

# ATOMISMO Y CONTINUO EN EL ORIGEN DE LA CIENCIA MODERNA

*Egidio Festa*

Centro Alexandre Koyré. París

## INTRODUCCIÓN

A lo largo de los últimos decenios, los trabajos de algunos historiadores de la ciencia han puesto en evidencia determinados aspectos del atomismo en el proceso de renovación de la filosofía natural a comienzos del siglo XVII<sup>1</sup>. Junto a las dificultades derivadas del contenido científico del atomismo, la atención de los estudiosos se ha centrado en los obstáculos puestos por la tradicional oposición que mantenía el aristotelismo hacia la teoría atomista. Como es bien sabido, el aristotelismo influirá decisivamente, a partir del siglo XII, en la filosofía oficial que profesaba la Iglesia.

Al principio de la época moderna la existencia de *partículas mínimas indivisibles*, constituyentes últimos de la materia, tiene sólo valor de hipótesis dentro de una doctrina filosófica que puede presumir de más de veinte siglos de historia. Sin embargo, y contrariamente a lo que sucedió con la astronomía, esta antigua tradición en nada pudo contribuir a la transformación de esta doctrina atomista en teoría científica. Se necesitarán todavía dos siglos antes de que Lavoisier pueda introducir un método cuantitativo, que, recogido por Dalton, Avogadro y tantos otros científicos, pondrá de manifiesto la presencia de partículas indivisibles en las reacciones químicas. La interpretación atomista propuesta desde las primeras décadas del siglo XVII, cuando, bajo el impulso innovador de Galileo y de sus discípulos, el aristotelismo oficial comienza a tambalearse, se conecta pues directamente con las doctrinas desarrolladas en el siglo V a.C. por Leucipo y Demó-

---

<sup>1</sup> Sobre todo tras la publicación del libro de Pietro Redondi, *Galileo eretico*, Einaudi, Turín 1983.



crita. Una rápida mirada al atomismo antiguo y a la interpretación que se le dará en los siglos XIII y XIV permitirá precisar tanto el significado que éste adquiere en el siglo XVII, como el origen de la oposición manifestada por la cultura oficial respecto a las ideas atomistas, especialmente en Italia.

### ***SOBRE EL ATOMISMO ANTIGUO***

La noción de átomo se basa en la separabilidad de los cuerpos materiales que nos rodean en partes cada vez más pequeña. Llevada hasta sus últimas consecuencias, esta constatación genera, por así decirlo, la noción de átomo físico, provocando una serie de efectos, algunos de los cuales, como veremos, absolutamente imprevisibles.

Para Demócrito los átomos son partículas eternas, indivisibles, idénticas entre sí y en perpetuo movimiento en el vacío infinito. Combinándose según el “modo” y la “intensidad del movimiento” producen ellos los cuerpos y los fenómenos que hay en la Naturaleza.

Uno de los pocos textos de Demócrito que ha llegado hasta nosotros contiene una sugerente explicación del papel que desempeñan los átomos en la producción de las sensaciones. Lo que se muestra a nuestros sentidos —explica Demócrito— es sólo fruto de nuestra *opinión*, ya que solamente existen los átomos y el vacío. Lo dulce y lo amargo son sensaciones debidas a nuestra interpretación, igual que el calor, el frío, los colores: en realidad hay solamente átomos y vacío<sup>2</sup>. Por tanto, para Demócrito, el calor, el frío, los colores y las otras cualidades sensibles serían impresiones subjetivas provocadas por la llegada de flujos de átomos a nuestros órganos sensoriales.

La oposición de Aristóteles al atomismo de Demócrito se basa, sobre todo, en una contradicción que estaría implícita en la noción misma de átomo físico indivisible. En un texto en el que cita explícitamente a Demócrito<sup>3</sup> Aristóteles observa que, si bien las partes de un cuerpo material pueden asociarse o separarse, esto no prueba de hecho que el cuerpo esté compuesto de átomos indivisibles. ¿Por qué si no, si verdaderamente la materia fuese divisible en partes cada vez más pequeñas, la división debería pararse en un cierto punto? El átomo de materia de Demócrito debería seguir siendo divisible y, por tanto, no continuaría siendo un *átomo indivisible*. Para Aristóteles la noción misma de átomo conduce pues a una contradicción, que hace imposible su existencia.

---

<sup>2</sup> Cf. Sexto Empírico, *Adv. Mathem.* (Logic.) lib. VII § 135-139, pág. 399, ed. Fabric, «Democriti fragmenta» en *Fragmenta philosophorum graecorum*, F. G. A. Mollachius, París 1860. Hay que llamar la atención, desde ahora, sobre esta interpretación atomista de las cualidades sensibles: ella suscitará en el siglo XVII un debate, en el que, como veremos, estará directamente implicado Galileo.

<sup>3</sup> Cf. Aristóteles, *De anima*, 409a 10 - 409b 7. Para una crítica en profundidad del atomismo, cf. *De generatione et corruptione*, 316b 18 - 317a 31.



Junto al atomismo físico está ya presente en la tradición antigua el atomismo geométrico. Para fijar, aunque de manera muy esquemática, los límites y el significado, dentro de esta tradición, de la expresión *atomismo geométrico o matemático*, indicaremos brevemente la interpretación de la noción de *divisibilidad* de las magnitudes geométricas, tal y como se ha transmitido hasta la época moderna, y las consecuencias que de ello se derivan. La divisibilidad conduce necesariamente a la noción de *composición* de la línea, del plano, del volumen. Si, por ejemplo, se divide una línea en partes cada vez más pequeñas, podemos preguntarnos si la parte menor obtenida es todavía una línea, una *línea indivisible o átomo-línea*<sup>4</sup>. Si la respuesta es afirmativa, la objeción es inmediata: ¿por qué entonces esta línea pequeñísima no va a seguir siendo divisible? Igual que en caso del átomo físico, nada se opone a que lo siga siendo. E igual que en el caso del atomismo físico, se incurre en una contradicción, a menos que no se quiera admitir que una línea pueda dividirse infinitamente. Pero en este caso el *indivisible* –componente último de la línea– no puede ser, por motivos evidentes, una línea. En efecto, si el indivisible fuese una línea, cada línea *finita* debería contener un número infinito de líneas pequeñísimas, cuya *composición* conduciría necesariamente a una magnitud *infinita*, lo que es absurdo. Si se admite, por tanto, que el continuo geométrico es divisible hasta el infinito, es necesario admitir que los *indivisibles*, componentes últimos del continuo geométrico, son distintos (en lenguaje moderno: tienen *distinta dimensión*) respecto al continuo compuesto por ellas. Partiendo simplemente de estas observaciones, se puede admitir que una línea finita contenga infinitos *puntos*, que tienen una dimensión menor en una unidad respecto a la línea. De igual manera, un plano contendría una infinidad de líneas y, por tanto, de puntos; un volumen, una infinidad de planos, de líneas y de puntos.

