

EL CONCEPTO CLASICO DE ATOMO(*)

Alejandro CASSINI**

ABSTRACT

This paper analyses the ancient atomism from a modern point of view. It focuses its attention on the essential properties of classical atoms. First, it considers the principles of the atomist ontology and the concept of void. Then, it studies the concept of atom and its fundamental properties: shape, size, weight, and motion. It discusses three significant problems of the classical atomism: i) the theoretical character of the atoms and their resemblances and differences with respect to the macroscopical bodies; ii) the atomist explanation and its limits; and iii) the visual representation of the atoms. Finally, it outlines some reasons which indicate a radical change and the very dissolution of the classical concept of particle in the field of the contemporary physical science.

Introducción

El atomismo clásico tiene una larga y compleja historia, pero los principios de su ontología fueron establecidos ya por Demócrito, y, perfeccionados por Epicuro y Lucrecio, se conservaron, en lo esencial, en todas las teorías atomistas hasta comienzos de nuestro siglo. Es posible, entonces, considerar al atomismo antiguo, básicamente griego, como paradigma del atomismo clásico. En este trabajo presentaré una exposición sistemática de los principios de la ontología del atomismo clásico, tomando como hilo conductor el tema de **las propiedades esenciales de los átomos**. Estas son las propiedades que caracterizan al concepto clásico de átomo en general. La exposición que ofreceré combina las tres principales fuentes antiguas¹ sin seguir necesariamente el orden histórico. Procura exhibir un esquema general más o menos completo del concepto clásico de átomo. Para ello señala, ante todo, las coincidencias entre las fuentes; evita, en la medida de lo posible, toda exégesis textual; y, aunque señala las discrepancias inevitables entre los diversos autores antiguos, deja de lado el análisis de las diferencias y de las cuestiones en detalle. Con base en este cuadro general, discutiré en particular tres problemas importantes del atomismo clásico: i) el carácter teórico de los átomos; ii) la analogía de los átomos con los cuerpos macroscópicos; iii) la representación visual de las entidades atómicas. Finalmente, haré algunas observaciones acerca de la situación actual del concepto de átomo y de su relación con el concepto clásico.

(*) Quiero agradecer al Dr. Ricardo J. Noriega por las numerosas conversaciones que mantuvimos y que me fueron útiles para mejorar diversos aspectos de este trabajo.

Los principios del atomismo

Comenzaremos por los principios más generales de la ontología atomista. Como base de su sistema, el atomismo clásico adopta explícitamente dos principios ontológicos muy generales, de larga tradición en la filosofía griega, que pueden denominarse **principios de conservación de los elementos**: a) ninguna entidad surge de la nada; y b) ninguna entidad desaparece o se disuelve en la nada (EH, 38-39; RN, I 149-299). En virtud de estos dos principios, las entidades fundamentales que componen el universo, los elementos o sustancias simples, deben ser **eternos**. Únicamente las entidades compuestas se generan y perecen, por medio de la composición o descomposición de sus elementos. Pero los elementos mismos no son afectados por ninguno de estos procesos, permaneciendo inalterados.

Según el atomismo antiguo, existen solamente dos sustancias diferentes: los **cuerpos** y el **vacío** (EH, 39-40; RN, I 419-448). Todas las demás cosas no existen por sí, no son sustancias, sino **accidentes** o **propiedades** de las dos sustancias fundamentales (RN, I 449-482). La característica esencial de los cuerpos es la **tangibilidad** y, en razón de ella, ofrecen resistencia a ser penetrados por otras entidades. Por su parte, la característica esencial del vacío es la **intangibilidad** y, por ello, no ofrece resistencia alguna a la penetración por parte de otros cuerpos (RN, I 433-439).

No todos los cuerpos son simples o impenetrables. Algunos están compuestos de partes y admiten la división o fragmentación. Las partes que los componen son cuerpos de menor tamaño, los que, a su vez, también pueden estar integrados por otros cuerpos menores. Para los atomistas existe, sin embargo, un límite en el proceso de división de un cuerpo. Hay, pues, unidades últimas de materia que ya no admiten una ulterior división y son, por tanto, simples. Tales son los átomos, los cuerpos más pequeños que puedan existir físicamente como individuos. De allí el nombre de **corpúsculos** que les dio la tradición. Son también las partes mínimas dotadas de existencia autónoma, y por ello se les denominó también **partículas**. Los átomos son los elementos últimos que componen los cuerpos, y ellos mismos son también cuerpos (EH, 40-41). Todos los cuerpos compuestos son penetrables, aunque, por el hecho de ser cuerpos, ofrecen una mayor o menor resistencia a la penetración. Los únicos cuerpos simples, los átomos, son completamente impenetrables, es decir, ofrecen una **resistencia infinita** a ser penetrados por otros cuerpos. La impenetrabilidad absoluta de los átomos es la propiedad que asegura su individualidad: dos o más átomos no pueden ocupar la misma posición en el espacio (y tiempo), puesto que no son capaces de interpenetrarse.

Los átomos y el vacío son las entidades realmente elementales del universo. Átomos y vacío son **excluyentes** por principio. Los átomos son físicamente indivisibles, según los antiguos atomistas, precisamente porque no contienen vacío en su interior, pues, se afirmaba, todo lo que es divisible lo es porque encierra alguna porción de vacío (RN, I 503-564). El espacio vacío, por su parte, es vacío porque es un espacio que carece totalmente de cuerpos. Además, los átomos y el vacío juntos son **exhaustivos**, comprenden todo lo que hay en el universo (EH, 39-40; RN, I 430-448). Ambos principios son infinitos y eternos (EH, 41-42; RN, I 951-1020). El vacío es infinito en extensión y los átomos son infinitos en número. La totalidad de los átomos también es infinita en extensión, puesto que cada átomo es

EL CONCEPTO CLASICO DE ATOMO

un corpúsculo extenso², y su tamaño no es infinitesimalmente pequeño. Consideremos aparte la naturaleza del vacío y luego, con mayor detalle, la de los átomos.

El vacío

El concepto atomista de vacío no es demasiado preciso. En los orígenes del atomismo griego el vacío se concebía como ausencia de materia y, en consecuencia, de toda plenitud. Demócrito identificó a lo pleno en el ser, y, por esta razón, asimiló el vacío a la nada, o al no ser (67 A 6; 67 A 8; 68 A 38; 68 A 40; 68 A 45), afirmando que el no ser existe, al igual que los átomos. La relación que pudiera existir entre el vacío y el espacio no fue claramente determinada por los primeros atomistas, aunque se insinuó ya la identificación entre ambos (68 A 49). Posteriormente, se estableció una distinción mucho más clara y precisa entre los conceptos genéricos de espacio y vacío, y entre sus diferentes especies. El distingo ha sido atribuido a Epicuro en un testimonio importante transmitido por Sexto Empírico (*Adv. Math.*, X 2). De acuerdo con éste, el concepto más general de vacío es el de **naturaleza intangible** (ἀναφής φύσις), el cual se identifica con el **espacio en general**, sea éste lleno o vacío, es decir, ocupado o no por cuerpos. Este concepto genérico posee tres especies, que corresponden a tres modos diferentes de considerar el espacio. En primer lugar, el **vacío** (κενόν) propiamente dicho, que se identifica con el **espacio vacío**, carente de materia. En segundo lugar, el **lugar** (τόπος), que corresponde al **espacio lleno**, ocupado por materia. Por último, el **sitio** (χώρα) que es el **espacio a través del cual un cuerpo se mueve**. De este modo, el vacío en general se identifica con el espacio sin más, pero, en sentido estricto es el espacio carente de cuerpos, y no el espacio en general. El concepto de espacio carente de cuerpos es el concepto de vacío propio del atomismo clásico, aunque Epicuro afirma que, hablando informalmente, los términos espacio, vacío y lugar se usan como sinónimos (EH, 39-40). En adelante nos referiremos siempre al sentido estricto del concepto de vacío³.

El atomismo necesita postular la existencia del espacio vacío por dos razones fundamentales. La primera es la de posibilitar la existencia de una pluralidad de cuerpos, y, en último análisis, de átomos. Si no hubiera vacío, todo sería cuerpo. Pero, en tal caso, no podría haber múltiples cuerpos, puesto que no habría nada que los separara y diferenciara entre sí. El universo entero sería, entonces, una única entidad sólida, compacta y monolítica, tal como lo es un sólo átomo. La segunda razón para postular el vacío, según los antiguos atomistas, es el hecho de que éste hace posible el movimiento de los cuerpos. Si no hubiera vacío, aunque pudiera concebirse la existencia de una pluralidad de entidades, ningún cuerpo podría comenzar a moverse, pues, todo el espacio estaría lleno. Como lo propio de la materia es ofrecer resistencia, ningún cuerpo podría ocupar el lugar de otro (RN, I 329-369). Además, puesto que los atomistas rechazaron la antigua teoría del **desplazamiento recíproco** (el cuerpo A ocupa el lugar B; B el de C; y C el de A, por ejemplo), no tenían otra posibilidad que recurrir al vacío como condición necesaria del movimiento de los cuerpos (RN, I 370-399). Los dos argumentos en favor del vacío presuponen la aceptación de la existencia tanto de una pluralidad de entidades como del movimiento de éstas. En efecto, el pluralismo y el movimiento

son para el atomismo clásico datos de la experiencia, los cuales constituyen hechos manifiestos que no pueden negarse al modo eleático (EH, 39-40)⁴. Podemos dudar, sin embargo, de la independencia lógica de estos dos argumentos, pues, el primero parece implicar al segundo. No resulta posible, dentro del esquema atomista, concebir la existencia de una pluralidad de cuerpos, sin presuponer una mínima porción de vacío que les separe. De otro modo, cada cuerpo perdería su individualidad.

