

# De Demócrito a Galileo: el surgimiento de una dualidad

Jorge N. Comejo

Gabinete de Desarrollo de Metodologías de la Enseñanza  
Facultad de Ingeniería (U.B.A.), Paseo Colón 850  
C.P 1063. Buenos Aires. Argentina

*In the present work we made an analysis about the evolution of the atomic theories from Democrito until Galileo. The study was centered in the contrast between two different forms of conceiving the atom: as a material corpuscle or as a mathematical entity. In the development of the atomic theories of Galileo a certain correlation with the different forms of conceiving the atom of physical of the XX century can be detected.*

## 1. Introducción

A principios de la década de 1980 tuve la oportunidad de leer un artículo redactado por Werner Heisenberg, titulado “El debate entre Platón y Demócrito” (1), en el que exponía una confrontación entre dos formas distintas de concebir la naturaleza de los átomos: como auténticos corpúsculos materiales, al estilo de Demócrito, o como “formas”, “estructuras”, “principios ordenadores abstractos”, en la corriente de las ideas platónicas. La conclusión de Heisenberg era que “Platón estaba mucho más cerca de la verdad que Leucipo y Demócrito”.

Tiempo después participé en una investigación acerca de las teorías atómicas en la obra de Galileo Galilei. Consultando la bibliografía disponible, me encontré con la afirmación que las referencias al atomismo en la obra de Galileo eran meramente incidentales, consistentes en algunos de sus primeros trabajos sobre hidrostática, unas páginas del *Saggiatore* sobre la naturaleza del calor y de la luz y otras de los *Discorsi* donde no se trata del átomo como corpúsculo material sino como indivisible matemático. En el otro extremo aparecía el historiador Pietro Redondi (2), quien planteaba como hipótesis que la condena inquisitorial fue motivada por el atomismo, y no por el copernicanismo, de Galileo.

Esta afirmación de Redondi había dado origen a encendidas polémicas. Sin embargo, lo que capturó mi interés fue una afirmación del autor en la que decía que Galileo comenzó con ideas atomistas de corte democriteo, concibiendo al átomo como un corpúsculo material mínimo, para luego evolucionar hacia una noción de índole más abstracta, la de los “mínimos no extensos”, especie de átomos puntuales, de infinitesimos constituyentes de la materia. Este pasaje de

una concepción “material”, donde los átomos son verdaderos corpúsculos físicos, a una concepción matemática, donde las unidades mínimas son formas, estructuras, “ideas”, me pareció un eco de la disputa entre Platón y Demócrito, mencionada por Heisenberg.

En los últimos años, me dediqué a estudiar las obras de Erwin Schrödinger, especialmente *La Naturaleza y los Griegos* (3). Lo que me resultó extraño fue que, de acuerdo con Schrödinger, Demócrito no sólo conoció la concepción del átomo como corpúsculo, sino que tampoco le fue extraña la noción de un átomo matemático, primer fundamento de lo que hoy conocemos como cálculo infinitesimal. Las ideas de Schrödinger me causaron cierta confusión, al hacer tambalear mi fe en las palabras de Heisenberg, expuestas más arriba.



Figura 1. Anverso de un billete de 100 dracmas (Athenas, Grecia, 1967). Pueden observarse el busto de Demócrito y la representación del modelo planetario de un átomo.

Pero algo me quedó claro: a lo largo de la historia de las ideas, el atomismo se había movido entre dos columnas que para Heisenberg eran opuestas y para Schrödinger complementarias. ¿Cómo se había originado tal oposición?

El propósito de este trabajo es, entonces, efectuar una reseña histórica del atomismo desde la antigua Grecia hasta los trabajos de Galileo, centrándonos en aquellos puntos que marcan la fragmentación de la imagen del átomo en dos visiones, radicalmente opuestas y quizás por ello inseparables.

## 2. El atomismo democriteo

Los representantes más destacados del atomismo presocrático fueron Leucipo y Demócrito de Abdera.

