

CIENCIA Y FILOSOFÍA EN EL SIGLO XIV

Jesús Sánchez Navarro
Dpto. de Historia y Filosofía de la Ciencia
Universidad de La Laguna

El largo periodo comprendido entre los años 500 y 1500, ambos d. C., se presenta ante nuestros ojos como una época remota, difícil de comprender y, sobre todo, confusa. No en vano, a esa época se la suele llamar Edad Oscura e incluso su nombre técnico, Edad Media, ya sugiere la idea de que es un simple periodo de transición entre la antigüedad clásica y nuestros mucho más próximos antepasados «modernos». Tal vez esta visión sea acertada para la Alta Edad Media, los años transcurridos entre el s. V y el s. XII. Sin embargo, el periodo que transcurre desde mediados del s. XIII hasta el s. XV está mucho más cercano a nosotros de lo que puede sugerir esa imagen sombría. Este cambio cualitativo, cuya culminación se produce en el s. XIV, es consecuencia de una combinación de distintos factores acontecidos durante los siglos inmediatamente anteriores.

Un elemento importante para este despegue cultural fue el final de las invasiones germánicas. Desde las grandes invasiones de finales del s. V, y a pesar de la constitución del imperio carolingio y, posteriormente, del germánico, la inestabilidad había sido una constante en Europa, sometida a continuas incursiones guerreras de los pueblos del Norte (vikings, varegos, normandos, etc). La conquista de Sicilia por aventureros normandos a finales del s. XI marca el final de esa inestabilidad y da paso a un periodo de relativa calma en el que la violencia se canaliza en otras



direcciones, frecuentemente bajo los auspicios de la religión (Cruzadas, guerra contra los árabes en España, caballeros teutónicos en Polonia, etc) o como guerras feudales entre señores y vasallos (guerra de los cien años, guerra borgoñona, etc) sometidas a «reglas caballerescas» y muy diferentes de las destructivas e incontrolables invasiones precedentes. Esa «regularización» de la violencia permitió el desarrollo de los núcleos urbanos y su paulatino distanciamiento del poder feudal.

Más importante aún fue la confrontación entre el Imperio y el Papado en la guerra de las investiduras. Planteada como un enfrentamiento en torno a la potestad de nombrar obispos, se trata en realidad de una lucha frontal entre los dos grandes poderes de la época, el eclesiástico y el secular. El resultado final es la separación y debilitamiento de ambos, lo que tendrá profundas consecuencias a lo largo del s. XIII y, sobre todo, del XIV. La Iglesia pierde parte de su capacidad de intervención directa en las monarquías (legitimando reyes, prescribiendo deberes, etc), que había sido uno de sus principales mecanismos de control hasta entonces. Tal estado de cosas culmina con la reforma gregoriana que, como compensación, aumenta el férreo control papal sobre el clero mediante el doble principio de la subordinación obligada de los clérigos para con sus príncipes gobernantes, pero al mismo tiempo de absoluta obediencia a la ley canónica y al Papado.

Esta nueva situación tiene una influencia fundamental sobre las disputas en torno a las relaciones entre razón y fé, así como en la interpretación del aristotelismo. Si los clérigos tenían la obligación de obedecer, salvo conflicto, tanto a los príncipes gobernantes como a la autoridad eclesiástica y en todo contencioso el Papado era para ellos la autoridad última, era necesario probar que razón y fé debían ser complementarias, o al menos no contradictorias, y que en cualquier caso la segunda tenía prioridad sobre la primera; el conflicto entre poderes debía ser justificado racionalmente y achacado al mal uso del poder o a la sinrazón del gobernante. A lo largo del s. XIII asistimos a los intentos desesperados por mantener esa supremacía del Papado, intentos que afectarán incluso a la interpretación de Aristóteles y culminarán en 1277 con la prohibición de la enseñanza de numerosas tesis aristotélicas (las 219 tesis averroístas, pero que también incluían varias tesis tomistas). Con esta prohibición se inicia la crisis de la síntesis tomista entre el aristotelismo y la doctrina católica, crisis que alcanza su apogeo con la revuelta en el s. XIV contra la filosofía de Tomás de Aquino y contra la filosofía natural aristotélica y que permitirá el desarrollo del nominalismo, con su insistencia en el valor de la experiencia para todo conocimiento, la teoría de la doble verdad, la teoría del ímpetus y las críticas astronómicas a los principios aristotélicos, elementos todos que marcarán el desarrollo de la ciencia hasta el s. XVI. Precisamente cuando la Iglesia pretenda recuperar la síntesis tomista como doctrina oficial ante los excesos nominalistas del s. XIV, lo



hará sobre una base fuertemente socavada por las críticas de Oresme, Buridán y otros que, de este modo, habrían preparado el camino a Copérnico, Galileo, Bacon o Descartes.

Lo curioso es que todos estos interdictos y prohibiciones ni siquiera sirvieron para su propósito. No sólo se siguió comentando a Aristóteles en las universidades a pesar de la prohibición, sino que la autoridad papal entró en crisis a raíz del exilio de Avignon (1309-77) y sobre todo del Gran Cisma (1378-1417), cuando llegó a haber incluso tres Papas al mismo tiempo. Hasta tal punto fue profunda esa pérdida de autoridad que clérigos como Ockam reclamaban el derecho del poder secular a intervenir en los asuntos de la Iglesia y diversos legisladores nacionales se rebelaron contra las pretensiones universalistas del Papado. De la misma manera, esta crisis permitió el distanciamiento de las universidades de la autoridad eclesiástica (se inician aquí las polémicas sobre la libertad de cátedra) y dio origen a la tradición de asilo por parte de los distintos monarcas o de las ciudades libres a los condenados por interdicto papal.

En lo que respecta al Imperio, su pérdida de poder es automática a partir de la crisis del s. XII y se desarrolla un nuevo modelo de gobierno en dos direcciones. De un lado, comienzan a constituirse las monarquías occidentales centralizadas frente a la nobleza feudal. En este proceso de constitución las monarquías se apoyan en los habitantes de las ciudades, a los que conceden a cambio ventajas y privilegios. De otro, el poder imperial se diluye entre los pequeños príncipes alemanes y, sobre todo, las ciudades-estado libres que se coaligan entre sí mediante lazos político-comerciales constituyendo sociedades tan poderosas como la Liga Hanseática o la Liga Lombarda.

Todo ello cristaliza en una cuestión fundamental no sólo para el cambio cultural del s. XIV, sino para todo el desarrollo posterior de la ciencia y la cultura modernas: la recuperación de las ciudades y el rápido desarrollo de una clase comerciante y artesana celosa de su independencia y sus privilegios. La sociedad de la Alta Edad Media había sido fundamentalmente agraria y sometida a relaciones de servidumbre de y con la tierra. A raíz de las invasiones las ciudades se habían vaciado literalmente¹. El aumento de la población a partir del s. XI, el incremento de la producción agrícola debido a las innovaciones técnicas introducidas desde el s. XII y las colonizaciones planeadas de tierras de los siglos XII y XIII, la creciente estabilidad política y el desarrollo comercial desde el s. XI, etc., contribuyeron decisivamente al crecimiento paulatino de las ciudades. Habitadas inicialmente por miembros de la

1. Basta un ejemplo: Roma había llegado a tener un millón de habitantes en el s. I y a comienzos del S. VII su población se había reducido a 40.000 [y seguía siendo la mayor ciudad del occidente cristiano!]



baja aristocracia, oficiales de las grandes iglesias y grandes mercaderes, junto con artesanos organizados gremialmente, las ciudades se convierten en el principal agente de cambio social de la época y tienen una gran importancia política, sea como apoyo económico a las monarquías a cambio de una autonomía cada vez mayor, sea como centros político-económicos en el caso de las Ligas. Y no sólo tienen importancia política, sino que dan un impulso fundamental al desarrollo del conocimiento (la ciencia, y la cultura en general, son fenómenos esencialmente urbanos) en varios aspectos:

a) Favorecieron, y a su vez fueron favorecidas por ellos, el desarrollo comercial e industrial y por tanto las innovaciones técnicas; aunque el desarrollo técnico no repercute directamente en el desarrollo de la ciencia, si influye decisivamente en la forma de considerar la relación con la naturaleza, la dependencia de la autoridad «académica» y el papel de la experiencia y la experimentación.

b) Permitieron que aumentara el número de gente letrada y que la información fluyera, dentro de las limitaciones de la época, con mayor rapidez y eficacia; lo que es más importante, facilitaron que creciera el número de gente letrada fuera de la iglesia (mercaderes, administradores al servicio real o de la ciudad-estado, etc); igualmente dieron cobijo a un número creciente de clérigos de órdenes menores e incluso clérigos «por libre»², que pululaban por las capillas imperiales, como embrión de servicios civiles, y por las universidades, como maestros de artes, la mayoría de los cuales constituyeron el bando de los filósofos en las polémicas con los teólogos durante los siglos XIII y XIV.

c) Fueron fundamentales para el desarrollo de las universidades y su separación de la autoridad eclesiástica.

Todos estos factores y algunos más (como la sustitución de la servidumbre campesina por el pago de rentas fijas en el s. XIV, etc) determinaron el cambio cultural que se produjo a lo largo del s. XIV. Sin embargo, junto a ellos hay otros cuatro, internos a la propia evolución cultural, que tuvieron una importancia aún más decisiva: la recuperación de los textos clásicos grecorromanos, la polémica entre dominicos y franciscanos, la revolución técnica de los siglos XII y XIII y, especialmente, la constitución de las universidades.

La recuperación de los textos clásicos

Las invasiones germánicas no sólo supusieron la caída del Imperio Romano de Occidente, el desdoblamiento de las ciudades y la ruptura del tejido económico y

2. Tonsurados, pero sin tomar las órdenes, lo que les permitía disfrutar de las inmunidades legales del clero, pero sin sus obligaciones.



social, sino también el distanciamiento, incluso aislamiento, respecto al Imperio de Oriente. Esta profunda crisis tuvo también como consecuencia la pérdida de la cultura clásica. Y no sólo se perdieron contenidos y tradiciones, sino también el conocimiento de la lengua griega y el contacto físico con los textos originales. Los escasos restos que perduraron provenían de los profusos y confusos compendios escritos por enciclopedistas como S. Isidoro o Beda, en los que se alternaban conocimientos científicos elementales con supersticiones y errores de bulto, o de los tratados filosófico-teológicos de los gnósticos y neoplatónicos tardíos, éstos con el agravante de ser sospechosos de lesa herejía. Incluso si algún texto filosófico clásico había logrado llegar, lo había hecho a través de una cadena de copistas de nula fiabilidad. Las propias dificultades de la época, más interesada en desarrollar una economía de subsistencia y un mínimo entramado político-social, permitían pocas veleidades científico-culturales.