El concepto de átomo

Consideremos ahora el concepto general de átomo según el atomismo clásico. Ante todo, los átomos se conciben como las unidades últimas del proceso de fragmentación de cualquier cuerpo. Son entidades corpóreas físicamente indivisibles y, por ello, perfectamente compactas, rígidas e indestructibles. No obstante, son cuerpos tridimensionales, aunque muy pequeños. En el atomismo primitivo se consideró que los átomos eran cuerpos **simples**, y, por tanto, no podían poseer partes (67 A 7; 67 A 13). Ni siquiera posible concebir partes en un átomo. Los átomos eran física y teóricamente indivisibles. Esta simplicidad perfecta, se pensaba, era la razón fundamental de la indivisibilidad atómica. El atomismo antiguo más tardío sostiene, en cambio, que la carencia del vacío es la verdadera razón de que los átomos sean indivisibles, basándose en el principio de que todo lo que contiene vacío es divisible (RN, 503-598). Esta razón nos parece hoy irrelevante, en tanto se admita, como lo hace todo el atomismo clásico, que los átomos estén hechos de una sustancia sólida e **infinitamente rígida**. En tal caso, la indivisibilidad de los átomos resulta naturalmente del hecho de que estén constituidos por tal sustancia, y no necesita de la carencia de vacío (o de la simplicidad) de los átomos. Incluso una esfera hueca, por ejemplo, hecha de esta sustancia super-rígida (la única que el atomismo postula como sustancia corpórea) sería indivisible. Sin embargo, la tesis del atomismo antiguo fue la de que la rigidez infinita de los átomos es una consecuencia de su carencia de vacío. La razón de ello es que no se puede comprimir aquello que no contiene vacío, pues, se ha llegado al límite de la densidad de la materia. Desde este punto de vista, es la carencia de vacío la que explica la rigidez absoluta de los átomos.

El problema de la **simplicidad** de los átomos es sumamente difícil. La simplicidad o carencia de partes que el atomismo clásico atribuye a los átomos no impidió que se los concibiera como dotados de forma, tamaño y peso (o masa) determinados. Esto implica inmediatamente dificultades conceptuales, pues, parece claro que sólo una masa puntual, es decir, sin extensión, puede ser absolutamente simple, mientras que algo que tiene forma y tamaño debe poseer partes. Los atomistas griegos sensibles a estas dificultades trataron de resolverlas. Epicuro introdujo para ello la idea, también atestiguada por Lucrecio, de que los átomos constan de **partes mínimas** (τὰ ἐλαχιστα; **mínima**; EH, 56-59); RN I 599-634). Esta es una de las teorías menos claras del atomismo clásico, pero, a la vez, una de las más sutiles e interesantes. Los argumentos que se ofrecen para probar la existencia de partes mínimas en el átomo son complejos y poco ordenados⁵. Según esta teoría, los átomos no son completamente simples y carentes de estructura interna. Poseen partes mínimas que no son **físicamente** separables, pues, no

EL CONCEPTO CLASICO DE ATOMO

existen como individuos, pero son teóricamente distinguibles como regiones de átomo. Los átomos, entonces, son físicamente indivisibles, pero no teóricamente. Las partes mínimas son, además, teórica o conceptualmente indivisibles, es decir, son tales que no es posible concebirlas (en una suerte de experimento mental) como dotadas de partes o regiones.

La naturaleza de las partes mínimas no se encuentra claramente determinada. Ante todo, es seguro que **no** son puntos materiales, infinitesimales u otras entidades carentes de extensión. Por el contrario, son cosas que existen en las tres dimensiones espaciales. Son elementos materiales extensos, aunque dotados de la menor unidad de extensión. Las partes mínimas, al igual que los átomos, tienen dimensiones, pero, a diferencia de éstos, poseen las menores dimensiones existentes. Los atomistas se expresan como si estas fueran las menores dimensiones concebibles. Si el espacio se considera como continuo, esto, evidentemente, carece de sentido, ya que no existe una extensión mínima. Sin embargo, el concepto de parte mínima es significativo en el ámbito de una concepción del espacio como discreto, que es, según veremos, la teoría propia del atomismo.

Las partes mínimas, en razón de que tienen las menores dimensiones, deben ser todas del mismo tamaño; precisamente de una unidad mínima de extensión. No es claro si los atomistas pensaron que las partes mínimas poseían las demás propiedades esenciales de los átomos, como la forma, el peso y el movimiento. En rigor, no deberían poseer **todas** estas propiedades, pues, en el caso de que las tuvieran, las partes mínimas no se distinguirían de los átomos. Cada parte mínima sería por sí misma un átomo. Aún cuando dos o más partes mínimas no fueran separables entre sí, no podría excluirse la posibilidad de que existieran átomos formados por una sola parte mínima. Sin embargo, esto no sucede. Lucrecio afirma explícitamente que las partes mínimas no tienen algunas de las propiedades esenciales de los átomos, en particular, no poseen peso ni movimiento (RN, I 628-634). Esto es suficiente para diferenciar a las partes mínimas de los átomos, aunque nada se dice acerca de si las partes mínimas poseen o no forma. En consecuencia, no puede haber átomos que consten de una sola parte mínima, ya que una entidad hipotética de este tipo carecería de peso y movimiento, que son, como veremos, dos de las propiedades definitorias del concepto clásico de átomo.

Las partes mínimas que componen un átomo no son separables, según los atomistas, puesto que no hay vacío entre ellas. Están colocadas unas junto a otras de una manera perfectamente adyacente, sin tocarse y dejar espacio vacío. El átomo es, entonces, completamente sólido y homogéneo desde el punto de vista físico. Las partes mínimas no son físicamente distinguibles, sino solo conceptualmente. Cada átomo está formada por un número **finito y entero** de partes mínimas; número que debe ser de por lo menos dos (Lucrecio ejemplifica con tres; RN, II 485-486). La cantidad de partes mínimas explica el tamaño propio de cada átomo; así, por ejemplo, un átomo formado por cuatro partes mínimas duplica en tamaño a uno formado por dos. Además, la disposición de las partes mínimas explica la forma de cada átomo, lo cual sugiere que las partes tendrían también forma, o bien deja sin explicar cómo éstas determinan las formas atómicas. Se sigue de todo esto que dos o más átomos son idénticos cuando tienen la misma cantidad de partes mínimas dispuestas del mismo modo, en caso contrario, difieren en el tamaño o en la forma.

Una de las consecuencias más interesantes de la teoría de las partes mínimas es que ésta llevó a Epicuro y sus seguidores a aceptar la existencia de unidades mínimas de espacio, de tiempo, y muy probablemente también de movimiento. Esto representa, sin duda, una posición teórica sutil ya audaz, que lleva al atomismo hasta sus últimas consecuencias. En efecto, la posición natural y coherente de una ontología atomista es la que postula el carácter **discreto** de todo lo que hay: no sólo de la materia, sino también del espacio, el tiempo y el cambio. Esto es precisamente lo que sucede en el atomismo antiguo más desarrollado. El espacio y el tiempo se conciben de manera atómica, o cuantizada, diríamos hoy, al igual que la materia. No son contiguos, sino discretos. El espacio está conformado por unidades mínimas de duración. Tales unidades no son infinitesimales puntos o instantes sin magnitud. La parte mínima de un átomo proporciona la medida de la unidad mínima de espacio. La idea de que el espacio es discreto es, en verdad, lo que confiere sentido al concepto mismo de partes mínimas del átomo. Puesto que el espacio no es continuo ni, por tanto, infinitamente divisible, resulta posible postular la existencia de elementos que tengan la menor extensión posible. La unidad de tiempo elemental, por su parte, no se encuentra precisamente definida. La consecuencia de esta teoría del espacio y del tiempo es que el movimiento también se vuelve discreto, realizado por medio de saltos mínimos de una unidad de espacio. Debe existir, pues, una unidad mínima de movimiento. El menor movimiento concebible resulta, entonces, el desplazamiento de una unidad mínima de espacio en una unidad mínima de tiempo (EH, 62). No es del todo claro que los atomistas hayan admitido todas las consecuencias de esta teoría del movimiento discreto⁶. No obstante, es indudable que, en su forma más sofisticada, el atomismo antiguo postuló la naturaleza atómica no sólo de la materia, sino también del espacio, del tiempo y del movimiento. En este último aspecto, no fue seguido por la física clásica de la modernidad.

Las propiedades esenciales de los átomos

Abordaremos ahora la caracterización detallada de las propiedades de los átomos clásicos. Es bien conocida la teoría de los atomistas que adjudica a los átomos únicamente las llamadas cualidades primarias, como el tamaño, la forma y el peso; mientras que los despoja de las cualidades secundarias, como el color, el sabor, la temperatura y otras. Aquí no seguiremos esta distinción, sino que analizaremos las propiedades de los átomos dividiéndolas en dos grupos: el de las propiedades **unificadoras**, que son las que pertenecen a todo átomo en igual grado y, por tanto, no distinguen a un átomo de otro; y el de las propiedades **diferenciadoras**, las cuales, aunque están presentes en todo átomo, varían en cierto grado de un átomo a otro, determinando la existencia de diferentes especies de átomos. Luego, consideraremos brevemente las restantes propiedades de los cuerpos que los átomos no poseen.

