valoración del saber profano.

Hugo, uno de sus mayores exponentes, se dirige así a los estudiantes:

"Omnia disce. Videbis post nihil esse superfluum. Coartata scientia iocunda non est"

Omnia disce: no despreciar ningún conocimiento. Videbis post: incluso si no ves su importancia, en seguida te darás cuenta que nada es superfluo. Una *coartata scientia*, una ciencia que tuviera miedo de afrontar algo no sería feliz, no proporcionaría verdadera satisfacción.

El trabajo de los Victorinos toma su fuerza de la recuperación del saber árabe y griego, el cual proponen a todos los discípulos contribuyendo así a la difusión de la cultura clásica en Europa. El tratado pedagógico *Didascalicon* de Studio Legendi (el manual del perfecto estudiante) de Hugo de San Víctor es uno de los textos más difundidos del Medioevo europeo (nos han llegado unas 125 copias manuscritas). Es un intento extraordinario de unificar todo el saber en una "filosofía", subordinada a la doctrina sagrada: el intento de la obra no es enciclopédico sino sistemático, en cuanto que busca individualizar los ámbitos, las fuentes, las condiciones y el método para un saber universal. Su peculiaridad consiste en que amplía el esquema tradicional del conocimiento (trivium y *quadrivium*) para incluir, al mismo nivel, las artes llamadas "mecánicas": es el primer ejemplo de valoración de las disciplinas técnicas y económicas como el tejer, la agricultura, la medicina.

En la visión de Hugo las tres partes de la filosofía (teorética, práctica y mecánica) tienen como finalidad la regeneración del hombre, caído después del pecado original, y recuperar su semejanza con Dios. La parte teorética se dedica a disipar la ignorancia; la parte práctica a eliminar los vicios y restaurar las virtudes; por último las artes mecánicas se esfuerzan por servir a la debilidad y la vulnerabilidad del hombre.

7. COSMÓLOGOS ENTRE LAS NAVES DE CHARTRES

A finales del siglo X surge en Chartres una importante escuela catedral animada por una gran tensión por recuperar la atención por las cosas (res), por los particulares. Aquí empieza a tomar más peso el *quadrivium*:

se trata de un desplazamiento de los intereses, índice de una nueva concepción que reconoce al mundo físico una dignidad tal como para considerarlo objeto de investigación.

Fundada por Fulberto, discípulo de Gerberto d'Aurillac, la escuela de Chartres se distingue por la recuperación de lo clásico. El contacto con la sabiduría griega, a través de las traducciones, llena de admiración a los medievales convenciéndoles de que aquella herencia puede ser el punto de partida para un apasionante camino de conocimiento. De esta conciencia deriva la afirmación de Bernardo de Chartres: "Somos como enanos sobre los hombros de gigantes, de modo que podemos ver más cosas que ellos y más lejanas, no por la agudeza de nuestra vista sino porque estamos sostenidos y llevados en lo alto por la estatura de gigantes".

Los chartrianos tratan de conciliar la lectura de la creación del mundo propuesta por Platón en el Timeo con la del Génesis. El pensamiento platónico se interpreta no como una minusvaloración de la causalidad natural (las causas segundas), sino como fuente de un interés renovado por las causas físicas, que se actúan según leyes ideales.

Guillermo de Conches sostiene por otro lado que reconocer las causas naturales no disminuye el Poder Divino: "En cambio nosotros lo ensalzamos porque atribuimos a Dios el poder de haber conferido tal naturaleza a los cuerpos. ". Es fundamental por otra parte la proclamación del valor de lo que hoy llamamos "investigación científica": "¿En qué punto contradecemos la Sagrada Escritura si explicamos cómo ha sido hecho lo que ella dice (simplemente) que ha sido hecho? Algunos, desde el momento que ignoran las fuerzas naturales, quieren impedir nuestra investigación [...] pero nosotros declaramos que en todas las cosas hay que buscar la ratio".

8. MATEMÁTICOS PREPARADOS PARA EL RELANZAMIENTO

En el campo matemático, al principio del siglo XII, el occidente europeo ya había asumido como propia la herencia griega y la árabe. Había aprendido:

De los griegos:

- sobre el método:
· El sistema hipotético-deductivo, es decir, la articulación del discurso matemático en axiomas, definiciones, teoremas y demostraciones (como en los "Elementos" de Euclides).

- sobre los contenidos:

· la geometría plana y sólida, incluido el estudio de las "secciones cónicas" y las útiles fórmulas para calcular longitudes, áreas y volúmenes de figuras curvas (círculo, cono, esfera.)
· la trigonometría plana y esférica, nacida al servicio de la astronomía pero que en la baja Edad Media se empezó a aplicar también a problemas geométricos "terrestres".
· La teoría de las proporciones y los primeros elementos de teoría de números: divisibilidad, números primos.

De los árabes:

- sobre el método:

· La escritura posicional de los números mediante las cifras indo-árabes, que iba a permitir hacer cálculos complejos por escrito -como hacemos en la actualidad- sin el empleo del ábaco (mientras que los números romanos, que se utilizaban en el occidente latino, no son adecuados a este fin).

- sobre los contenidos

· El álgebra, entendida como estudio de métodos generales para resolver ecuaciones, principalmente de primer y segundo grado.

El álgebra retórica medieval

En este estadio de desarrollo del álgebra no existe todavía un simbolismo adecuado: los pasos se describen con palabras, las reglas se ilustran con ejemplos numéricos y no hay posibilidad de escribir fórmulas generales.

Por ejemplo: a la incógnita x se le llama "la cosa", a su cuadrado x^2 se le llama "censo" (riqueza), las unidades son "dirham" (las monedas árabes). Un fragmento del razonamiento con el cual al-Khwarizmi, en el primer tratado de álgebra, resuelve la ecuación $(10-x)^2 + x^2 = 58$ se lee así: "Multiplica 10 menos una cosa por sí mismo, haz 100 más un censo menos 20 cosas, después multiplica una cosa por una cosa, haz un censo. Después suma ambos resultados, haz 100 más dos censos menos 20 cosas, el todo equivalente a 58 dirham. Restaura el 100 más dos censos con las veinte cosas que faltan y llévalas a los 58 dirham, haz entonces 100 más dos censos equivalentes a los 58 dirham, más veinte cosas. Vuelve a llevar a un censo único cogiendo la mitad de todo lo que tienes (.)".

Es necesario un tratado entero para resolver la ecuación de primero y segundo grado. Recordemos que el álgebra simbólica tal como la conocemos no nacerá hasta el siglo XVI.

9. CUANDO EL DIAGRAMA ES UN ARTE

La importancia de los soportes visuales caracteriza, hasta el final de la alta Edad Media, la producción de documentos de tipo científico. Manuscritos, miniaturas, códices están repletos de imágenes, gráficos y diagramas, que se conciben como instrumentos de transmisión de la cultura científica, de educación y de soporte a la investigación.

En las fuentes clásicas (al menos para las ciencias no matemáticas), como Aristóteles y Galeno, las imágenes estaban ausentes: su introducción constituye un elemento innovador propio del acercamiento medieval a la ciencia; novedad que deriva de la valorización de los datos observados, unidas a la tensión educativa que trata de hacer los contenidos más comprensibles, comunicables y utilizables; y que puede situarse entre los primeros intentos por elaborar un lenguaje adecuado a la descripción de la naturaleza y a la explicación de sus comportamientos.

