

RUGGERO GIUSEPPE BOSCOVICH Y EL ATOMISMO

JOSÉ MANUEL CASADO VÁZQUEZ

Universidad de Sevilla

RESUMEN

Ruggero Giuseppe Boscovich (1711-1787) llevó a cabo lo que probablemente es el más ambicioso intento de unificación de toda la física del siglo XVIII. A pesar de que sus ideas estaban muy alejadas de las posiciones de los atomistas de la época, desde finales del siglo XIX se viene considerando a Boscovich como uno de los representantes más destacados de las posturas atomistas del siglo XVIII. En este trabajo se estudia la recuperación de las ideas de Boscovich por James Clerk Maxwell en el contexto de la teoría cinética de los gases. Este proceso de reelaboración, a su vez, cambió el enfoque de los físicos adeptos al atomismo y propició el desarrollo de las nuevas concepciones de la estructura de la materia que darían lugar al nacimiento de la física atómica y molecular a principios del siglo XX.

ABSTRACT

Ruggero Giuseppe Boscovich (1711-1787) carried out what probably is the most ambitious attempt of unification of 18th century physics. Although the fundamental elements of his theory were clearly non-atomistic in character, he has been considered one of the founders of modern atomism. This rather paradoxical situation is due to the incorporation of some of Boscovich ideas to the conceptualization of intermolecular forces by James Clerk Maxwell (1831-1879), a process that gave impulse to classical kinetic theory of gases and opened the door to early formulations of modern atomic and molecular physics. In this paper, the process by which the ideas of Boscovich were incorporated to 19th century's atomism is analyzed.

Palabras clave: Materia, Atomismo, Italia, Gran Bretaña, Siglo XVIII, Siglo XIX.

Recibido el 23 de junio del 2000

Introducción

El año 1948, el físico alemán Max Born (1882-1970), por entonces profesor de filosofía natural en Edimburgo, fue invitado por la Universidad de Oxford a impartir las *Waynflete lectures*. En el libro donde se recogían los textos de las conferencias, Born escribió:

“El plan de esta conferencia no es seguir la historia del atomismo desde el pasado remoto. Podemos dar por garantizado que ya en los días de Demócrito, a todo hombre instruido le era familiar la hipótesis de que la materia está compuesta por partículas últimas e indivisibles. Lord Kelvin cita frecuentemente a cierto padre Boscovich como uno de los primeros en usar consideraciones atomistas para resolver problemas físicos; vivió en el siglo XVIII, y puede que haya otros, de los cuales no sé nada, que hayan pensado según las mismas líneas” [BORN, 1949, p. 46].

Parece razonable pensar que, de registrar fielmente este texto lo dicho por Born, una gran mayoría de los asistentes a la conferencia arquease las cejas al oír nombrar a ese oscuro científico del siglo XVIII al que Born había decidido singularizar en su recorrido panorámico por la historia del atomismo: ¿Quién fué ese tal Boscovich al que se le asigna tan relevante papel en la transformación del atomismo moderno? ¿Cómo es que su obra cayó en el olvido en los escasos cincuenta años que median entre la época de William Thomson (1824-1907) y la de Born? Ciertamente, de haber decidido nombrar a alguno entre los primeros atomistas modernos lo que cabría esperar es que Born se inclinase por Daniel Bernouilli (1700-1782) quien en una breve sección de su *Hydrodynamica* [BERNOUILLI, 1738, p. 148], había formulado un modelo cuantitativo de tipo cinético para los gases veinte años antes de la aparición de la teoría esencialmente cualitativa de Boscovich. Sin embargo, el propósito de este trabajo no es discutir cuestiones de prioridad sino mostrar que la mención del nombre de Boscovich en relación con posturas atomistas refleja simplemente la propia evolución del atomismo en el último cuarto del siglo XIX. Evidentemente Born no había leído la obra de Boscovich, de modo que su juicio sobre el atomismo de éste, procedente en última instancia de las opiniones de Lord Kelvin, —igual podría venir de las de James Clerk Maxwell (1831-1879) quien también citó en muchas ocasiones a Boscovich en relación con las concepciones atomistas— era simplemente un préstamo pero, como tendremos ocasión de analizar, las opiniones de Maxwell sobre el atomismo de Boscovich procedían de una interpretación de las ideas de éste que estaba influenciada por las concepciones del propio Maxwell. El profundo proceso de transformación que experimentó el atomismo durante los años en que se

elaboró la teoría cinética de los gases (1856-75) fue, en última instancia, lo que permitió que ciertos aspectos de una concepción teórica heredera de ciertas corrientes antiatomistas de los siglos XVII y XVIII fueran transformados y empleados en beneficio del atomismo de finales del siglo XIX.

Esbozo biográfico

Ruggero Giuseppe Boscovich (o Rudjer Josif Boskovic) nació en 1711 en Ragusa, actual Dubrovnik, una ciudad-estado de Dalmacia durante el siglo XVIII y en la actualidad perteneciente a la República de Croacia. Su padre era un mercader de origen serbio y aunque su madre tenía ascendientes italianos, él siempre se sintió orgulloso de su origen eslavo: en una ocasión en que D'Alembert lo llama *italiano*, apenas puede ocultar su orgullo herido bajo el tono impersonal con el que responde: *obsérvese en primer lugar que nuestro autor es dálmata, de Ragusa, no italiano; y es por esta razón por lo que Marucelli, en una obra reciente sobre autores italianos, no hace mención de él* [CERCIGNANI, 1988, p. 52]. El joven Boscovich ingresó en 1725 en el noviciado de los jesuitas en Roma y su talento para las matemáticas propició su nombramiento como profesor de esa materia en el Colegio Romano incluso antes de terminar sus estudios de teología. Permaneció en dicha institución hasta 1760, año en que, tras visitar París, viajó a Londres donde fue nombrado miembro de la *Royal Society*, lo que indica que sus trabajos ya eran conocidos y valorados más allá de las fronteras de los Estados Pontificios. En 1761 viajó de Londres a Constantinopla, ciudad desde la que llevó a cabo excavaciones arqueológicas en los lugares en que por entonces se suponía que estuvo la antigua ciudad de Troya. Habiendo enfermado y tras siete meses de estancia en Asia Menor, marchó a Varsovia atravesando Tracia, Bulgaria y Moldavia; un viaje que relató en su *Giornale di un viaggio da Costantinopoli in Polonia dell'Abate R.G. Boscovich, con una sua relazione delle rovine di Troja*, publicado en lengua francesa en Lausana en 1772 y en italiano en Bassano en 1784. En 1762 lo encontramos de nuevo en los Estados Pontificios, ocupado esta vez en varios proyectos de interés práctico como el drenado de las marismas pontinas. En 1764 obtuvo el cargo de profesor de matemáticas en la universidad de Pavía y ese mismo año comenzó a elaborar un proyecto para la construcción de un observatorio astronómico en el colegio de Brera, cerca de Milán.

En 1769 la *Royal Society* le propuso viajar a California con el fin de observar el tránsito del planeta Venus pero la pertenencia de Boscovich a una orden religiosa prohibida en el territorio del Imperio Español hizo que se frustrase el viaje. Poco después el gobierno austríaco desdobló la cátedra de matemáticas de la universidad de Pavía con el fin de que Boscovich pudiese enseñar astronomía en Milán y trabajar en Brera pero sus relaciones con otros astrónomos del observatorio se deterioraron hasta el punto de amenazar el buen funcionamiento científico de la institución y Boscovich acabó renunciando a su contrato de profesor en 1773. Ese mismo año, el Papa Clemente XIV disolvió la orden de los jesuitas. Cuando estaba decidido a retirarse a su ciudad natal, Boscovich recibió una oferta del gobierno de Luis XV para instalarse en París como director del instituto de óptica de la marina francesa, un puesto creado expresamente para él. Fue en esa época parisina cuando Boscovich entró en contacto con el mundo de la ciencia francesa de la Ilustración y polemizó con D'Alembert, Condorcet y Laplace. Especialmente significativa fue su disputa con el astrónomo Rochon sobre la prioridad en la invención de un micrómetro de anillo para telescopios. Durante los nueve años que permaneció en Francia el trabajo de Boscovich se centró fundamentalmente en el desarrollo de instrumentos ópticos y, especialmente, en el diseño de lentes acromáticas para la marina.