La propiedad unificadora principal de los átomos es la **inalterabilidad**. Todos los átomos son absolutamente inalterables. A diferencia de los cuerpos observables, no experimentan cambio alguno en sus propiedades, con excepción de su posición en el espacio. Los átomos son cuerpos sólidos infinitamente rígidos y, como tales, no pueden alterar su forma ni tamaño. Ello implica que no pueden imprimirse, ni expandirse, ni penetrarse de ningún modo. Resultan, entonces,

EL CONCEPTO CLASICO DE ATOMO

cuerpos indivisibles. La inalterabilidad de los átomos es, como se advierte en su característica fundamental, y de ella pueden derivarse las demás propiedades unificadoras, tales como la solidez, rigidez, impenetrabilidad e indivisibilidad. En efecto, en razón de su inalterabilidad los átomos clásicos no pueden concebirse como líquidos o gaseosos (pues, líquidos y gases varían su forma y su tamaño), sino sólo como sólidos; y, además, como sólidos rígidos y no elásticos (pues, los sólidos elásticos son alterables). Los átomos, entonces, deben ser sólidos infinitamente rígidos. De allí se sigue también su carácter indivisible e impenetrable. Los textos del atomismo antiguo suelen considerar a la **solidez** como la propiedad básica de los átomos (67 A 14; 68 A 43; 68 A 57; RN, I 483-550), caracterizándola como materia compacta y carente de vacío. En verdad, la solidez de los átomos puede identificarse con su inalterabilidad, si se supone que es una solidez que implica rigidez absoluta. Esta solidez implica la inalterabilidad de todas las cualidades primarias, como el tamaño y la forma. Pero como éstas son las únicas propiedades que los átomos poseen, la solidez equivale para ellos a la inalterabilidad. Sin embargo, esta inalterabilidad atómica no se identifica con la solidez en general, puesto que hay sólidos rígidos y elásticos, sino con la rigidez absoluta.

Las propiedades diferenciadoras de los átomos son la **forma**, el **tamaño** y el **peso** (EH, 54). Son también propiedades esenciales, puesto que todo átomo las posee en tanto que es un **cuerpo**. Sin embargo, no son las mismas para todos los átomos. No debe entenderse que pueden variar en un mismo átomo. Por el contrario, cada átomo posee para siempre una determinada forma, tamaño y peso, que son invariables. Pero estas propiedades no son las mismas para todos los átomos, pues, existen átomos de diferentes formas, tamaños y pesos. En cambio, no hay átomos más o menos rígidos o inalterables, sino que todos lo son igualmente en grado infinito. Las propiedades unificadoras no distinguen a los átomos entre sí, mientras que las propiedades diferenciadoras los separan en diferentes clases o especies.

La **forma** se presenta como la más importante de las propiedades diferenciadoras de los átomos. Demócrito admitía la existencia de **infinitas** formas y, por tanto, de infinitas clases de átomos (67 A 7; 67 A 8; 67 A 9; 68 A 38). La infinitud de las formas atómicas y la infinitud del número de átomos no fueron claramente relacionados por los primeros atomistas. Podría ocurrir que sólo hubiera un átomo de cada forma determinada, o bien dos o más, o bien infinitos átomos de cada forma. Todas estas posibilidades son compatibles con la existencia de un número infinito de átomos. La diversidad de formas establece diferencias entre clases de átomos, pero no determina el número de elementos de cada clase. Posteriormente, Epicuro introdujo la idea de que el número de formas atómicas es **finito**. El argumento que sustenta esta tesis sostiene que si las formas fueran infinitas, también el número de tamaños atómicos sería infinito. Esto es así, según el testimonio de Lucrecio, porque la forma de un átomo depende de la disposición de sus partes mínimas; y, puesto que el número de disposiciones posibles de un conjunto finito de estas partes es limitado, la variación de las formas también lo es. Una vez que se han agotado las disposiciones de un número dado de partes, la adquisición de una nueva forma atómica implica la adición de nuevas partes, las cuales, siendo extensas, aumentan el tamaño del átomo. En consecuencia, si hay infinitas formas atómicas, habrá átomos de tamaño infinitamente grande, formado

por infinitas partes mínimas (RN, II 478-499). Mas esto no es posible, según los atomistas, porque contradice a la experiencia, la cual muestra que no hay átomos macroscópicos (EH, 42-43). El argumento se vuelve un poco dudoso en cuanto advertimos que depende de la oscura noción de partes mínimas; no obstante, fue suficiente para que los atomistas limitaran el número de las formas atómicas. Así pues, adoptaron la idea de que el número de tales formas es incalculablemente grande, pero no infinito. Por su parte, el número total de átomos del universo se mantiene infinito. Lucrecio concluye de allí que el número de átomos de cada forma es infinito, para lo cual argumenta explícitamente (RN, II 522-268). Cada clase de átomos de una forma determinada tiene, pues, infinitos miembros⁷.

El **tamaño** es otra propiedad esencial de los átomos y es también una propiedad diferenciadora. Demócrito no sólo postuló la existencia de átomos de diferentes tamaños (67 A 14), sino que parece haber sostenido, aunque esto no es seguro, que existen infinitos tamaños, incluso átomos tan grandes como el universo entero (68 A 1; 68 A 47). Más tarde, Epicuro limitó los tamaños atómicos posibles: hay diversidad de tamaños, pero su número es finito. El tamaño posee un límite superior bien definido, como lo es el umbral de la percepción, que ningún átomo puede alcanzar. Los átomos son siempre entidades de tamaño microscópico (probablemente esta fuera también la posición de Demócrito; 68 A 37). La inexistencia de átomos macroscópicos está suficientemente atestiguada por la experiencia, según expresan a menudo los atomistas clásicos (EH, 55-57; RN, I 265-328). Con todo, podemos darnos cuenta de que esta conclusión sólo tiene un apoyo inductivo. Quizá los atomistas más antiguos no sostuvieron la imposibilidad conceptual de átomos de tamaño macroscópico. Sin embargo, la existencia de tales átomos es evidentemente imposible, pues, implicaría la presencia de cualidades secundarias en ellos. Un átomo perceptible debería poseer alguna cualidad secundaria, pero esto contradice la noción misma de átomo, la cual, por principio, excluye estas cualidades.

El **peso** es la última propiedad diferenciadora fundamental del átomo. Es una propiedad estrictamente asociada con el tamaño. En efecto, no puede haber diferencias de densidad entre los átomos, puesto que todos están hechos de la misma sustancia inalterable y no contienen porción alguna de vacío. Por ello, el peso debe ser función directa del tamaño, de modo que cuanto más grande sea un átomo, tanto mayor será su peso. Algunos testimonios atribuyen a Demócrito el haber concebido por primera vez a los átomos como dotados de peso, y con diferencias de pesos en relación con sus tamaños (68 A 60; 68 A 61; 68 A 135). Otros, por Epicuro (68 A 47). Parece, sin embargo, que desde el comienzo de la teoría atomista se consideró a los átomos como dotados de peso⁸. Sea como fuere, en el atomismo más desarrollado de Epicuro y Lucrecio, se afirma claramente que los átomos tienen peso, y se relaciona el peso con el movimiento atómico. Se piensa que el peso es la causa primaria del movimiento de los átomos. Todos los átomos en el vacío se mueven naturalmente hacia abajo y en línea recta a causa de su peso. Este movimiento espontáneo es, para los atomistas, una suerte de **caída libre** (EH, 43-44; RN, II 80-95; II 184-215).

La forma, el tamaño y el peso son las propiedades diferenciadoras esenciales de los átomos. La posesión de estas propiedades implica también la de otras como el

EL CONCEPTO CLASICO DE ATOMO

volumen y la masa, que pueden considerarse derivadas de las tres anteriores. Ninguna de las propiedades esenciales de los átomos, sean unificadoras o diferenciadoras, es una propiedad **relacional**. Por esta razón, las propiedades atómicas no cambian cuando se modifica la posición espacio-temporal de los átomos.

Las propiedades que los átomos no poseen son las llamadas cualidades secundarias de los cuerpos. Los atomistas mencionan explícitamente el **color, olor, sabor, sonido, y temperatura** (68 A 49; 68 A 135, extenso testimonio de Teofrasto; EH, 54-55; RN, II 730-864). La explicación que ofrece Epicuro de la carencia de estas cualidades sostiene que todas las cualidades cambian, mientras que los átomos mismos son permanentes y no cambian; luego, aquello que permanece no puede ser cualidad, sino, básicamente, forma y tamaño (EH, 54). Demócrito había negado la realidad de las cualidades secundarias, considerándolas como puramente subjetivas, y, por tanto, no pertenecientes a los cuerpos en sí mismos (68 A 1; 68 A 49). Epicuro, en cambio, sostuvo una posición menos radical: las cualidades secundarias no pertenecen a los átomos, pero sí a los cuerpos compuestos y macroscópicos; tales cualidades no son, entonces, irreales ni subjetivas (EH, 68-73). Así, según esta posición, las cualidades secundarias son propiedades reales de los cuerpos macroscópicos, pero no pertenecen a los átomos mismos. Son propiedades emergentes de un conjunto grande de átomos, es decir, de los cuerpos compuestos. Las partes elementales de un compuesto, sin embargo, no poseen las mismas propiedades que el todo que componen. Las propiedades como el color surgen como producto de las relaciones entre elementos que son en sí mismos incoloros. Todas las cualidades secundarias de los cuerpos se explican de una manera semejante por medio de las propiedades fundamentales de las partes elementales y de las relaciones entre éstas: por la forma, tamaño y peso de los átomos del compuesto, y por las relaciones espaciales que los átomos mantienen entre sí, es decir, por su orden y posición (67 A 6; 68 A 38; EH, 68-73; RN, II 1001-1021). Más adelante analizaremos con mayor detalle esta forma de explicación atomista.