En las ciencias naturales encontramos:

- diagramas y esquemas gráficos, con el objeto de facilitar la comprensión de fenómenos o de argumentaciones complejas, de representar una teoría, de ayudar a la memorización;

- diseños geométricos, utilizados en astronomía y en óptica;
- guías prácticas, como herbarios y catálogos astronómicos, para identificar objetos.

En matemáticas, la gráfica no tiene únicamente la función de facilitar, sino que se convierte en esencial para comunicar un argumento (debido también a la carencia de una simbología adecuada). Las imágenes se refieren a:

- propiedades de los números: tipos de números, tipos de relaciones entre los números;
- desarrollo de figuras geométricas;
- geometría práctica: aplicada a la arquitectura, a la topografía, etc.

Los esquemas más difundidos pueden reagruparse según algunas tipologías estándar:*

- * Tablas para condensar y sintetizar contenidos
- * Dicotomías y árboles que facilitan focalizarse en las diferencias (acción típica de la escolástica)
- * Ruedas y diagramas circulares útiles para clasificar y ordenar pero también para poner en evidencia los caracteres opuestos
- * Cuadrados lógicos para esquematizar distintas funciones lógicas (oposiciones, conexiones, contrarios, contradicciones, apartados...), facilitar la asimilación y evitar toda ambigüedad

El esquema, obra del monje Byrhtferth de Ramsey en Huntingdonshire aproximadamente en el año 1000, es una admirable síntesis de las correspondencias, que abarcan: los puntos cardinales, los vientos, los elementos, las cualidades, las edades del hombre, las estaciones, los meses, los signos del zodiaco.

10- El Scriptorium

De las actividades desarrolladas por los monjes medievales, entre las más importantes, consideradas equivalentes a la oración, están la de escribir (*officium scribendi*) y la de copiar los códices. Quien la desarrolla es llamado copista o amanuense o escriba y trabaja en un local predispuesto a propósito: el *scriptorium*, una de las pocas salas de monasterio que la regla de San Benito permitía calentar durante el invierno.

En el *scriptorium* los monjes preparan materialmente los códices, producen textos sacros y transcriben las obras de los autores griegos, latinos y cristianos que conservan después en la biblioteca, impidiendo de este modo que un precioso patrimonio cultural se pierda. Son transcritos los textos sagrados, pero también muchas otras obras de carácter religioso, literario y científico.

El *scriptorium* se presenta como una gran aula con estanterías, cajas, sillas, taburetes y muchas mesas y atriles de madera. Es un ambiente luminoso y las mesas de los amanuenses están colocadas de modo que reciban la mayor luz posible; velas iluminan las mesas en los días no soleados para que de este modo el trabajo de los monjes no sufra interrupciones.

En el *scriptorium* cada uno tiene una tarea concreta: hay quien escribe, quien se encarga de las miniaturas, quien

prepara los legajos y los encuaderna; los códices son producidos y transcritos bajo la guía de un amanuense experto que controla, aconseja y sigue todo el trabajo.

Entre los siglos VI y XII se desarrollan en Europa las técnicas necesarias para la producción del "libro" en sentido moderno. Algunas recuperando técnicas ya conocidas por los antiguos: la escritura cursiva, la fabricación del papel, el uso de la tinta; otras son más sutiles, inventadas precisamente en los *scriptoria* medievales: el índice según los argumentos, la ordenación alfabética de las palabras clave, las concordancias, la estructura de las páginas según reglas de edición precisas y la confección de libros "de bolsillo".

10bis-Medir el tiempo

El tiempo, uno de los temas dominantes en el pensamiento medieval, entre los siglos VI y XIII se hace protagonista de una transformación cultural de gran impacto para el desarrollo de la ciencia: se convierte en objeto de medida precisa. La necesidad de medirlo nace de la conciencia de su significado y del uso que el hombre puede hacer de él; una conciencia educada sobre todo en los monasterios, donde se crea una mentalidad de regularidad y armonía: el ritmo de cada día viene dado por las horas litúrgicas, marcados por la campana cuyos toques se controlan con una *clepsidra* de agua. Pero en el invierno el agua se congela, de manera que se buscan otros recursos. Por otra parte, las horas son desiguales; se adecuan a los ciclos naturales que gobiernan la economía rural.

Entre los siglos XII y XIII las ciudades se expanden, los comercios se intensifican, los artesanos se multiplican, la matemática se desarrolla: el hombre puede calcular y controlar el tiempo y su medida empieza a ser concebida como el registro de intervalos discretos, "digitalizados". Se abre camino una exigencia de precisión: las horas deben de considerarse iguales.

En 1270 el arquitecto Villard de Honnecourt diseña el primer tubo de escape mecánico: es el prelude de aquella que algunos históricos llaman la primera revolución industrial. Llega así, hacia finales del siglo XIII, el tubo de escape mediante "vara y ¿foliot?", la base del reloj mecánico. No se sabe quien fue su inventor: ¿un monje? ¿un herrero? ¿quizás ambos?

A partir de aquí todo cambia: el "despertador" de los monasterios comienza a marcar ritmos regulares; aparecen relojes mecánicos en los campanarios, más adelante en las torres de los edificios civiles: primero sin cuadrante, después con las horas, después con el movimiento de la luna, de los planetas, las constelaciones; cada vez más complejos y prestigiosos para el monasterio o para la ciudad. Los maestros relojeros viajan por Europa construyendo relojes de encargo, dejando un "técnico" en cada lugar para su mantenimiento.

La medida del tiempo se vuelve cada vez más precisa. El astrolabio cede el puesto al astrario (Richard de Wallingford

en Inglaterra 1330, Giovanni de'Dondi en Padua 1364), en el que se prevén los eventos celestes antes de que sucedan. El tiempo ya está preparado para ocupar un puesto fundamental en la nueva ciencia experimental.

11- La invención de la Universitas

Nacida a partir del ejemplo de las corporaciones comerciales y de los oficios, la universitas (totalidad) tiene su origen en la necesidad concreta de promover y garantizar la actividad y los derechos de los docentes y estudiantes de las escuelas catedráticas. Las Universidades nacen por tanto como compañías de docentes o de estudiantes o de ambas categorías (universitas magistrorum, universitas scholarium, universitas magistrorum et scholarium).

Su significado se convierte rápidamente en algo tan habitual que bastará el término "Universidad" para indicar un conjunto de personas, constituidas en una asociación "legalmente reconocida", que individualiza un curso de estudios preciso. Cuatro son las "facultades" tradicionales: artes, medicina, derecho y teología.

La Universidad es una de las "invenciones" más significativas de la Edad Media europea y contribuye a una renovación y difusión de los conocimientos sin parangón en las civilizaciones contemporáneas como China y el Islam.

Los factores que fundamentan esta nueva transmisión del saber son:

- un currículum de estudios innovador gracias a las traducciones en latín de la ciencia greco-árabe;
- un prevalecer del estudio de la filosofía natural dentro de la facultad de artes: por primera vez una institución está dedicada por entero a la enseñanza de la ciencia; pero más importante todavía es el que la filosofía natural sea considerada como propedéutica respecto de las facultades "mayores": la medicina, el derecho y la teología;
- una modalidad de enseñanza en la que a la lectio (lección) ordinaria le sucede una disputatio (discusión) sobre varios problemas o cuestiones, en la que también los estudiantes se hacen partícipes y coprotagonistas; al final el maestro resuelve la cuestión y responde a las objeciones de los estudiantes;
- la sustancial acogida positiva de la filosofía natural greco-árabe por parte de los teólogos y de la Iglesia.