Dada la dificultad de encontrar impresor en Francia para obras escritas en latín, Boscovich pidió en 1783 un permiso de dos años para viajar a Italia con el fin de supervisar la impresión de sus trabajos de astronomía y óptica. Los cinco volúmenes de esta recopilación aparecieron en Bassano en 1785. Tras completar el trabajo de corrección de pruebas, Boscovich, por entonces un anciano de 74 años y con la salud muy quebrantada, se retiró por un tiempo al monasterio de Vallombrosa. Tras regresar a Milán, pidió instalarse en Brera, donde poco después sufrió un rápido proceso de decadencia física y mental. Fue trasladado a Monza, donde murió el 13 de febrero de 1787.

Boscovich fue ante todo un astrónomo pero se ocupó también, y con mucho éxito, de variados problemas prácticos. Durante la década de 1750-60 participó en un proyecto geodésico relacionado con la elaboración del primer mapa detallado del territorio de los Estados Pontificios, así como en labores de consultoría en diversas ciudades italianas. En 1757, los ciudadanos de la República de Lucca le comisionaron para que defendiera ante la corte de Viena los derechos de la ciudad frente al Gran Ducado de Toscana en la disputa sobre el lago Bientino. A partir de esa época, Boscovich llevó una intensa vida como

diplomático, realizando numerosos viajes por Europa cuyo propósito probablemente tuviera que ver con la política de los jesuitas. Actuó también como asesor científico del Papa sobre diferentes temas entre los que se cuenta la estabilidad de la cúpula de la iglesia de San Pedro en el Vaticano. Fue también un autor muy prolífico —en 1763 se citan como publicados no menos de 66 trabajos suyos— y no sólo en temas científicos sino también como escritor de poesía en latín. La fecha y los títulos de algunos de sus trabajos nos hablan de su interés sostenido por el problema de la estructura de la materia: *De viribus vivis* (1745), *De materiae divisibilitate et de principiis corporum* (1748) o *De lege virium in natura existentium* (1755). Su obra fundamental en este campo fue el libro *Philosophiae naturalis theoria redacta and unicam legen virium in natura existentium*, publicado en 1858 en Viena, obra donde Boscovich elabora un intento de síntesis del conocimiento físico de su tiempo mediante un principio unificador inspirado en las fuerzas newtonianas de acción a distancia. El libro estaba dividido en tres partes: en la primera establecía su teoría, en la segunda la aplicaba a diversos problemas mecánicos y, finalmente, mostraba como podía ser aplicada a la física. Tuvo tanto éxito que fue reimpresso en 1759 y otra vez en 1764, publicándose una edición revisada y ampliada en Venecia con el nombre de *Theoria philosophiae naturalis* en 1763 [BOSCOVICH, 1763].

La teoría de Boscovich

Para establecer un buen punto de partida y situar en el contexto adecuado las ideas de Boscovich respecto a la estructura de la materia es conveniente que recordemos que, durante el siglo XVII, el atomismo clásico, recuperado por los hombres del Renacimiento y popularizado, en especial, por Pierre Gassendi (1592-1655) se diversificó de forma extraordinaria en función de las diversas tomas de postura respecto a la naturaleza concreta de los átomos y el vacío. Especialmente representativo de las dificultades que encontraron los científicos naturales del final del Barroco para adaptar las concepciones atomistas a sus propios descubrimientos es el caso de Newton, a quien le resultó muy difícil conciliar la acción a distancia con la concepción atomista del cambio. Era evidente, en efecto, que la gravitación, lejos de permitir sólo acciones por contacto, tal como exigía la física mecanicista, hacía actuar a las partículas en todo el espacio y borraba, por tanto, la distinción entre *lo lleno* y *lo vacío* al no dejar confinada la acción de un átomo sobre otro sólo a aquellas precisas regiones del espacio que estuvieran ocupadas por las partículas. Prigogine y

Stengers han señalado el profundo desacuerdo entre la acción a distancia y el atomismo mecanicista:

“De hecho, parece ser que no solamente Descartes, Gassendi o D’Alembert, sino el mismo Newton, pensaban que las colisiones entre átomos duros constituían la fuente última, incluso la única, del cambio de movimiento. Sin embargo, la descripción dinámica que aquellos que hemos citado han contribuido a fundar, se opone casi punto por punto a la que deriva de la hipótesis atomista. [...] ¿qué relación hay entre ese mundo mortal, ese mundo inestable en donde, sin pausa alguna, los átomos se unen y se deshacen, los seres nacen y mueren y el mundo inmutable de la dinámica, regido por una fórmula matemática única, verdad eterna desplegándose en un mundo futuro tauológico?” [PRIGOGINE y STENGERS, 1990, p. 92].

Pero no fue el problema general del cambio lo único que comprometió la posición atomista de Newton tras el descubrimiento de la acción a distancia gravitatoria; la teoría de la constitución de la materia le presentó un desafío aun mayor si cabe, ya que si las fuerzas debían ser proporcionales a las aceleraciones, los choques entre cuerpos duros implicarían aceleraciones infinitas y, por tanto, la aparición de fuerzas infinitamente grandes. Aun sin abandonar por completo al recurso a las acciones por contacto, la solución adoptada por Newton en muchos problemas concretos consistió en introducir modelos de fuerzas repulsivas tanto más intensas cuanto menor fuese la distancia entre los átomos. En los *Principia*, por ejemplo, Newton probó que la ley de los gases perfectos encontrada por Boyle se seguía si se suponía la existencia de fuerzas repulsivas que dependiesen inversamente del cuadrado de la distancia entre las partículas. Esta forma de proceder parece haber marcado significativamente el enfoque del atomismo newtoniano y su característica ambigüedad: las leyes de acción a distancia tanto atractivas como repulsivas conviven de forma precaria en la teoría newtoniana con unas partículas definidas mediante propiedades que implican básicamente interacciones por contacto. Con todo, el legado fundamental de Newton al atomismo en lo que aquí nos interesa no es tanto su introducción de tal o cual fuerza concreta sino la constatación, por imperfecta que fuese en ese momento, de que una formulación coherente de la mecánica necesitaba como elemento constitutivo el concepto de fuerza como algo dado *a priori*; es decir, como un elemento no deducible de principios más profundos o fundamentales [TRUESDELL, 1975]. Así, mientras la investigación de las fuerzas newtonianas se convierte en uno de los objetivos prioritarios de la mecánica racional del siglo XVIII, la repulsión entre los átomos habrá pasado a ser, ya en la época de Lavoisier, uno de los elementos de la teoría del calórico: en los escritos de Dalton a principios del siglo siguiente se observa todavía de forma nítida la influencia de esta conceptualización [NASH, 1967].