La misma religión contribuyó a este distanciamiento: la necesidad de articularse completamente y las feroces disputas teológicas típicas de los períodos iniciales de toda religión dejaban en un lugar muy secundario el interés en cualquier forma de conocimiento filosófico o científico que no enganchara directamente con ella. Esta desconfianza era más notoria en los siglos iniciales del cristianismo, pues los grandes textos de la cultura griega pertenecían a la cultura pagana con la que había rivalizado durante muchos años. Hasta los siglos X y XI hubo, sin embargo, dos grandes puntos de referencia en todo lo concerniente a la cultura clásica: las obras de Boecio y S. Agustín. La primera de ellas escrita en la cárcel y con un fuerte componente estoico; la segunda, mucho más erudita, tenía importantes influencias platónicas. Esto hizo que hasta el s. XI la cultura cristiana estuviera próxima al platonismo, sea en su variante neoplatónica, sea en su versión cristianizada por S. Agustín. Todo esto se ejemplifica en el tratamiento de los universales (las formas, las ideas) durante esta primera época, muy cercano al realismo fuerte.

Esta situación cambia radicalmente a partir del s. XI y la creación de las escuelas de traductores de Toledo y Sicilia. El origen de ambas escuelas se encuentra en la admiración que la cultura árabe, y a través de ella la clásica griega, despertaron sobre los atrasados reinos cristianos a medida que establecieron contactos más estrechos con ella, tanto comerciales como militares. El reconocimiento de la superioridad económica, técnica y cultural de la civilización árabe, y de la ciencia y la filosofía griega que la impregnaban, llevó a numerosos eruditos a desplazarse a los reinos cristianos de España para tener acceso a esos conocimientos⁴. En estas condiciones, la expansión de los reinos cristianos en el sur de España y la conquista de Sicilia

3. El *Timeo* de Platón, algunos tratados de lógica de Aristóteles, los trabajos médicos de Dioscórides, la *Historia Natural* de Plinio. etc.

4. El más ilustre quizá fue el monje Gerberto, que luego sería el Papa Silvestre II.



por los normandos, unidos a las especiales condiciones de convivencia que se crearon en ambos lugares y los intereses culturales de Alfonso X y Federico II culminaron con la creación de sendas escuelas de traductores en Toledo y Salerno. Durante doscientos años el trabajo de traducción llevado a cabo en ambas escuelas permitió el acceso a prácticamente todas las grandes obras de la antigüedad clásica (Aristóteles, Euclides, Herón, Ptolomeo, Apolonio, Galeno, Hipócrates, etc) y a numerosos tratados árabes (Avicena, Al-Kindi, Averroes, Al Khwarizmi, etc).

El funcionamiento de ambas escuelas, no obstante, era muy diferente. La mayor parte de las traducciones se llevaron a cabo en Toledo, se hacían generalmente del árabe y, en menor medida, del griego e incluían todos los temas, desde la astrología a las matemáticas. En Sicilia era más frecuente la traducción directa del griego, estaban especialmente dirigidas a la medicina, y secundariamente a la ciencia en general, y el número de traducciones fue bastante inferior. En cualquier caso hay que tener en cuenta tres factores que afectaron a la calidad y contenido de las traducciones:

a) la selección de los originales a traducir no siempre era intencionada, sino que dependía de la disponibilidad y la casualidad; de este modo, junto a las obras de los grandes autores greco-árabes se encuentran otras como las del Pseudo-Euclides, Pseudo-Aristóteles, etc., así como otros trabajos de magia, astrología, etc.⁵

b) las traducciones, especialmente en Toledo, no siempre eran fiables por el peculiar sistema empleado y por su carácter indirecto: frecuentemente eran resultado del trabajo de dos o más personas, una que lo traducía del árabe al hebreo o al castellano y otra desde esta lengua al latín y, además, la cadena desde el original griego podía ser más larga, pues buena parte de los textos árabes no eran traducciones directas del griego, sino del siríaco, con lo cual no era extraño encontrarse con una cadena griego-siríaco-árabe-castellano-latín. En esta situación no es raro que se cometieran errores o que surgieran dificultades a la hora de interpretar términos técnicos.

c) el último elemento, y quizá el más importante, era la imposibilidad de identificar en los textos las interpolaciones árabes, lo que influía de manera decisiva en el resultado final. Este aspecto fue especialmente notable en el caso de Aristóteles muy influido por la interpretación averroista que acentuaba los aspectos deterministas y que fue la interpretación oficial que circuló por Europa hasta que Guillermo de Moerbecke tradujo sus obras del griego a mediados del s. XIII.

Ambas escuelas dejaron de funcionar en el s. XIII, cuando la toma de Constantinopla por los cruzados y el consiguiente saqueo permitieron traer los originales

5. Un caso interesante es el de Arquímedes del cual sólo se traduce «Sobre la medición del círculo» hasta que en 1269 Guillermo de Moerbecke traduce las obras completas (excepto el Arenario, los Lemmas y el Método) de los originales griegos traídos de Constantinopla por los cruzados.



griegos al occidente europeo. A partir del s. XIV deja de traducirse del árabe. En cualquier caso, el trabajo de las escuelas de traductores fue fundamental para la recuperación de la ciencia griega. Los eruditos cristianos dedicaron todo el s. XIII a expurgar, estudiar y aprender ese cúmulo de conocimientos, de ahí la escasez de contribuciones científicas en ese periodo. Será una vez asimilada, en el s. XIV, cuando comiencen los análisis detallados y las críticas a la ciencia griega, así como las contribuciones medievales originales.

La polémica entre dominicos y franciscanos

Un segundo factor que tuvo gran influencia en el desarrollo de la filosofía y la ciencia del s. XIV fue la creación de las dos grandes órdenes mendicantes, dominicos y franciscanos, y, sobre todo, la confrontación entre ambas a lo largo de toda la Edad Media, pues de una manera casi sistemática adoptarán posiciones contrarias en todas las discusiones teóricas de la época: la relación entre razón y fé, el problema de los universales, el aristotelismo y el platonismo, la naturaleza de las cualidades y su posible medición, el papel de las matemáticas en la ciencia, etc. Creadas ambas con una estructura semejante, con renuncia expresa a la posesión de propiedades, ni siquiera corporativas, y entrenadas para combatir las herejías con una fuerte tradición académica y una exquisita preparación en la lógica y las habilidades dialécticas, constituyen las cumbres intelectuales de todo el periodo medieval. Sus miembros, dedicados a predicar en las ciudades y a viajar constantemente, son el modelo de hombre culto de la época y jugaron un papel muy importante en la creación y evolución de las universidades y del conocimiento. Ambas son igualmente responsables de la gran confianza depositada a partir del s. XII en el pensamiento racional como forma de resolver problemas, especialmente los surgidos del conflicto con la autoridad, y del relativo suavizamiento y «racionalización» de las polémicas religiosas frente a la virulencia de las disputas teológicas anteriores. De la misma forma, ambas están de acuerdo en que el universo ha de ser explicado en términos de causas naturales y no interpretado en función de símbolos morales o místicos, como se había pretendido dentro de la tradición hermética y neoplatónica.

Sin embargo, también habrá importantes diferencias entre ellos. Los dominicos poseerán una estructura jerárquica más rígida, se moverán más cerca del poder como representantes de la ortodoxia (no en vano son los encargados de la Inquisición) y se remitirán a los planteamientos aristotélicos tal como quedan recogidos en la síntesis tomista. Su dominio intelectual durante el s. XIII es absoluto y sus propuestas filosófico-teológicas se presentan bastante unificadas, en gran medida por la enorme influencia ejercida por Tomás de Aquino. Defienden, así, la complementariedad en-



tre razón y fé, concediendo prioridad a ésta en caso de conflicto, pero asumiendo que difícilmente pueden diferir si la razón se ejerce rectamente; defienden la naturaleza racional del mundo, aunque suavizando el determinismo implícito en el aristotelismo en favor de la libertad divina, y en tal sentido contribuyeron decisivamente a la aceptación de la ciencia clásica como explicación racional de la realidad que no entraba en conflicto con el dogma cristiano; en la polémica sobre los universales adoptaron posiciones conceptualistas en línea con el aristotelismo, asumiendo que las ideas universales, las formas abstractas (incluyendo las matemáticas), son básicamente conceptos con existencia mental y se mantuvieron fieles a la idea aristotélica de que la naturaleza debía ser explicada cualitativamente, separando tajantemente física y matemáticas (ni se podían cuantificar las cualidades, ni sus cambios en intensidad, y tampoco se podían combinar cualidades diferentes).

Los franciscanos, por el contrario, poseen una estructura jerárquica más liberal (o quizá más desordenada), se moverán en torno a posiciones más heterodoxas, especialmente en el s. XIV, y se conectarán, a través de sus planteamientos inicialmente más voluntaristas que racionalistas y la influencia de S. Agustín, con una cierta tradición platónica. Su predominio se extiende a lo largo del s. XIV y su característica básica es que no poseen una línea unitaria. Entre los franciscanos se encuentran figuras tan dispares como R. Bacon, que insiste en la necesidad de las matemáticas y la experimentación para el desarrollo de la ciencia, S. Buenaventura, cercano a los planteamientos místicos clásicos, Duns Scoto, con su peculiar planteamiento en el problema de los universales, o el influyente Guillermo de Ockam, con su nominalismo radical, su insistencia en que la experiencia es el único camino válido para el conocimiento racional (otra cosa es el conocimiento revelado) y su consideración de las entidades abstractas como meras abstracciones sin correlato real, ni siquiera mental. En términos generales, mantienen un racionalismo mucho más debilitado que los dominicos y teñido, en unos casos, de misticismo y, en otros, de empirismo; tienden a separar, más o menos tajantemente, razón y fé, sea por conceder a la segunda una importancia fundamental sobre la primera, o por considerarlas completamente distintas y siguiendo cada una su propio camino (en la versión ockamista de la doble verdad); rechazan todo determinismo y que el mundo posea por sí mismo una estructura racional previa y a priori y sitúan en un plano más fundamental el voluntarismo y la libertad divina⁶: el conocimiento de la naturaleza ha de basarse por tanto en la experiencia y será necesariamente contingente y falible; en el trata-

6. Suponen que el mundo es como es porque Dios ha querido hacerlo así, pero igual podría haberlo hecho de cualquier otra manera: tal voluntad y libertad son inexplicables y no están sujetas a ninguna necesidad racional, salvo quizá la de no caer en contradicción.



miento de los universales oscilarán entre un realismo fuerte, que considera las ideas universales como realmente existentes sea en la mente divina, sea en las cosas individuales que las ejemplifican y son como son porque participan de tales ideas, y un nominalismo fuerte, para el que tales ideas no existen realmente, sino que son simples nombres sin referencia o abstracciones obtenidas de semejanzas entre los individuos, pero sin correlato real.