Las "cuestiones" afrontadas en los siglos XII y XIII se desarrollarán en las Universidades renacentistas y representarán el humus natural del que dependen muchos conceptos fundamentales de la ciencia moderna.

12- La luz como "modelo"

Algunos historiadores de la ciencia atribuyen a Roberto Grossatesta los orígenes del moderno método experimental. Él cultivó, en efecto, diversos intereses científicos que le han llevado a escribir ensayos sobre: el calor, la naturaleza de los colores, la generación de los sonidos, los cometas, las mareas, el movimiento de los astros, el arco iris.

En el De Luce, en particular, Grossatesta presenta una original cosmogonía fundada precisamente sobre la acción de "la luz"; trata de explicar el origen del cosmos a partir de un punto originario de materia primordial a la que el Creador habría impreso una única forma primaria, llamada

lux. La cosmología del De luce expresa uno de los elementos claves de la filosofía natural de Grossatesta: todas las características del mundo natural derivan de una forma universal que infunde a la materia el comportamiento geométrico típico de la luz. La consecuencia es que las leyes de la óptica geométrica constituyen el modelo de todo proceso de causalidad natural.

Las leyes de la óptica de Grossatesta

Según Grossatesta los cuerpos naturales se envían influjos recíprocos bajo la forma de "rayos":

"Os es de máxima utilidad el tratar las líneas, ángulos y figuras, porque sin ellos es imposible conocer la filosofía natural (de la naturaleza). Sirven en el universo total y en sus partes, y sirven también para las propiedades que se atribuyen a las cosas, como lo son el movimiento recto y circular"

en base a algunas leyes que establecen los teoremas de la geometría de Euclides con un "principio de economía", según el cual:

"la naturaleza obra del modo mejor y más breve posible"

Aquí tenemos algunos ejemplos de las leyes de la óptica, de acuerdo con la interpretación de Grossatesta:

- . Propagación rectilínea

La recta es la línea más corta entre dos puntos, por tanto transmitir los influjos naturales a través de tales líneas permite "economizar" la energía.

- . Reflexión

Siempre por el principio de economía, la naturaleza prefiere lo igual a lo desigual, de aquí que el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.

- . Refracción

Cuando el rayo encuentra un medio más denso, su camino se acerca a la línea perpendicular, porque ésta es la línea más directa que permite perder menos energía y por tanto "penetrar" con más fuerza. Cuanto más denso es el segundo medio, tanto más tiende a alejarse el rayo refractado de su camino original.

Roberto Grossatesta (Stradbroke, Inglaterra, 1168-Lyon 1253) estudió en Oxford, donde después llega a ser canciller y maestro de teología. En 1235 fue nombrado obispo de Lincoln, y hubo de interrumpir su actividad docente. Participó en el Concilio de Lyon en 1245. Profundo conocedor del griego, tradujo la ética Nicomachea de Aristóteles y varios escritos de Giovanni Damasceno, de Dionisio el Areopagita y de Massimo de Crisopoli.

"Considero que la forma primitiva de los cuerpos, que algunos llaman corporeidad, es la luz. La luz de hecho se difunde por sí misma en todas direcciones, de modo que, si no se interpone un cuerpo opaco, a partir de un punto de luz se genera instantáneamente una esfera de luz tan grande como se quiera".

"La luz por tanto, que es la forma primaria de la materia inicialmente creada, al principio de los tiempos se expandía, multiplicándose infinitamente por doquier y difundiendo uniformemente en todas las direcciones. Distribuyó consigo

la materia, a la que no podría abandonar, en un espacio tan grande como la máquina del universo"

Según Grossatesta, el punto que dio origen a la materia primaria era una especie de átomo que, a través de la multiplicación infinita determinada por la luz a lo largo de las tres dimensiones, dio origen a líneas, superficies y espacios sólidos. La expansión de la materia es uniforme en todas las dimensiones, y por tanto la forma resultante es la de una esfera; por otro lado, así como la intensidad de la luz decrece al aumentar la distancia a la fuente, la densidad de la materia decrece en el transcurso de la multiplicación desde el punto de origen, y de aquí que las partes externas de la esfera estén más enrarecidas que las internas.

13- El realismo crítico de Alberto Magno

Cuando fue llamado a ocupar una de las dos prestigiosas catedrales de la orden de los dominicos en París, Alberto es ya un científico consolidado: en su itinerario cultural se contiene todo el cuerpo aristotélico junto a un profundo conocimiento del resto de los autores clásicos y contemporáneos. Pero tiene también un enorme bagaje de observaciones científicas "de campo", realizadas aprovechando sus numerosos viajes (a menudo a pie) por toda Europa: Alberto está convencido de la importancia del contacto directo con la realidad y de la posibilidad de avanzar en el conocimiento de la naturaleza mediante una observación meticulosa y metódica, atenta a darse cuenta incluso del mínimo detalle de un objeto; para después tratar de explicarlo mediante "razones naturales".

"En este libro VI satisfaremos la curiosidad de los estudiosos más que la filosofía. La filosofía no puede discutir los particulares.. No se pueden hacer silogismos sobre ciertas naturalezas particulares, sobre las que sólo la experiencia puede generar certeza".

La suya es una aproximación integral, orientada a la consideración unitaria de los fenómenos; es la aproximación -de sorprendente actualidad- "orgánica", la que más se adapta a los fenómenos biológicos, considerando la complejidad y multiplicidad de interacciones.

Lejos de todo reduccionismo, se opone al modelo pitagórico y platónico de la ciencia, que apunta exclusivamente a la matematización y la cuantificación de la realidad. Asume un método aristotélico y sin embargo crítico y libre de toda subordinación a la auctoritas que contraste con la valoración personal de la razón y con las evidencias experimentales.

Alberto tiene una clara visión de la pluralidad de los métodos de conocimiento, sostenida por la conciencia de la parcialidad de cualquier aproximación específica y totalmente injertada sobre la unidad de la experiencia de fe que valora todos los particulares sin perderse en la especialización.

Alberto Magno, filósofo y teólogo dominico, fue obispo de Ratisbona. Licenciado en París, recibió el encargo de fundar y dirigir el Studium General en Colonia. Canonizado en 1931 por Pío XI, fue nombrado "Celeste Patrono de los que cultivan las ciencias naturales" por Pío XII en 1941. Sus numerosas obras, que le hicieron merecedor del apelativo

de Doctor Universal, son una admirable síntesis del saber de su tiempo. Su personalidad encarna, en palabras de Juan Pablo II, "el estatuto de una intelectualidad cristiana". De 1248 a 1252 Alberto fue maestro de Tomás de Aquino en Colonia. Fue él quien indicó al joven Tomás como candidato al doctorado de teología en París. En las clasificaciones Alberto reelabora los criterios propuestos por Aristóteles, integrando los criterios de tipo reproductivo con los morfológicos y ecológicos.

14. Scientia experimentalis

Con el sobrenombre de Doctor Mirabilis debido a su gran erudición, Roger Bacon es un pensador ecléctico, estudioso de la matemática, la óptica, la astronomía, la alquimia, la medicina, la gramática, la filosofía, el derecho, la moral, la teología. Sus ideas innovadoras se desarrollaron en la obra más famosa, *Opus Maius*: una síntesis de sus investigaciones, enviada al papa Clemente IV en 1267, presentada en el cuadro de una visión sistemática y unitaria del saber.