También la filosofía natural cartesiana jugó un papel determinante en el rumbo de las concepciones atomistas del siglo XVIII, tanto por las aportaciones particulares de Descartes al universo corpuscular, como por la reacción — en especial la de Leibniz— que produjo la idea cartesiana de la materia. El elemento básico de la física de Descartes: su pretensión de reducir la materia a la pura extensión, le condujo a una postura claramente heterodoxa frente al atomismo canónico de su época porque, aunque el universo cartesiano era un sistema corpuscular en que todas las acciones de una partículas sobre otras se ejercían por mero contacto se trataba, a la vez, de un *plenum* material en el que el movimiento no necesitaba del vacío y donde tampoco cabía hablar de los átomos últimos e indivisibles que había postulado Demócrito y defendido Gassendi. También las concepciones de Leibniz son claramente antiatomistas en estos aspectos; para él, la indivisibilidad de los átomos físicos es más aparente que real porque *no existe ningún átomo de dureza insuperable ni ninguna masa que sea completamente indiferente a la división* pero, al mismo tiempo, rechaza la identificación cartesiana de materia y extensión arguyendo que *ni el movimiento o acción ni la resistencia o pasión ni las leyes de la naturaleza observables en el choque de los cuerpos puede explicarse satisfactoriamente con la noción de extensión* [LEIBNIZ, 1985, p. 50]. Para Leibniz es la resistencia a ser penetrada lo que constituye la característica esencial de la materia; la que permite a los cuerpos estar dotados de extensión. Por tanto, la relación entre materia y extensión no es algo primario sino que se deriva de la existencia de unas ciertas fuerzas de repulsión que emanan de los elementos metafísicos fundamentales del ser o mónadas. Cada cuerpo está lleno, según Leibniz, de las inextensas mónadas y son las fuerzas que emanan de ellas las que crean la propia extensión del cuerpo empujando, por así decir, a la materia en derredor. Obviamente, la concepción leibniziana del espacio y la materia también implica la no existencia del vacío porque éste no podría ser otra cosa que un espacio libre de fuerzas de repulsión que sería *llenado* de forma inmediata por la materia circundante.

Lo que K.R. Popper ha llamado el *programa de Leibniz* [POPPER, 1985, p. 186], esto es, la teoría explicativa de la materia extensa mediante el recurso al concepto de fuerza, fue bajado a tierra desde las alturas metafísicas por I. Kant (1724-1804) en su *Monadología Physica* (1756). Siguiendo a Leibniz, Kant afirma que la impenetrabilidad y la inercia de la materia son consecuencia de fuerzas inherentes a ella pero arguye también que la existencia de fuerzas de repulsión vuelve innecesario el que se considere a los constituyentes últimos de la materia como objetos con extensión ya que nos basta

con imaginarlos como meros centros puntuales de fuerza. De esta manera Kant identifica los átomos con las mónadas inextensas de Leibniz, y abandona los pequeños elementos de materia extensa característicos del atomismo clásico. Como la explicación de la impenetrabilidad exigía que las fuerzas repulsivas entre los centros puntuales debían hacerse infinitas cuando la distancia entre ellos tendiese a cero, Kant se vio llevado a afirmar la existencia de distancias finitas entre dichos centros, lo que implicaba la existencia del vacío.

En conjunto, Kant elaboró un nuevo modelo de substancia extensa que fundía algunas ideas de Newton con los conceptos dinámicos de Leibniz en un marco muy general en el que apenas quedaban rasgos del atomismo de Demócrito y Gassendi: la materia consistía ahora en un vacío en el que se movían ciertos centros puntuales de fuerza dotados de *vis inertiae*¹, partículas inextensas a las que mediante un profundo desplazamiento de significado también se les acabaría llamando átomos.

El punto de partida del razonamiento de Boscovich es similar al de la etapa precrítica kantiana, ya que ambos derivan de los planteamientos dinámicos de Leibniz². Boscovich también despoja las mónadas de su variabilidad y de sus poderes perceptivos y las transforma en unos elementos primarios, idénticos y perfectamente inextensos a los que llama puntos (*puncta*). Con ellos elabora una teoría según la cual la materia extensa es básicamente una estructura de equilibrio entre dichos puntos como consecuencia de la acción de fuerzas hipotéticas de estructura *ad hoc* que emanan de ellos. Este modelo dinámico de la materia es consecuencia de la adopción como principio metafísico fundamental de la llamada *ley de continuidad* de Leibniz, según la cual nada en la naturaleza sucede bruscamente. Para Boscovich, por tanto, los contactos entre partículas duras no son posibles porque implican cambios bruscos en las velocidades de éstas y violan por ello dicha ley. Y supone también, siguiendo a Newton, que la acción entre cada par de *puncta* es de carácter repulsivo para distancias cortas pero se vuelve atractiva si los centros de fuerza se separan: en particular, si las partículas se alejan lo suficiente, dicha fuerza acaba por confundirse con la gravitación newtoniana. La originalidad de Boscovich consiste en conectar esos dos comportamientos asintóticos mediante una función continua de forma que, para distancias intermedias, las fuerzas cambien su carácter un número indeterminado de veces, siendo en ciertos intervalos de tipo atractivo y en otros de tipo repulsivo. Pero ello implica, por aplicación de la ley de continuidad, la existencia de ciertos puntos donde la fuerza se anula: estados de equilibrio que permiten definir las escalas naturales a las que se

sitúan los *puncta* cuando forman un cuerpo extenso. Así pues, en la teoría de Boscovich, un objeto al que contemplamos como algo continuo en el espacio, no es sino una estructura formada por un número finito de puntos inextensos mantenidos en equilibrio por sus acciones recíprocas. Ni la extensión espacial de un cuerpo ni su masa son ahora propiedades primarias, sino que derivan de la estructura espacial de los *puncta* que lo constituyen.

Se ha señalado que el aspecto más importante de la teoría de Boscovich desde un punto de vista filosófico es el abandono del antiguo dualismo atomista asociado con la existencia de átomos y vacío y su sustitución por la concepción monista de un único ámbito de relaciones espaciales entre puntos inextensos. Whyte [WHYTE, 1961, p. 106] ha acuñado el nombre de *atomismo puntual* con el fin de confrontar el modelo boscovichiano con el *atomismo ingenuo* de Demócrito, Boyle, Gassendi y Newton. Es evidente, sin embargo, que la concepción original de Boscovich quedaba muy lejos del atomismo clásico y no pudo ser contemplado en su época como un desarrollo de las posiciones atomistas sino, más bien, como una teoría completamente distinta. El propio Whyte señala que Boscovich jamás usó la palabra átomo para referirse a los elementos fundamentales de su teoría [WHYTE, 1961, p.106] y se refiere en concreto a las dudas de éste respecto a si su sistema se podía considerar atomista ya que los *puncta* no tenían ni extensión espacial ni tampoco masa.

Las ideas de Boscovich representaron un avance conceptual de primer orden aunque su significado no siempre fuera bien comprendido por sus contemporáneos. Hay que tener en cuenta que en los enfoques atomistas característicos del siglo XVIII las hipótesis sobre acciones a distancia exigían generalmente la existencia de un medio mecánico y se mezclaban a menudo con los modelos de fluidos sutiles de las más variadas procedencias y con las acciones por contacto entre partículas. En contraste con todas estas teorías, el aspecto más moderno de la concepción de Boscovich es precisamente su intención unificadora: el que tratase de explicar propiedades físicas como la impenetrabilidad de la materia, la cohesión, la elasticidad, la propagación del sonido o la cristalización mediante un principio simple aunque fuese de naturaleza esencialmente cualitativa.