En el atomismo democriteo se formula la suposición básica de que la materia está constituida por partículas indivisibles: los *átomos* (*átomoi*: “que no se pueden cortar”). Estos átomos se hallan en movimiento continuo y sus colisiones dan origen a la gran variedad de la Naturaleza. Los átomos son iguales en cuanto a su naturaleza, pero diferentes en forma (*idea*) y tamaño. Todos son impermeables: no pueden penetrarse entre sí. Las colisiones atómicas tienen distintos resultados: cuando chocan átomos esféricos y lisos, rebotan, mas

cuando aquéllos que chocan está provistos de ganchos o puntas, dan origen a cuerpos sólidos.

Este gigantesco drama atómico tiene lugar en el vacío, en lo que podríamos llamar la *nada*. Por cierto que no una nada total absoluta, impensable, sino una nada inteligible, un no-ser relativo al ser del átomo, al cual Demócrito denominaba “el vacío”, “la nada”, “lo compacto” y “lo ente”.

### 3. Lucrecio

El siguiente hito en los orígenes del atomismo tuvo lugar en Roma, a través de la obra del filósofo Lucrecio, el continuador más brillante del pensador estoico Epicuro. Su tratado *De rerum natura* (4) es un verdadero manual sobre atomismo antiguo. Los puntos que siguen sintetizan lo esencial de sus ideas:

- los átomos son el fundamento de todas las cosas, por ello se prefiere llamarlos “primordios”, “cuerpos de materia”, “cuerpos genitales de las cosas”. Son mínimos, sin principio ni fin, cambio ni partes. Su modo de ser es el movimiento, lo cual se confirma por “el desgaste y aumento de las cosas”. El movimiento y los choques atómicos determinan las propiedades de las cosas. Todos los cuerpos son, o los primordiales, o conglomerados de los primordiales.
- nada surge de la nada, todo se origina a partir de los pre-existentes cuerpos de materia de las cosas. Del mismo modo, el perecer es el acto por el cual las cosas se disuelven en sus primeros elementos.
- hay sólo dos modos de ser, que se dan puros y separados el uno del otro: los átomos y el vacío. La evidencia de los átomos es sensorial, la del vacío es racional.
- la totalidad es infinita, pues infinito es el número de los átomos e infinito el vacío en el que se mueven. La densidad de los átomos en esta totalidad ha permanecido eternamente la misma.
- los átomos no tienen color, olor, gusto o temperatura. Si tienen diferente figura; sin embargo, el número de figuras atómicas diferentes es finito.
- La vida y la sensibilidad provienen de la conjunción de los órganos, formados por átomos. Cuando cesa la con-

Período	Fase	Obras principales con relación al atomismo	Conceptos	Vocabulario
Pisano (1589-1591)	Escolástica	De coelo, De elementis	Manifiesta el conocimiento del atomismo, mediante referencias críticas y refutaciones aristotélicas.	Átomos. Partículas mínimas. Indivisibles cualitativos.
	Arquimédea	De motu	Crítica del movimiento como causa del calor e interrogaciones sobre las refutaciones aristotélicas.	Partículas materiales
Veneciano (1592-1610)			No hay referencias al atomismo	
Linceo (1611-1632)	Mecanicista	Discurso, Il Saggiatore	Naturaleza corpuscular del calor. La luz como indivisible.	Corpúsculos de fuego, átomos ígneos, corpúsculos mínimos, mínimos quanta, últimos indivisibles.
De Arcetri (1633-1640)	Matemática	Discorsi	Indivisibles matemáticos, viscosidad, horror al vacío.	Vacui non quanta, átomos non quanta, componentes indivisibles, indivisibles matemáticos

Tabla 1. Síntesis de la evolución del concepto atomista en Galileo

juncción, cesan la vida y la sensibilidad. Ni los hombres, ni el Sol, la Luna o las estrellas, son inmortales ni eternos.