El movimiento de los átomos

El **movimiento**, es decir, el cambio de posición espacio-temporal, es el único tipo de cambio que los átomos padecen. Todos los átomos están dotados de movimiento permanente y espontáneo. En el vacío infinito todos los átomos se mueven por sí mismos y de una manera azarosa. Tal parece ser la posición del atomismo primitivo. Por esta razón, Demócrito no determina la causa de este movimiento natural, pues, su teoría no lo requiere. Más bien parece que el movimiento es una propiedad connatural e inherente a los átomos que no necesita explicación. En este aspecto, el movimiento atómico es similar al movimiento inercial de los cuerpos en la física moderna. Algunos testimonios mencionan al peso como causa del movimiento de los átomos (67 A 6; 68 A 1; 68 A 58), aunque son tardíos y probablemente influidos por la teoría epicúrea posterior. No obstante, es probable que el peso haya sido considerado ya entonces como causa de las diferencias de velocidad entre átomos, de tal manera que los átomos pequeños y livianos se muevan más rápidamente que los grandes y pesados. En el atomismo primitivo el movimiento de los átomos no se concibe como una caída libre, sino como un movimiento caótico en todas direcciones. Este movimiento natural azaroso hace que los átomos choquen entre sí y reboten

debido a su rigidez, cambiando así su velocidad y su trayectoria (68 A 43; 68 A 49; 68 A 56). La colisión es, pues, la única causa de las modificaciones que experimenta el movimiento espontáneo de los átomos. Las colisiones entre los átomos se producen desde siempre; son tan eternas como los átomos mismos.

El atomismo posterior de Epicuro y Lucrecio introdujo varios cambios importantes en la teoría del movimiento atómico. Ante todo, el peso de los átomos se postula como la causa original de movimiento de éstos. Este movimiento se concibe, entonces, como una suerte de **caída libre en el vacío** (EH, 61; RN, II 80-85; II 216-250). El peso es, según estos atomistas, la tendencia natural de los cuerpos a moverse hacia abajo. Se advierte enseguida que esto es evidentemente problemático en un universo infinito, como el de los atomistas, donde no hay arriba ni abajo absolutos⁹. La dirección depende de cuál sea el marco de referencia que se considere como fijo. Podría sostenerse, sin embargo, que todos los átomos se mueven en una única dirección y que, convencionalmente, llamamos abajo en sentido absoluto a esta dirección (y sentido) del movimiento, y arriba al sentido opuesto en la misma dirección. Así se determinaría un abajo absoluto, pero éste tendría escasa relación con los arriba o abajo humanos (a menos que la Tierra se considerara plana, cosa que muy probablemente hicieron los atomistas antiguos).

Todo el atomismo antiguo acuerda en sostener que el **choque** es la única forma en que un átomo puede influir sobre el movimiento de otro. La interacción entre átomos se produce exclusivamente por **contacto directo** entre las masas atómicas. No existe para los atomistas ninguna fuerza continua que, a la manera de un campo, se trasmite entre átomos espacialmente distantes. Es suficiente que dos átomos estén separados por una mínima porción de vacío para que sea imposible toda la interacción entre ellos. Esta concepción excluye tanto la acción a distancia como la presencia de fuerzas continuas que actúen entre las entidades elementales. Los átomos sólo interactúan por choque. Los cuerpos compuestos que estén espacialmente separados, en cambio, no necesitan chocar directamente uno con el otro; pueden interactuar por medio de ciertos átomos que fluyen de un cuerpo a otro. De esta manera, la aparente acción a distancia entre cuerpos macroscópicos se reduce en el nivel microscópico al contacto directo de los átomos. el atomismo clásico no concibe ninguna fuerza como entidad mediadora entre los átomos, más aun, carece directamente del concepto de fuerza¹⁰.

Los átomos se mueven con una velocidad determinada. En su caída libre en el vacío, todos los átomos se mueven con igual velocidad cualquiera sea su forma, tamaño o peso. Esta velocidad es incommensurablemente grande, según los atomistas, puesto que el vacío es un medio que no ofrece resistencia alguna del movimiento¹¹. Al respecto, Epicuro afirma que el movimiento de los átomos es tan rápido como el pensamiento, mientras que Lucrecio dice que tiene una velocidad mayor que la de un rayo de luz solar (EH, 61; RN, II 161-164; IV, 206-208). Estas expresiones no nos dan una idea muy precisa de la magnitud, pero establecen que la velocidad de un átomo cayendo en el vacío es la **máxima** que puede alcanzar cualquier cuerpo. Dicha velocidad es **finita**, cosa que los atomistas reconocen explícitamente. Si no lo fuera, argumentan, un átomo alcanzaría lugares distantes de manera simultánea, y esto, según Epicuro, es absurdo (EH, 47). en efecto, ello significaría que un mismo átomo se encuentra al mismo tiempo en dos lugares

EL CONCEPTO CLASICO DE ATOMO

diferentes, quizá muy separados entre sí. Esto contradice, evidentemente, el concepto de partícula, es decir, el de una entidad localizada en una región más o menos pequeña y determinada del espacio.

Los choques no alteran la velocidad de los átomos. Los átomos son perfectamente indeformables y al chocar rebotan instantáneamente con la misma velocidad que tenían antes; la colisión sólo cambia su trayectoria o su entrelazamiento con otros átomos (RN, II 85-88). Tampoco el agregamiento o combinación de los átomos afecta su movimiento. Incluso cuando numerosos átomos engarzados entre sí forman un cuerpo sólido y denso, los átomos siguen moviéndose. El movimiento adquiere aquí la forma de una vibración dentro de límites estrechos, pero no modifica la velocidad (EH, 61-62; RN, II 95-111). Únicamente los cuerpos compuestos se mueven con diferentes velocidades, siempre menores que la de los átomos libres. El problema de la velocidad de los cuerpos compuestos se mueven con diferentes velocidades, siempre menores que la de los átomos libres. El problema de la velocidad de los cuerpos compuestos no tiene una solución rigurosa en el contexto del atomismo antiguo, pues, no había aún una mecánica teórica que permitiera explicarlo. Digamos simplemente que la velocidad de los compuestos resulta de la cancelación parcial de los impulsos de los átomos componentes que se mueven en diferentes direcciones¹². Por ejemplo, en un caso límite e idealmente simplificado, un cuerpo está en reposo cuando consta de igual cantidad de átomos idénticos en volumen, orientados en la misma dirección y moviéndose en sentidos opuestos (Lucrecio sugiere, sin embargo, que son los átomos mismos los que se hallan frenados por el choque o agregación; RN, II 153-156).

La concepción del movimiento atómico como caída libre y la concepción del choque como única forma de interacción atómica suscitan una dificultad en la teoría atomistas del movimiento. Si todos los átomos se mueven en el vacío verticalmente y a la misma velocidad, las trayectorias serán siempre paralelas y no habrá choques entre ellos, pues, un átomo nunca podrá alcanzar a otro. Puesto que el choque es la única manera en que los átomos pueden interactuar, se sigue de ellos que éstos nunca habrían podido reunirse para formar los cuerpos compuestos que se observan en el mundo. La dificultad podría eludirse apelando a la idea originaria de que los choques entre los átomos se producen desde siempre. De este modo, no habría que explicar como ocurrió la primera colisión. Sin embargo, en tal caso, la trayectoria vertical de los átomos cayendo en el vacío sería imposible, pues, por principio, dicha trayectoria se produce sólo en ausencia de toda colisión.

Es necesario algún arreglo en la teoría para conciliar la hipótesis de la caída de los átomos en línea recta y la velocidad constante con la de los choques atómicos. El epicureísmo, consciente de la dificultad, concibió aquí la conocida teoría de la **desviación** (παρέγκλισις; **clinamen**) de los átomos, su más famosa innovación. Esta consiste, según Lucrecio, en el hecho de que en un **tiempo y lugar indeterminados** los átomos se desvían un **mínimo** de su trayectoria vertical y se inclinan (RN, II 216-250). El mínimo de desviación debe concebirse como una inclinación igual a una unidad mínima de espacio respecto de la vertical. Esta inclinación mínima producirá necesariamente la colisión del átomo desviado contra otro cualquiera, por separados que estos se encuentren. En efecto, puesto que la distancia que pueden recorrer es infinita, en algún momento habrán de converger.

Las colisiones producen desviaciones mucho mayores en las trayectorias de los átomos y, de esta manera, se generan, tarde o temprano, choques múltiples en todas direcciones. Así, el movimiento de los átomos se vuelve caótico, como ya lo era desde siempre según el atomismo primitivo. La existencia del **clinamen** concede lugar a la posibilidad de que haya existido un primer choque entre átomos. Sin embargo, el atomismo se mantuvo adherido a la posición según la cual los choques atómicos se producen desde la eternidad (RN, I 1025; II 529-531; V 187-189; V 422-424). No hay incoherencia alguna en ello; implica simplemente que no hubo un primer **clinamen**¹³.