No cabe duda de que la teoría de Boscovich fue conocida en los ámbitos científicos europeos de los siglos XVIII y XIX; así lo atestiguan numerosos testimonios. Pero fue en Gran Bretaña donde las ideas de la *Theoria philosophiae naturalis* fueron acogidas con mayor interés y donde ejercieron su mayor influencia aunque, como dice Williams, sea *imposible señalar algún*

descubrimiento específico o teoría química que estén fundados en forma completa en la teoría de los átomos inmateriales de Boscovich [WILLIAMS, 1961]. Sin embargo, esto no significa que el impacto de las ideas de Boscovich haya sido despreciable, simplemente implica que se trata de una influencia más sutil. En la primera mitad del siglo XIX, los químicos británicos utilizaron algunas de sus ideas para poner énfasis en aspectos de su ciencia que la teoría dominante —el peculiar atomismo de Dalton— o bien consideraba irrelevantes o los trataba mediante analogías más bien crudas, ya que en esa época las especulaciones sobre la naturaleza de la materia estaban dominadas por los modelos atomistas inspirados directamente en las fuerzas repulsivas newtonianas. El modelo de la *pila de perdigones* de Dalton para los fluidos [NASH, 1967, p. 60], por ejemplo, implicaba visualizar al gas como un conjunto ordenado de átomos extensos rodeados de atmósferas de calórico semejantes a la atmósfera de aire que rodea la Tierra. Estas atmósferas se mantendrían en su lugar en virtud de fuerzas desconocidas y dotarían a los átomos de poderes de repulsión que le permitirían mantener a distancia a sus vecinos.

Williams [WILLIAMS, 1961] ha analizado las causas de que una teoría tan apropiada para describir fenómenos químicos como la de Boscovich tuviera tan poca influencia en la Europa continental. La primera razón estriba en que durante las décadas de 1760 y 1770, un enfoque de claro signo metafísico como el de Boscovich iba a contra corriente respecto de la línea fundamental del pensamiento químico. Los teóricos de la química pensaban que su ciencia debía basarse en hechos, no en conjeturas más o menos plausibles, de forma que era necesario ante todo dedicarse a clasificar y ordenar la enorme masa del conocimiento químico que se estaba generando y dejarse de intentar explicar la materia mediante hipótesis abstractas. Este planteamiento puede verse claramente en la firme condena por Lavoisier de la forma en que los atomistas intentaban dar cuenta de las cualidades químicas:

“Me parece que todo lo que puede decirse sobre el número y naturaleza de los elementos es que se trata de discusiones puramente metafísicas, problemas indeterminados capaces de infinito número de soluciones, ninguna de las cuales, con toda probabilidad, es consistente con la naturaleza. Por consiguiente, me limitaré a decir que con el término elementos quiero referirme a las moléculas simples e indivisibles que componen los cuerpos. Es posible que no sepamos nada de ellos, pero si, por el contrario, expresamos mediante el término elementos o principios de los cuerpos la idea del último punto alcanzado por el análisis, serán para nosotros elementos todas las sustancias que no hayamos sido hasta ahora capaces de descomponer” [WILLIAMS, 1961, p. 158].

Así pues, fue el carácter fuertemente abstracto de la teoría de Boscovich la principal causa de su rechazo en la Europa continental aunque lo cierto es que igual de metafísicos eran los puntos materiales sin extensión que las moléculas simples e indivisibles de Lavoisier. La cita anterior nos ilustra también sobre el diferente planteamiento filosófico entre Boscovich y los fundadores de la química como disciplina científica: Lavoisier no tiene interés en definir lo que sean o dejen de ser los últimos elementos de la materia; sólo quiere emplear aquellos conceptos que le permitan dar cuenta de los fenómenos observados con el menor número posible de suposiciones acerca de lo que está oculto a los sentidos. En la química posterior a la derrota del flogisto, las cualidades se asociaban a entidades químicas ponderables y no a formas moleculares hipotéticas más o menos plausibles. En este marco de referencia las ideas de Boscovich no tenían cabida.

La segunda razón apunta a los factores asociados al clima intelectual de la época en que vive Boscovich. En Alemania dominaba por entonces el campo de la química la teoría de Stahl, convertida en un signo de orgullo nacional, mientras que en Francia la influencia de Condillac jugaba en contra de las posiciones metafísicas especulativas: las palabras debían reflejar y corresponder exactamente a las cosas observadas y, por tanto, para los discípulos de Condillac, entre los que se encontraba Lavoisier, palabras como átomo o molécula eran meros sinsentidos.

En las Islas Británicas, sin embargo, existía una tradición capaz de aunar el empirismo extremo exigido por los químicos con los conceptos abstractos de Boscovich. A principios de siglo, por ejemplo, el obispo Berkeley había insistido en que el inmaterialismo era la única posición posible para un filósofo experimental, de modo que las concepciones boscovicianas no les resultaban tan indigeribles a los químicos británicos como a sus colegas del Continente. Las ideas de Boscovich se emplearon en concreto en los últimos intentos de los británicos por apuntalar la teoría del flogisto y, cuando ésta fue abandonada, otros químicos importantes de la nueva generación, como Davy y Faraday, las emplearon en contextos completamente nuevos. Así pues, el concepto de centro puntual de fuerza pervivió en la filosofía natural británica gracias a su empleo en teorías que en sí mismas tenían mucho de contradictorio. Cuando los experimentos de Joule acabaron definitivamente con el calórico en la década de 1840, los modelos de gas basados en el movimiento libre de partículas duras, elásticas y masivas se convirtieron en la alternativa que daría nacimiento alrededor de 1860 a la moderna teoría cinética de los gases.

El nuevo enfoque mecánico-probabilista intuido por Clausius y desarrollado por Maxwell permitió que la idea de fuerzas entre partículas móviles empezara a jugar un papel relevante en la física de gases. Será a partir de la década de 1870 cuando algunas de las ideas dinamicistas de Boscovich comiencen a ser recuperadas en el nuevo contexto cuantitativo proporcionado por la teoría dinámica de los gases de Maxwell.

Boscovich y Maxwell

La incorporación de las ideas de Boscovich al atomismo científico del siglo XIX es obra de los físicos británicos que contribuyeron a construir la teoría cinética de los gases a partir de 1860. Al centrarnos aquí en la figura de James Clerk Maxwell abordamos la tesis principal de este trabajo: fue su confrontación de las concepciones de Boscovich con los datos experimentales lo que hizo evolucionar sus ideas sobre el carácter de las fuerzas intermoleculares y le llevó a integrar varias de las concepciones de signo atomista que habían estado en conflicto durante los dos siglos anteriores. Puede decirse que las ideas de Boscovich suministraron mucha de la materia prima con la que Maxwell elaboró y desarrolló sus propias ideas sobre la naturaleza de los átomos y las moléculas.

En la década de 1850, Maxwell se movía en un medio intelectual en el que se daba por definitivamente establecida una u otra forma de atomismo, aunque a efectos puramente prácticos se supiera que las teorías del continuo eran capaces de suministrar una descripción alternativa igual de válida³. Sin embargo, a mediados del siglo XIX las concepciones atomistas dominantes eran esencialmente las mismas que las del siglo anterior. La incomprensión generalizada con que se recibieron en Inglaterra los intentos de Herapath y Waterston de crear una dinámica atomista para los gases prueban que la ciencia de la época no estaba realmente preparada para asumir concepciones que, aun pareciéndole revolucionarias a muchos, tenían ya más de un siglo de existencia. Cuando la labor combinada de los científicos de la energía: Joule, Rankine, Thomson y Helmholtz, acabó con los últimos rastros del calórico, la teoría dinámica del calor por ellos fundada dio por fin una nueva oportunidad a los modelos cinético-moleculares de la materia. Así, tras un trabajo publicado por Krönig en 1856, la primera gran memoria de Clausius sobre el tema [CLAUSIUS, 1857] abrió el campo de la física de gases a las nuevas formas del razonamiento estadístico y preparó el camino a las contribuciones fundamentales de Maxwell.