- la naturaleza se guía por las leyes que le son propias: no hay lugar para dioses o intervenciones divinas.

Esta concepción del mundo se ha caracterizado como un *mecanicismo corpuscularista*, e ingresó en Europa con la publicación de tratados antiguos que tuvo lugar a mediados del Renacimiento.

Para los objetivos del presente trabajo nuestro interés se centrará en la influencia de esta concepción sobre la obra de Galileo Galilei.

### 4. El atomismo de Galileo

Galileo se interesó por la teoría atómica desde sus primeros trabajos, quizás preocupado por el problema de la condensación y la rarefacción de las sustancias (5). Redondó la evolución del atomismo de Galileo en tres períodos, desde el manuscrito pisano *De coelo* hasta los *Discorsi*, pasando por el *Saggiatore* (6). En la Tabla 1 puede verse un

esquema de este proceso evolutivo, que he adaptado, con modificaciones, de la obra de Redondi.

El primer período, desarrollado en Pisa, comienza con un Galileo en cierta forma aristotélico, donde la relación con el atomismo, expuesta en los trabajos *De coelo* y *De elementis*, es crítica y reproduce las refutaciones de la concepción democritea realizadas por Aristóteles. Pero con el interés por las nociones de Arquímedes las ideas clásicas de Aristóteles comienzan a ponerse en duda, como se observa en el tratado *De motu antiquora*. De cualquier modo, la primera manifestación real del atomismo galileano se da en el período denominado Linceo, donde Galileo comienza a hablar de los “mínimos quanta”, en defensa de Demócrito contra Aristóteles.

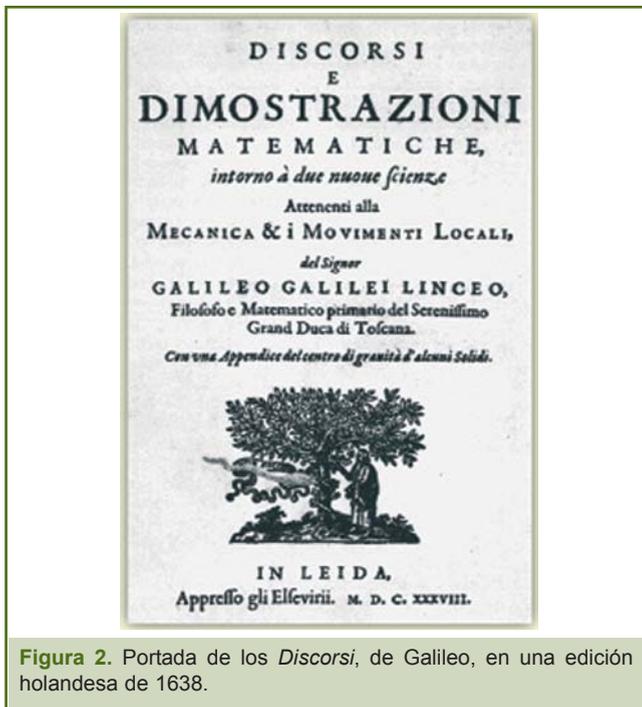


Figura 2. Portada de los *Discorsi*, de Galileo, en una edición holandesa de 1638.

En 1612, en el *Discorso intorno alle cose che stanno in sú l'acqua o che in quella si muovono*, Galileo escribió que el atomismo podía ser adoptado como base de una investigación que fundara las características de la materia y sus cambios en la actividad de sus corpúsculos.