Pone las matemáticas en la base de las ciencias, por constituir "la puerta y la llave de todas las ciencias":

"En las matemáticas se cumplen experiencias universalmente válidas en torno a las conclusiones, calculando y trazando figuras geométricas, y este modo de proceder se aplica a todas las ciencias, incluida la ciencia experimental, ya que no se puede conocer ninguna ciencia sin la matemática".

Se comprueba aquí la profunda influencia de Grossatesta y de su aproximación neoplatónica, que tiende a un conocimiento cuantitativo, general e inmutable, independientemente de las percepciones sensoriales (en contraste, también explícito y áspero, con la impostación aristotélica de Alberto Magno).

Según Bacon, para poder tener un adecuado conocimiento de la realidad es necesario acercarse a las matemáticas la práctica experimental (*scientia experimentalis*), la cual permite descubrir las características de los fenómenos, verificar las conclusiones de los razonamientos, encontrar aplicaciones tecnológicas de las leyes naturales.

No se puede afirmar que Bacon haya sido un científico experimental en el sentido moderno; y quizás no cumplió siquiera todos los experimentos que él mismo describe. Como tampoco se puede deducir de su pensamiento una contradicción entre el primado de la matemática y el valor de la experiencia: si las matemáticas nos conducen a conclusiones correctas, es la experiencia la que certifica tales conclusiones; es más, es precisamente la experiencia la que nos permite darnos cuenta del carácter matemático de la realidad.

"El hombre privado de la experiencia no puede pretender haber recibido la explicación y comprender, no podrá de hecho tener alguna explicación si antes no hace experiencia".

Roger Bacon (Inglaterra 1220- Oxford 1292). Acabados sus estudios en París y convertido en padre franciscano, volvió a la Universidad de Oxford en la que conoció el pensamiento de Roberto Grossatesta y las obras de Pedro Peregrino, a

quien consideró un magnífico científico experimental: estos encuentros determinaron un giro radical en su vida intelectual, infundiéndole un fuerte interés por las ciencias experimentales y las aplicaciones tecnológicas.

15- Pesadas demostraciones

En el París universitario del siglo XIII se desarrollan algunas ideas sobre las que se fundará, en el siglo XVII, el edificio de la mecánica. Son las ideas elaboradas por Giordano Nemorario y su escuela. Giordano llega a la solución correcta de algunos problemas de física, como el del plano inclinado, por la que los antiguos se habían esforzado en vano para encontrarla.

Descubre también una demostración interesante del principio de la polea, sirviéndose del llamado "axioma de Giordano": la potencia que levanta un peso a una cierta altura, puede levantar un peso k veces más pesado a $1/k$ veces la altura. Es el primer intento de lo que será después el principio de los trabajos virtuales, en la mecánica clásica.

Un ejemplo de álgebra "casi simbólica" de Giordano.

Giordano da una primera e importante contribución para la superación del álgebra retórica, introduciendo el uso de las letras para indicar cantidades genéricas.

Por ejemplo:

"Sea el número dado a separado en x e y de modo tal que el producto de x e y sea un b fijo. Sea además que el cuadrado de la suma de x e y sea e , y el cuádruplo de b sea f . Sustraemos este f de e para obtener g , que será entonces el cuadrado de la diferencia de x e y . Tomamos la raíz cuadrada de g , y llamémosla h . Entonces h será la diferencia entre x e y . Puesto que h se conoce, se podrán encontrar también x e y ."

Con nuestro lenguaje, Giordano se pone el problema de determinar dos números de los que se conozca la suma y el producto: observa que $(x-y)^2 = (x+y)^2 - 4xy$, y por ello la suma y el producto permiten determinar también la diferencia, y una vez conocidas la suma y la diferencia de dos números, es inmediato determinar los dos números.

No es todavía nuestro álgebra simbólica, porque el resultado de toda nueva operación viene llamado como una nueva letra; se parece más al uso de la Grecia antigua según la cual se indicaban con letras los segmentos de una figura geométrica. El método de Giordano le permite además realizar un cálculo de carácter general, más que desarrollar solo ejemplos numéricos; y llegar, por primera vez de modo explícito, a la fórmula para la resolución de una ecuación de segundo grado, solución que los árabes obtenían únicamente con ejemplos numéricos.

16.-El impetus de Buridano

"Al moverse un cuerpo, el motor le imprime un cierto impulso, o bien una cierta potencia capaz de moverlo en la dirección hacia la que el motor lo ha enviado, ya sea hacia arriba o hacia abajo". Para Buridano es esta "potencia" la que mantiene en movimiento un proyectil después de que quien que lo ha lanzado haya dejado de moverlo; pero "debido a la resistencia del aire y de la gravedad de la tierra"

el impetus "se debilita continuamente" y en consecuencia el movimiento es cada vez más lento hasta extinguirse.

Comienza el disentir de la física de Aristóteles.

En las lecciones parisinas, Buridano critica la explicación aristotélica del movimiento violento (que atribuía la acción del aire que circundaba el proyectil como causa única) y postula la presencia de una cierta cantidad de impetus en el proyectil, transmitida por el lanzador.

Buridano se sirve de la teoría del impetus también para afrontar los clásicos problemas de mecánica celeste. Algunos filósofos naturales del siglo XIII rechazaban las "inteligencias" como motores celestes, buscando causas internas; puesto que la Biblia no hace referencia alguna a tales inteligencias, tampoco Buridano las considera y en cambio supone que Dios, en el acto de la creación, haya impreso una cantidad de impetus en cada esfera. En los cielos el impetus dura sin embargo hasta el infinito, en ausencia de resistencia impuesta por el medio, y con él parece que se prescribe para los cielos una especie de inercia circular.

Buridano llama a examen también al problema de la rotación celeste, avanzando la hipótesis -muy "moderna"- de que se trate de un problema de movimiento relativo. Al final llega a la conclusión de que la tierra está quieta, aun admitiendo como válida la hipótesis de que se mueva. Su principal argumento contra la rotación del planeta sobre su eje se fundamenta siempre en la teoría del impetus: sostiene que la rotación celeste no es capaz de explicar por qué una flecha lanzada verticalmente hacia arriba caiga siempre en el mismo punto desde el que se lanzó. Algunos de los argumentos de Buridano serán retomados después por Copérnico para defender el Sistema heliocéntrico.

Giovanni Buridano, el "maestro de las artes", en la Universidad de París (ca. 1295-1358) comenta el la Física, la Metafísica, el De coelo y el De anima, de Aristóteles. "Si bien a nosotros nos parece que la tierra en la que vivimos está quieta y el sol de vueltas alrededor de nosotros sobre su esfera, podría ser cierto también lo contrario, ya que los fenómenos celestes observados seguirían siendo los mismos. Si la Tierra girase, nosotros no nos daríamos cuenta de su movimiento rotatorio. La situación sería análoga a la de una persona que se encontrara en una nave en movimiento que adelanta a otra nave que está quieta. Si el observador sobre la nave en movimiento imagina estar parado, la otra nave, que en realidad está parada, le parecerá en movimiento. De modo análogo, si el sol estuviera efectivamente parado y la Tierra girase en torno a él, tendríamos la percepción opuesta." Si la Tierra girase verdaderamente de oeste a este, debería girar una cierta magnitud hacia el este mientras que la flecha está en el aire, por lo que la flecha debería caer al suelo a la distancia esa cierta magnitud hacia el oeste. Puesto que esto no se observa, se deduce que la Tierra no gira. Pero ¿no podría el aire girar con la tierra, y arrastrar consigo la flecha? Buridano no acepta esta explicación porque sostiene que cuando se lanza la flecha hacia arriba, tiene suficiente cantidad de ímpetu como para permitirle resistir al empuje lateral del aire que se mueve con la tierra.