La teoría epicúrea del movimiento atómico se encuentra con dificultades al concebir el movimiento de los átomos en el vacío como una caída libre. Tales dificultades se originan en el hecho de que los atomistas no poseen una teoría adecuada del movimiento en caída libre. Conciben a la caída como una especie de movimiento uniforme, y, por ello, sostiene que la velocidad de los átomos es finita y **constante**. La idea de que todos los átomos caen en el vacío con la misma velocidad (un notable acierto de los atomistas) no determina si el movimiento de éstos es uniforme o acelerado, pues, es compatible con ambos. Actualmente sabemos que la caída libre es un movimiento acelerado, y, en consecuencia, los átomos no pueden caer en el vacío con velocidad constante. Hablando el lenguaje de los atomistas diríamos que los átomos que se hallan más abajo necesariamente tendrán una velocidad mayor que los que se hallan más arriba. Por otra parte, la velocidad finita que se atribuía a los átomos también se ve amenazada por el hecho de que los átomos caen a distancia infinita. A menos que se ajuste adecuadamente el factor de aceleración, de modo que disminuya con el tiempo, la velocidad de los átomos que caen se vuelve infinita. El movimiento a velocidad finita y constante que los atomistas atribuyeron a los átomos es propio del movimiento uniforme y no de la caída libre. Todas estas dificultades de la teoría atomista del movimiento no fueron advertidas con claridad, porque los conceptos de movimiento acelerado, peso y gravitación no eran todavía bien comprendidos¹⁴. Por otra parte es evidente que si se le juzga desde el punto de vista de la física moderna, la teoría del movimiento del atomismo primitivo resulta superior a la de Epicuro y Lucrecio. La idea de que los átomos se mueven espontáneamente en todas direcciones y de manera caótica está mucho más cercana a las teorías actuales del movimiento de las partículas que la concepción de la caída libre de los átomos propias del atomismo posterior.

Los atomistas clásicos caracterizaron al movimiento como una propiedad intrínseca de los átomos. No hay, pues, átomos en reposo. Sabemos, sin embargo, que el movimiento de un cuerpo es una propiedad relativa a un sistema de referencia que se considere como fijo. ¿Respecto de qué se mueven los átomos clásicos? Si tenemos dos átomos cayendo en el vacío separados por una distancia pequeña, éstos se hallarán en reposo uno respecto de otro. En un caso ideal, todos los átomos del universo podrían encontrarse en tal situación. Además, si el universo sólo hubiera un único átomo en medio del espacio vacío ¿respecto de qué se movería? Los atomistas del período clásico no se plantearon estos problemas acerca de la relatividad del movimiento, sino que parecieron considerar al movimiento atómico como una especie de movimiento absoluto. En cuanto tal, el movimiento de los átomos debe entenderse, dentro del esquema atomista, como un movimiento respecto del

EL CONCEPTO CLASICO DE ATOMO

vacío absoluto. Deberíamos inferir, entonces, que todo átomo se mueve en relación con el espacio vacío, aunque los escritos atomistas no lo afirmen explícitamente.

Podemos intentar resumir ahora lo esencial de la ontología del atomismo clásico en unas pocas frases que enuncian las propiedades esenciales de los átomos. Las únicas sustancias del universo son los átomos y el vacío, las cuales son infinitas y eternas. Los átomos son corpúsculos o partículas materiales que poseen las siguientes propiedades: a) son completamente inalterables y, en consecuencia, sólidos infinitamente rígidos y físicamente indivisibles; b) tienen forma, tamaño, peso, volumen y masa determinados e invariables en cada átomo; tales propiedades pueden variar, limitadamente, de un átomo a otro; c) están formados por dos o más partes mínimas, que son físicamente inseparables; d) están dotados de movimiento permanente y espontáneo, moviéndose con velocidad constante respecto del vacío siguiendo trayectorias definidas, rectilíneas, pero pueden desviarse mínimamente de ellas por azar; f) poseen una localización precisa y determinada en el espacio y el tiempo; g) sólo pueden interactuar por contacto directo o choque; h) carecen de cualquier otra propiedad de los cuerpos macroscópicos (color, olor, sabor, temperatura, etc.).

El carácter teórico de los átomos

Después de haber analizado las propiedades fundamentales de los átomos resulta interesante plantear el problema de por qué se les han adjudicado precisamente esas propiedades. Una respuesta posible es la que apela a la **analogía**. Puesto que los átomos son cuerpos microscópicos puede suponerse que la postulación de las propiedades atómicas se basa en una analogía con las propiedades de los cuerpos macroscópicos. El propio Epicuro hace uso de la analogía al discutir el concepto de las partes mínimas comparando lo mínimo en el átomo con lo mínimo en la sensación. (EH 58). Además autoriza explícitamente el empleo de la analogía y la extrapolación de propiedades al ámbito de lo inobservable cuando se trata de determinar las propiedades de los átomos. Así por ejemplo afirmar que el átomo tiene tamaño es hacer una analogía con las cosas perceptibles analogía que se realiza según Epicuro proyectando lo grande en lo pequeño (EH 59) es decir concibiendo a los átomos como algo semejante a los cuerpos macroscópicos. A partir de estas observaciones podría pensarse que lo mismo ocurre con las demás propiedades de los átomos. En consecuencia todas las propiedades atribuidas a las entidades microscópicas tendrían un origen más o menos empírico y su proyección al ámbito de los inobservable estaría sustentada en la analogía de los cuerpos macroscópicos.

Esta interpretación basada en la analogía me parece errónea. Contrariamente a ésta considero que la postulación de las propiedades esenciales de los átomos constituye una hipótesis fundamentalmente teórica en el atomismo clásico. Las propiedades esenciales de los átomos se establecen sin relación directa con la experiencia sensible. El hecho de que los átomos tengan forma tamaño y peso se sigue simplemente del hecho de que son cuerpos y de que es inconcebible que exista un cuerpo sin estas propiedades. La variedad finita de formas y tamaños que se adjudica a los átomos tiene como fin hacer posible la explicación de la multiplicidad de propiedades fenoménicas de los cuerpos macroscópicos. El movimiento espontáneo y permanente de los átomos por su parte se postula para dar cuenta de los incesantes

cambios que experimentan los cuerpos. En la determinación de todas estas propiedades el empleo de analogías con entidades perceptibles tiene una función puramente heurística pero no resulta esencial. Con frecuencia es necesario limitar la analogía o bien suprimirla del todo. Más aun, el postulado de que los átomos carecen de cualidades esenciales se halla en explícita oposición con cualquier analogía fundada en la percepción puesto que es evidente que no es posible percibir un cuerpo sin estas cualidades. Ni siquiera por medio del tacto el sentido fundamental para los atomistas se accede a las cualidades primarias puras ya que mediante éste se perciben también la temperatura y otras cualidades secundarias¹⁵.

La idea de que los átomos poseen únicamente cualidades primarias representa una elección consciente de los antiguos atomistas que se funda en el hecho de que tales cualidades tienen **mayor** poder explicativo para dar cuenta de los cambios que se observan en los cuerpos (esto lo reconoce claramente Lucrecio en RN I... 757-765). Por supuesto el atomismo clásico como teoría acerca del mundo se propone explicar los fenómenos pero lo hace de una manera original y audaz postulando la existencia de ciertas entidades que tienen un carácter muy diferente del de los cuerpos macroscópicos. Los átomos son cuerpos sin cualidades sensibles. En ello consiste su potencia explicativa puesto que no tienen cualidades secundarias pueden explicar la presencia o ausencia de tales cualidades en los cuerpos observables.

La explicación atomista.

El atomismo clásico es una teoría típicamente **reduccionista**, en tanto trata de explicar la multiplicidad enorme de entidades propiedades y cambios fenoménicos a partir de un número reducido de tipos de entidades básicas cuyas propiedades no cambian. El reduccionismo atomista es de naturaleza ontológica pues simplifican las sustancias del universo reconociendo sólo dos átomos y vacío. No reduce sin embargo el número de individuos existentes puesto que admite infinitos átomos. Las entidades básicas son pues probablemente tantas como los fenómenos mismos pero estas son más simples porque sólo poseen algunas de las propiedades de los fenómenos. Los atomistas comprendieron desde el comienzo que las entidades básicas o elementos de todas las cosas no puede poseer las mismas propiedades (al menos todas ellas que las totalidades compuestas que han de ser explicadas. En caso contrario la explicación de los fenómenos sería vacua. En efecto de poco sirve decir por ejemplo que los cuerpos rojos se componen de corpúsculos rojos. No consideraríamos que esto proporcione explicación alguna del color rojo. las propiedades explicadas como el color de los cuerpos no pueden pertenecer a los elementos explicativos pues de otro modo la explicación se vuelve circular. No obstante los elementos deben poseer alguna propiedad. Es necesario hacer una elección.

Toda explicación debe elegir algunas propiedades básicas que no se explican. Los atomistas mediante una decisión teórica adoptaron sólo las propiedades primarias como esenciales y explicativas de los demás. Consecuentemente postularon los átomos como cuerpos desnudos de cualidades secundarias porque consideraron que ello hacía posible una mejor explicación de los fenómenos. Podrían haber optado por la teoría inversa considerando como básicas las cualidades secundarias y como derivadas a las primarias. Habría que explicar entonces las propiedades de los cuerpos macroscópicos por medio de elementos inextensos

EL CONCEPTO CLASICO DE ATOMO

carentes de forma y tamaño pero dotadas de cualidades sensibles. Es evidente la dificultad de desarrollar este tipo de explicación sin embargo no es imposible y podría haber sido una opción teórica. La idea de que existan entidades sin forma ni tamaño pero coloreadas no es menos paradójica que la de que haya entidades extensas pero carentes de color.