Los Pitagóricos –que no dejaban traslucir fácilmente sus descubrimientos matemáticos ni, en general, sus concepciones filosóficas– admitían que todas las figuras geométricas estuviesen compuestas de puntos. Es posible que esta opinión haya proporcionado a Zenón el punto de partida para sus conocidas paradojas sobre el movimiento: si las partes del espacio son divisibles en partes siempre divisibles –y, por tanto, en un número *actualmente* infinito–, ¿cómo pueden tocarse todas en el transcurso de un movimiento que se desarrolla en un tiempo finito? En otras palabras, para Zenón, si el espacio finito fuese divisible en partes *siempre divisibles* (por tanto, hasta el infinito), el movimiento no podría realizarse en un tiempo finito.

Son también las reflexiones sobre el continuo geométrico las que le sugieren a Demócrito, según refiere Plutarco<sup>5</sup>, una pregunta hecha a Crisipo: si se corta un cono con un plano paralelo a la base, ¿qué se puede decir de las dos superficies

<sup>4</sup> Cf. Pseudo-Aristóteles, *De lineis insecabilibus*, trad. y notas a cargo de M. Timpanaro-Cardini, Istituto Editoriale Cisalpino, Turín-Varese 1970.

<sup>5</sup> Cf. Plutarco, *De communibus notitiis adversus Stoicos*, p. 1079 E (Vol. X, pág. 446, Ed. Reisk), en *Democriti Abderitae operum fragmenta*, F. W. Mullach, Berlín 1843.



contiguas al plano? ¿son desiguales o iguales entre ellas? En el primer caso, habría observado Demócrito, la superficie lateral del cono debería presentar un escalonamiento; en el segundo caso, el cono estaría constituido por círculos iguales, y, por tanto, el cono resultaría ser un cilindro, lo que es absurdo. La respuesta de Crisipo no es conocida. Se puede, sin embargo, formular la hipótesis de que Demócrito haya querido extender su atomismo físico a la geometría. Él habría admitido que el cono puede considerarse un compuesto de partes *infinitamente pequeñas en volumen*, cuyo espesor sería tan pequeño que haría imperceptible el escalonamiento.

Aristóteles critica los argumentos de Zenón<sup>6</sup> afirmando que a la longitud y al tiempo, y en general a cualquier continuo, se les llama infinitos de dos maneras: en *división* o *según la cantidad*. La longitud infinita, según la cantidad, no puede tocarse en un tiempo finito. Pero la longitud infinita, según la división, puede serlo, porque también el tiempo es infinito de la misma manera. En otras palabras, la objeción de Zenón, que defendía la imposibilidad de recorrer los infinitos componentes del espacio en *un tiempo finito*, se derrumba, puesto que el tiempo no es finito, sino infinito de la misma manera que el espacio.

Para Aristóteles, por tanto, las magnitudes espacio y tiempo, como todas las magnitudes continuas, son infinitamente divisibles. Pero esta división puede imaginarse sólo *en potencia*, lo que significa que los infinitos componentes indivisibles no pueden ser individuados *en acto* en el continuo<sup>7</sup>. La asociación del *infinito potencial* –y sólo del potencial– con la infinita divisibilidad, procede de la convicción de Aristóteles según la cual la noción de átomo indivisible es contraria a la lógica –como ya hemos señalado– y al sentido común. Y esta convicción es válida tanto para los átomos físicos como para los átomos geométricos, por ejemplo para el átomo-línea.

## **ASPECTOS DEL DEBATE SOBRE EL ATOMISMO EN LOS SIGLOS XIII Y XIV**

La distinción entre potencia y acto establecida por Aristóteles desempeñará un papel de primerísimo orden en las discusiones sobre la *composición del continuo* durante todo el Medievo y hasta la época moderna. Anticipando lo que voy a decir a continuación, querría subrayar desde ahora que esta distinción ocupará el centro de la controversia entre adversarios y defensores del método de los indivisibles, introducido en Italia por Buenaventura Cavalieri en la primera mitad del siglo XVII.

<sup>6</sup> Cf. Aristóteles, *Física* VI (2), 233a 21-30; *ibid.* (9), 239b 9-28.

<sup>7</sup> Cf. Aristóteles, *Física* III (6), 206a 14-24.



Con el redescubrimiento de los escritos de Aristóteles, el problema de la composición del continuo, como la mayor parte de los problemas afrontados en este periodo, se cristaliza en torno a las interpretaciones que de él hace el filósofo griego. Hay que destacar, sobre todo, que dicho redescubrimiento constituye un fenómeno cultural sin precedentes: la obra de Aristóteles se inserta en el proceso de formación de una corriente de pensamiento en la que la teología ocupa un puesto de primer orden. Tomás de Aquino, con la ayuda del helenista Guillermo de Moerbeke, lleva a cabo una monumental obra de comentario y difusión de los escritos de Aristóteles. Tomás de Aquino consigue conciliar la filosofía aristotélica con la fe cristiana de manera tan armoniosa, que la nueva escolástica, heredera del aristotelismo, se convierte en la filosofía oficial de la Iglesia de Roma.