17.- Alternativas para la "fábrica de los cielos"

Nicolás Oresme fue uno de los hombres de cultura más grandes de su tiempo, por la enorme cantidad de cuestiones por las que se interesó y por la influencia que ha ejercido en muchos campos, anticipando ideas que se desarrollarían siglos después.

Alumno de Buridan, fue amigo y consejero del Rey de Francia Carlos V, que le pidió que escribiera sus obras también en francés, para desarrollar en su Reino el gusto por la cultura. Opositor radical de la astrología, estaba convencido que todos los fenómenos habían de ser explicados en términos de causas naturales. En el ámbito científico hizo contribuciones relevantes en matemática, física y astronomía; escribió también un tratado de economía.

A él corresponde la metáfora del Universo como reloj mecánico, puesto en movimiento por el Creador, y cuyo ímpetus sin embargo (contrariamente a lo que sostenía Buridano) está destinado a gastarse, si el Divino relojero no interviene para sostenerlo.

En el Livre du ciel Oresme no duda en formular las siguientes cuatro escandalosas tesis:

"I. que no se puede probar con ningún experimento el que el Cielo se mueva diariamente y la tierra no; II. que esto tampoco puede probarse mediante razonamiento alguno; III. se puede en cambio argumentar que la tierra se mueve diariamente y el cielo no; IV. que estas consideraciones son útiles para la defensa de nuestra fe cristiana".

Resulta particularmente eficaz el argumento de Oresmes acerca de la relatividad del movimiento:

"Nos parecería que la parte donde nos encontramos esté parada continuamente y que la otra se mueva siempre, como a un hombre que se encuentra sobre una embarcación en movimiento le parece que sean los árboles en la costa los que se mueven. Del mismo modo si un hombre se encontrase en el cielo, suponiendo que se moviese con movimiento diurno, le parecería que la tierra se mueve diariamente como a nosotros que estamos sobre la tierra nos parece que hace el cielo."

Nos parece estar leyendo un fragmento de Galileo: en efecto a Oresmes son debidas algunas de las ideas que después retomaría el gran pisanó. Estudiando el movimiento uniformemente acelerado, Oresmes deduce la denominada ley de los números impares, comúnmente atribuida a Galileo:

"Los espacios recorridos por un cuerpo que se mueve con un movimiento uniformemente acelerado en intervalos de tiempos sucesivos de igual duración, son proporcionales a los números impares". Esto es: si en el primer intervalo de 1 segundo el cuerpo recorre un espacio L, en el segundo intervalo de un segundo recorrerá un espacio 3L, en el tercer intervalo un espacio 5L y así sucesivamente.

Puesto que la suma de las áreas da el espacio total recorrido y dado que se conoce que la suma de los primeros n números impares es igual a n^2 , de esta ley se puede deducir (como Galileo hizo después) que, en el movimiento uniformemente acelerado, el espacio total recorrido en un cierto tiempo es proporcional al cuadrado de ese tiempo.

Nicolás de Oresmes (1320-1382). Nacido en 1320 en Normandía, probablemente en la villa de Orestes fue, después de estudiar teología en París, gran maestro en el Colegio de Navarra y canónigo de Rouen en el 1362. En el 1377 fue nombrado obispo de Lisieux, donde murió en el 1382. Las dos obras de Oresmes en francés, están dedicadas a física y la astronomía: "Traité de la sphère" e "Libre du ciel et du monde".

18.- El desafío del infinito

Con sus contribuciones matemáticas, Oresmes anticipó varias ideas de la matemática no elemental.

Estudia de modo sistemático la operación del cálculo de potencias, describe por vez primera las propiedades de las potencias, e introduce las potencias con exponente fraccionario.

Anticipa la idea de que los números racionales son "más numerosos" que los irracionales; y usa esta idea como argumento para atacar la astrología, basada sobre el presupuesto de que las relaciones entre ciertas longitudes ligadas a los movimientos celestes son racionales, mientras que en cambio "es probable que sean irracionales".

Es el primero en idear la representación gráfica de la velocidad en función del tiempo y en identificar el área de la figura obtenida con el espacio total recorrido.

Hoy en día estamos habituados a la representación gráfica de funciones, utilizada sistemáticamente desde el siglo XVI; en el siglo XIV era una intuición absolutamente nueva.

Es notable el hecho de que Oresmes calcule el espacio recorrido también en situaciones más generales que la del movimiento uniformemente acelerado. Mediante un ingenioso razonamiento geométrico, calcula por ejemplo la suma de la serie infinita:

Los procedimientos infinitos, aplicados sobre todo a las extensiones continuas, serán tratados en el siglo XVIII con la invención del cálculo infinitesimal por obra de Newton y Leibnitz. Pero hasta que el concepto de función y su representación gráfica no se consolidaron, el cálculo infinitesimal no tenía terreno en el que nacer: en el estudio de las series infinitas de Oresme vemos por tanto un gran avance, que testimonia una mentalidad ya preparada para afrontar el desafío del infinito.

El razonamiento de Oresmes en el lenguaje moderno. Si un cuerpo se mueve de manera uniformemente acelerada partiendo del reposo, las velocidades adquiridas por el cuerpo en función del tiempo vienen representadas por puntos del segmento OD, y el espacio total recorrido viene dado por el área del triángulo OHD; este área es igual a

aquella del rectángulo OACH (como muestra la figura), cuya altura CH representa por lo tanto la velocidad media del cuerpo en el intervalo de tiempo; por otro lado CH es la mitad de DH, esto es, la velocidad media es la mitad de la velocidad final.

En el lenguaje de Oresmes, la velocidad en cada instante dado se representa por un segmento, de longitud proporcional a la velocidad misma y alzado verticalmente desde una recta señada; la figura completa se denomina "configuración del movimiento".

19a.- Sobre el Arco Iris

En De Iride, Grossatesta ofrece un interesante ejemplo de procedimiento científico experimental. Analiza tres hipótesis posibles: que los rayos que forman el arco iris sean:

1. dirigidos hacia dentro de una nube cóncava de modo tal que la iluminan,
2. reflejados sobre la convexidad de una masa acuosa,
3. refractados (desviados) a través de los estratos de la nube de densidad creciente.

Descarta después las dos primeras hipótesis

- 1.- Si los rayos fueran dirigidos "en la nube existiría una iluminación uniforme, no según la forma de un arco, sino según la forma de la abertura que está de la parte próxima al sol a través de la cual los rayos entran en la concavidad de la nube", lo que contradice la experiencia.
- 2.- Si fuesen reflejados, lo que ocurriría es que cuanto más alto estuviera el sol tanto más alto estaría también el arco iris; que es lo contrario de lo que se observa. Queda únicamente la hipótesis de la refracción. Aquí esta el mérito de Grossatesta, a pesar de la poca claridad de su explicación.

El procedimiento de Bacon es todavía más interesante. Él parte de la observación de aquellos fenómenos donde aparece el arco iris, como algunos cristales, agua pulverizada, bolas de agua atravesadas por rayos del sol o capas finas de aceite.