Lo más interesante, sin embargo, es su posición respecto a la ciencia, la relación entre matemáticas y física y la posible cuantificación de las cualidades. Salvo el caso de R. Bacon, que insiste en la necesidad de combinar matemáticas y experimentación en el estudio de la naturaleza, los demás se van a mover siguiendo dos líneas que se mantienen paralelas a lo largo del s. XIV y que no se conectarán hasta Galileo y la ciencia moderna. Una de estas líneas insistirá en el empirismo y la experimentación, pero rechazará cualquier pretensión de realidad para las matemáticas, por lo que se les cita como precursores del instrumentalismo y de la concepción formalista de las matemáticas. La otra insistirá en la naturaleza real de la estructura matemática del mundo más allá de la experiencia. Ambas coincidirán, aunque desde esos diferentes supuestos, en una cuestión que será fundamental en la ciencia del s. XIV: la posibilidad de cuantificar las cualidades y sus cambios de intensidad y, a partir de ahí, la posibilidad de dar una descripción o una reconstrucción matemática del cambio y del movimiento que coincida con la experiencia. Es en este aspecto donde el platonismo latente en las posiciones de los franciscanos tendrá gran importancia para el desarrollo posterior de la ciencia moderna.

La revolución técnica del S. XII y el desarrollo de la invención

Un aspecto interesante de la Edad Media que contrasta con todo lo anterior es su tratamiento de la técnica. Mientras los componentes teóricos de la cultura greco-latina y, sobre todo, la ciencia clásica se perdieron con las invasiones, la técnica clásica se conservó prácticamente intacta. Quizá la razón de esta supervivencia estuvo en la peculiar estructura de la sociedad medieval. Dentro de una economía de subsistencia el dominio de habilidades técnicas resulta fundamental. En los propios monasterios el trabajo manual no sólo era necesario, sino también obligado y valorado por la norma que los constituyó (aquello de «ora et labora»), todo lo cual implicaba poseer ciertas habilidades técnicas e incluso el desarrollo de una cierta inventiva. A lo largo de los siglos anteriores al XII estos conocimientos y habilidades técnicas se fueron acumulando y refinando y se produjeron nuevos desarrollos en campos tan dispares como la tecnología militar (estribo, ballesta), la agricultura (arado con ruedas) y el transporte (grandes carretas, arneses, herraduras, balancín, vela latina)



que contribuyeron al desarrollo económico y a la recuperación de las ciudades, pero constituían una continuación natural de la técnica clásica.

Sin embargo, a partir del s. XII se produce un cambio sustancial que afecta no sólo a los hallazgos técnicos, sino a la forma de entender la técnica y la relación del hombre con la naturaleza. Este cambio se basa fundamentalmente en una revolución en el uso de las fuentes de energía: la construcción de artefactos que permiten aplicar las fuerzas de la naturaleza a usos humanos, dando origen a la tecnología mecánica. En el s. XII se generaliza el uso «industrial» de la rueda hidráulica y los molinos de agua y poco después se introduce el molino de viento con eje horizontal, que se utiliza en la producción de paños, la forja de metales, etc. A partir de aquí se produce una cascada de «inventos» que van desde el manubrio y el cigüeñal hasta los fuelles de vapor. Lo fundamental es que, a partir del s. XII se desarrollan una serie de instalaciones mecánicas que permiten utilizar la energía natural para usos industriales como curtir, lavar, aserrar, triturar, accionar fuelles, reducir pigmentos, etc.

Esto es lo que recibe el nombre de «invención» y representa un salto cualitativo fundamental respecto a toda la técnica anterior. Lo importante no es tanto el desarrollo de nuevos hallazgos, pues gran parte de ellos eran conocidos en la cultura grecolatina (la rueda hidráulica, el vapor, etc) o se habían desarrollado de forma independiente en las culturas india y china (brújula, pólvora, etc). Por el contrario, lo original de la revolución técnica del s. XII es el uso que dan a estos hallazgos, una utilización sistemática y casi planificada, que acabará cristalizando en la idea de la eficacia de la inventiva humana y en la creencia de que el conocimiento puede permitir utilizar la naturaleza en provecho propio. En eso consiste básicamente la invención, en la capacidad para utilizar ciertos hallazgos conocidos en situaciones inesperadas o con fines distintos a los inicialmente supuestos y, sobre todo, articularlos en mecanismos de diseño más o menos complejo para controlar, reproducir, e incluso mejorar, fenómenos naturales ⁷.

Ciertamente, estos planteamientos no se desarrollarán definitivamente hasta pasado el s. XVI y a su generalización contribuirán no sólo el desarrollo de esta idea de invención, sino también otros supuestos derivados de la filosofía hermética y la alquimia, pero su germen se encuentra ya en esta época. El caso más claro está en los escritos de R. Bacon (que, como su homónimo posterior, habla de máquinas voladoras, automovientes, etc, destinadas al mejoramiento de las condiciones de vida

7. El ejemplo arquitectónico de una invención es, en este sentido, un mecanismo con el que ya soñaron los medievales del s. XIII, que atrajo la atención de todos los grandes ingenieros renacentistas y modernos (desde Leonardo a Stevinus) y que nunca podrá ser construido: la máquina de movimiento perpetuo; pero también son ilustrativos el reloj de pesas desarrollado entre los siglos XIV y XV o los autómatas, que arrancan de las tradiciones cabalísticas y gozaron de gran popularidad hasta el s. XIX.



e incluso al perfeccionamiento moral humano), pero también puede rastrearse en algunos otros tratadistas del s. XIII, como Alberto Magno, Neckam, etc. Sin embargo, y a pesar de estas excepciones, la ciencia y la tecnología medievales tienen en general poca relación y se desarrollan por separado, la primera utilizada por los eruditos para comprender el mundo, la segunda por los artesanos para hacer cosas. Sólo a partir de los siglos XV y XVI empezarán a conectarse estrechamente.

No obstante, en términos generales, este desarrollo técnico tendrá influencia en el desarrollo de la ciencia del s. XIV, tanto por dar origen a problemas y descubrimientos teóricos nuevos (magnetismo, proyectiles, ciertos problemas de medición de intensidades en óptica a partir de la invención de las gafas, etc), como en tres aspectos metodológicos básicos:

a) Favorecerá el interés en la experiencia y la experimentación como componentes importantes del conocimiento humano y, al mismo tiempo, el éxito de sus invenciones mecánicas apoyará la idea de que no todos los conocimientos clásicos son perfectos y acabados, ni su autoridad indiscutible, sino que pueden ser discutidos y perfeccionados a partir de la observación detenida de la naturaleza y el libre juego de la imaginación en experimentos mentales (secundum imaginationem los llamará Ockam).

b) La precisión de los artefactos técnicos construidos y su eficacia contribuirán a desarrollar la idea de que el conocimiento de la naturaleza debe ser igualmente preciso y cuantitativo, lo que favorecerá el interés en la medición de los cambios naturales y, en último término, la pretensión de utilizar las matemáticas en el análisis de las cualidades.

c) Igualmente, la constatación de la efectividad de estos mecanismos técnicos y su utilización en procesos muy diferentes contribuirán a desarrollar la idea de que ciertos procesos naturales pueden explicarse más adecuadamente mediante causas que mediante fines y, también, que procesos aparentemente diferentes (como los movimientos natural y violento de Aristóteles) pueden considerarse aspectos distintos de un mismo proceso y explicarse de forma semejante.

El desarrollo de las Universidades

A pesar de la importancia de los tres elementos anteriores, sin duda el aspecto más fundamental para el desarrollo de la ciencia en el s. XIV será la constitución de las Universidades y su progresivo distanciamiento de la autoridad eclesiástica. En sus comienzos las «universidades» consistían en gremios escolásticos, constituidos a imitación de los gremios de artesanos, integrados por comunidades de «escolares», generalmente extranjeros, que se agrupaban para protegerse mutuamente en tierra



extraña y gozaban de cierto reconocimiento por parte de las autoridades civiles y eclesiásticas, así como de ciertos privilegios e inmunidades (protección contra arresto injusto, juicio ante cortes especiales, etc). En estos comienzos eran simplemente sociedades privadas sin competencias académicas que funcionaban dentro de las escuelas catedralicias medievales (los studia generalia).

Las escuelas catedralicias eran escuelas de enseñanza regidas por clérigos que funcionaban en las ciudades, inicialmente para la formación de otros clérigos y, posteriormente, a medida que las ciudades prosperaron, también para laicos (mercaderes, personal de la administración real o municipal, etc). El control inicial por parte de la iglesia era bastante fuerte, pues se requería el permiso de un obispo para abrir una escuela; a partir del s. XII, también era necesaria la venia docendi (otorgada generalmente también por la autoridad eclesiástica) para poder impartir enseñanzas y, posteriormente, un permiso real o papal para poder impartir títulos.

Las enseñanzas eran semejantes a las recibidas por los clérigos y se articulaban en tres niveles:

1) Latín, Sagrada Escritura y canto de los servicios religiosos.

2) Las llamadas Artes Liberales, integradas por el Trivium (Gramática, Retórica y Lógica —también llamada Dialéctica—) y el Cuadrivium (Geometría, Aritmética, Música y Astronomía).

3) Filosofía, que se articulaba en cuatro grandes ramas:

a. Teórica, integrada por Matemáticas, Física y Teología.

b. Práctica, consistente en Moral o Ética (a todos los niveles, desde el personal al político).

c. Lógica, consistente básicamente en análisis del discurso y una profundización en las disciplinas del Trivium.

d. Mecánica (o Técnica), consistente en distintas habilidades técnicas, desde la Medicina o la Navegación al procesamiento de la lana o la agricultura.