Sin embargo, el rápido triunfo de la teoría cinético-molecular de los gases no trajo consigo el fin de las dificultades conceptuales a las que tenía que enfrentarse el atomismo. Algunas de ellas se resolvieron en los años inmediatamente posteriores mediante el esfuerzo de Clausius, Maxwell y Boltzmann; otras tardaron bastante más tiempo salir del atasco y algunas de ellas, como el problema de la naturaleza de las interacciones entre las partículas, no empezaron a entenderse en realidad hasta el desarrollo de las ideas cuánticas en la década de 1930, una época en que las ideas de Boscovich sobre fuerzas intermoleculares, origen remoto de los por entonces aclamados programas de investigación de Sunderland y Lennard-Jones, ya habían sido completamente olvidadas por la comunidad científica.

Hay evidencia de que fue la lectura de la memoria publicada por Clausius en 1857, junto con su interés por la fricción en el seno de un gas, lo que llevó a Maxwell a trabajar en lo que llamó *la teoría dinámica de los gases*. Sin embargo, en esa época no tenía muy claro hasta donde eran relevantes las ideas atomistas de Bernouilli, Herapath o Clausius para la descripción de los procesos físicos en las sustancias gaseosas. Estas dudas son patentes en la carta que Maxwell escribe a Stokes el 30 de mayo de 1859, contándole los primeros resultados de su trabajo:

“He visto en el *Philosophical Magazine* de febrero de 1859, un artículo de Clausius sobre *el camino libre medio de una partícula de aire o gas entre colisiones sucesivas* bajo la hipótesis de que la elasticidad del gas se debe a la velocidad de sus partículas y de que la trayectoria de cada una de ellas es rectilínea excepto cuando llega a las proximidades de otra, sucesos a los que se denomina colisiones [...] Creo que sería conveniente examinar la hipótesis de partículas que actúen unas sobre otras mediante impactos y compararla con los fenómenos que parecen depender de este *camino medio* [...] He desarrollado la teoría de los movimientos y colisiones de partículas libres actuando sólo por impacto, aplicándola al problema de la fricción interna de los gases, de la difusión de los gases y de la conducción del calor a través de un gas [...] No sé hasta donde se ajustarán estas especulaciones a los hechos, pero si no lo hacen, es bueno saber que la teoría de Clausius (o más bien la de Herapath) es equivocada” [BRUSH, 1965, p. 26].

De hecho, en su primer trabajo sobre teoría cinética [MAXWELL, 1860], Maxwell se preocupó de hacer que sus razonamientos no dependiesen de que las partículas del gas se imaginaran como esferas elásticas o como centros puntuales de fuerza porque intentaba separar los resultados concretos que había obtenido de las hipótesis sobre la naturaleza física de las moléculas de gas:

“En vez de decir que las partículas son duras, esféricas y elásticas, podemos si nos place decir que son centros de fuerza cuya acción es insensible excepto a ciertas distancias pequeñas, donde aparece súbitamente como una fuerza repulsiva de gran intensidad. Es evidente que ambas suposiciones conducirán a los mismos resultados” [BRUSH, 1965, p. 150].

Aun así, los planteamientos iniciales de Maxwell parecen favorecer el modelo de acción por impacto y, por tanto, el atomismo ortodoxo. Su enfoque metodológico consistía en establecer lo que denominaba una *analogía física* entre las moléculas de un gas y un conjunto de esferas elásticas actuantes sólo mediante impactos mutuos. Ya hemos visto como en la carta a Stokes anteriormente citada, Maxwell dice haber desarrollado *la teoría de los movimientos y colisiones de partículas libres actuantes sólo por impacto*.

En torno a 1865, Maxwell comenzó a llevar a cabo una serie de trabajos experimentales para medir el coeficiente de viscosidad de un gas y encontró que éste variaba linealmente con la temperatura. El hecho de que sus propios cálculos con el modelo de esferas elásticas y rígidas condujeran a una dependencia con la raíz cuadrada de la temperatura le llevó a explorar otras posibilidades asociadas con los modelos puntuales de fuerzas, encontrando que cuando suponía que la fuerza era puramente repulsiva y variaba como la quinta potencia de la distancia entre los centros, los resultados del cálculo coincidían con los experimentales. Este hallazgo le llevó a abandonar su *analogía física* entre las partículas de un gas y los modelos de esferas elásticas y a comenzar a pensar en las moléculas como centros de fuerza. Es probablemente en ese momento cuando comienza a interesarse por las ideas de Bosovich, cuya obra conocía, probablemente, por su relación con Faraday.

El físico holandés J.D. van der Waals (1837-1923) publicó en los primeros años de la década de 1870 unos trabajos en los que introducía fuerzas entre partículas en el marco proporcionado por el teorema del virial de Clausius para explicar los resultados experimentales de Andrews sobre la continuidad de los estados líquido y gaseoso. Andrews afirmaba que la licuefacción de un gas sometido a compresión no podía ser explicada a menos que se supusiera la acción de una fuerza atractiva de gran intensidad y el modelo de van der Waals suministraba un primer ejemplo de como podían operar dichas fuerzas. La reacción de Maxwell a esos desarrollos nos suministra una idea del compromiso que Maxwell había adquirido por esas fechas con la idea de los centros de fuerza. En realidad, van der Waals había supuesto la existencia de fuerzas intermoleculares repulsivas a distancias cortas y atractivas a distancias mayo-

res, pero Maxwell malinterpretó la argumentación y creyó que aquel empleaba el modelo de esferas elásticas, con lo que en un artículo de revisión sobre las fuerzas moleculares publicado en 1874 en *Nature* optó por salir en defensa del modelo de los centros de fuerza. En dicho artículo, Maxwell asociaba directamente los resultados de van der Waals y Andrews con su propia interpretación de las ideas de Boscovich:

“Tenemos por lo tanto evidencia de que las moléculas de los gases se atraen unas a otras a ciertas distancias pequeñas, pero cuando se encuentran aún más cerca, se repelen entre sí. Esto está de acuerdo con la teoría de Boscovich de los átomos como centros *masivos* de fuerza, siendo esta fuerza función de la distancia y cambiando de atractiva a repulsiva, y al revés varias veces cuando la distancia disminuye” [NIVEN, 1890, II, pp. 412-413].

Hemos resaltado la palabra *masivos* en el texto anterior porque, probablemente, el problema fundamental con el que Maxwell se encontró al intentar emplear las ideas de Boscovich fue precisamente el de la masa de las partículas. Mientras que Kant había supuesto a sus mónadas como partículas dotadas de inercia, la descripción de Boscovich era puramente cinemática, esto es, no consideraba la masa como propiedad primaria de los *puncta*. Inicialmente Maxwell interpreta erróneamente esta forma de proceder y su rechazo se muestra en una carta dirigida a Mark Pattison en 1868, en la que ataca, sin citar explícitamente a su autor, la imagen boscovichiana de la materia respecto al problema de la inercia:

“No puedo admitir una teoría que considere a la materia como un sistema de puntos que sean centros de fuerza actuantes sobre puntos similares, y que no admita otra cosa sino esas fuerzas. Porque esto no da cuenta de la perseverancia de la materia en el estado de movimiento” [HARMAN, 1995, vol. 2, p. 365].