En este contexto, la teología y la lógica se convierten en los pilares sobre los que reposa toda la actividad especulativa. Por ejemplo, la base del argumento lógico desarrollado por Henry de Harclay (¿-1317) en favor de la composición de las magnitudes geométricas mediante puntos indivisibles, consiste en que Dios, a diferencia de los hombres, puede ver todos los infinitos puntos de una línea finita. Las maneras de razonar se fundan únicamente en el principio de no contradicción, y expresan, desde un punto de vista del pensamiento humano, el principio válido desde el punto de vista de la acción divina: Dios puede hacer todo aquello que no implica contradicción. De forma general, los problemas se examinan en el marco de la disputa lógica, construida *secundum imaginationem*. Una de las consecuencias de este método es que la filosofía natural no es reconocida como tal, sino formando parte de ejercicios de lógica que exigen nuevos instrumentos de análisis y nuevos métodos pedagógicos<sup>8</sup>. En este marco, se dedica una atención particular al estudio de la noción de infinito. La distinción entre “infinito categoremático” e “infinito sincategoremático” —que será utilizada por Galileo y de la que Leibniz dará una definición precisa<sup>9</sup>— nace justamente en este periodo. Un ejemplo de la diferencia entre estas dos nociones de infinito lo proporcionan estas dos frases latinas: *Homines infiniti currunt* e *Infiniti homines currunt*. La primera frase se refiere al infinito categoremático y significa que un número infinito *en acto* de hombres está corriendo; la segunda se refiere al infinito sincategoremático, y significa que una multitud de hombres corre, pero que puede existir una multitud de hombres todavía más grande que la de los que están corriendo. Esta terminología, de uso común en el lenguaje de la lógica medieval del infi-

<sup>8</sup> Cf. A. de Libera, «La problématique de l’instant du changement au XIII<sup>e</sup> siècle», en *Studies in Medieval Natural Philosophy*, Olschki, Florencia 1989, págs. 43-93.

<sup>9</sup> Leibniz identifica el infinito *categoremático* con el infinito «que tiene formalmente partes infinitas en acto» y el infinito *sincategoremático* con una «potencia pasiva» que tiene en sí misma las partes y «la posibilidad de cambiar posteriormente a través de la división, la multiplicación, la adición y la substracción». Cf. G.W. Leibniz «Lettre à Des Bosses», en *Phil. Schrif.* C.I. Gerhardt (ed.), Georg Olms, Ildesheim 1960, II, págs. 314-315, nota.



nito, hay que ponerla en relación con la distinción introducida por Aristóteles entre *infinito en potencia e infinito en acto*.

En el contexto cultural que se ha ido creando en los siglos XIII y XIV el atomismo físico no provoca un verdadero debate. La existencia del vacío, fundamento de la doctrina atomista de Demócrito, se discute en relación con la omnipotencia divina: a la cuestión *¿puede hacer Dios que el vacío exista?* la respuesta más frecuente que dan los autores medievales es que Dios no puede hacer coexistir el vacío, que es *nada*, y el *existir*, que es *ser algo*. La creación del vacío habría violado el principio de no contradicción<sup>10</sup>.

La composición del *continuo*, con respecto a estructuras en las que prevalece (pero no de manera exclusiva) el continuo geométrico, es objeto de estudio por parte de los *calculatores* del Merton College en Oxford a lo largo de los siglos XIII y XIV. En los escritos de Thomas Bradwardine (c. 1290-1349) –uno de los miembros más notorios del Merton College– encontramos indicaciones bastante precisas sobre el origen de la doctrina atomista antigua. Para Bradwardine, Demócrito habría sido el único en imaginar que el continuo podría estar formado de cuerpos indivisibles, esto es, de átomos físicos, mientras que para todos los otros autores, antiguos y modernos, la división infinita del continuo conducía necesariamente al punto, esto es, a un indivisible carente de dimensión. Pero –explica Bradwardine–, mientras que para Pitágoras, Platón y el moderno Walter Chatton (¿-1344) los puntos están en número finito en el continuo, para el moderno Henry di Harclay<sup>11</sup> lo están en número infinito. Este último, al que ya se ha hecho alusión, admite la divisibilidad infinita en acto del continuo, y, por consiguiente, su composición mediante puntos indivisibles. Para Harclay, el indivisible carece de magnitud (*indivisible magnitudine carens*), y la multiplicación del indivisible por un número finito, incluso muy grande, no puede generar la cantidad, que resulta sólo de la multiplicación infinita. Harclay es uno de los primeros en interesarse por el problema de la relación entre infinitos. Afirma que pueden existir, y que realmente existen, infinitos distintos entre sí. Pero esta diversidad no puede verificarse aplicando a los infinitos el axioma euclídeo de «la parte es más pequeña que el todo», que sólo vale para cantidades finitas. Sin embargo, se puede conjeturar que el axioma euclídeo se halla sometido, por así decir, a un axioma más general: un infinito que contiene *cualquier otra cosa* que sea también infinita es un *todo* respecto a *esa cosa*<sup>12</sup>.

El deslizamiento de la doctrina atomista hacia una exclusiva interpretación geométrica permite la evolución de la noción de infinito. Obsérvese, no obstante,

---

<sup>10</sup> Cf. A. Koyré, «Le vide et l'espace infini au XVII<sup>e</sup> siècle», en *Études d'Histoire de la pensée philosophique*, Gallimard, París 1971, págs. 37-92

<sup>11</sup> Cf. J. E. Murdoch, «Infinity and continuity», en *The Cambridge History of later Medieval Philosophy*, Cambridge University Press, Cambridge 1982, pág. 576, nota 36.

<sup>12</sup> *Ibid.* pág. 571.



que el concepto aristotélico de división infinita *en potencia*, tenazmente defendido por Bradwardine y Ockham ( $\zeta$ -1347), conduce a estructuras que, *en acto*, deben manifestarse sólo como continuas. Una de las consecuencias es que no hay *en acto* instantes indivisibles en el tiempo. Esto significa que, cada vez que se produce un cambio, aquello que debe cambiar se da en el interior del *continuo* tiempo. Surge entonces una dificultad ya señalada por Aristóteles<sup>13</sup>, la imposibilidad de asignarles al principio y al fin del cambio un *primer* y un *último* instante. La solución propuesta por Aristóteles, y aceptada por la mayor parte de los estudiosos de los siglos XIII y XIV<sup>14</sup>, es que sólo es posible fijar un primer y un último instante de no cambio, sea al principio o al final del cambio. Algunos aspectos destacados en las discusiones sobre el primer y último instante del cambio vuelven a encontrarse en el lenguaje usado por los estudiosos de la ciencia del movimiento del siglo XVII<sup>15</sup>.