Evidentemente, nadie cursaba todos estos estudios. La mayoría de los estudiantes se especializaban en el estudio de alguna de las artes liberales en virtud de sus aficiones, el prestigio del maestro, etc, y sólo algunos pocos llegaban al último nivel (alguna de las ramas de la Filosofía)⁸. El prestigio adquirido por algunas de estas escuelas hizo que acudieran a ellas estudiantes de toda Europa y que, por esa razón, el Papado o el Imperio les concedieran bulas y fueros especiales en virtud de los cuales los títulos que otorgaban debían ser reconocidos en cualquier lugar de Europa,

8. Las propias escuelas se especializaban en alguna de esas enseñanzas, que era la que les proporcionaba prestigio; así, París era especialista en el Trivium, Chartres en el Cuadrivium, etc.



como ocurrió con Toulouse, Salerno o Bolonia⁹. Algunas, incluso, no necesitaban estas bulas especiales y se basaban sólo en su reconocimiento y prestigio, como Oxford o París. A medida que se extendió ese reconocimiento universal, las escuelas iniciales y las «universidades» de académicos integradas en ellas se fundieron constituyéndose las Universidades en sentido estricto.

La estructura misma del sistema de enseñanza se modificó respecto al tradicional de las escuelas generales. El primer nivel, básicamente eclesiástico se eliminó, y las enseñanzas se articularon en dos niveles integrados por 4 facultades:

a) Un nivel inferior integrado por la Facultad de Artes Liberales (también se llamó Filosofía), que era común y pre-requisito básico para todos los demás estudios.

b) Un nivel superior integrado por tres facultades que, en orden de importancia, eran Medicina, Leyes y Teología.

El nivel inferior no solía terminarse antes de los 21 años (a los que luego se añadía el doctorado) y consistía esencialmente en el estudio del sistema aristotélico¹⁰. La continuidad en las facultades superiores dependía de la disponibilidad y medios del estudiante, pues los estudios de Teología, por ejemplo, no se terminaban antes de los 35 años. Como es lógico, no todas las universidades dispusieron de todas las facultades desde sus inicios, esa prerrogativa la tenían sólo las muy reconocidas, como París u Oxford. Las restantes disponían inicialmente de alguna facultad, en la que basaban su prestigio, y sólo posteriormente introdujeron otras. De este modo, Bolonia comenzó con la facultad de Leyes, Salerno o Montpellier con Medicina, etc. La misma creación de facultades e incluso universidades dependió en estos comienzos de factores externos¹¹.

La pérdida de autoridad papal y las disputas entre filosofía y teología, constituyeron el caldo de cultivo en el que se desarrollaron estas universidades y, dentro del cual, a lo largo del s. XIII se aseguraron su independencia tanto intelectual, como económica (posesión de propiedades, edificios, etc), respecto al gobierno eclesiástico

9. Las monarquías podían hacerlo sólo para un país, como ocurría en Castilla con Valladolid y Salamanca.

10. Así, p. ej., los textos comentados en el s. XIV en la Facultad de Artes de París eran: los Analíticos, la Física, el De Caelo, la Meteorología y el De Generatione de Aristóteles; el De Sphaera de Sacrobosco y la Teoría de los Planetas, una compilación anónima de la teoría ptolemaica escrita en el s. XIII; los Elementos de Euclides, la Aritmética de Boccio y el Algorismo de Sacrobosco.

11. Así, la Peste Negra contribuyó a la proliferación de facultades de Medicina; la crisis entre el Imperio y el Papado y el desarrollo de las monarquías impulsaron las facultades de Leyes; universidades como la de Toulouse fueron creadas casi directamente de la nada mediante una bula papal especial para contraponerse a los residuos de la herejía cátara, tan extendida en la zona, y actuar como contrapeso de París, etc.



externo, reclamando para sí la máxima autoridad tanto en asuntos internos, como en cuestiones de conocimiento. Frente al sacerdocio religioso y al poder político, las Universidades se presentaban como los centros específicos de estudio dedicados a la búsqueda del conocimiento sin aceptar en este campo otra autoridad que la suya propia. Los feroces enfrentamientos entre «filósofos» (profesores de las facultades de artes liberales) y «teólogos» (de la facultad de Teología) durante los s. XIII y XIV, los interdictos de los obispos de París o Toulouse y del mismo Papa prohibiendo ciertas enseñanzas o negando la venia docendi, las emigraciones masivas de profesores y alumnos de una universidad a otra ciudad que los acogiera y donde fundar una nueva universidad o reforzar la existente (como le ocurrió a París con Oxford y a Oxford con Cambridge) o el rechazo radical por parte de los averroístas latinos de la fé como forma de conocimiento y la revuelta contra la interpretación tomista, llegando incluso a invocar la protección del Emperador contra el Papa, como hizo Ockam, no son más que episodios en esta lucha de las Universidades por su independencia y en defensa de la llamada «libertad de cátedra».

En el s. XIV una Universidad era ya una comunidad de profesores y estudiantes cuya existencia compartida era reconocida por la autoridad. En este sentido, funcionaba como una corporación con privilegios legales y una función intelectual autónoma reconocida y consagrada. Aunque en todos los casos la búsqueda del conocimiento seguía sometida a la Teología (que continuaba siendo el máximo título otorgado), la constitución definitiva de las Universidades supuso la aparición de un marco de relativa libertad de pensamiento dentro de la sociedad medieval y, en tal sentido, jugaron un papel esencial en la divulgación del conocimiento clásico, el gusto por la ciencia y la filosofía natural y el desarrollo de las contribuciones más críticas y originales de la ciencia y la filosofía del s. XIV¹².

La polémica de los universales y el desarrollo del nominalismo

La influencia de los cuatro factores que acabamos de ver se combina precisamente en el s. XIV y esa es la marca característica de la época. Esa influencia

12. Sin embargo, esta contribución de las Universidades no se extenderá más allá del s. XIV. El aumento de la rigidez en sus estructuras a medida que avanza el siglo y, sobre todo, su forma interna de funcionamiento basada en disputas retóricas a base de analizar los pros y los contras verbalmente acabarán convirtiéndolas en guctos cerrados en los que el pensamiento original no encontrará acomodo. Basta considerar el proceso de degradación progresiva que sufren universidades como Oxford desde Grosseteste, su primer canciller, y su discípulo R. Bacon, en el s. XIII, pasando por Occam y los «calculadores» del Merton College, en el s. XIV, hasta su decaimiento intelectual en el s. XV. En el mismo sentido, no es sorprendente que el Humanismo se desarrolle fuera del medio universitario, que continuaba siendo medieval, o que la mayoría de los que construyeron la ciencia moderna lo hicieran fuera de la institución (Copérnico, Kepler, Bacon, Descartes, etc., siendo Galileo la gran excepción).



se aprecia especialmente en una de las polémicas filosóficas más típicas de la Edad Media que adquiere nuevas formas a lo largo de este siglo: la polémica sobre los universales.

El origen de la disputa se encuentra en unos comentarios de Boecio acerca de los planteamientos de Aristóteles sobre la naturaleza y el status ontológico de los nombres comunes y las ideas universales¹³. En el análisis de Boecio el problema consiste en determinar la relación de estas ideas o formas universales con los objetos individuales, los números y la mente del sujeto que conoce. Las posiciones clásicas ante el problema eran tres:

a) Las ideas universales son ideas eternas separadas de las cosas particulares y con el mismo tipo de existencia real que éstas (salvo que no son directamente observables). Más aún, las cosas concretas son como son porque participan de esas ideas universales, que serían ontológicamente previas. Se llamaban en este caso universalía ante rem. Esta posición, atribuida tradicionalmente a Platón, fue modificada por S. Agustín para adaptarla al cristianismo. Así, las consideraba ideas eternas en la mente divina, siendo los objetos concretos, y en general la materia, simples sombras de esas ideas. Esta posición fue la dominante hasta la irrupción del aristotelismo en el s. XII y continuó posteriormente con modificaciones en las propuestas más místicas. Suele llamarsela Realismo Fuerte.

b) Las ideas universales existen realmente, pero de forma diferente a los objetos concretos. Subsisten en las cosas individuales y sólo en ellas, no tienen existencia separada. Pero esto no impide que sean tan reales como las cosas concretas; son formas distintas de existencia y se accede a ellas por caminos distintos, en un caso la abstracción y la razón y en el otro la experiencia. Precisamente es la existencia de esos principios y formas en las cosas lo que las hace ser como son. Se llamaban, en este caso, universalía in re. Atribuida a Aristóteles se hizo popular, sobre todo, en el s. XIII, aunque adoptó numerosas variaciones (desde el determinismo de los averroístas latinos hasta el refinado realismo de Duns Scoto, pasando por algunos planteamientos de Tomás de Aquino). Suele llamarse Realismo Moderado.

c) Las ideas universales no tienen existencia real, sino que son conceptos, abstracciones de las cosas concretas o meros nombres. Se llamaban ahora universalía post rem y según se eligiera una posición u otra surgían, sin embargo, 2 enfoques diferentes, que suelen englobarse bajo la etiqueta de Nominalismo a pesar de sus profundas diferencias:

13. Los ejemplos que analiza Boecio, y que luego cita Wittgenstein en el Tractatus, son «jinete», «caballo» y «rosa», pero lo mismo vale para cualquier otro más genérico, como «verdad», e incluso para los técnicos, como «movimiento», «siete» o «infinito».



cl. Estas ideas son conceptos racionales con existencia mental que no dependen de los sujetos individuales, sino de las reglas internas de la racionalidad e incluso de la estructura racional del mundo. En cierto modo, se puede decir que son conceptos mentales o racionales que tienen su correlato en las cosas o están en ellas como propiedades, cualidades, etc. Esta posición se llama Conceptualismo y mantiene una estrecha conexión con la anterior, hasta el punto que algunos autores oscilan entre ellas (Sto. Tomás, el propio Aristóteles). Igualmente, muchos otros que se denominan Nominalistas por oposición al Realismo se sitúan también en esta posición ¹⁴.

c2. Las ideas universales son simplemente nombres sin referente o, en el mejor de los casos, simples abstracciones de semejanzas entre los objetos individuales y las usamos los sujetos para designar esas semejanzas (a modo de abreviaturas). En este sentido, su referencia son sencillamente otras palabras, no entidades reales, pues sólo existen las cosas individuales. Este es el Nominalismo estricto, cuyo principal representante es Ockam.