Sin embargo, cuando escribió su justamente célebre artículo *átomo* para la novena edición de la *Enciclopedia Británica* (1875), Maxwell dedicó un cierto espacio a dar cuenta de la teoría de Boscovich, señalando que a los átomos de éste se les suponía una *masa definida*. En el trabajo *On action at a distance*, Maxwell ya nos deja ver su evolución hacia una valoración cada vez más positiva de las ideas de Boscovich, sin dejar por ello de indicar el carácter puramente metodológico del modelo:

“[...] como no tenemos evidencia del tamaño y la forma de los átomos, algunos han pensado que sería más filosófico hablar de ellos como si fueran centros de fuerza, sin atribuirles ninguna extensión finita. Ello sería legítimo si se supone que cada centro de fuerza tiene masa” [HARMAN, 1998, p. 195].

De hecho, el dotar de masa a los puntos matemáticos era una condición esencial para poder incorporar el concepto de fuerza de Boscovich a su propio modelo atomista de la materia, pero lo cierto es que su asignación de una masa *a priori* a las partículas de Boscovich es fruto de una falta de entendimiento de uno de los aspectos esenciales de la teoría de éste. El malentendido procede esencialmente de la discordancia entre el enfoque newtoniano, esto es puramente dinámico, de Maxwell con el cinemático de Boscovich, quien empleaba los conceptos de *fuerza y masa* en un sentido distinto del que tienen en una teoría dinámica. En la dinámica clásica, tal como fue formalizada por Leonard Euler (1707-1783)⁴, la masa era una cantidad primaria, un coeficiente numérico característico de cada partícula individual y determinado por la relación entre la fuerza y la aceleración. Esa era la idea de masa que Maxwell tenía en mente mientras que Boscovich no asignaba masa a sus puntos elementales porque pensaba que la definición de dicha magnitud utilizada por Newton no resultaba satisfactoria:

“He llegado a la conclusión de que la idea de masa no está estricta y distintamente definida, sino que es vaga, arbitraria y confusa” [BOSCOVICH, 1966, p. 140].

En esta cuestión Boscovich adopta una posición radicalmente distinta a la de Newton: supone que la mayor o menor densidad de un cuerpo se debe al mayor o menor número de puntos que existan en un volumen dado y, puesto que ese número puede ser arbitrariamente grande o pequeño, asigna a los cuerpos un rango continuo de densidades. La masa de un cuerpo es el número de *puncta* que hay en el volumen que ocupa dicho cuerpo, una magnitud que puede ser determinada, al menos en principio, contando dichos *puncta*.

“La masa de un cuerpo es la cantidad total de materia perteneciente a dicho cuerpo; en mi teoría esto es exactamente lo mismo que el número de puntos que forman el cuerpo” [BOSCOVICH, 1966, p. 139].

Desde luego, las razones entre dichos números adimensionales correspondientes a dos cuerpos podían entenderse como las razones entre sus masas porque para Boscovich todas las partículas eran idénticas, pero lo crucial es que dichos números no eran magnitudes primarias sino factores secundarios o derivados. La teoría de Boscovich define explícitamente las interacciones o acciones entre pares de *puncta* como aceleraciones entre ellos y por tanto permite establecer una medida puramente cinemática de la masa de un cuerpo como hizo Saint-Venant en 1875 y, más tarde, Mach [JAMMER, 1961]. Por lo tanto, las *vires* de Boscovich no son realmente fuerzas en un sentido

técnico sino aceleraciones, o como dice Child, el traductor al inglés de *Theoria* de Boscovich: tendencias. K.R. Popper ha señalado, sin embargo, que estas tendencias, no siendo realmente fuerzas en un sentido dimensional, sí se pueden considerar como tales si adoptamos un punto de vista físico, porque siguen siendo las causas que determinan las aceleraciones.

Así pues, al suponer a las partículas de Boscovich como entidades definidas por su masa, Maxwell estaba violentando profundamente la propia estructura formal de la teoría de aquel. Tampoco, obviamente, las fuerzas intermoleculares de Maxwell son las que había imaginado Boscovich por más que el gran científico escocés las reclamara para incorporarlas a su visión atomista. Sin embargo, hay otro aspecto relevante de las fuerzas boscovicianas que fue captado de forma particularmente precisa por Maxwell. Se trata de la noción de escala natural. Probablemente, la más detallada exposición de las ideas de Boscovich la ofreciera Maxwell en un informe escrito para la *Royal Society* en 1876 en relación con el trabajo de Andrews. En él se pone de manifiesto cómo ha captado la idea de una única fuerza que actúa a diferentes escalas espaciales:

“La acción entre las moléculas no es como una colisión, confinada a una distancia definida entre las moléculas que se encuentran, sino que se extiende a través de un cierto rango [...] Cuando dos moléculas se aproximan, la acción entre ellas es insensible a todas las distancias sensibles. A cierta distancia extraordinariamente pequeña comienza como una fuerza atractiva, alcanza un máximo a distancias aun más pequeñas y después se vuelve repulsiva. En ciertos casos, como cuando se tienen dos tipos de moléculas que pueden entrar en combinación química pero que no se combinan simplemente cuando se mezclan, debemos admitir que dentro de la región de repulsión hay una segunda región de atracción y si seguimos creyendo que dos cuerpos no pueden encontrarse en el mismo lugar, debemos admitir también que la fuerza deviene repulsiva, y en muy alto grado, cuando los átomos se acercan tanto como es posible” [HARMAN, 1998, p. 184].

En este texto ya se intuye la forma en que las ideas de Boscovich pueden emplearse en la construcción de una física molecular. El informe de Maxwell prosigue dando por sentado que la existencia de tales fuerzas ha sido demostrada experimentalmente por Andrews y, en consecuencia, y empleando un tono abiertamente newtoniano, Maxwell les asigna un estatuto puramente empírico:

“Esas fuerzas atractivas y repulsivas deben ser consideradas como hechos establecidos experimentalmente, como el hecho de la gravitación, sin suponer ni que son realidades últimas ni que tienen que ser explicadas de ninguna otra forma” [HARMAN, 1998, p. 184].

Puede decirse que, a partir de su reformulación por Maxwell, las concepciones dinamicistas de Boscovich quedaron incorporadas a la física atomista. Sin embargo, no por ello dejaban de plantearse varios problemas importantes de encaje. Los experimentos de Andrews favorecían la idea de que la transición líquido-vapor sólo podía explicarse mediante el concurso de fuerzas atractivas. Sin embargo, Maxwell había encontrado que las medidas de viscosidad eran concordantes sólo con modelos de fuerzas completamente repulsivas que variasen como la inversa de la quinta potencia de la distancia. Por otra parte, era evidente que Boscovich se refería a fuerzas que cambiaban de carácter con la distancia, siendo tanto repulsivas como atractivas. Ya hemos visto como Maxwell hacía también suya esta concepción y cómo interpretaba estas variaciones de carácter. La salida de esta situación esquizoide fue elaborada por Maxwell negando de forma explícita la opinión de aquellos que como Newton (o Boscovich) pensaban que la propiedad de impenetrabilidad puede trasladarse desde nuestro mundo de objetos macroscópicos al mundo de los átomos [HARMAN, 1998, p. 185] aunque no llegase a encontrar una solución satisfactoria del problema.