La explicación atomista se comprende claramente como una forma particular de reduccionismo tanto respecto de las entidades como de sus propiedades. Esta forma de explicación hace uso de dos principios fundamentales de reducción. En primer lugar el **principio de micro-reducción** según el cual las propiedades de un todo se explican por medio de las propiedades de sus partes. En segundo lugar el **principio de reducción de propiedades**, de acuerdo con el cual las partes no pueden poseer las mismas propiedades que el todo que ellas han de explicar¹⁶. Ambos principios requieren limitación en su explicación pues si se aplican irrestrictamente conducen a situaciones paradójicas o poco deseables. El principio de micro-reducción implica explicar lo grande por medio de lo pequeño descendiendo del nivel de un compuesto al de sus partes componentes pero puede conducir a una regresión al infinito en el campo de lo microscópico si todas las entidades se conciben como compuestas. La limitación de este principio consiste en postular entidades simples que no pueden descomponerse en partes y analizarse explicando el mismo principio. Por su parte el principio de reducción de propiedades implica que a medida que se desciende en el nivel de lo microscópico las entidades poseen cada vez menos propiedades pero si se lo aplica sin restricciones desemboca en la paradoja de tener que admitir ciertas entidades que carecen de toda propiedad. En efecto si las partes que explican una propiedad determinada de un compuesto no pueden poseer esa propiedad las entidades que expliquen todas las propiedades de todos los compuestos no podrían poseer ninguna propiedad. La manera de evitar esta consecuencia consiste en determinar un conjunto de propiedades básicas que no sean explicadas ulteriormente por otras propiedades. Así la existencia de entidades simples limita la aplicación del principio de micro-reducción mientras que la existencia de propiedades fundamentales limita la aplicación del principio de reducción de propiedades.

Los atomistas clásicos adoptaron conscientemente ambas limitaciones de los principios de reducción postularon los átomos como entidades físicamente simples y la forma el tamaño el peso y el movimiento como propiedades básicas de esas entidades simples. de este modo se hallaron en condiciones de ofrecer una explicación reductiva de los cuerpos macroscópicos y sus propiedades fenoménicas sin recaer en consecuencias paradójicas o autodestructivas. Algunas de esas explicaciones atomistas nos parecen a la distancia de muchos siglos excesivamente ingenuas o arbitrariamente especulativas ¹⁷. Sin embargo ello no afecta los indudables méritos ni la enorme influencia que los átomos de explicación y reducción atomista han tenido.

La visualización de los átomos

El concepto clásico de átomo se asocia frecuentemente con la posibilidad de representación sensorial. Así suele decirse que todas las formas de atomismo clásico

tienen en común el hecho de admitir modelos **visuales y táctiles** como forma de representación de los átomos y de sus relaciones. Basta para ello imaginar un agregado de esferas pequeñísimas pero extensas que se mueven y chocan entre sí¹⁸. Esta interpretación tiene aspectos inadecuados que pueden inducir a error. en efecto si los átomos carecen de cualidades secundarias entonces no pueden ser visualizables. No es posible por ejemplo hacer una representación pictórica de aquello que no tiene color. Los átomos clásicos no son en consecuencia susceptibles de representación en el sentido de una imagen fotográfica o pintura ¹⁹. El precio que debe pagarse por la decisión teórica de explicar las cualidades sensibles es la imposibilidad de visualización estricta de las entidades fundamentales. Los átomos son cuerpos muy diferentes de los cuerpos perceptibles. No son invisibles a causa de su tamaño minúsculo sino que los son por principio no pueden ser vistos porque carecen de las propiedades necesarias para ello.

Los átomos clásicos no escapan sin embargo a toda forma de representación visual. Aunque no admiten la imagen fotográfica es decir la representación pictórica son susceptibles de una **representación geométrica**. las propiedades primarias en general son por cierto las que han estado tradicionalmente asociadas con las construcciones gráficas de la geometría (euclidiana al menos). Nada impide pues la realización de modelos visuales que representen **en escala** las propiedades atómicas. Los átomos clásicos poseen forma tamaño localización precisa y trayectorias bien definidas todo lo cual puede representarse por medio de un modelo geométrico visualizable. Dicho modelo se interpreta de una manera realista en la que cada aspecto del modelo tiene una correspondencia estricta con la realidad. La forma tamaño y movimiento de los átomos ser representan mediante diagramas geométricos que reproducen en una escala macroscópica las propiedades reales de los elementos microscópicos. Sin duda el modelo geométrico posee algunos aspectos inexactos que deben ser despreciados o idealizados como por ejemplo el color y la anchura de las líneas del dibujo. Pero esto mismo ocurre con la representación gráfica de cualquier entidad geométrica de una dos o tres dimensiones espaciales (anchura de las líneas imperfecciones de los perímetros y las superficies etc.). Un cuerpo tridimensional como un cubo geométrico sin embargo no se resuelve irrepresentable por estas razones. La representación geométrica de un átomo clásico no es menos exacta que la de un cubo. En cambio un objeto de cinco o diez dimensiones espaciales es imposible de representar visualmente incluso en principio. Los átomos clásicos no se encuentran en tal situación si bien no admiten la representación pictórica no son imposibles de representar puesto que se los puede visualizar por medio de representaciones gráficas de tipo geométrico.

La representación geométrica de los átomos hace posible también la construcción de **modelos icónicos** tales como los de bolas y varillas para los átomos y moléculas que aún se emplean como recurso pedagógico. Tales modelos físicos requieren un mayor grado de idealización que las representaciones gráficas y en tal sentido son menos literales o realistas que éstas. En los modelos icónicos del átomo clásico tales como el del átomo como sistema planetario se debe hacer abstracción del material que compone sus piezas de su peso densidad color y muchos otros factores. También es más difícil representar los fenómenos en escala por ejemplo las distancias de los átomos entre sí o de los electrones respecto del núcleo.

EL CONCEPTO CLASICO DE ATOMO

Con todo este tipo de modelo físico es posible en el contexto del atomismo clásico aunque tenga limitaciones. Por lo demás todo modelo icónico requiere la abstracción de numerosos elementos del objeto modelo y sólo puede ofrecer una representación parcial del objeto real modelado. Por esta razón es precisamente un modelo y no una pintura. La construcción efectiva de representaciones gráficas o modelos icónicos de sus objetos no es sin embargo un rasgo esencial de las teorías físicas sustentadas en la ontología del concepto clásico de átomo. Estas en cuanto teorías podrían prescindir de toda representación visual y utilizar sólo representaciones simbólicas matemáticas o conceptuales en general. En cambio la **posibilidad** de representación geométrica de sus objetos es esencial para la concepción clásica del átomo y revela un rasgo importante de la ontología corpuscular tradicional el hecho de que estos objetos tan peculiares los átomos, aunque son inobservables no se hallan tan lejos de la intuición sensible ya que comparten algunos de los atributos de las entidades perceptibles. De este modo los átomos pueden conservarse como entidades aún familiares para la comprensión inmediata²⁰

Pervivencia y superación del atomismo clásico

El concepto clásico de átomo mantuvo su vigencia con múltiples ajustes y variantes hasta el primer cuarto de siglo veinte²¹. A través de su larga historia conservó dos caracteres esenciales la posesión de propiedades primarias y la capacidad de ser representado visualmente por medio de modelos geométricos. Un átomo es siempre un objeto tridimensional y en cuanto tal su representación geométrica no difiere esencialmente de la representación geométrica de un cuerpo macroscópico o incluso de la de grandes regiones del cosmos. Desde el punto de vista de esta clase de representación sólo hay una diferencia en el tamaño de las entidades diferencia que se refleja en la escala de representación. Un ejemplo bastante claro de esto lo constituye el conocido modelo atómico de E. Rutherford según el cual el átomo se representa como un pequeño sistema planetario formado por un núcleo reducido y denso rodeado de electrones que giran en órbita a su alrededor. Este modelo formulado en 1911 se encuadra claramente dentro de la concepción clásica del átomo. El hecho de que el átomo haya sido dividido hacia finales del siglo diecinueve es del todo inessential y sólo prueba que las entidades hasta entonces llamadas átomos tenían un nombre erróneo puesto que no eran cuerpos simples sino compuestos. Los protones y electrones las partículas consideradas elementales cuando se formuló el modelo planetario del átomo se corresponde bien con los átomos clásicos y comparten aún las propiedades fundamentales de éstos.

El modelo atómico de N. Bohr propuesto en 1913 todavía se halla en gran medida bajo los conceptos del atomismo clásico pese al carácter extraño que para la física clásica tenían las ideas de cuantización de la energía y del momento angular empleadas por Bohr. Cuando los conceptos de energía y de momento angular discretos se combinan con el modelo de representación planetaria del átomo resulta una contraintuitiva idea de **salto cuántico**. Las órbitas permitidas de los electrones que giran alrededor del núcleo corresponden a determinados niveles de energía y a determinados radios de las órbitas que pueden deducirse de las fórmulas de cuantización y de ciertas constantes fundamentales. La transición de una órbita a otra sólo puede hacerse instantáneamente ya que los niveles intermedios entre

órbitas permitidas no pueden ser ocupados por los electrones. El salto cuántico es un movimiento discreto del electrón que pasa de una órbita determinada a otra de radio mayor o menor acompañado de la absorción o emisión de un cuanto de energía electromagnética o sea un fotón). Este hecho sólo es representable en el espacio y el tiempo como un movimiento instantáneo de un lugar a otro. Para la física clásica esto era inexplicable pues concebía al movimiento como continuo. No obstante el concepto de salto cuántico encaja perfectamente en el marco del atomismo clásico más evolucionado el cual considera según se ha visto antes que el espacio el tiempo y el movimiento atómico son discretos. El modelo atómico de Bohr no incluía estos presupuestos pero fue el último de los modelos atómicos visualizables que conserva nociones básicas del atomismo clásico. A su vez representa una etapa de transición la llamada antigua mecánica de los cuantos que culminará con la crisis del concepto clásico de átomo.