Planteadas en estos términos, la polémica puede parecer excesivamente metafísica y poco interesante para la ciencia. Sin embargo, tras ese lenguaje retorcido y plagado de sutilezas propias de la época, se están planteando muchas cuestiones metodológicas y filosóficas referidas a la naturaleza misma de la ciencia y los conceptos científicos. Por citar sólo algunas:

— La naturaleza de la estructura del mundo, su racionalidad y la posibilidad de explicarla mediante la ciencia (es decir, de descubrirla, comprenderla o inventarla, según el caso).

— El status de las leyes e hipótesis de la ciencia (o de los conceptos que las integran) y la mejor forma de llegar a ellos (a priori, abstracción, experiencia o experimentación).

— La naturaleza última de la Física y las Matemáticas, la prioridad entre ellas e incluso su posible conexión. En el mismo sentido, la naturaleza esencial de la geometría y el lenguaje o, por contra, su convencionalismo y la posibilidad de inventar un formalismo sin referencia que pueda usarse útilmente para la descripción y análisis de la naturaleza (de modo semejante a como usamos el lenguaje ordinario, plagado de nombres comunes, según los nominalistas sin referencia, para describir la realidad).

— La explicación y justificación de nuestras clasificaciones de la naturaleza. Igualmente, si las cualidades pueden medirse (la cuantificación de las cualidades) y, en su caso, cómo. En el mismo orden de cosas, la necesidad o el posibilismo y falibilismo de los constructos científicos.

14. P. ej., Roscelino, que llevó a cabo la primera formulación del Nominalismo allá por el s. XII.



— La posibilidad de encontrar un standard de verdad para el conocimiento humano, incluyendo el científico, y distinguir lo real de lo aparente. Una parte de este problema es el papel de la autoridad en el conocimiento y la licitud de criticar, discutir y plantear alternativas al conocimiento generalmente aceptado.

— La naturaleza de la causalidad y la existencia misma de causas, así como los métodos para descubrirlas a partir de sus efectos o postularlas instrumentalmente. Igualmente, la conveniencia de que las explicaciones sean por causas esenciales, por causas eficientes inmediatas o, simplemente, descripciones acerca de cómo se producen los fenómenos (lo que ya contiene en sí mismo la explicación de por qué). En todos los casos, esto supone plantearse el papel de la experiencia y de la inducción.

Estos, y otros problemas semejantes, se encuentran en los textos de los escolásticos como derivaciones de su discusión acerca de la naturaleza de los universales. El que los presenten como argumentaciones de segundo orden no les quita importancia, ni significa que no fueran influyentes. La propia forma de argumentación medieval y su gusto por la jerarquización de los problemas es la responsable de que no se escribieran tratados específicos sobre estos temas y que aparecieran como flecos en la polémica de los universales. La misma polémica general está subsumida en otra, mucho más importante en la época, que constituye la columna vertebral de toda la cultura medieval: la polémica sobre la filosofía y la teología, o sobre la razón y la fé¹⁵. Incluso el desarrollo del Nominalismo es una derivación de esa disputa. En 1277 se condenaron las 219 tesis aristotélicas (la mayoría aristotélico-averroístas) que chocaban con el dogma cristiano. Esa condena marca toda la concepción filosófica del mundo del s. XIV. Hasta entonces, la influencia del aristotelismo había llevado a dos planteamientos alternativos:

a) El clásico tomista, según el cual razón y fé se complementan (o la primera complementa a la segunda y no pueden entrar en conflicto si la primera se ejerce rectamente). En tal caso, el mundo tendría una estructura que puede ser racionalmente conocida y comprendida, precisamente por ser creación divina. Aunque las verdades necesarias que rigen la estructura del mundo están limitadas por la libertad divina, la racionalidad constituye una de las características fundamentales de la divinidad, por tanto tales verdades necesarias están dadas y son racionalmente descubribles por la ciencia y la filosofía.

15. Las mismas contribuciones científicas de la época están insertas en esa jerarquía y, con frecuencia, se presentan al hilo de discusiones consideradas más fundamentales. P. ej., la primera formulación de la *virtus impressa* (un antecedente directo del *ímpetus*) la formula Marchia dentro de una discusión acerca de si los sacramentos pueden proporcionar la gracia o si eso es potestad directa de la divinidad. Y las críticas astronómicas de Oresme a Aristóteles se enmarcan en su intento de demostrar que la mera razón no puede proporcionar conocimiento indiscutible, y mucho menos absoluto, frente a la fé.



b) El averroísta, para el cual en los asuntos de conocimiento lo fundamental es la racionalidad, por encima incluso de la fé. Cada una atiende a sus asuntos y en cuanto al conocimiento del mundo no hay criterio superior a la razón. La ciencia debe descubrir esas verdades necesarias que determinan la estructura de la realidad. De este modo, ciertas tesis aristotélicas, como la eternidad del mundo, etc, son perfectamente aceptables si se demuestran suficientemente, aunque choquen con el dogma. A raíz de la condena de 1277, esta posición tan radical se debilitará y dará paso a la «teoría de la doble verdad», que separa tajantemente los ámbitos de la razón y la fé, de manera que cuando entren en conflicto, las posiciones de ambas se considerarán verdaderas al mismo tiempo. Otra forma de decirlo era considerar que el conocimiento del mundo es competencia sólo de la razón, en el sentido de que su estructura racional no puede ser limitada ni por la voluntad, ni por la libertad humanas o divinas.

No obstante, la posición más extendida después de la condena fue la separación tajante entre razón y fé, pero sin considerarlas en plano de igualdad, sino concediendo toda la fuerza a la segunda: la estructura del mundo no es racional, en el sentido de sometida a verdades necesarias que puedan descubrirse por la razón, ni tan siquiera está claro que el mundo posea una estructura permanente cognoscible más allá de los fenómenos empíricos, y la razón humana es incapaz de conocerlo completamente e incluso de discernir entre las distintas explicaciones posibles que pueden dar cuenta de los fenómenos. La razón última que se aducía para afirmación tan contundente era que la característica fundamental de la divinidad no era la racionalidad, sino la voluntad (infinitamente libre, según Scoto) o la libertad (en el caso de Ockam): el mundo es como es porque la divinidad así lo ha querido y si hubiera querido que fuera de otra forma, lo sería, como puede serlo y cambiar en cualquier momento, si así lo quiere. El único límite a este voluntarismo es la contradicción. De esta forma, no sólo en los asuntos teológicos y vitales se le concedía prioridad a la fé, sino que la propia uniformidad de la naturaleza en la que se fundamentan las leyes científicas estaría sustentada en último término en la libre voluntad de la divinidad.

Lo paradójico es que esta posición tajante no constituyó un freno, sino un impulso para el desarrollo de la ciencia. Primero, porque dejó sin justificación teórica al aristotelismo. Si la naturaleza de la realidad está sometida de tal forma a la voluntad divina y no hay verdades necesarias racionales, nada impide someter a crítica la filosofía natural aristotélica, formular alternativas e incluso, en un libre juego de la imaginación, discutir y analizar cuestiones que podrían haber ocurrido si la divinidad lo hubiera querido (desde la pluralidad de universos al movimiento en el vacío y desde la composición del continuo o la infinitud del espacio hasta la naturaleza



del tiempo). Así, no es extraño encontrarse a Alberto de Sajonia planteándose si podría existir una línea espiral infinita dentro de un cuerpo finito y a Nicolás de Autrecourt afirmando que el tiempo está constituido por instantes discretos indivisibles. Segundo, porque impulsó los estudios y discusiones metodológicas como las citadas más arriba, el análisis de la naturaleza y función del conocimiento científico y, sobre todo, el desarrollo de ciertos métodos aplicables al análisis de casos y fenómenos empíricos específicos (como la cuantificación de cualidades usada para medir la intensidad de la luz según el ángulo de incidencia y la distancia, o la velocidad uniformemente acelerada, o los análisis de Ockam de la causa inmediata) en lugar de la postulación tradicional de esencias o especies imponderables como causas necesarias de los fenómenos. Tercero, y principalmente, porque desplazó el punto de atención de la filosofía natural tradicional al estudio empírico y cuantitativo de la naturaleza y favoreció el desarrollo del Nominalismo, que tuvo una positiva influencia sobre los científicos de la época, desde Bradwardine a Oresme y Buridán.

En el caso de Ockam, el paso al Nominalismo es muy simple. Si la creación y naturaleza del mundo no dependen de ideas preconcebidas o naturalezas comunes, sino de la libertad divina, entonces es innecesario suponer que existan esencias comunes que se «realicen» en los individuos, sino sólo cosas individuales concretas. Dado que estos individuos son más o menos parecidos, eso nos permite formarnos conceptos universales de ellos y usar nombres generales, pero ambos sólo se refieren, en el mejor de los casos, a esas semejanzas de los objetos o incluso a otros conceptos y términos derivados de los objetos individuales. De esta forma, sólo los hechos singulares son reales, pero no su coherencia o su estructuración racional (ambas las suponemos y construimos los sujetos), y sólo pueden ser experimentados, pero no deducidos de principios necesarios. El conocimiento, por tanto, se deriva de la experiencia directa, sin conceptos, ni formas interpuestos. Solo en un segundo paso se abstraen sus semejanzas o se establecen correlaciones, pero éstas no tienen realidad objetiva, sino que sólo son abstracciones mentales del comportamiento de los objetos individuales. Por esta razón distingue Ockam entre la «ciencia real», que son proposiciones acerca de cosas particulares, y la «ciencia racional», que son las teorías en las que los nombres representan abstracciones y no algo real. De aquí obtiene Ockam tres principios fundamentales:

a) El principio de economía o navaja de Ockam, que es un principio de simplicidad y economía de explicaciones y entidades, según el cual no hay que postular la existencia de más entidades que las estrictamente necesarias para dar una explicación y entre explicaciones alternativas siempre será preferible la más sencilla. En última instancia, es una extrapolación a todo el conocimiento de los supuestos de simplicidad y elegancia corrientes incluso en la matemática griega. Su utilización



en la física medieval no sólo tuvo consecuencias devastadoras para la proliferación de imponderables y especies postuladas comúnmente, sino que ayudó a la conexión entre matemáticas y física. Del mismo modo, su influencia posterior en el nacimiento de la ciencia moderna o en el empirismo inglés es incuestionable.