En este tratado Galileo considera las ideas de Demócrito sobre la naturaleza del calor, al cual supone constituido por átomos de fuego. En polémica con el aristotélico Ludovico della Colombe, Galileo explica el calor por el movimiento de “átomos de fuego” que, provenientes de las brasas colocadas debajo de un recipiente que contiene agua, atraviesan la base del mismo y se mezclan con los átomos del líquido. El aristotélico afirmaba que los átomos de fuego debían extinguirse en contacto con el agua, pero Galileo respondía que en tal caso ésta no podría calentarse. Discutiendo la teo-

ría de Aristóteles de que “el movimiento es causa del calor” (Aristóteles se refiere a la producción de calor por frotamiento), Galileo desarrolla el concepto de que el calor surge cuando el frotamiento entre dos cuerpos es lo suficientemente fuerte como para desprender partículas muy sutiles de materia; es decir, el movimiento que origina el calor no es el frotamiento propiamente dicho, sino el movimiento de los corpúsculos mínimos que resulta del mismo.

Pero más allá de estas referencias, el programa de interpretación de la materia por la vía del atomismo, que nunca fue más que un esbozo, sería presentado mucho más tarde, en el *Saggiatore*.

En este libro, publicado en 1623, por primera vez cobra forma definida un modelo cinético-corpúscular de la materia, junto a una teoría atómica de la luz. Galileo se había interesado en los problemas concernientes a la naturaleza de la luz en su viaje a Roma de 1611, cuando mostró a un grupo de estudiosos una piedra que, tras ser calcinada y expuesta al Sol, brillaba por sí sola en la obscuridad. Esto convenció a Galileo de que la luz no es una propiedad de un medio transparente iluminado y pensó que, más que una propiedad, debía ser alguna clase de cuerpo extenso, comunicado mediante la emisión de átomos invisibles.

La luz, entonces, sería una “*altísima resolución en átomos realmente indivisibles*”, que se desplazan a velocidad infinita. Para el calor y las partículas de los cuerpos comunes reservó otros nombres, tales como “corpúsculos mínimos”, “ignículos”, “mínimos ígneos” o “mínimos sutilísimos”, pues no los consideraba indivisibles al estilo de los átomos de Demócrito. En particular, pensaba que los “mínimos ígneos” del fuego se descomponen en auténticos átomos de luz.

Sin embargo, en el lenguaje del *Saggiatore* ya se encuentran algunos elementos de transición del atomismo clásico del *Discorso* hacia la geometrización de los *Discorsi*. En efecto, en el primero se habla de *mínimos*, *corpúsculos*, *corpúsculos ígneos*; en los últimos de *indivisibles matemáticos*, mientras que el *Saggiatore* es una especie de balanza donde se equilibran y se alternan ambas terminologías.

En 1638 fueron publicados los *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuoue scienze*, donde es retomado el tema de la naturaleza corpúscular de la materia. Sin embargo, en las primeras páginas no parece haber una modificación fundamental con respecto a las ideas del *Saggiatore*. La cohesión interna de los sólidos se explica apelando a la existencia de los “vacu”, los vacíos intercorpúsculares. Se dice que, en los sólidos, la existencia de vacío entre los corpúsculos motiva la cohesión, justamente por la tendencia de la materia de oponerse al vacío. Según Galileo, en los líquidos la inexistencia de vacío entre las partículas es la causa de que éstos no manifestasen cohesión aparente. Este matrimonio entre el vacío y el horror al mismo, entre el atomismo y la física del continuo, no parece una de las ideas más felices de Galileo.

Pero seguidamente nuestro físico introduce un concepto muy interesante: suponer que los vacíos entre los átomos son infinitesimos. El átomo, en tanto indivisible material, también es abandonado, pues ahora se considera infinitamente divisible. El nombre utilizado es el de “partes no quante” o “átomos no extensos”. Demuestra que un volumen puede estar formado por infinitas partes inextensas (una “integración”, en lenguaje matemático moderno), de donde la conclusión es que un sólido está constituido por infinitos infinitesimos: infinitos átomos inextensos e infinitos “vacui”. Esto le permite explicar la condensación y la rarefacción, en términos de “infinitos invisibles acortamientos” o de “superposiciones no cuantas”, pues ahora, al ser los átomos inextensos, no existe un volumen mínimo para los constituyentes de los sólidos. Todo esto ha sido interpretado como un alejamiento de Demócrito y un acercamiento a Platón: la geometrización de la materia.