Sin embargo las observaciones no son suficientes: hay que realizar medidas; y precisamente a él se debe la primera medida de la altitud máxima del Sol sobre el horizonte más allá de la cual el arco iris no aparece (42°), realizada con la ayuda de un astrolabio.

Es necesario además basarse en la experiencia: si nos movemos mirando al sol, lo vemos moverse con nosotros (esto es debido a la gran distancia a la que está, y por la cual sus rayos llegan a nosotros prácticamente paralelos); así sucede también con el arco iris: "es imposible que dos personas vean el mismo e idéntico arco iris [...] Son tantos los arcos iris cuantos son los observadores".

Bacon todavía, como Aristóteles y a diferencia de Grossatesta, atribuye la formación del arco iris a la reflexión de los rayos solares sobre un grupo de gotas de agua que varía con la posición del observador.

19b.- Todo en una gota

El alemán Teodorico de Freiberg (? 1311) unifica, de algún modo, las teorías de Grossatesta y de Bacon, afirmando que en el arco iris los rayos solares vienen reflejados y refractados en el interior de la misma gota de lluvia.

En los mismos años y de modo independiente, el árabe Kamal Al-Din y su discípulo Qutb Al-Din llegan a una explicación muy parecida.

Teodorico es el primero en intuir que en la gota individual se produce todo aquello que explica la formación del arco iris: el fenómeno observado en la bola de agua no es lo que sucede en la totalidad de la nube, sino en cada gota individual. Así explica (correctamente) que el arco iris primario está formado por una única reflexión del rayo sobre la superficie interna de la gota; mientras que el secundario se produce por una doble reflexión, que invierte el orden de los colores. No todos los rayos que salen de la gota alcanzan el observador: Teodorico averigua que sólo para ciertas posiciones de la gota (respecto del sol y del ojo) los rayos se hacen visibles.

Observando los rayos que atraviesan un frasco, se da cuenta que para cada posición del globo ocular se pueden ver rayos de un solo color; cada gota de la nube es por tanto responsable de un solo color y los diversos colores que alcanzan el ojo provienen de gotas en posiciones distintas. Él intuyó por tanto que los colores están relacionados con el ángulo entre rayo entrante y el rayo saliente. Sus intentos de cuantificar la teoría fueron por desgracia fallidos debido a una serie de errores y aproximaciones: considera que los rayos del sol no son paralelos y en cambio que los que salen de las gotas son paralelos; representa el sol y las gotas a la misma distancia; y sobre todo infravalora con mucho el ángulo de máxima altitud, estimándolo en 22° . Lo que le falta a Teodorico, como a todos los medievales, es la comprensión de la formación de los colores y del verdadero papel de la refracción, que para ellos estaba únicamente asociada a la desviación de los rayos y no a la dispersión, esto es, a la desviación de los distintos colores en diferentes ángulos.

20.- En los talleres de Europa

Las ciudades medievales, que en los albores del segundo milenio empiezan a diferenciarse de los ambientes del campo, podrían ser definidas así: grandes y efervescentes talleres, donde se expresan nuevas formas de creatividad en todos los campos y donde emergen nuevas exigencias destinadas a tener una notable incidencia sobre el conocimiento científico y sobre el desarrollo tecnológico.

Se abren paso modos originales del saber práctico, motivado por la urgencia de responder a las necesidades de la vida cotidiana. Pueden existir exigencias más "materiales", en relación con las condiciones de vida que no son ciertamente agradables; exigencias que fuerzan el ingenio y la maestría de muchos a construir instrumentos y maquinarias y a refinar las técnicas de aplicación en distintos campos: desde el agroalimentario al textil y al de la construcción.

Pero puede haber también necesidades a otros niveles, como las que impulsaron a practicar la alquimia, a perfeccionar la música, a construir una catedral.

Las obras de las catedrales son el emblema de una pasión constructiva que alimenta una genialidad tecnológica capaz de transformar ideas e invenciones (adquiridas también de civilizaciones distintas) en innovaciones, esto es, en productos y sistemas capaces de resolver los problemas reales con eficacia.

Otro lugar típico que alimentó la creatividad de los ciudadanos medievales es el taller del artesano, donde destaca la figura del maestro y se transmite un precioso bagaje de conocimientos útiles. Entre ellos ocupan un lugar especial los talleres o escuelas de ábaco, donde los jóvenes son introducidos en el conocimiento matemático básico necesario para el desarrollo del comercio; pero también asumen una función preciosa de perfeccionamiento del saber y de estímulo para afrontar los nuevos problemas.

La dimensión comunitaria, característica distintiva de la ciudad medieval, no puede sino favorecer el encuentro de ideas, el intercambio de conocimientos, la mejora continua de las técnicas.

21.- Nuevas cifras indias

"Las nuevas cifras indias son las siguientes:

9 8 7 6 5 4 3 2 1

Por lo tanto con estas nuevas cifras, y con este signo 0 que los árabes llaman cero, se puede escribir cualquier número, como se demuestra a continuación"

De este modo, en el Liber Abaci de Fibonacci se presentan las nuevas figuras indias y el cero; en la obra, que tuvo un gran influjo sobre los matemáticos de la época, se explican las reglas del cálculo aritmético, como realizar operaciones con números enteros y fraccionarios, el criterio de la divisibilidad por 9, la determinación del mínimo común múltiplo y del máximo común divisor; algunos capítulos se dedican a la solución de problemas mediante ecuaciones de primero y segundo grado.

23.- Organizar la producción

El arsenal de Venecia

La obra del Arsenal es el mayor complejo productor medieval: fundado en el 1104 como almacén de mercancías, en la primera mitad del siglo XIII se adecua a la construcción de naves y desde el 1302 se convierte en el único centro productor naval de la República Veneta, llegando a contar con entre 1500 y 2000 maestros.

Sus maestranzas eran una comunidad de prestigio, prácticamente separadas del resto de las actividades ciudadanas, custodios celosos de los secretos de construcción de la actividad más estratégica para la supremacía veneciana sobre los mares. Incluían: los (arquitectos) jefes de proyecto y de todas las fases de construcción de la nave; los calafates, que impermeabilizan

los cascos; los empleados del arsenal, esto es, todos aquellos artesanos de una manera u otra contribuyen a la obra.

En este inmenso arsenal las galeras se realizaban con un ciclo de producción autosuficiente, que comprendía todas las fases de la construcción naval. Es el primer ejemplo histórico de "cadena de montaje" y recuerda a los criterios de una fábrica moderna sobre la organización del trabajo, la subdivisión de las diversas tareas, el control de la calidad de las materias primas y la estandarización de muchos procesos productivos.

La estructura del Arsenal es signo de una capacidad de organización que anticipa la moderna lógica industrial. En particular podemos señalar:

? la cadena de montaje, con la estructura secuencial que representa el tejido funcional;

? la integración vertical entre los tres tipos de manufacturas: la verdadera y propia construcción de la nave; la producción de telas y cuerdas; la realización de las armas con las que dotar a la nave.

? la posibilidad de intercambiar piezas (en cada puerto controlado por Venecia era posible sustituir piezas dañadas o que faltasen).

El Arsenal de Venecia representa con pleno derecho la primera gran fábrica de la antigüedad. En él se produjeron las naves (galeras y galeones) que hicieron posible la victoria de Lepanto en 1571.

24.- Energía bajo control

La inventiva tecnológica medieval ha producido una gran cantidad de máquinas e instrumentos: auténticas y verdaderas innovaciones, a menudo obtenidas por aplicación, de una forma original, de ideas ya producidas en la antigüedad o de invenciones más recientes propias de los pueblos orientales.