b) El estudio de la causalidad y la definición de la causa inmediata. El fuerte empirismo ontológico sustentado por Ockam lo llevaba a mantener una especie de infradeterminación del conocimiento, según el cual el mismo efecto puede existir por muchas causas diferentes (y, en el mismo orden de cosas, el mismo fenómeno puede tener también muchas explicaciones diferentes), por tanto las conexiones causales sólo pueden fijarse en casos concretos. Define, así, la causa inmediata como aquella que si está presente, se sigue el efecto, y si no lo está, no se produce el efecto, siendo todas las demás cosas iguales. Si aparecen otras causas alternativas, hay que eliminarlas a partir de la observación, la experimentación, etc. En cualquier caso, nunca hay evidencia de alguna relación metafísica o esencial entre causa y efecto (la única «prueba» es la citada para la causa inmediata), sino sólo la asociación empírica entre sucesos. Por ello, no pueden probarse de ninguna forma las causas finales aristotélicas y, aunque puede hablarse de la causa total como la suma de todos los antecedentes que bastan para producir un suceso, las únicas causas reales son las inmediatas. Pese a todo, y en términos generales, las conexiones causales establecidas empíricamente a partir de esas causas inmediatas son válidas por la uniformidad de la naturaleza¹⁶. Estos análisis ockamistas de la causalidad, que recuerdan los de Hume, son los precedentes de la sustitución de las causas finales por las causas efectivas que caracterizarán los orígenes de la ciencia moderna.

c) El probabilismo. Es una consecuencia de todo lo anterior y consiste en afirmar que la filosofía (y la ciencia, en su caso) puede ofrecer explicaciones probables, pero no necesarias. Por eso, es natural que existan distintas explicaciones del mismo fenómeno y, además, es lícito y conveniente buscar otras nuevas. De entre ellas hay que elegir siempre la más probable a la luz de la experiencia y del principio de economía. Por eso, es importante la proliferación de alternativas para mejorar nuestras explicaciones de la naturaleza. Este probabilismo se encuentra a la base de la teoría del ímpetus, de los trabajos de los calculadores oxonienses y de las discusiones de Oresme respecto a la inmovilidad de la Tierra. Pero, además, el probabilismo tiene una consecuencia metodológica importante para todas las teorías citadas: el uso de los supuestos «secundum imaginationem», es decir, imaginar todo tipo de posibilidades

16. Recuérdese que para Ockam la voluntad y libertad divinas sólo están limitadas por el principio de no contradicción y esa ausencia de contradicción es suficiente para garantizar la uniformidad natural, a lo que hay que añadir el uso de la «navaja de Occam», que también apoya esa uniformidad.



sin tomar en consideración su realidad física o su posible aplicación. Esto permite analizar los fenómenos en forma hipotética y recurrir sin restricción a experimentos mentales e imaginarios, factores ambos importantes en el análisis de las variaciones de intensidad de las cualidades y los movimientos y en la Teoría del Impetus.

El problema de la intensificación y disminución de formas y cualidades.

Precisamente el análisis de las variaciones de intensidad de las cualidades y movimientos o, para abreviar, la cuantificación de las cualidades, es uno de los logros más importantes de la ciencia del s. XIV y se ha considerado, tradicionalmente, como el primer paso hacia la construcción de la Física Matemática. La tarea la llevaron a cabo un grupo de matemáticos de Oxford, todos ellos sucesivos profesores del Merton College, de donde viene su nombre colectivo: Calculadores de Oxford o Mertonianos. Entre ellos se encuentran Bradwardine, Heytesbury, Swineshead, Dumbleton, etc. y centraron su trabajo en lo que llamaron «el problema de la intensificación y disminución de formas y cualidades».

El origen del problema está en las críticas de Ockam y los nominalistas al tratamiento aristotélico de las cualidades. Para Aristóteles cantidad y cualidad son cuestiones completamente distintas. Aunque ambas son dos formas de cambio, ni pueden combinarse, ni tienen ninguna relación entre sí. La razón es que el cambio cuantitativo consiste en la adición o sustracción de partes homogéneas, sean continuas (p. ej., la distancia espacial), sean discontinuas (p. ej., los números). Por eso, no hay cambio de especie, puesto que la mayor contiene a la menor. En otras palabras, todas las partes que se añaden o se restan poseen las mismas propiedades y atributos y son idénticas entre sí; la entidad sometida a cambio (sea una distancia que aumenta, una serie creciente de números, un objeto que crece o disminuye, etc) conserva a través del proceso tanto su identidad esencial, como el conjunto de propiedades que la identifican y la hacen ser como es. El estado final del proceso, si es de aumento, contiene el estado inicial, o está contenido en él, si es de disminución.

Por el contrario, el cambio cualitativo no se debe a la adición o resta de partes homogéneas, sino a la pérdida de una especie y la ganancia de otra. Es decir, en este cambio la entidad conserva su identidad esencial, pero pierde una propiedad o atributo y la sustituye por otra diferente, aunque pueda ser muy parecida. Esto vale, p. ej., para el cambio de color, pero también para procesos más oscuros, como el aumento o disminución del calor, la intensidad de la luz e incluso el movimiento (si se considera que el lugar ocupado por el cuerpo determina una especie o cualidad y por tanto el paso de un lugar a otro implica perder una especie y ganar otra distinta; esto no es sorprendente en Aristóteles si se tiene en cuenta que concibe el univer-



so integrado por lugares cualitativamente diferentes —arriba, abajo, etc). En favor de su rechazo de la homogeneidad del cambio cualitativo, Aristóteles aduce como ejemplo que el añadir un cuerpo caliente a otro no lo hace más caliente, lo que debería ocurrir si fueran partes homogéneas (añadir una distancia a otra sí la hace más grande).

Esta concepción implicaba una multiplicación de especies y atributos que chocaba frontalmente con el Nominalismo y la navaja de Ockam. De ahí que Ockam lo rechazara, considerando que la intensidad de una cualidad puede ser medida en grados numéricos. En tal caso, todas las diferencias reales se reducirían a diferencias en cantidad y la intensidad de una cualidad podría medirse igual que la magnitud de una cantidad¹⁷. Rechazaba el ejemplo aristotélico de los cuerpos calientes afirmando que el problema estaba en que se añaden también los cuerpos; si se pudiera añadir sólo la cualidad —calor— a la otra cualidad —calor, también—, el resultado sería un cuerpo más caliente. Concluía, de ahí, que las diferencias cualitativas consistían en diferencias de la estructura geométrica, del número o del movimiento¹⁸.

Lo que hacía falta era encontrar un método adecuado que permitiera la cuantificación de las cualidades y, de esta forma, la conexión de Matemáticas y Física, el estudio matemático de la naturaleza. Este es el trabajo que llevan a cabo los Calculadores de Oxford y tiene dos características importantes:

a) Se centran en el estudio del movimiento, lo que contribuirá al desarrollo, o a demostrar la posibilidad del desarrollo, de la Cinemática mediante la definición de algunos conceptos fundamentales (movimiento uniforme, aceleración uniforme, etc);

b) Hacen el análisis en términos de distancia y tiempo, dos nociones cuya combinación era rechazada por Aristóteles, y usan matemáticas en lugar de geometría. La base del análisis tiene, nuevamente, resonancias ockamistas: suponen que hay una variación concomitante entre causa y efecto, de manera que, al modo de la causa inmediata de Ockam antes citada, el efecto se explica en función de las condiciones necesarias y suficientes que lo producen y así se relacionan sus cambios. Pero lo hacen matemáticamente, considerando que la velocidad (variable dependiente) se explica en una función algebraica de distancia y tiempo (variables independientes). En general, se utilizaban dos métodos diferentes para conseguirlo, uno desarrollado por Bradwardine y los Calculadores de Oxford y otro por Oresme y la Escuela de París.

17. Lo que plantea Ockam es la diferencia entre lo que hoy llamamos magnitudes extensivas e intensivas y metrización de proporciones y metrización de intervalos.

18. Todo esto tenía, además, un punto de apoyo en la Óptica donde, desde Grosseteste y Witelo, se había intentado probar que la diferencia en los efectos cualitativos de la luz se debía a diferencias cuantitativas. Así, el debilitamiento de la luz blanca se debería a la refracción, los cambios en la intensidad y el calor al ángulo de incidencia y a la concentración luminosa, etc.



El primer método utilizado es el «álgebra de palabras» de Bradwardine en la que se emplean letras del alfabeto para sustituir a las cantidades de las variables, mientras las operaciones se describen con palabras. Este recurso a las letras del alfabeto permite evitar el problema aristotélico de la imposibilidad de combinar cantidades no comparables y representa uno de los primeros intentos conscientes de introducir un formalismo algebraico, aunque a niveles aún muy elementales. Esto permite a Bradwardine reformular las afirmaciones aristotélicas acerca del movimiento violento relacionando v (la velocidad) con f y r a la vez (la fuerza motriz y la resistencia)¹⁹.

Los restantes «calculadores» perfeccionaron el método y lo utilizaron para estudiar estas proporciones en distintos campos (movimiento local, calor, luz, etc). Lo que pretendían era expresar los grados en que aumenta o disminuye una cualidad respecto a una escala fijada previamente. Llamen *forma* a cualquier cualidad o cantidad variable en la naturaleza y suponen que la *intensio* (intensidad) de una forma es el valor numérico que hay que asignarle. A su vez, hablan de la velocidad con que cambia la *intensio* con respecto a otra forma conocida, a la que llaman *extensio* (extensión). También las llaman, respectivamente, *latitud* y *longitud*. P. ej., se puede fijar la *intensio* de la velocidad (y la velocidad con que esta *intensio* cambia) por referencia a la *extensio* de la distancia y el tiempo. Todo esto les permite definir una serie de conceptos fundamentales, como el movimiento uniforme y la aceleración, aunque los formulan en general como formas de cambio para aplicarlos a la velocidad con que cambia una *intensio* cualquiera:

a) Cambio uniforme (movimiento uniforme, en su caso): cuando se recorren distancias iguales en intervalos sucesivos de tiempo iguales o el recorrido de distancias iguales en cualquier intervalo de tiempo.

b) Cambio disforme (aceleración): cuando se recorren distancias desiguales en intervalos de tiempo iguales.

c) Cambio uniformemente disforme (uniformemente acelerado): movimiento en que se adquiere un incremento igual de velocidad en cualquier intervalo igual de tiempo.

d) Cambio disformemente disforme: incrementos desiguales de velocidad en tiempos iguales.

e) Velocidad instantánea: la distancia recorrida por un punto en movimiento si ese punto fuera impulsado uniformemente durante un periodo de tiempo con la misma velocidad que poseía en ese instante.