### **SOBRE LA LATITUDO FORMARUM**

El atomismo geométrico ha guiado, sin duda, las investigaciones llevadas a cabo, entre otros, por Richard Swineshead (siglo XIV) en el Merton College y por Nicolás de Oresme (c.1323-1382) en París. El nuevo método desarrollado en estas dos escuelas, y cuya invención se remonta probablemente a Tomás de Aquino<sup>16</sup>, se aplica a la medida de la *intensio* (aumento) y de la *remissio* (disminución) *formarum* (de las formas), o dicho en lenguaje moderno, al cálculo de las variaciones de las magnitudes continuamente variables. La representación de las variaciones mediante una sucesión de segmentos, cada uno de los cuales tiene una longitud proporcional a la intensidad del *grado* de variación, llena una superficie cuya *latitudo* (anchura) representa la variación total. Aplicado al estudio de un movimiento rectilíneo cuyo grado de velocidad varíe de manera uniforme, el método de la *latitudo formarum* permite enunciar la regla del *grado medio*, que se define como la semisuma del primer y último grado. Como es

<sup>13</sup> Cf. *Física* VI (5), 235b 32-236a 27.

<sup>14</sup> La solución propuesta por Aristóteles la acepta particularmente Walter Burley (c. 1275- c. 1340). Cf. J. E. Murdoch & E. Sylla, «The science of motion», en *Science in the Middle Age*, The University of Chicago Press, Chicago-Londres.

<sup>15</sup> El propio Galileo, en la demostración sobre el movimiento uniformemente acelerado, publicada el *Dialogo sopra i due Massimi Sistemi del Mondo*, escribía: «[...] puesto el término A [es decir, el punto origen del movimiento, N.d.R], como momento mínimo de velocidad, *esto es, como estado de reposo y como instante primero del momento siguiente*» (subrayado nuestro). Cf. *Dialogo sopra i due Massimi Sistemi del Mondo*, en *Opere*, Ed. Naz., Barberà, Florencia 1890-1907, VII, pág. 255. Para Galileo el último instante de no-cambio (quietud) y el primer instante de cambio (inicio del movimiento) coinciden.

<sup>16</sup>Cf. M. Clagett, «Richard Swineshead and late medieval physics», en *Osiris*, 9 (1950), pág. 132.



bien sabido, este resultado, obtenido en el Merton College hacia el 1330, permite transformar un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado en un movimiento rectilíneo uniforme. Algunos historiadores de la ciencia se preguntan si el propio Galileo no habría tenido conocimiento de ello<sup>17</sup>. Efectivamente, la representación galileana de la *velocidad global* presenta analogías con el método de la *latitudo formarum*. También para Galileo los grados son segmentos de rectas contenidos en una figura plana. Ellos, tomados en conjunto, se definen como el *agregado de los infinitos grados de velocidad*<sup>18</sup>. Dejando de lado las consideraciones sobre el significado matemático de estas representaciones, parece importante, en este punto, subrayar que en los ejemplos citados una superficie se obtiene mediante la composición de *infinitos*. El atomismo geométrico adquiere, por tanto, un aspecto operativo ya en el siglo XIV, sin que ello plantee objeciones de principio. Como veremos, las cosas marcharán de manera distinta en el siglo XVII.

Hay que señalar, en fin, que, mientras en Oxford y en París los *grados de velocidad* describen movimientos concebidos *en abstracto*, sin referencia alguna a los movimientos reales, en la cinemática galileana se aplican al movimiento de caída libre de los graves.

### ***SOBRE EL ATOMISMO EN LA ESCUELA GALILEANA***

Con la expresión *escuela galileana* no se pretende aludir a una comunidad de estudiosos, y menos aún a una institución formada por maestros y discípulos. Con ella se designa a los vínculos e intercambios que se establecen a lo largo de las décadas comprendidas entre Galileo y sus discípulos, y entre los discípulos mismos. Pero, es un hecho que para los *galileanos* la actividad científica del Maestro se considera como una forma insustituible de enseñanza. Haré, por tanto, algunas breves indicaciones sobre el atomismo de Galileo tomadas de las siguientes obras: *Discurso sobre las cosas que se mantienen sobre el agua o que se mueven en ella* (1612), *Il Saggiatore* (1623), *Discursos y demostraciones matemáticas en torno a dos nuevas ciencias* (1638).

Si se exceptúan los escritos de juventud, publicados en la Edición Nacional y que Antonio Favaro considera apuntes utilizados para la enseñanza<sup>19</sup>, la primera referencia explícita de Galileo a los átomos se encuentra en el *Discurso sobre*

---

<sup>17</sup> Esta es la tesis que mantiene, en particular, Pierre Duhem en su monumental obra *Études sur Leonard de Vinci*, París 1903-1913.

<sup>18</sup> Cf. G. Galilei, *Dialogo sopra i due Massimi Sistemi del Mondo*, en *Opere*, Ed. Naz., Barberà, Florencia 1890-1907, VII, págs. 255 ss.

<sup>19</sup> Véase la "advertencia" de A. Favaro en el primer volumen de G. Galilei, *Opere*, op. cit.





*las cosas que se mantienen sobre el agua (...)*<sup>20</sup>. El motivo de la referencia a Demócrito y a los átomos de fuego es la crítica de Aristóteles a la explicación que da Demócrito a la flotación: según Demócrito, los átomos ígneos que hay en el agua ascenderían hacia la superficie permitiendo así que los cuerpos sumergidos en el agua no se hundan. Galileo no comparte esta interpretación, pero admite la existencia de átomos de fuego en el agua, aunque ellos «no son capaces» de elevar y empujar hacia arriba a un cuerpo pesado<sup>21</sup>. La palabra *átomo* aparece aquí por primera vez en una obra impresa de Galileo, pero no va acompañada de una definición, lo que nos hace pensar que, para el autor del *Discurso*, la etimología de la palabra bastaría para dejar claro su significado.

La interpretación galileana de la flotación, basada en los principios de la hidrostática de Arquímedes, fue violentamente atacada por aquellos que, siguiendo la tradición aristotélica, mantenían que sólo la forma del cuerpo depositado en el agua posibilitaba la flotación. Benedetto Castelli, discípulo de Galileo, se encargó de responder a las objeciones de los adversarios. En un escrito suyo<sup>22</sup> hay una nota de puño y letra del Maestro: «*los átomos —explica Galileo— se llaman así, no porque sean cuantías [quanti], sino porque, siendo corpúsculos mínimos, no hay otros más pequeños que puedan dividirlos*».