El surgimiento de la mecánica cuántica señala el comienzo de un cuestionamiento profundo del atomismo que obliga a revisar todos sus conceptos esenciales²². Si bien se conserva incluso hasta nuestros días el nombre de **partículas elementales** para las entidades básicas que componen toda la materia se hace progresivamente claro que los conceptos clásicos de partícula o corpúsculo son inapropiados para explicar el comportamiento de estas entidades y poco compatibles con las leyes cuánticas. En nuestra concepción actual que no es posible analizar aquí²³ las entidades básicas no sólo tienen propiedades nuevas sino que carecen de la mayoría de las propiedades esenciales de los átomos clásicos. Ante todo éstas no son inalterables ya que pueden cambiar algunas de sus propiedades (por ejemplo un quark puede cambiar su carga de color). Tampoco son eternas pues muchas partículas elementales se desintegran espontáneamente en un tiempo muy breve (por ejemplo el muón y el tauón). Además pueden crearse y aniquilarse de acuerdo con ciertas leyes de conservación. No se les puede adjudicar siempre una posición determinada ni se mueven siguiendo trayectorias precisamente definidas. Finalmente parecen evidenciar un comportamiento no local que es manifiestamente incompatible con la acción por contacto de los átomos clásicos.

El comportamiento de las llamadas partículas elementales es tal que ya no resulta fácil atribuirles cualidades primarias tales como la forma y el tamaño. El concepto mismo de elementalidad cambia y se hace relativo a la escala de observación en razón de que las partículas muestran caracteres complejos en cualquier escala en que se analice su comportamiento²⁴. La posibilidad de representación visual de las partículas elementales se desvanece en ausencia de cualidades primarias y sólo permanece la representación abstracta de los modelos matemáticos. Los modelos puramente teóricos reemplazan entonces a los modelos visualizables. La representación gráfica de las partículas elementales sólo puede utilizarse instrumentalmente y con un acentuado carácter ficticio²⁵. Esta imposibilidad de representación geométrica y consiguientemente de cualquier descripción en el espacio-tiempo es un indicio claro de que el concepto clásico de átomo se ha desvanecido. Esta somera descripción de la situación actual en el campo de la física fundamental es suficiente para advertir que es todo el marco conceptual del atomismo clásico el que ha sido ampliamente sobrepasado²⁶. Cuál sea el nuevo modelo ontológico que haya de reemplazarlo es algo que aún no está claro. La

EL CONCEPTO CLASICO DE ATOMO

superación del tradicional paradigma corpuscular ha resultado un proceso complejo y difícil. La revolución conceptual que implica la transformación e incluso la disolución del concepto clásico de átomo todavía se está operando y es motivo de debate.

**CONICET, Universidad de Buenos Aires

Notas

1. Estas fuentes son a) los testimonios sobre Demócrito a quien no distinguiremos de Leucipo en especial los de Aristóteles y Teofrasto citados según la edición de Diels-Kranz y abreviados por el número que llevan en esta edición b) **La Epístola a Herodoto** de Epicuro abreviada EH y citada según la numeración que tiene en Diógenes Laercio conservada por todos los editores y c) el **De rerum natura** de Lucrecio abreviado RN y citado por el libro y número de verso. No haré citas textuales de estas fuentes las cuales incrementarían excesivamente la extensión de este trabajo. En general daré prioridad al atomismo de Epicuro y Lucrecio más preciso y desarrollado sobre el atomismo primitivo. La obra de Bailey (1928) es la exposición básica de todo el atomismo griego y aún es indispensable aunque ha envejecido en muchos aspectos. Una exposición clara y completa de Leucipo y Demócrito se halla en Guthrie (1965) pp. 382-507. Una síntesis más actualizada del atomismo primitivo es la de Furley (1987) esp. pp. 115-168. La obra de Lon y Sedley (1987) contienen una útil selección de textos comentados acerca de la ética epicúrea (cfr. esp. vol. I pp. 25-78 y vol. II pp. 18-83). Sobre aspectos específicos acerca de Epicuro y Lucrecio se dan más referencias en las notas subsiguientes.
2. Sobre este punto cfr. Avotnis (1983) Furley (1969) y en un contexto más general Furley (1981). Epicuro argumenta (EH 57) que un cuerpo no puede estar formado por infinitos átomos porque puesto que éstos tienen un tamaño finito el tamaño del compuesto será infinito. El argumento es válido sólo bajo el supuesto admitido por el atomismo clásico de que el tamaño de los átomos no es infinitesimalmente pequeño sino que hay un tamaño mínimo y finito.
3. Esta teoría del vacío es el resultado de un largo desarrollo conceptual [cfr. Solmsen (1977) pp. 264-269 Inwood (1981) y Sedley (1982)].
4. Estos argumentos evidentemente no refutan la concepción de la realidad como un continuo pues no prueban que la multiplicidad y el movimiento macroscópicos sean reales y no aparentes. de hecho la física continuista fue el rival histórico del atomismo clásico (cfr. en general Sambursky (1956) pp. 132-157) e inauguró una tradición que se extiende hasta nuestros días en las teorías de campo. Atomismo y continuismo son dos ontologías diferentes acerca del mundo físico ((cfr. la interesante comparación sistemática entre ambas es Hooker (1974)).

Alejandro CASSINI

5. Un análisis textual comparado de los correspondientes pasajes de Epicuro y Lucrecio se encuentra en Mau (1954 b) pp. 27-47 y Furley (1967) pp. 7-43. El concepto de partes mínimas tiene una larga historia posterior [cfr. Van Melsen (1960) pp. 58-77 y Konstan (1982)].
6. El filósofo megárico Diodoro Crono había planteado algunas dificultades de la teoría del movimiento discreto (cfr. Sexto Empírico, *Adv. Math.*, 85-101 = Döring 123). Esto muestra que el tema era objeto de discusión fuera del epicureísmo y seguramente antes.
7. El hecho de que existan infinitos átomos en el universo sólo implica que **alguna** clase de átomos de cierta forma tenga infinitos miembros pero no que todas las clases sean infinitas. Lucrecio apela a un argumento muy sutil para probar que es indispensable que el número de átomos de cada forma sea infinito (RN I... 541-568). Se basa para ello en el llamado principio de **isonomía** según el cual los átomos se hallan distribuidos de manera más o menos uniforme en el espacio infinito. Los átomos de las especies finitas se hallarían entonces tan dispersos y separados entre sí que no podrían reunirse para formar compuestos. Este argumento merece un examen detallado incluso a la luz de la cosmología moderna pero eso excede las posibilidades de este trabajo.
8. O'Brien (1981) esp. pp. 330-346 ha analizado en profundidad todos los testimonios conservados y ha llegado a la conclusión de que en Leucipo y Demócrito los átomos poseen peso en función de su tamaño y de que probablemente el peso fue relacionado con el movimiento ya en el atomismo primitivo.
9. Epicuro es particularmente oscuro en este punto (EH 60). Sobre este problema cfr. Mau (1954a) pp. 20-24 y Konstan (1972).
10. Al no admitir fuerzas que liguen a los átomos entre sí el atomismo antiguo se encuentra en dificultades para explicar de qué manera se mantienen juntos los átomos de un compuesto. La idea de que los átomos se enganchan entre sí (literalmente por medio de pequeños ganchos) es sin duda insuficiente pero es la única respuesta admisible para el esquema teórico del atomismo griego.
11. La vinculación entre la velocidad de un cuerpo en caída libre y la densidad del medio es una doctrina típicamente aristotélica (cfr. *Phys.* IV 8). Aristóteles sostuvo que la velocidad de un cuerpo que cae es inversamente proporcional a la densidad o a resistencia del medio y utilizó esta ley como argumento contra la existencia del vacío. Su argumentación era que en un medio de densidad nula como el vacío la velocidad de cualquier cuerpo en caída libre sería infinita pero como esto es absurdo se concluye que no puede haber vacío (cfr. *Phys.* IV 8 215 a 22 - 215 b 22). Esta teoría acerca del movimiento en el vacío fue muy criticada ya en la antigüedad [cfr. Sorabji (1989)].
12. Una formulación más precisa diría que el momento lineal de un cuerpo es igual a la suma vectorial de los momentos de sus átomos componentes (teniendo en cuenta que la velocidad de un átomo en el vacío es un límite que ningún cuerpo pueda superar por lo que desempeñaría en la dinámica atomista un papel similar al de la constante *c* en la dinámica relativista). Los antiguos atomistas no conocieron por supuesto el concepto de impulso o momento. Sin embargo la idea imprecisa por cierto de que el movimiento