19. Lo que afirma es que v está relacionado con la proporción f/r y la duplicación de v está relacionada con el cuadrado de f/r . La diferencia con Aristóteles es que éste se veía obligado a considerar f y r por separado, afirmando que la velocidad es proporcional a la fuerza impulsora e inversa a la resistencia —no a la relación (f/r) —; de ahí que para duplicar la velocidad considerara que debía duplicarse la fuerza o reducirse a la mitad la resistencia. Además, para Aristóteles la velocidad no es una magnitud, sino una cualidad que no se puede medir porque eso implicaría combinar distancia y tiempo, dos magnitudes no comparables.



Además de todo esto, hacen desarrollos concretos, el más importante de los cuales es el teorema de la velocidad media, también llamado teorema de Merton²⁰. En nuestros términos, el teorema es: $S = 1/2 V_f t$, es decir, la distancia recorrida por un cuerpo que parte del reposo con velocidad uniformemente acelerada equivale a la mitad de su velocidad final multiplicada por el tiempo. Pero su formulación es mucho más reveladora. Primero, afirman que un cuerpo que inicia la aceleración uniforme a partir del reposo recorre cierta distancia en cierto tiempo. Segundo, postulan el lema que debe ser probado: si el mismo cuerpo hubiera de estar en movimiento durante el mismo intervalo de tiempo con una velocidad uniforme igual a la velocidad instantánea en el instante intermedio de su aceleración uniforme, recorrería una distancia igual. De esta forma se equiparan un movimiento acelerado y un movimiento uniforme al expresar la distancia recorrida por el primero en términos de la recorrida por el segundo.

La prueba de este teorema la da Oresme en su libro «De las configuraciones de las cualidades» y eso nos lleva al segundo método utilizado para cuantificar cualidades. Utilizado en la universidad de París era básicamente un método geométrico que recurría al uso de gráficas. La extensión se representa mediante una línea recta horizontal (longitud) y cada grado de la intensidad se representa mediante una línea vertical de altura determinada (latitud). La línea que une los extremos de estas líneas verticales determina la velocidad y el modo del cambio de la intensidad. Lo que se pretende con este método gráfico de «representación de las latitudes de formas» (este nombre le da Oresme) es construir figuras que representen la cantidad de cualidad, de manera que las propiedades de las figuras (equivalencias, etc) representen propiedades intrínsecas de la cualidad. En esto consiste su demostración del teorema de la velocidad media: como las áreas de las figuras resultantes del movimiento uniforme y del uniformemente acelerado son iguales, ambos movimientos tienen que ser equivalentes. Si el método anterior de los oxonienses recuerda al de Galileo, éste de Oresme recuerda la geometría analítica cartesiana, pero con una diferencia básica: su interés se centra en la figura, por lo que no hay una asociación sistemática de una relación algebraica con una representación gráfica.

Ambos métodos, y el intento mismo de cuantificación de las cualidades, dan una idea clara del cambio acontecido en el s. XIV con respecto a toda la época anterior y muestran la importancia del Nominalismo para muchas cuestiones metodológicas que afectaron al desarrollo de la ciencia. Su interés es el de haber sido precursores de muchos de los planteamientos que condujeron a la construcción de la ciencia moderna. Sin embargo, tienen una diferencia fundamental con los trabajos de los siglos

20. También se le llama teorema de Oresme por la prueba gráfica que éste dio.



XVI y XVII: son absolutamente teóricos. El estudio de los problemas cinemáticos en Oxford está basado en experimentos mentales y supuestos «*secundum imaginatio-nem*»; en París está más cerca del movimiento natural real, porque los miembros de esta escuela fueron los creadores de la teoría del ímpetus, pero no hay ninguna referencia a experimentos. Basta recordar la insistencia de Galileo en la importancia de los experimentos como parte del método científico (y, en otro sentido, su fuerte realismo matemático) para constatar que, aún siendo precursores en muchos aspectos, los analistas de las intensidades y formas siguen siendo medievales.

La teoría del ímpetus

El otro gran desarrollo de la ciencia del s. XIV es la Teoría del Impetus desarrollada en París por filósofos naturales de tradición nominalista, especialmente Buridán. Aunque las repercusiones de esta teoría son muy inferiores a la del análisis de las cualidades y los estudios metodológicos de Ockam, sin embargo fue muy influyente en su época y marca el comienzo de una línea que llega hasta Galileo a través de Benedetti y otros autores renacentistas. Pero antes de pasar a la exposición de la teoría conviene señalar los problemas con que se encontraba la teoría aristotélica del movimiento, los cuales constituyen el origen de la propuesta de Buridán.

Aristóteles había considerado el movimiento local como uno de los tipos de cambio y había establecido una distinción entre dos movimientos radicalmente diferentes:

a) **Movimiento natural:** Es el movimiento de los cuerpos hacia su lugar natural (arriba, abajo, etc) según su composición a partir de los cuatro elementos. Su característica básica es que está gobernado por causas finales (la tendencia natural) o, si se definen como eficientes, por causas internas (apetitos, potencias naturales, etc). En último término, el comportamiento de cualquier objeto viene dado por la posesión de 'pesadez' o de 'ligereza'. En cuanto al comportamiento de los cuerpos en el movimiento natural, su velocidad es proporcional a su peso e inversa a la resistencia del medio y el tiempo sería proporcional a la resistencia del medio e inverso al peso. Este principio, en cualquier caso, es cualitativo (la cuantificación y las fórmulas que hoy conocemos provienen del s. XIV).

b) **Movimiento violento:** Es el comportamiento de un cuerpo resistente cuando se le aplica una fuerza impulsora exterior, es decir, cualquier movimiento distinto al natural. Se caracteriza por estar regido por causas eficientes externas (el motor, la fuerza impulsora, etc). Está sometido a dos requisitos metodológicos importantes: 1) hay una diferencia esencial entre causa y efecto, lo que las hace distinguibles en cualquier momento (precisamente porque la causa es externa); 2) la causa debe permanecer en contacto con el efecto, pues en otro caso éste cesaría (dicho de otra manera es imposible



ejercer una acción a distancia). Cuando el móvil se separa del motor que proporciona la fuerza impulsora para su movimiento en el primer instante, se sigue moviendo porque el motor comunica la fuerza impulsora al aire que actúa como nuevo motor. Dada su prohibición de combinar nociones «incomparables», Aristóteles se ve obligado a dar cuenta del movimiento en términos de cuatro conceptos básicos: fuerza (móvil, impulsora, etc), cuerpo resistente, distancia recorrida y tiempo, pero no usa la velocidad, que no se formula con precisión hasta los calculadores de Oxford. A efectos de simplicidad, sin embargo, puede decirse que la velocidad en este movimiento sería proporcional a la fuerza impulsora e inversa a la «propia resistencia» del cuerpo ²¹. Como la descripción de Aristóteles no es una ecuación cuantitativa, puede establecer una importante restricción al principio general: si la fuerza se debilitara hasta el punto de no poder impulsar al cuerpo (o a su resistencia propia), entonces el movimiento cesaría inmediatamente. Aceptada esta limitación, se puede aumentar o disminuir la velocidad, p. ej. duplicarla, aumentando la fuerza impulsora y duplicándola o reduciendo la resistencia propia a la mitad. El movimiento no es eterno porque la fuerza impulsora se «disipa» debido a su forma de transmisión: el primer motor impulsa tanto al objeto que mueve, como al aire que se convertirá en nuevo impulsor; a su vez, la primera fracción de aire impulsa al objeto y a la siguiente fracción de aire y así sucesivamente. Como resultado de este doble trabajo, la fuerza impulsora va disminuyendo progresivamente hasta que no puede impulsar a la siguiente fracción de aire, momento en que deja de actuar la causa externa y comienza el movimiento descendente natural ²². Pero, además de todo esto, el medio, supuestamente homogéneo en Aristóteles, actúa como un medio resistente que frena el movimiento del objeto. La razón es que, de otro modo, el movimiento sería infinito, o casi-infinito, e instantáneo, lo cual es imposible ²³.

El análisis detallado de esta teoría del movimiento aristotélica revelaba numerosos problemas e inadecuaciones, como ya habían señalado comentaristas grecolatinos y árabes. P. ej., Filopón, un comentarista del s. VI, había señalado la inconsistencia de poner el aire como motor y como freno a la vez en el movimiento violento. Supuso, entonces, que la causa del movimiento es una fuerza incorpórea impresa al móvil. De la misma forma, pensaba que el movimiento no puede ser inverso a la resistencia

21. Obsérvese que no es la resistencia del medio, como en el movimiento natural, sino la resistencia propia del cuerpo, aunque nunca define esta noción; en cuanto al medio, se supone que es homogéneo.

22. Curiosamente, el cambio debería ser brusco, como señalaba Autrecourt y la caída casi rectilínea, pues si ya no actúa la causa, sólo queda el movimiento natural.

23. Recuérdese que Aristóteles rechazaba la existencia del vacío (incluyendo la de intersticios vacíos en el continuo material o el atomismo) por este motivo.



del medio o a la propia, porque en tal caso debería existir un movimiento mínimo incluso en el caso de que el peso o la fuerza impulsora fueran inferiores a la resistencia. Por eso consideraba que la resistencia era sólo un factor limitador que se restaba al peso o a la fuerza (es decir, $v=p-r$ y $v=f-r_p$). Parecidos argumentos se encuentran en los árabes (Avempace, Averroes, etc)²⁴.

En todos estos casos, sin embargo, los análisis eran sólo fragmentarios y parciales. Es en el s. XIV cuando se hace un estudio exhaustivo de los problemas y se intenta darles solución. El recurso a los supuestos «*secundum imaginationem*» y experimentos mentales es importante en este proceso, al igual que el probabilismo, pues permitió plantearse el problema de las características del movimiento en el vacío (algo perfectamente imaginable, aunque siguiendo a Aristóteles negaran su existencia real). Del mismo modo, la influencia del principio de economía de Ockam y sus análisis de la causalidad contribuyeron a considerar excesivos ciertos supuestos aristotélicos básicos, como la distinción tajante de dos tipos de movimiento con dos causas diferentes o la multiplicación de entidades que implicaba la postulación de un impulsor diferente en cada punto recorrido por el móvil en el movimiento violento²⁵. El resultado de todo esto fué la detección e intento de solución de algunos problemas importantes y, sobre todo, la construcción de una teoría completa —la del *impetus* inserta en la tradición aristotélica, pero alternativa.