Para Galileo, por tanto, los átomos tienen magnitud (son *quanti*) y son indivisibles, sólo porque no hay corpúsculos más pequeños que ellos capaces de dividirlos. De esta indicación se puede deducir que su indivisibilidad no es absoluta y que no se da la misma indivisibilidad en los sólidos que en los líquidos. Sin embargo, en el *Discurso* no llega a explicar tal diferencia. La primera dificultad radica en la imposibilidad de dar un nombre a la *virtù* que confiere a los sólidos la fuerza de cohesión; la segunda, en la incapacidad para explicar cómo pueden las partículas de líquido perder toda resistencia a la división, aunque conservando características materiales.

Una solución a este problema se propondrá, como veremos, en los *Discursos y demostraciones matemáticas* publicados veintiséis años después. En el *Discurso* de 1612 Galileo trata, sobre todo, de mostrar que los átomos permiten explicar algunos fenómenos elementales. En una nota manuscrita añadida en una página del libro de un adversario<sup>23</sup>, explica que «*el fuego, mientras está diseminado por el agua en pequeñísimos átomos, asciende en ella [...]. Pero, cuando mediante una gran multiplicación muchísimos átomos se unen, llega con gran velocidad y produce el hervor*». En otras palabras, las burbujas que aparecen en la super-

<sup>20</sup> En G. Galilei, *Opere*, op. cit. vol. IV, VI, VIII respectivamente.

<sup>21</sup> Cf. G. Galilei, *Discorso (...)*, pág. 129.

<sup>22</sup> Cf. *Gli errori di Giorgio Caresio raccolti da Benedetto Castelli*, in G. Galilei, *Opere*, op. cit. IV, pág. 281.

<sup>23</sup> Cf. Académico desconocido, *Considerazioni intorno al Discorso del Sig. Galileo Galilei (...)*, Pisa 1612; actualmente en G. Galilei, *Opere*, op. cit., IV, pág. 195.



ficie del agua en la ebullición no son más que átomos de fuego. Ellos, explica Galileo, se comportan como los *átomos de tierra*, que, aglomerándose en el agua, forman grumos de fango.

Hay consideraciones sobre la composición del continuo geométrico en la respuesta a Vincenzo Di Grazia, autor también él de un escrito dirigido contra la interpretación galileana de la flotación<sup>24</sup>. Di Grazia critica la tesis sostenida por Galileo, según la cual la fusión de los metales se obtiene «*sirviéndose de instrumentos muy sutiles y agudos, como lo son las partes más tenues del fuego[...]*». Quizá el sólido se disolverá «en sus últimas partículas» en las que ya «*no se mantendrá no sólo la resistencia a la división, sino tampoco la posibilidad de seguir dividiéndose*»<sup>25</sup>. Di Grazia no sabe explicarse cómo puede considerar Galileo que los metales sean «*divididos como en partes indivisibles por sutilísimos agujones de fuego*». Esta interpretación presupone —explica Di Grazia— «*que las cosas se componen de átomos y de partes indivisibles*». Y añade que una interpretación semejante es contraria a las matemáticas, ya que una línea no puede estar compuesta de puntos. Él observa que contra esta hipótesis «*hay infinitos razonamientos de Aristóteles a los que el señor Galileo debería responder*»<sup>26</sup>.

Galileo considera la objeción de Di Grazia «*frívola y no del todo concluyente*» y, dirigiéndose a él directamente, explica que «*las agujas son cuerpos con dimensión [...] y, siendo así, no tienen nada que ver con la cuestión de si la línea u otros continuos están compuestos de indivisibles*». Por tanto, le pregunta a su oponente: «*¿dónde habéis vos encontrado que repugne a las matemáticas el que las líneas se compongan de puntos? ¿en qué matemáticos habéis vos visto que se debata una cuestión semejante? Seguramente vos no la habéis visto. Tal cuestión no repugna a las matemáticas*»<sup>27</sup>. Los razonamientos asumidos por Di Grazia son rebatidos por Galileo: no es que las matemáticas prohíban considerar los continuos como compuestos de indivisibles; son los cuerpos existentes en la naturaleza, estructuras discretas y con cuantía [*quante*] (es decir, dotadas de partes), los que prohíben comparar los átomos físicos con los indivisibles geométricos.

Galileo no mantiene esta tesis en los *Discursos y demostraciones matemáticas* (...). En ellos asume la idea de que todas las magnitudes físicas están compuestas de infinitos indivisibles que no tienen partes: infinitos átomos sin

---

<sup>24</sup> Cf. *Considerazioni di Vincenzo Di Grazia sopra il discorso di Galileo Galilei* (...), Florencia 1613; actualmente en G. Galilei, *Opere*, op. cit., IV, págs. 143-196.

<sup>25</sup> Cf. *Discorso* (...).

<sup>26</sup> *Ibid.* págs. 416-417.

<sup>27</sup> *Risposta alle opposizioni del Sig. Ludovico delle Colombe e del Sig. Vincenzo Di Grazia*, Florencia 1615; actualmente en G. Galilei, *Opere*, op. cit., IV, pág. 733.