Lo que deseo proponer en este trabajo es que este alejamiento tampoco es tan radical como puede parecer. En efecto, Demócrito no sólo fue un atomista, sino también un gran geómetra. Se conocen los títulos de dos tratados geométricos de su autoría: “*De la diferencia de opinión o del contacto entre un círculo y una esfera*” y “*De las líneas y sólidos irracionales*”. El teorema sobre el volumen de una pirámide o de un cono es de su autoría. La demostración estricta del mismo requiere el conocimiento del cálculo infinitesimal; es de suponer, entonces, que Demócrito tenía alguna noción del concepto de *infinitesimo*. Poseemos un razonamiento suyo que así lo sugiere, referido a la forma circular que debe adoptar la sección de un cono cortado en dos por un plano paralelo a su base. Si Demócrito pudo resolver esa cuestión, entonces poseía alguna noción equivalente a la idea de magnitud infinitesimal y, por la vía de la geometrización, en el atomismo democríteo se halla ya prefigurada la matematización platónica.

Sostengo, entonces, que Galileo, en todas sus referencias al atomismo, se encuadra permanentemente en un marco de pensamiento democríteo.

La tensión entre estos dos aspectos de la concepción atómica está lejos de haber desaparecido de la física moderna. Werner Heisenberg analizó este problema planteando la hipótesis de que dicha tensión es un aspecto de la oposición entre una concepción “materialista” y otra “matematicista”: para la primera el átomo es un verdadero objeto físico, un

corpúsculo en el sentido literal del término, mientras que para la segunda es una “forma”, una estructura, un esquema matemático del cual todas las comparaciones objetivas no son más que imágenes aclaratorias. La conclusión final de Heisenberg es que “*Platón estaba mucho más cerca de la verdad que Leucipo y Demócrito*”.

Nosotros diríamos, moderando un poco esa expresión y recordando que Schrödinger afirmó que “*Demócrito tuvo una comprensión profunda de la significación y las dificultades de las magnitudes infinitesimales*”, que Platón es la consecuencia de Demócrito, que el Galileo de los *Discorsi* es la consecuencia del primer Galileo, y que la tensión puede resolverse finalmente en complementación.

## 5. Conclusión

Desde el *Saggiatore* hasta los *Discorsi* existe un cambio aparente en la orientación del atomismo galileano, al pasar de una concepción corpuscularista democrítea a una concepción del átomo como indivisible matemático, que tiene puntos de contacto con las Ideas platónicas. Sostengo, sin embargo, que el aparente cambio de orientación no implica, en realidad, un alejamiento del pensamiento democríteo.

Todo esto parece ser la expresión de una dualidad fundamental en la concepción física del atomismo. En la evolución del atomismo de Galileo, vemos un deseo por penetrar más profundamente en la naturaleza de la materia, un ir hacia adentro, desde la física de las cualidades observables (aristotélica), pasando por un física de las magnitudes extensas, de peso y volumen (arquimédea), a una teoría corpuscular clásica, y finalmente hasta una noción del átomo propiamente dicho como el indivisible matemático constituyente de la luz.

## 6. Bibliografía

- [1] HEISENBERG, W. (1986), El debate entre Platón y Demócrito, en Wilber, K. (ed.), Cuestiones cuánticas. Barcelona: Kairós.
- [2] REDONDI, P. (1990), Galileo herético. Buenos Aires: Alianza.
- [3] SCHRÖDINGER, E. (1997), La naturaleza y los griegos. Barcelona: Tusquets.
- [4] LUCRECIO (1984), De rerum natura, Madrid: Hyspamérica.
- [5] BOIDO, G. (1996), Noticias del planeta Tierra - Galileo Galilei y la revolución científica, Buenos Aires: A-Z.
- [6] GALILEO GALILEI, Obras completas, accesibles en Internet, en la dirección: <http://www.liberliber.it/biblioteca/g/galilei>.