Un problema del movimiento violento era la indefinición aristotélica de la noción de resistencia propia, lo que hacía casi imposible medir con una mínima precisión el movimiento del objeto. Igualmente, eran discutibles las exigencias aristotélicas de que fuera imprescindible un medio resistente para que tuviera lugar el movimiento y que ese medio actuara a la vez como motor y freno, e incluso no estaba claro el supuesto de que el movimiento en el vacío tuviera que ser infinito, sino que podía ser achacado a la formulación cualitativa aristotélica. Precisamente, analizando «*secundum imaginationem*» el movimiento en el vacío y basándose en su análisis cuantitativo de las cualidades, los calculadores de Oxford enfocaron el problema de manera distinta a la aristotélica: asumían que si un cuerpo está formado por una combinación de elementos, tales elementos combinados tendrían que estar formados por partes o grados que son los que se combinan. Cada una de esas partes tiene su propia tendencia

24. Así, para Avempace la ausencia de resistencia no implica velocidad infinita, como prueban los planetas moviéndose en el éter, por tanto el movimiento no es inverso a la resistencia, sino que será sólo lo que quede de movimiento «libre» inicial una vez restada la resistencia del medio.

25. Ockam llegaba a afirmar que estas entidades intermedias postuladas para evitar la acción a distancia y mantener el contacto entre causa y efecto eran innecesarias para dar cuenta de los fenómenos observados, porque la fuerza motriz no necesita acompañar al cuerpo; por tanto, la acción a distancia era posible, tal como ejemplificaban el imán o la luz del Sol.



hacia arriba, hacia abajo, etc. La suma de todas ellas indicaba el predominio del peso o la ligereza y determinaba el movimiento esencial, pero cada una de las partes actuaba realmente en el movimiento afectando al resultado final. Esto los llevó a formular la noción cuantitativa de resistencia interna. Aunque el elemento que prevalece determina el movimiento esencial, los otros también actúan funcionando como resistencia a ese movimiento esencial y modificándolo. Esta resistencia interna se podía medir recurriendo a los métodos de análisis de cualidades. Esto implicaba que ni siquiera en el vacío podía darse un movimiento infinito, porque lo impedía la resistencia interna, y que no era necesario postular un medio resistente que fuera motor y freno, sino que ambas eran cuestiones diferentes: el motor sería el aire, pero el freno era la propia resistencia interna cuantificable. Además, sus métodos semiformales les permitían considerar que el movimiento tenía que ser proporcional a la relación entre fuerza y resistencia interna o a la de peso y resistencia, y no considerarlas cualitativamente separadas, como hacía Aristóteles. Lo fundamental era esa proporción de manera que en el movimiento natural, p. ej., dos cuerpos de distinto peso caerían al mismo tiempo si las proporciones entre el peso y la resistencia interna de cada uno fueran iguales (siempre que fueran homogéneos, lo hicieran en el mismo medio, etc). De este modo la velocidad estaba regida por un factor intensional (sea la relación F/R_i o la relación P/R). Incluso consideraban también el peso como la expresión de una fuerza impulsora medible, aunque interna.

La contribución esencial, sin embargo, es la Teoría del Impetus de Buridan y Oresme. Dispuestos a eliminar la multiplicación de causas movientes necesarias para explicar el movimiento violento en la teoría aristotélica, supusieron que la causa del movimiento de un objeto una vez separado del motor impulsor era solamente una que se mantenía a lo largo del movimiento. Esta fuerza impulsora, a la que llamaron *impetus* se transmitía del impulsor al cuerpo en movimiento y quedaba impresa en el móvil actuando como causa de su movimiento, de tal manera que incluso en el vacío el movimiento sólo era posible mientras persistiera ese impetus. Aunque tal impetus (como toda *virtus impressa*) sólo podía medirse *ex post facto*, la velocidad del cuerpo y su cantidad de materia determinaban la potencia del impetus transmitido ($\text{impetus} = \text{cantidad de materia} \times \text{velocidad}$). De esta forma, si un cuerpo más denso y pesado era impulsado con la misma velocidad que otro más ligero, el primero recorrería más distancia porque podía recibir más impetus y retenerlo más tiempo²⁶.

El impetus se desgasta y corrompe por la resistencia del medio, lo que hace que el móvil acabe cayendo, pero duraría indefinidamente si no hubiera resistencia (la re-

26. Este recurso a la cantidad de materia y a la velocidad es fundamental, porque entronca directamente con los desarrollos de la ciencia moderna y plantea por primera vez el problema de la relación entre fuerza y energía (proceso que culminará en la polémica entre Newton y Huygens sobre la *vis viva*).



sistencia incluye tanto la del medio, como la tendencia natural del objeto). Además, el impetus es la misma entidad a lo largo de todo el movimiento: no hay impetus adicionales en ausencia de alguna causa identificable. Por tanto, si se eliminara toda resistencia, el cuerpo se movería indefinidamente en la misma dirección y con velocidad constante. Esto, sin embargo, no lo consideraban posible por la finitud del universo y la inexistencia real del vacío y de elementos puros, era sólo un supuesto *secundum imaginationem*. Sin embargo, el movimiento circular indefinido de los planetas sí se debería realmente al impetus: al comienzo del universo se aplica una cantidad fija de impetus a cada planeta y el movimiento continúa ya indefinidamente porque no hay resistencia. De este modo, la teoría del impetus establece la primera conexión entre los dos mundos aristotélicos: el movimiento en ambos es producido por la misma causa, el impetus.

Pero, además, el impetus permite explicar otro gran problema de la teoría aristotélica: el de la aceleración en el movimiento natural. Era un hecho conocido por observación que los objetos que caen aceleran en su caída. Aunque Aristóteles no había tomado en cuenta el problema y se había limitado a considerar este movimiento como uniforme o promediable, los comentaristas medievales comprendieron que se necesitaba una causa que diera cuenta de esta aceleración. Así, postularon la «excitación de la tendencia» con la proximidad al lugar natural (lo que relacionaría, en nuestra terminología, la aceleración con la distancia recorrida), la rarificación del aire producida por el calor generado por el cuerpo al caer o la disminución de la resistencia del aire en función de la distancia recorrida (como si aumentara la penetración del objeto). Pero en todos los casos eran causas que no tenían conexión con la fuerza móvil, en este caso el peso. Buridán daba otra explicación. La causa de la caída de un cuerpo es su cantidad de materia, a la que llamaba *gravitas*. Esta *gravitas* es quien determina la caída uniforme natural. Pero, como en el caso anterior de la fuerza móvil, al iniciar el movimiento la *gravitas* genera un impetus (o *gravitas* accidental) que se añade al cuerpo e incrementa su velocidad. Este proceso es continuo, generándose a cada nuevo instante incrementos sucesivos de impetus que dan lugar a incrementos de velocidad y eso explica la aceleración de la caída. En el movimiento natural intervienen, pues, tres elementos, la *gravitas*, el impetus y la velocidad, el movimiento observado es resultado de la combinación de los tres. Aunque esto pueda tener resonancias galileanas, la explicación de Buridán es muy diferente, porque correlaciona la aceleración con la distancia recorrida y con el tiempo a la vez. Su mérito, sin embargo, es que su análisis permite conectar el movimiento natural con el violento (las causas intervinientes son las mismas). De este modo, la Teoría del Impetus es el primer intento de subsumir bajo la misma teoría todos los movimientos, terrestres y celestes, naturales y violentos.



BIBLIOGRAFÍA

- CIPOLLA, C.M. (ed), 1972. *Historia económica de Europa: la Edad Media*. Barcelona, Ariel, 1979.
- CIPOLLA, C.M. 1974. *Historia económica de la Europa preindustrial*. Madrid, Alianza.
- CLAGGET, M. 1959. *The Science of Mechanics in the Middle Ages*. Madison, U. Wisconsin P.
- CLAGGETT, M. 1968. *N. Oresme and the Medieval Geometry of Qualities and Motions*. Madison, U. Wisconsin P.
- CROMBIE, A.C. 1959. *Historia de la ciencia: de S. Agustín a Galileo*. 2 vols. Madrid, Alianza, 1974.
- DIJKSTERHUIS, E.J. 1961. *The Mechanization of the World Picture*. Princeton, Princeton U.P. 1986.
- DUHEM, P. 1954. *Le Systeme du Monde*, vols. 7 y 8. Paris, Hermann.
- GILSON, E. 1952. *La filosofía en la Edad Media*. Madrid, Gredos, 1965.
- GODDU, A. 1984. *The Physics of W. of Ockham*. Leiden, Brill.
- GRANT, E. 1971. *La ciencia física en la Edad Media*. México, FCE, 1983.
- HASKINS, C.H. 1927. *Studies in the History of Medieval Science*. Cambridge, Harvard U. Press.
- HASKINS, C.H. 1957. *The Rise of the Universities*. NY, Dover.
- HODGETT, G.A.J. 1972. *Historia social y económica de la Europa medieval*. Madrid, Alianza, 1977.
- KRETZMANN, N.; KENNY, A. & PINBORG, J. (eds) 1982. *The Cambridge History of Later Medieval Philosophy: From the Rediscovery of Aristotle to the Disintegration of Scholasticism, 1100-1600*. Cambridge, C.U.P.
- LEFF, G. 1976. *The Dissolution of the Medieval Outlook: An Essay on Intellectual and Spiritual Change in the XIV Century*. NY, Harper & Row.
- LINDBERG, D.C. (ed) 1978. *Science in the Middle Ages*. Chicago, U. Chicago P.
- LONG, P.O. (ed) 1985. *Science and Technology in Medieval Science*. NY, Annals of the NY Academy of Sciences, vol. 441.
- PIRENNE, H. 1969. *Las ciudades en la Edad Media*. Madrid, Alianza, 1972.
- TACHAU, K.H. 1988. *Vision and Certitude in the Age of Ockham*. Leiden, Brill.



VIGNAUX, P. 1938. El pensamiento en la Edad Media. México, FCE, 1954.

WHITE, L. 1962. Tecnología medieval y cambio social. Barcelona, Paidós, 1973.

WILSON, C. 1952. W. Heytesbury. Medieval Logic and the Rise of Mathematical Physics. Madison, U. Wisconsin P.