Con todo, la incorporación de las ideas de Boscovich al atomismo fue necesariamente muy limitada como muestran los intentos de solucionar el problema planteado por el descubrimiento, mediante las por entonces recién descubiertas técnicas espectroscópicas, de que los átomos y las moléculas tienen una estructura compleja. Para Maxwell, como para Boltzmann, era evidente que cualquier teoría que, como la de Boscovich, se basase en puntos inextensos era imposible de mantener si se quería adoptar una postura realista, pero mientras el primero empleó las ideas sobre las fuerzas de Boscovich como material para sus propias elaboraciones teóricas y dejó los aspectos conflictivos a un lado, la postura del segundo fue muy diferente. En una carta enviada en 1895 a la revista *Nature* en la que Boltzmann intentaba clarificar su concepción del atomismo y el papel de las hipótesis en física, el profesor austríaco pasaba revista a las teorías de los centros de fuerza, escribiendo:

“Durante mucho tiempo, la celebrada teoría de Boscovich fue el ideal de los físicos. De acuerdo con ella, tanto los cuerpos como el éter son agregados de puntos materiales, que interactúan mediante fuerzas que son funciones sencillas de sus distancias. Si esta teoría resultara adecuada para todos los fenómenos, todavía estaríamos lejos de lo que el criado de Fausto deseaba alcanzar: conocerlo todo. Pero la dificultad de enumerar todos los puntos materiales del universo y la de determinar la ley de las fuerzas entre cada par, sería sólo de tipo cuantitativo; la naturaleza sería un problema difícil pero no un misterio para la mente humana. Cuando Lord Salisbury dice que la

naturaleza es un misterio, lo que quiere decir es que la simple concepción de Boscovich ha quedado refutada en cada rama de la ciencia, sin exceptuar la teoría de los gases. La suposición de que las moléculas de gas son agregados de puntos materiales, en el sentido de Boscovich, no está de acuerdo con los hechos" [BOLZTMANN, 1895, p. 413].

Probablemente no haya mejor manera de valorar la opinión sobre el supuesto atomismo de Boscovich que esta opinión de Boltzmann porque el profesor vienés era el paladín máximo de las posiciones atomistas en el último cuarto de siglo XIX. Sin duda, al juzgar negativamente la teoría de Boscovich en su carta a *Nature*, Boltzmann no adoptaba el limitado punto de vista de Maxwell, sino que ponía el énfasis en el estricto determinismo boscoviciano. Al tratar en su *Theoria philosophiae naturalis* sobre la descripción dinámica de un sistema de puntos materiales, Boscovich escribía que:

"Aunque un problema de tal especie sobrepasa todo el poder del intelecto humano, cualquier geómetra puede ver que el problema es determinado [...] y que una mente que tuviera las capacidades necesarias para tratar con ese problema de forma apropiada y que fuera lo suficientemente brillante para percibir sus soluciones [...] tal mente, digo, a partir de un arco continuo descrito en un intervalo de tiempo, no importa cuán pequeño, por todos los puntos de la materia, podría derivar las leyes de fuerza [...] Si la ley de las fuerzas fuese conocida, y también la posición, velocidad y dirección de todos los puntos en un instante dado, sería posible para una mente de este tipo el prever todos los movimientos subsiguientes que deben necesariamente ocurrir, y predecir todos los fenómenos que se siguen necesariamente de ellas" [BOSCOVICH, 1763, p. 141].

Compárese el texto que acabamos de citar con el célebre párrafo que escribió Laplace bastantes años después al comienzo de su *Essai philosophique sur les probabilités* (1814), párrafo que se ha convertido en la formulación paradigmática del enfoque determinista de la mecánica clásica:

"Así pues, hemos de considerar el estado actual del universo como el efecto de su estado anterior y como la causa del que ha de seguirle. Una inteligencia que en un momento determinado conociera todas las fuerzas que animan a la naturaleza, así como la situación respectiva de los seres que la componen, si además fuera lo suficientemente amplia como para someter a análisis todos estos datos, podría abarcar en una sola fórmula los movimientos de los cuerpos más grandes del universo y los del átomo más ligero; nada le resultaría incierto y tanto el futuro como el pasado estarían presentes ante sus ojos" [LAPLACE, 1985, p. 52].

Al comparar estos textos, y a pesar de la diferencia en capacidad expresiva, uno no tiene más remedio que preguntarse por qué el diablillo de Laplace,

—esa inteligencia a la que nada le resultaría incierto en el universo clásico— no lleva también el nombre de Boscovich.

Es lógico que Boltzmann que, junto a Maxwell, era el principal valedor del enfoque matemático que permitía describir el orden subyacente en el caótico mundo del azar atomista, utilizara el sarcasmo al referirse al determinismo de Boscovich. Se produce aquí la situación inversa a la que se describía en el breve texto de Prigogine y Stengers citado más arriba. Como dicen un poco más adelante dichos autores:

“[...] desde el final del siglo XIX, con la teoría cinética de los gases, el caos de los átomos ha vuelto a la física: se ha visto que el comportamiento caótico de una población numerosa, tal como el de las moléculas de un gas, es el comportamiento previsible por excelencia. Desde entonces la relación entre la ley dinámica y la descripción estadística se transforma en uno de los problemas centrales de la física” [PRIGOGINE y STENGERS, 1990, p. 92].

Así pues, la crítica de Boltzmann, en el contexto de una apología del nuevo orden descubierto por la teoría de las probabilidades bajo el azar atomista, representa la otra cara de la moneda respecto de la posición de Maxwell. A Boltzmann le interesa esencialmente describir el comportamiento previsible de un mundo en que dominan las colisiones aleatorias y por eso el estricto determinismo dinamicista de Boscovich le suena a las pretensiones de la física del siglo XVIII. En la confrontación entre Descartes y Newton, entre las colisiones al azar como productoras de orden y origen de la irreversibilidad y la ley que se despliega, invariable, en un tiempo geometrizado y ajeno al devenir, Boltzmann ya ha elegido bando porque cree haber encontrado la forma de sobrepasar la dicotomía de la que hablaban Prigogine y Stengers [PRIGOGINE y STENGERS, 1990, p. 92]. Para Maxwell, sin embargo, que está mucho menos comprometido que Boltzmann con las posiciones del realismo filosófico, las fuerzas de Boscovich tienen un significado puramente instrumental; son un material que él puede aprovechar como fuente de analogías y, es por ello que no tiene inconveniente en traducir a Boscovich al lenguaje atomista. Capek ha señalado [CAPEK, 1965, p. 112] que Boscovich, como otros muchos dinamicistas, se consideraba a sí mismo como un atomista, aunque ya desde los primeros párrafos de su *Theoria philosophiae naturalis* se preocupase de marcar las distancias respecto a Newton (y también respecto de Leibniz, desde luego). Pero sin duda la de Boscovich es una opinión algo sesgada porque, como ha puesto de manifiesto el lúcido análisis de Capek [CAPEK, 1965], su dinamicismo sólo puede ser asimilado a una versión marginal del

pensamiento atomista, Aún así, el que Whyte hablase de *atomismo puntual* es lo suficientemente explícito como para recordarnos la buena acogida que tuvo la teoría de Boscovich en Gran Bretaña frente a la indiferencia continental [WILLIAMS, 1961]. La diferencia entre las tradiciones científicas de las que proceden los dos grandes atomistas modernos se hace patente también en el punto de vista adoptado al enjuiciar a Boscovich: para Maxwell, éste era un atomista, para Boltzmann, no. Esta discrepancia ilumina nítidamente una profunda paradoja: la teoría de Boscovich fue simultáneamente reclamada y rechazada desde posiciones científicas atomistas igualmente fructíferas, algo que es, sin duda, uno de los elementos que han impedido valorar de forma apropiada las aportaciones de Boscovich al atomismo moderno.