La primera máquina importante, fruto de la inventiva típicamente europea, fue el batán: se trata de una máquina para la hilar la lana, un procedimiento mediante el cual los paños sumergidos en una solución de agua, jabón y otros ingredientes, se baten obteniendo una especie de pasta. Antes de la aparición de los tejidos sintéticos, este procedimiento era un paso fundamental en el trabajo de la lana: el tejido hilado era una protección eficaz contra el viento, el frío y la lluvia, además se evitaba que el tejido se deshilara durante el corte.

Hasta el año mil se obtenía la hiladura batiendo la lana sumergida en tinajas con los pies. Con la introducción del batán, la hiladura se produce mediante dos pesadas palas de madera accionadas por energía hidráulica. Es el primer ejemplo importante de aplicación de la energía del agua, en una actividad diferente de la trituración de los cereales. Después del batán, la rueda hidráulica se utilizará para accionar muchas otras máquinas.

Bajo un perfil más tecnológico, es la primera solución significativa de un problema central de la mecánica: la conversión del movimiento rotatorio en movimiento

rectilíneo alternado, una solución todavía hoy ampliamente utilizada (árbol de leva).

La realización de un batán no es simplemente una cuestión técnica: es una operación cara, que requiere una fuerte inversión e implica la existencia de una sociedad organizada que lo utilice y contribuya a los gastos de mantenimiento. Estas condiciones se dieron a partir del siglo X, en torno a los castillos y las villas distribuidas por toda Europa.

Es significativo el hecho que los mismos molinos para la hiladura serán los primeros a disfrutar del vapor como fuente de energía, convirtiéndose en las sedes de las primeras fábricas durante la revolución industrial.

25-La alquimia, ¿el "lado oscuro" de la ciencia?

La transmutación de los metales: he aquí el principal objeto de la alquimia. Su práctica está asociada a la búsqueda de la llamada piedra filosofal con la que se piensa reproducir, acelerando, el proceso de evolución natural de los metales ruines (hierro, plomo.) al metal perfecto, el oro. A menudo la búsqueda de la piedra filosofal coincide con la búsqueda del elixir de la vida, entendido como fármaco universal capaz de curar toda enfermedad, proporcionando así la inmortalidad.

Desde sus antiguos orígenes helenos, la alquimia se difundió en el mundo árabe, sufriendo así el influjo de la alquimia china, para llegar a Europa en los siglos XII y XIII. En la cristiandad occidental, la alquimia se inserta en una visión unitaria del mundo y la actividad del alquimista se coloca en el horizonte de la Redención. Grandes científicos, como Alberto Magno y Roger Bacon, se ocupan de la alquimia. Aunque muy difundida, aún no se enseña todavía en las universidades medievales y encuentra en la Iglesia una posición decididamente crítica.

Entre alquimia y química hay diferencias sustanciales de objeto y no sólo de método; en todo caso hay además una notable discontinuidad entre la aproximación al problema por parte de la alquimia y de la química, que se desarrollará a finales del siglo XVII.

Por otro lado, para el hombre medieval, la concepción unitaria de la realidad no se separa de un profundo sentido práctico que favorece la puesta a punto de importantes técnicas experimentales, reconocidas como la base de los modernos métodos de aislamiento y purificación de los compuestos. Así, los experimentos de los alquimistas han estimulado el estudio de nuevos compuestos químicos, conduciendo al descubrimiento de los hidróxidos alcalinos y las sales de amonio y al perfeccionamiento de los instrumentos para la destilación; al mismo tiempo, al sentir la necesidad de proceder en modo más riguroso, empiezan a aparecer las primeras indicaciones cuantitativas en las fórmulas magistrales.

Y la contribución de la alquimia a la ciencia no se acaba aquí: la influencia de las concepciones alquimistas, como la teoría de los cuatro elementos, durará mucho más allá del nacimiento de la química; y conceptos como el de la afinidad, aún son utilizados por los químicos para explicar la

formación de los compuestos a partir de los elementos químicos.

Las relaciones entre la alquimia, el conocimiento y la salvación material y espiritual según Bacon; el esquema refleja la típica visión medieval: "macrocosmos y microcosmos, naturaleza y hombre, eran la sede de complejas relaciones de correspondencias, simpatías, afinidades, en las que todo estaba relacionado y era reconducible a la unidad. El plomo al estado de imperfección interior del hombre, a su "caída"; el oro a la perfección debida al "renacer", a su liberación, a través de un conocimiento que era iluminación y unión íntima con el todo". El desarrollo de la artesanía del vidrio permitió mejorar los instrumentos para la destilación: fue posible por tanto condensar productos volátiles y aislar alcoholes y ácidos minerales (ácido nítrico, clorhídrico y sulfúrico), y el agua destilada. Con los ácidos minerales, mucho más fuertes que el vinagre del que disponían los árabes, pudieron hacerse posibles muchas reacciones químicas.

26- La medicina instrumento de caridad

Los primeros hospitales surgen al abrigo de los monasterios y sobre las sendas de peregrinación. La caridad cristiana es el impulso que anima a los monjes a ofrecer las curas, que aun siendo todavía primitivas, no faltan a una profunda atención al hombre y a sus sufrimientos.

Los hospitales medievales no son obras públicas, en cuanto que el cuidado de la salud no está considerado uno de los deberes de quien administra la ciudad; son a la vez algo parecido a los hospitales modernamente concebidos y algo de asilo, o incluso de albergue para los peregrinos pobres. El personal está compuesto por religiosos que son ayudados por laicos en el desarrollo de la administración y los servicios.

En el ámbito de los hospitales nace una medicina práctica, que tiene su máxima expresión en la cirugía, la cual se acerca progresivamente a la medicina escolástica. A un cirujano se le exigían los siguientes requisitos: aprehender bien la teoría, "haber visto y experimentado mucho" en palabras de Paracelso, saber juzgar, tener una memoria excelente, y ser amable con el enfermo.

Mientras tanto nacen las primeras Escuelas Universitarias de medicina; entre ellas destacan las de Bolonia, Montpellier, París y la célebre escuela de Medicina de Salerno. En estas Escuelas se forman los grandes exponentes de la medicina medieval entre las cuales están:

- Lanfranco de Milán: La terapia debe regirse según la verdadera y propia cirugía (operatio cum manu) junto a un régimen sano de vida (regimen sanitatis) "Chirurgia Magna 1296".

- Henri de Mondeville: Confiere una notable importancia a la formación profesional, tratando de dar autoridad a la profesión médica. El ejercicio de la profesión para los otros, y no para uno mismo, es la virtud verdadera del médico.

"El enfermo, antes de ser acogido, que confiese sus pecados y si es necesario comulgue con devoción; que a continuación sea acompañado en seguida a la cama, y allí, como el señor de la casa, sea servido con caridad amorosa cada día, incluso

antes de que los monjes coman; que se busque, para que se encuentre para él todo lo que desee mientras no esté curado, siempre que no le sea contraindicado, según las posibilidades de la casa. Para que después, el que ha recuperado la salud no recaiga por haber sido prematuramente dado de alta, aconsejamos que una vez curado sea mantenido a cuenta de la casa por otros siete días siempre que él lo quisiera. [...] Los enfermos jamás se queden sin una atenta vigilancia."