EL CONCEPTO CLASICO DE ATOMO

- global de un compuesto es el resultado de la combinación de los movimientos en diferentes direcciones de sus átomos componentes es básicamente correcta.
13. La cosmología atomista consiste en explicar cómo se ha formado el mundo a partir de las colisiones entre los átomos producidas al azar. Los detalles de esta cosmología antiteleológica no son siempre claros [cfr. Bailey (1928) pp. 359 y ss. y Long (1977)]. La teoría de la desviación atómica también se relaciona como se sabe con el problema del libre albedrío. Esta conexión es particularmente oscura (cfr. Furley (1967), pp. 161 y ss.).
 14. La dificultad no es propia del atomismo sino de todo el pensamiento antiguo [cfr. Sambursky (1962) pp. 117-134]. El concepto de caída libre tiene un lento y complicado desarrollo desde Aristóteles hasta Galileo y Newton.
 15. Aquí se plantea la dificultad de que la definición misma de cuerpo según los atomistas contiene un rasgo sensible la tangibilidad. Para resolver este problema es necesario interpretar a la tangibilidad de los átomos como resistencia pero no al tacto sino a la penetración por parte de otros átomos. De este modo la tangibilidad resulta una propiedad derivada de la inalterabilidad atómica y no implica la presencia de una cualidad sensible en el átomo.
 16. Estos principios de reducción se analizan en Brittan (jr.) (1970). Sobre los límites de la explicación científica en general [cfr. Achinstein (1983), pp. 291-321].
 17. Por ejemplo la explicación detallada de los diversos sabores y colores de los cuerpos en función de la forma de los átomos que los componen (68 A 135).
 18. Cfr. Capek (1961), pp. 94 y ss.
 19. N.R. Hanson ha insistido con razón en este punto (cfr. Handon (1958) pp. 230-243 y también Noren (1973)]. La representación pictórica o fotográfica de objetos por su parte no está exenta de dificultades conceptuales [cfr. Black (1972)].
 20. Todo esto vale evidentemente sólo para una concepción realista de la teoría atómica tal como la del atomismo antiguo. Para una concepción instrumentalista los átomos son meras ficciones útiles y en consecuencia el problema de la visualización no es relevante pues no hay objetos reales para representar. No obstante la función heurística y pedagógica de los modelos visuales icónicos o analógicos es independiente de si tales modelos se interpretan de una manera realista o instrumentalista. El atomismo del siglo pasado produjo un intenso debate entre realistas e instrumentalistas resultado en favor del realismo mientras que en nuestro siglo la teoría cuántica de las partículas es objeto de una confrontación mucho mayor aún irresuelta [cfr. respectivamente Gardner (1979) y Brush (1980)].
 21. Para una historia general del concepto del átomo cfr. Van Melsen (1960). La sección dedicada al siglo veinte en esta obra es muy breve y está ya desactualizada. Para una historia amplia y completa de la física de partículas en nuestro siglo cfr. Ne'eman-Kirsh (1987); y también Crozon (1987) y Trefil (1980).

22. Sobre los aspectos conceptuales y filosóficos de la mecánica cuántica cfr. Selleri (1985) Rae (1986) y Gibbins (1987) entre muchos otros.
23. Cfr. la excelente visión de conjunto que ofrecen Cohen- Tannoudji y Spiro (1990).
24. [Cohen-Tannoudji y Spiro (1990), pp. 293-298].
25. Esto ha sido señalado reiteradamente por Heisenberg (1959) pp.(cfr. también Hanson (1958) pp. 236 y ss. acerca de la carencia de propiedades primarias de las partículas elementales). La visualización de las entidades básicas fue un tema de discusión importante en los orígenes de la mecánica cuántica (cfr. Miller (1979) es muy discutible la tesis del autor según la cual la visualización fue recuperada después de la interpretación probabilística de M. Born).
26. Sobre las dificultades del concepto de partícula en la física actual cfr. Shrader-Frechette (1977) trabajó algo envejecido en los detalles. Existe indudable consenso en el hecho de que actualmente "se está lejos de la concepción atomista de los griegos de la Antigüedad" (Cohen-Tannoudji y Spiro (1990) pp. 297). Resulta entonces difícil saber por qué se persiste en el concepto de partícula y del lenguaje corpuscular.

Referencias bibliográficas

- Achinstein, P. (1983) **The Nature of Explanation**, New York, Oxford University Press.
- Aristóteles (1966) **Physica**, ed. W.D. Ross, Oxford, Clarendon Press.
- Avotnis, I. (1983) "On Some Epicurean and Lucretian Arguments for the Infinity of the Universe", **Classical Quarterly**, **33**, p. 421-427.
- Bailey, C. (1928) **The Greek Atomists and Epicurus**, Oxford, Clarendon Press.
- Black, M. (1972) (1983) "¿Cómo representan las imágenes?, en: M. Mandelbaum (ed.) **Arte, percepción y realidad**, Barcelona, Paidós.
- Brittan, G.G. (Jr.) (1970) "Explanation and Reduction", **Journal of Philosophy** **67**, p. 446-457.
- Brush, S. (1980) "The Chimerical Cat: Philosophy of Quantum Mechanics in Historical Perspective", **Social Studies of Science** **10**, p. 293-347.
- Capek, M. (1961) (1965) **El impacto filosófico de la física contemporánea**, Madrid, Tecnos.
- Cohen-Tannoudji, G. & Spiro, M. (1990) **La matière-espace-temps**, Paris, Gallimard.
- Crozon, M. (1987) **La matière première**, Paris, Fayard.
- Diels, H. & Kranz, W. (1951-52) **Die Fragmente der Vorsokratiker**, 6 ed., Berlín, Weidmaunche, 3 vols..

EL CONCEPTO CLASICO DE ATOMO

- Döring, K. (1972) **Die Megariker. Kommentierte Sammlung der Testimonien**, Amsterdam, Grüner.
- Epicuro, (1973) **Opera**, ed. G. Arrighetti, Torino, Einaudi.
- Furley, D. (1967) **Two Studies in the Greek Atomists**, Princeton, Princeton Univ. Press.
- Furley, D. (1969) "Aristotle and the Atomists on Infinity", en: I. Düring (ed.) **Naturphilosophie bei Aristoteles und Theophrast**, Heidelberg, p. 85-96.
- Furley, D. (1981) "The Greek Theory of the Infinite Universe", **Journal of the History of Ideas**, 42, p. 571-585.
- Furley, D. (1987) **The Greek Cosmologists, I: The Formation of the Atomic Theory and its Earlier Critics**, Cambridge, Cambridge University Press.
- Gardner, M.R. (1979) "Realism and Instrumentalism in the 19th Century Atomism", **Philosophy of Science** 46, p.1-34.
- Gibbins, P. (1987) **Paricles and Paradoxes. The Limits of Quantum Logic**, Cambridge, Cambridge U.P..
- Hanson, N.R. (1958) **Patrones de descubrimiento**, Madrid, Alianza.
- Heisenberg, W. (1959) **Physics and Philosophy**, London, Allen & Unwin.
- Hooker, C.A. (1974) "The Metaphysics of Science. Atoms versus Plena", **International Logical Review** 9, p. 111-146.
- Inwood, B. (1981) "The Origins of Epicurus Concept of Void", **Classical Philology** 76, 273-285.
- Konstan, D. (1982) "Ancient Atomism and its Heritage: Minimal Parts", **Ancient Philosophy** 2, p. 60-75.
- Long, A.A. & Sedley, D. (1987) **The Hellenistic Philosophers**, Cambridge, Cambridge U.P., 2 vols..
- Lucrecio, **De rerum natura**, ed. C. Bailey, Oxford, Clarendon Press, 3 vols..
- Mau, J. (1954a) **Zum Problem des Infinitesimalen bei den Antiken Atomisten**, Berlin, Akademie-Verlag.
- Miller, A.I. (1979) "Visualization Lost and Regained: The Genesis of the Quantum Theory in the Period 1913-1927", en: J. Wechsler, (ed.), **Aesthetics in Science**, Cambridge, Mass., MIT Press, P. 73-102.
- Ne'eman, Y & Kirsh, Y. (1987) **The Particle Hunters**, Cambridge, Cambridge Univ. Press.
- Noren, S.J. (1973) "The Picturability of Micro-Entities", **Philosophy of Science** 40, p. 234-241.

- O'Brien, D. (1981) **Theories fo Weight in the Ancient World. I: Democritus on Weight and Size**, Paris-Leiden, Les Belles Lettres-Brill.
- Rae, A.I.M. (1986) **Quantum Physics: Illusion or Reality?**, Cambridge, Cambridge Univ. Press.
- Sambursky, S. (1956) **The Physical World of the Greeks**, London, Routledge and Kegan Paul.
- Sambursky, S. (1962) (1970) **El mundo físico a fines de la antigüedad**, Buenos Aires, Eudeba.
- Sedley, D. (1982) "Two Conceptions of Vacuum", **Phronesis** 27, p. 175-196.
- Selleri, F. (1985) (1986) **El debate de la teoría cuántica**, Madrid, Alianza.
- Shrader-Frechette, K. (1977) "Atomism in Crisis: An Analysis of the Current High Energy Paradigm", **Philosophy of Science** 44, p. 409-440.
- Solmsen, F. (1977) "Epicurus on Void, Matter and Genesis", **Phronesis** 22, p. 263-281.
- Sorabji, R. (1989) "Motion in a Vacuum: Stoics, Epicurean and Philoponus Against Aristotle", en : **Matter, Space and Motion: Theories in Antiquity and their Sequel**, London, Duckworth.
- Trefil, J.S. (1980) **From Atoms to Quarks**, New York, Scribner's Sons.
- Van Melsen, A.G. (1960) **From Atoms to Atom**, New York, Harper Torchbooks.