cuantía [*non quanti*] se contienen en una porción de materia; infinitos puntos, en una línea<sup>28</sup>. Para salvar las diferencias entre los distintos estados de la materia, Salviati, que en los *Discursos* es el portavoz de Galileo, explica que los sólidos y los líquidos están ambos compuestos de átomos. Sin embargo, la experiencia muestra que reduciendo con un martillo un cuerpo duro cualquiera «a polvo impalpable», se obtienen de él mínimos «uno a uno imperceptibles a nuestra vista y al tacto», pero, sin embargo, «todavía con cuantía [*quanti*], con forma y numerables; y sucede que ellos, acumulados en conjunto, permanecen amontonados; si se hace un pequeño agujero en ellos, la cavidad se mantiene; si se los agita y se los mueve, al momento se detienen». Pero ninguna de estas cosas se da en el caso del agua, la cual, «una vez elevada, inmediatamente se nivela [...]; si se le hace un hueco, al momento corre a llenar el hueco; y si se la agita, se mantiene mucho tiempo ondulándose». Tales apariencias parecen sugerir que los mínimos en los que se descompone el agua son «muy diferentes de los mínimos con cuantía [*quanti*] y divisibles». Esta diferencia no puede explicarse, según Galileo, a no ser que se admita que los mínimos del agua son verdaderamente «indivisibles»<sup>29</sup>. Los sólidos, en cambio, incluso si están reducidos a polvo, «no se hacen fluidos ni se licuan antes de que los indivisibles del fuego o de los rayos del sol los disuelvan en sus —creo yo— primeros componentes más profundos, infinitos, indivisibles»<sup>30</sup>. Los átomos de los cuerpos líquidos y de los sólidos en estado de fusión tienen, por tanto, los atributos de las partículas mínimas de Demócrito. Se puede, tal vez, admitir que para Galileo en los cuerpos sólidos los átomos son «infinitos e indivisibles» sólo en potencia, mientras que en los fluidos lo son en acto<sup>31</sup>. Hay que señalar, en fin, que para explicar la cohesión de los cuerpos sólidos, Galileo postula la hipótesis de la «violencia ejercida por pequeñísimos vacíos que separan las «partículas mínimas»: el horror *vacui* las mantendría apretadas impidiéndoles la separación. Pero los «mínimos» del fuego, al penetrar en los intersticios más pequeños de la materia, donde ni siquiera el aire puede entrar, «rellenan los vacíos mínimos», provocando así la separación de las «partículas mínimas» y, por tanto, la fusión de los cuerpos sólidos<sup>32</sup>.

Las dificultades que encontró Galileo para ilustrar su teoría atomista son, según se ve en esta rápida reseña, de orden físico y matemático. Pero, como sucede

<sup>28</sup> Cfr. C.R. Palmerino, «Una nuova scienza della materia per la “scientia nova” del moto», en *Atti del Convegno. Atomisme et Continuum au XVII<sup>e</sup> siècle*, Nápoles 1997, en vías de publicación.

<sup>29</sup> Cf. *Discorsi* (...), en G. Galilei, *Opere*, op. cit. VIII, pág. 86.

<sup>30</sup> *Ibid.*

<sup>31</sup> Cf. A. Smith, «Galileo’s Theory of indivisibles: Revolution or Compromise?», en *Journal of the History of Ideas*, vol. XXXVI, n. 4, 1976, págs. 571-588.

<sup>32</sup> Cf. *Discorsi* (...), en G. Galilei, *Opere*, op. cit. VIII, págs. 66-67.



de forma del todo clara en el caso de la astronomía, también el atomismo se encuentra con dificultades de orden teológico, ocasionadas sobre todo por la oposición que manifestaron los jesuitas. Mientras que, tras la condena del copernicanismo en el 1616, la oposición de la Iglesia en los conflictos del heliocentrismo era bien sabida<sup>33</sup>, nada —o casi nada— hacía preveer que el atomismo iba a ser violentamente combatido por influyentes miembros de la Compañía de Jesús. La polémica estalló después de 1623, fecha de la publicación del *Saggiatore*. Como se sabe, en esta obra Galileo discute sobre la naturaleza de los cometas con el jesuita Orazio Grassi, autor de la *Libra Astronomica*. Para Galileo los cometas son una ilusión óptica más que cuerpos celestes auténticos y propiamente dichos. Pero, dejando de lado el contenido astronómico del libro, nos centraremos ahora en algunos aspectos relativos al atomismo. Por medio de la analogía de la pluma que hace cosquillas sin ser por ello la sede de la cosquilla<sup>34</sup>, Galileo observa que el contacto con cuerpos pesados produce en nosotros sensaciones, de las cuales unas «*son más agradables y otras menos, según sea la variedad de las figuras de los cuerpos en contacto, lisos o rugosos, agudos u obtusos, duros o blandos*». Pasando pues del campo macroscópico al microscópico, imagina él que «*partículas mínimas*» procedentes de los cuerpos pesados se dirigen hacia nuestros órganos sensoriales y, en función de sus figuras, de su cantidad, de su velocidad, provocan las sensaciones del sabor, del olor y del gusto<sup>35</sup>. Sobre la naturaleza de las sensaciones Galileo tiene una opinión bastante cercana a la de Demócrito, ya referida por nosotros, aunque el nombre del filósofo de Abdera no aparece en este libro suyo. Galileo se expresa así: «*los sabores, olores, colores, etc, por lo que respecta al sujeto en el que parece que residen, no son más que meros nombres, pero que residen solamente en el cuerpo sensitivo. Una vez ausente el animal [es decir, si desaparece el ser animado que interpreta como tales los sabores, olores, colores, etc.] quedan eliminadas y aniquiladas todas estas cualidades*»<sup>36</sup>. En otras palabras, las cualidades sensibles están causadas por un flujo de partículas mínimas que, golpeando nuestros órganos sensoriales, producen impresiones a las que nosotros les damos los nombres. Pero estas cualidades, en cuanto tales, no existen en los cuerpos de las que se desprenden.

La noción que aquí se ataca es la de *cualidad* o *especie sensible* o *accidente de cualidad*, noción que acepta la filosofía escolástica y que puede resumirse brevemente así: todo cuerpo se caracteriza por la *sustancia* y por los *acci-*

---

<sup>33</sup> Como es sabido, la decretó el Santo Oficio en Marzo de 1616. En aquella ocasión el nombre de Galileo no se mencionó de manera oficial. Sin embargo, Galileo fue condenado y relegado a su residencia de la Villa d'Arcetri en Junio de 1633 por haber escrito y publicado el *Dialogo sopra i due Massimi Sistemi del Mondo*.

<sup>34</sup> Cf. *Il Saggiatore*, en G. Galilei, *Opere*, op. cit. VI, pág. 348.

<sup>35</sup> *Ibid.* pág. 349.

<sup>36</sup> *Ibid.* pág. 348.



*dent*es o cualidades sensibles. Hay que tener muy presente esta caracterización para entender y valorar las críticas del autor jesuita.