27- La música: el giro crucial de Guido

En la antigüedad la música no se escribía (notación): los cantos se aprendían de memoria y no era posible aprehender una melodía desconocida si no imitando a alguien que la cantase. Un primer estudio riguroso de la música es debido a Pitágoras que, basándose en un instrumento de una sola cuerda (monocordio) había identificado las bases matemáticas del sonido, identificando la relación numérica entre la longitud de la cuerda y el intervalo musical.

Para encontrar un primer sistema de notación musical hace falta llegar al siglo IX. Es la Iglesia la que consideraría necesaria una escritura común, para igualar la Liturgia en cada país y para transmitir los cantos a las futuras generaciones. Alrededor del año mil, la notación gregoriana se perfecciona y se admite en todos los lugares. En el siglo XI, la invención del pentagrama permite alcanzar una mayor precisión y una definición estable para el lenguaje musical.

El giro de tuerca llega con Guido de Arezzo. Él utiliza primero el monocordio y la notación alfabética; a continuación, tomando a los griegos como modelo y a partir de los estudios de Severino Boezio, coloca algunos símbolos (los neumas) en un sistema de rayas y espacios: una letra escrita al principio (llave musical) indica a qué sonido corresponde cada línea. Se da sin embargo cuenta del peligro de que el monocordio pueda llegar a esclavizar y termine haciendo al que lo usa incapaz de entonar una nota sin su ayuda. De aquí su célebre método que llevará a la notación moderna.

Según Guido, hasta ahora la teoría musical se había explicado de modo confuso y se habían escrito textos más adecuados a los filósofos que a los cantantes; además él está convencido de que conocer la teoría tiene que llevar a cantar mejor, puesto que se tiene conciencia de lo que se está haciendo. Sus ideas encuentran una fuerte oposición al principio, dado que modifican hábitos consolidados. A continuación, el papa Juan XIX le llama a Roma, y de él recibe la aprobación del Antifonal que ha escrito según el nuevo sistema.

Desde el Medioevo se asiste a un impresionante desarrollo de la música, lo que permitió la explosión sucesiva del período barroco. El método de Guido se sirve de la melodía compuesta por él para el himno litúrgico *Ut queant laxis*, en el que cada frase musical inicia un tono (tono) más agudo que la anterior. La primera sílaba de cada frase en el himno corresponde al nombre actual de las notas musicales.

30. ¿ SIGLOS OSCUROS?

Corresponde al físico francés Pierre Duhem, el mérito de sacar a la luz las raíces medievales de la ciencia moderna y del descubrimiento de importantes elementos de continuidad entre el gran desarrollo científico del siglo XIII y XIV y el grandioso despegue en el siglo XVII del método experimental de Galileo.

En 1904, al estudiar el desarrollo de la Estática, Duhem descubre las contribuciones de Giordano Nemorario y las vuelve a encontrar en Nicolas Tartaglia y, gracias a él, en los otros "fundadores" de la estática: Giovanni Battista Benedetti, Guidobaldo del Monte, Luca Valerio y Simone Stevino. En los diez años sucesivos se dedica a la recogida sistemática de los testimonios de la contribución medieval al desarrollo científico, para llegar a la composición de la monumental obra *Le sistem du monde. Histoire des doctrines cosmologiques Platon à Copernic*. En esta obra se reconstruyen, entre otras cosas, los pasos que conducen al desarrollo de la ciencia del movimiento desde las primeras intuiciones de Buridano y Oresme hasta la síntesis de Galileo, pasando por Alberto de Sajonia, Nicolás de Cusa, Bernardino Baldi, Benedetti y, sobre todo, por Leonardo da Vinci.

Duhem fija incluso, de forma provocativa, la fecha emblemática del nacimiento de la ciencia moderna en el 7 de marzo de 1277, cuando el obispo de París Étienne Tempier promulga el decreto de condena de las 219 tesis aristotélico-averroístas. Según el físico francés, este decreto y otro análogo promulgado poco después por el arzobispo de Canterbury, determinan una revolución en la historia del pensamiento dando inicio en las universidades de París y Oxford a un movimiento cultural que lleva al ocaso de la física aristotélica y abre el camino a la ciencia moderna. Un camino que encuentra elementos de continuidad, además de los estudiados por Duhem, también en la Baja Edad Media y al comienzo del Renacimiento. Desde el punto de vista metodológico existen importantes nexos entre el método de Galileo y la teoría del "regressus" de Jacopo Zabarella (1533-1589), profesor de lógica en la universidad de Padua; así como con la idea de la "longa experiencia" de Cesare Cremonini (1550-1631), sucesor de Zabarella en la cátedra de Padua. Desde un punto de vista más científico, son de extremo interés los estudios sobre la relación entre materia y forma desarrollados por los jesuitas de la Universidad de Coimbra y sobre la caída de los cuerpos de Domingo de Soto (1495-1560) de la Universidad de Salamanca.

31. La Filosofía Natural, madre de todas las Ciencias

En la segunda mitad del siglo XX otros historiadores han retomado los estudios sobre la ciencia medieval. En particular hay dos autores que han contribuido de forma fundamental.

Según Alistar Combrie la "revolución" científica del Renacimiento no podía proceder directamente de Aristóteles y Platón; el papel de la Edad Media fue esencial en cuanto que produjo:

- una reflexión crítica y libre sobre Aristóteles
- el concepto de " explicación",

- avances en el método.

Crombie no duda " que fue precisamente el perfeccionamiento de estos métodos experimentales y matemáticos de los siglos XIII y XIV el que produjo el inicio del movimiento histórico de la revolución científica que culminaría en el siglo XVII"; y detalla las contribuciones originales de la Edad Media en seis puntos:

- 1) la idea de explicación científica y el planteamiento del problema de la verificación;
- 2) la extensión de las matemáticas a toda la física (en el siglo XIII comienzan a " plantearse un tipo de preguntas a las que podía responder una teoría matemática en el ámbito de las posibilidades de verificación experimental");
- 3) el planteamiento radicalmente nuevo del problema del espacio y del movimiento;
- 4) los progresos técnicos al servicio de la ciencia (perfeccionamiento técnico de los instrumentos con los que poder medir y hacer observaciones más precisas);
- 5) los avances en biología (clasificaciones e ilustraciones con descripciones detalladas) y en geología (naturaleza de los fósiles);
- 6) el objeto y la naturaleza de la ciencia.

Asimismo Edward Grant afirma que la revolución científica del s. XVII no hubiera sido posible, si la ciencia se hubiese estancado en el nivel alcanzado antes de las traducciones de los textos de la ciencia greco-árabe al latín.

El nacimiento de la filosofía de la naturaleza en las universidades medievales "constituyó un fenómeno único en la historia de la humanidad" y algunas de sus adquisiciones fueron decisivas para el desarrollo de la ciencia:

- a) el planteamiento (de contenido y de método) de algunas cuestiones fundamentales;
- b) la representación del movimiento mediante funciones matemáticas continuas;
- c) la introducción de infinitos e infinitesimales;
- d) los conceptos de causalidad, necesidad y contingencia;
- e) los distintos grados de certeza en las teorías científicas;
- f) el principio de simplicidad
- g) el uso de "los imposibles naturales" o las "hipótesis de reducción al absurdo" o "los experimentos mentales";
- h) la distinción entre las medidas extensivas e intensivas (peso-peso específico); la distinción entre la cinemática y la dinámica; la definición del *motus uniformis*, *motus uniformiter difformis* y *velocitas instantanea*.