Tres años después de la publicación del *Saggiatore*, en 1626, Orazio Grassi publicaba en París un libro cuyo contenido se dirige contra el *Saggiatore* de Galileo<sup>37</sup>. Grassi acusa a Galileo, en particular, de haber desarrollado una tesis contraria al dogma de la Transustanciación. Conviene en este punto precisar que este dogma, definido en 1551 en el Concilio de Trento, establecía que en el misterio de la eucaristía se daba una transformación *real* del pan y el vino en el cuerpo y en la sangre de Cristo. La Iglesia católica se posicionaba así (el dogma es una verdad revelada que ninguna autoridad terrena puede modificar) contra la opinión de las iglesias reformadas que le conferían a la eucaristía un carácter simbólico. La relación que el padre Grassi establece entre el milagro eucarístico y la interpretación galileana de las sensaciones, no es difícil de entender. En la Eucaristía se producen dos milagros: el primero garantiza la transformación de la *sustancia* del pan y del vino en el cuerpo y la sangre de Cristo; el segundo hace que las *especies sensibles* del pan y del vino se mantengan inalteradas.

Una vez hechas estas observaciones, dejamos la palabra al padre Grassi: «*no me es posible evitar —escribe él<sup>38</sup>— expresar algunos escrúpulos que me preocupan. Proceden de lo que nosotros consideramos incontestable de acuerdo con los preceptos de los Padres, de los Concilios y de la Iglesia toda. Se trata de las cualidades en virtud de las que, aunque la sustancia del pan y del vino desaparezca gracias a palabras todopoderosas, sin embargo, persisten sus especies sensibles, o sea, su color, sabor, calor o frío. Sólo por obra de la voluntad divina se mantienen estas especies —y de forma milagrosa—, como ellos [los Padres] dicen. Eso es todo lo que ellos afirman. Galileo, en cambio, afirma de manera explícita que el calor, el color, el sabor y el resto de las cosas del mismo tipo son, aparte del que los siente, y, por tanto, en el pan y en el vino, meros nombres. Por consiguiente, cuando desaparece la sustancia del pan y del vino, no quedan más que los nombres de las cualidades. ¿Pero sería necesario entonces un milagro perpetuo para conservar los meros nombres? Véase pues cuánto se aparta él de quienes con tanto afán se han esforzado en establecer la verdad y la permanencia de tales especies, hasta el punto de empeñar la potencia divina en tal efecto*». El padre Grassi, tras haber señalado que ofrecer tal interpretación es más grave que creer en el movimiento de la Tierra, pasa a discutir el aspecto científico.

<sup>37</sup> El libro de Grassi *Ratio ponderum librae et simbellae* se publicó con el seudónimo de Lotario Sarsi. Una segunda edición se publica en Roma.

<sup>38</sup> Cf. *Ratio ponderum* (...), en G. Galilei, *Opere*, VI, pág. 486 (original latino). Como se sabe, el descubrimiento en los archivos del Santo Oficio de un documento en el que se dirigen contra Galileo acusaciones semejantes a las realizadas por Grassi está en el origen del interesante libro de Pietro Redondi, *Galileo Eretico*, Turín 1983, cf. págs. 432-433.



En este punto abandonamos nosotros al buen padre sin poder precisar qué peso tuvo su crítica en la polémica que los jesuitas mantuvieron contra el atomismo. Es un hecho que los Revisores del Colegio Romano –la prestigiosa institución que coordinaba la enseñanza que se impartía en los Colegios de la Compañía de Jesús– emiten el 10 de Agosto de 1632 una primera censura contra los indivisibles físicos y matemáticos<sup>39</sup>. Ciertamente, una demostración mediante el método geométrico de los indivisibles, publicada en el *Diálogo sobre los dos máximos sistemas* de Galileo (Febrero de 1632), podría haber sido lo que llevara a los Revisores a intervenir.

El método de los *indivisibles* lo había inventado un discípulo de Galileo, el padre Bonaventura Cavalieri (1598-1647), de la orden de los jesuitas<sup>40</sup> de San Jerónimo. Copias manuscritas de su libro<sup>41</sup>, que se publicaría en 1635, circulaban desde 1619. El método desarrollado por Cavalieri se prestaba a numerosas críticas, tan lejos estaba de los fundamentos sobre los que se asienta la geometría euclídea. El principio de la *nueva geometría* consistía en sustituir la figura plana por los *agregados de todas las líneas* y las figuras sólidas por los *agregados de los infinitos planos* que en ellos se contienen. Las relaciones entre agregados se extendían posteriormente a las figuras mismas. Para mostrar la validez de sus demostraciones, Cavalieri aplicó su método a demostraciones ya conocidas obteniendo los mismos resultados. La controversia científica pronto se transformó en una violenta polémica, sobre todo tras la muerte, acaecida en 1643, del matemático jesuita Paul Guldin.

Guldin estaba radicalmente en contra del método de Cavalieri: él rechazaba que los agregados de infinitas líneas, o de infinitos planos, pudieran compararse entre sí. «*Entre infinito e infinito* –observaba Guldin– *no hay relación*». Pero –replica Cavalieri– los infinitos puntos de un segmento, por ejemplo, no son infinitos *in ratione totius*, es decir, como lo es un todo infinito: a ellos es siempre posible quitarles o añadirles otros puntos<sup>42</sup>.

El debate entre Guldin y Cavalieri tenía un carácter abiertamente polémico, sin términos medios ni concesiones, pero permaneció siempre en el terreno de las matemáticas. El estudioso jesuita evita decir «*en qué medida* [el nuevo método] *pueda serles útil a quienes se dedican a la geometría pura*». Y añadía:

---

<sup>39</sup> Cf. C. Constantini, *Baliani e i gesuiti*, Florencia 1969.

<sup>40</sup> N. de T. Es decir, la orden fundada en 1360 por el beato Juan Colombini, que no se debe confundir con la de los jesuitas.

<sup>41</sup> Bonaventura Cavalieri, *Geometria indivisibilibus continuorum (...)*, Bolonia 1635, traducción italiana, *La Geometria degli indivisibili de Bonaventura Cavalieri*, a cargo de L. Lombardo-Radice, Turín 1966.

<sup>42</sup> Cf. Cavalieri, *Exercitationes Geometricae Sex*, Bolonia, 1647, pág. 181. Reproducción anastática a cargo de E. Giusti, Cremonese, Roma 1980.



«por motivos que nosotros debemos omitir aquí con un silencio en absoluto inoportuno, no soy de la opinión de que eso haya que rechazarlo»<sup>43</sup>.

El matemático jesuita no da información sobre la naturaleza de esos motivos. Es evidente que no son de carácter matemático, dado que él no quiere hablar de ellos. Nosotros sólo podemos constatar que, al menos, otras dos censuras contra los indivisibles físicos y matemáticos fueron emitidas por los Revisores del Colegio Romano el 17 de Enero de 1641 y el 3 de Febrero de 1649<sup>44</sup>. En estas censuras se concreta que los *indivisibles* son contrarios a la enseñanza de Aristóteles. Un indicio de su incompatibilidad con el dogma de la Transustanciación lo proporciona el estudioso jesuita Sforza Pallavicino, quien afirma que la doctrina de los átomos tiene un carácter destructivo: «ella turba lo que la Iglesia nos enseña sobre los Misterios de la Eucaristía»<sup>45</sup>. El mismo Sforza Pallavicino, unos años antes, había sido obligado por el padre general Carrafa a retractarse por haber enseñado «que la cantidad se compone de puntos simples»<sup>46</sup>.

Estos indicios hacen pensar que las críticas de Orazio Grassi no pasaron desapercibidas. Hay que señalar, sin embargo, que Cavalieri, a diferencia de Galileo, no manifiesta interés alguno por los argumentos filosóficos relativos a la composición del continuo geométrico. Hace una alusión a ello en el libro séptimo de su *Geometría*, pero, en realidad, sólo presta atención a las dificultades resultantes de la relación entre infinitos y propone una solución que, sin embargo, limita notablemente las aplicaciones del método por él inventado.

En Italia los indivisibles geométricos encuentran un defensor en Evangelista Torricelli (1608-1647), que introduce la noción de *indivisibles curvos* en sus demostraciones. Como se sabe, Torricelli es también el autor del experimento barométrico llevada a cabo en Florencia en 1644. La aparición de la región aparentemente vacía en el tubo de vidrio que contiene el mercurio viene a reavivar la polémica sobre la posible existencia del vacío que los aristotélicos continúan negando. En efecto, el vacío macroscópico sugiere la existencia del vacío microscópico y, por tanto, de los átomos. La aversión de los jesuitas hacia la doctrina atomista está probablemente en el origen del silencio casi absoluto de Torricelli sobre los resultados obtenidos por él: el asunto sólo se trata en dos cartas, dirigidas a Michelangelo Ricci poco días después de que se llevara a cabo el experimento. Torricelli, por el contrario, le da una amplia difusión a sus trabajos matemáticos, en los que los indivisibles ocupan un puesto de primerísimo orden. Se diría que el debate en torno al atomismo geométrico se le deja sólo a los matemáticos, en tanto que aumenta el interés de los filósofos y de los teólogos por el atomismo físico y por los experimentos acerca del vacío.

<sup>43</sup> Cf. P. Guldinus, *Centrobarica*, lib. II, Viena 1939, pág., citado por Cavalieri en *Exercitationes*.

<sup>44</sup> Cf. C. Costantini, *op. cit.*

<sup>45</sup> Cf. Sforza Pallavicino, *Vidicationes Societatis Jesu*, Roma 1647, pág. 189.

<sup>46</sup> Cf. G. M. Pachtler, s.j., *Ratio studiorum* (...), 3, Berlín 1970 1980, pág. 76.



Mucho tendríamos que decir sobre el destino que le aguardaba a la doctrina atomista en la Italia de la segunda mitad del siglo XVII. Al contrario de lo que sucedía en Francia, donde el canónigo Pierre Gassendi (1592-1655) podía dedicarse tranquilamente a la rehabilitación de la filosofía de Epicuro, en Italia los atomistas fueron perseguidos y, donde ello fue posible, procesados por ateísmo<sup>47</sup>.

Investigaciones recientes llevadas a cabo por Susana Gómez López han puesto de manifiesto el importante papel, en la segunda mitad del siglo XVII, de las discusiones sobre el atomismo en el seno del Círculo de Pisa, donde se enfrentan dos concepciones distintas de la ciencia y de la herencia galileana: la actividad científica entendida como observación de la naturaleza y realización de experimentos, por una parte, y, por la otra, entendida como investigación, basada en el instrumento experimental, de las causas y de los principios de la naturaleza<sup>48</sup>. Entre los defensores de la segunda concepción, Donato Rossetti es uno de los más declarados defensores del atomismo, y su proyecto, no realizado, es conciliar a Demócrito con Aristóteles en la explicación del *Sacramento de la Eucaristía*<sup>49</sup>.

Querría concluir este recorrido a través del atomismo señalando que en Italia, tras el fracaso de los intentos de cristianización de la doctrina atomista llevados a cabo, en particular, por Rossetti, no les quedaba a los herederos de Galileo más remedio que tratar de convencer a las autoridades religiosas de la no contradicción entre el dogma de la Transustanciación y la doctrina de Demócrito, y de que esta última no conducía al libertinaje. Pero también estos intentos fueron fallidos. Las dificultades, que probablemente Galileo sólo había entrevisto, obligaron, en Italia, a los defensores del atomismo a retirarse a posiciones defensivas. Y fue en otra parte, en Francia y en Inglaterra en particular, donde las investigaciones sobre el vacío y sobre la estructura de la materia pudieron proseguir en un clima cultural en el que las preocupaciones teológicas pesaron siempre menos.

Traducción al español de *Joaquín Gutiérrez Calderón*

Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia

---

<sup>47</sup> En 1688 se inicia en Nápoles el proceso contra los *ateístas*. En esta ocasión fueron detenidos también algunos atomistas. Cf. L. Osbat, *L'inquisizione a Napoli. Il processo degli ateisti (1688-1697)*, Nápoles 1995, y A. Borrelli, *D'Andrea atomista*, Nápoles 1995.

<sup>48</sup> Cf. S. Gómez López, *La passione degli atomi*, Florencia 1997; y de la misma autora «Donato e le Cerche pisan», en *Geometriae, atomisme et vide dans l'école de Galilei*, IMSS Florencia-ENS Éditions Fontenay /st. Cloud, 1999.

<sup>49</sup> Cf. Gómez López, *La passione degli atomi (...)*, op. cit., pág. 191.