Conclusiones

Si adoptamos un punto de vista centrado en su propia época, no podemos afirmar que Boscovich fuera un atomista. Considerarlo así no es sino una forma de hablar teñida de un cierto anacronismo: una cosa es que Boscovich tenga importancia para la historia de las ideas atomistas y otra bien distinta es que pueda considerarse, él mismo, un precursor del atomismo moderno. La física de Boscovich se inserta en un esquema conceptual que es heredero de la profunda crisis experimentada por el atomismo del siglo XVII como consecuencia del desarrollo de la física cartesiana, de la concepción dinamicista y metafísica de la materia de Leibniz y del descubrimiento de la acción a distancia newtoniana. Su fundamento inmediato no son los átomos y el vacío sino la crítica al newtonianismo y sus raíces se hallan en una filosofía tan profundamente antiatomista como la de Leibniz. Aunque en muchos aspectos se inspire en la obra de Newton, Boscovich no trata de elaborar una teoría que se fundamente de forma directa en el atomismo post-newtoniano —eso fue lo que intentaron hacer algunos de los físicos y químicos franceses y holandeses de la Ilustración— aunque visto con la perspectiva actual, su enfoque terminase aunando de manera peculiar las leyes de acción a distancia concebidas como algo dado *a priori* con ciertos aspectos del atomismo clásico y con una reelaboración del concepto leibniziano de fuerza.

Algunas de las ideas de Boscovich fueron profundamente reelaboradas por los científicos británicos del siglo XIX, quienes las incorporaron al esquema conceptual de la teoría cinética de los gases. Dicha reelaboración fue fundamental en los primeros intentos de crear una física molecular e hizo que

aquellos que la realizaron incorporasen sin más a Boscovich a la herencia del atomismo. Sólo desde una perspectiva que tenga en cuenta dicho proceso de absorción y adaptación tiene sentido que Born o, más recientemente Popper, llamen atomista a Boscovich.

Habría que preguntarse por qué las aportaciones de Boscovich a la teoría de la materia han sido minusvaloradas, e incluso totalmente olvidadas, por los modernos historiadores de la ciencia. Truesdell es cuanto menos injusto cuando afirma que *la valoración de las ideas de Boscovich se debe a la reciente aparición de la profesión de historiador no-matemático de física no-matemática* [TRUESDELL, 1975, p. 261], y aún lo es más cuando dice que *aparte del hecho de que citara Kelvin a Boscovich como predecesor en cuanto a teoría atómica, con el evidentísimo propósito de hacer un gesto generoso hacia el pasado y sin que debiera nada a su lectura (si es que la hubo) de los escritos de Boscovich, no puedo encontrar ninguna influencia y mucho menos realizaciones concretas, en el tratado del erudito jesuita eslovenio*⁵. Es cierto que en cuanto a realizaciones concretas, Boscovich está a años luz de distancia de Kelvin y Maxwell, pero no es menos cierto que la influencia de ciertas ideas de Boscovich sobre ellos es considerable, como lo es también su influencia en el pensamiento dinamicista de un científico tan decisivo como Faraday. Las citas al jesuita dalmata, que no eslovenio, no pueden interpretarse como gestos generosos a un pasado muerto. ¿Para qué molestarse en tener esa generosidad? Esas citas, en Maxwell, son lo que deben ser todas las referencias que aparecen en los trabajos científicos: referencias, a veces críticas, a unas ideas a las que se intenta encontrar acomodo en la propia visión de la materia; citas de los trabajos que le han hecho pensar a uno sobre la naturaleza del problema que tiene entre las manos. No cabe pensar sino que, cuando escribió las líneas transcritas más arriba, Truesdell no había comprendido que negar la influencia de las ideas de Boscovich sobre Maxwell o Kelvin es análogo a negar que Boltzmann deba algo a Demócrito y esto, simplemente, porque el enfoque formal y las técnicas matemáticas que aquel empleaba eran extraordinariamente más sofisticados que los del pensador griego.

No es de extrañar que Born, hablando de ondas, tildase a Boscovich de atomista pero el que lo hiciera Maxwell es un síntoma de las profundas transformaciones sufridas por el atomismo moderno durante la segunda mitad del siglo XIX. La historia de la absorción de las ideas de Boscovich nos proporciona un ejemplo concreto de la forma en que se produjo la síntesis de las varias líneas de desarrollo independientes que tuvieron su origen remoto en los

conflictos conceptuales de la física de finales del siglo XVII. Por otra parte, las intuiciones de Maxwell y las objeciones de Boltzmann a la física de Boscovich apuntaban a la necesidad de un cambio todavía más profundo, una transformación que, aunque iniciada por el propio Boltzmann, no tendría lugar hasta que el desarrollo de las ideas de la mecánica cuántica acabase por derribar el edificio de las viejas concepciones clásicas sobre la materia. Cercignani ha escrito que Boscovich *fue el primero que intentó desarrollar una teoría atómica sistemática en el contexto de la dinámica de Newton* [CERCIGNANI, 1998, p. 52] y, en efecto, ver en Boscovich a un atomista es común actualmente. Pero no deja de ser una afirmación profundamente paradójica que rinde tributo no tanto a Boscovich como a la notable imaginación científica de algunos atomistas del siglo XIX.

NOTAS

1 Aparte de en la *Monadología Physica*, las aportaciones fundamentales de Kant a este problema se encuentran en otros dos trabajos de la etapa precrítica: *Gedanken von der wahren Schätzung der lebendigen Kräfte* (1747) y *Neuer Lerhbegriff der Bewegung und Ruhe* (1758). El proceso de elaboración de la crítica kantiana a Newton culmina cinco años después de la publicación de la *Crítica de la razón pura*, cuando Kant publica *Los fundamentos metafísicos de la ciencia natural*, obra en la que sustituye la *vis inertiae* newtoniana por una *ley de inercia* asociada con la causalidad y en la que repudia ciertos aspectos de la *Monadología Physica*.

2 Diversos autores de principios del siglo XVIII como P. L. de Maupertuis, G.E. Vico o E. Swedenborg elaboraron modelos de la materia en los que se sustitúan los átomos extensos por puntos sin extensión. Los *puntos metafísicos* del segundo y los *puntos materiales* del tercero están muy cercanos a las mónadas de Leibniz. Maupertuis, por su parte, llevó a cabo un intento en esa misma dirección al tratar de visualizar las mónadas leibnizianas como puntos puramente físicos en un intento de ampliar el concepto de materia para que incluyera no sólo las propiedades de extensión, impenetrabilidad, gravedad, etc., sino también los hechos fundamentales de la conciencia. En realidad, Maupertuis abandonó el sistema metafísico de Leibniz y, en particular, su separación radical entre el mundo de las sustancias y el mundo de los fenómenos sin llegar a una verdadera descripción en el plano puramente físico. Su propuesta apenas tuvo eco [CASSIRER, 1972].

3 A mediados del siglo XIX este hecho era ya evidente: Cauchy, Poisson, e incluso Laplace, habían elaborado teorías de la materia tanto sobre la base de descripciones continuas como mediante conjuntos de centros puntuales de fuerza, demostrando en ocasiones que ambos modelos eran esencialmente equivalentes.

4 Boscovich fue contemporáneo y aún rival de Euler en algún concurso científico, pero no parece haber sido consciente de la decisiva transformación conceptual

introducida por el gran matemático suizo respecto de la vaga y contradictoria definición newtoniana de masa basada en la idea de *vis inertiae* [EULER, 1736].

5 Todo parece indicar que los destinatarios de esta andanada [TRUESDELL, 1975, p. 261, Nota] son aquellos historiadores de la ciencia que, como A. Koyré, han propugnado una valoración de las ideas científicas situándolas en el propio contexto conceptual en el que se empleaban y sin juzgarlas a la luz de las teorías actualmente admitidas.

BIBLIOGRAFÍA

BERNOULLI, D. (1738) *Hydrodynamica. Sive de viribus et motibus fluidorum comentarii*. Strassburg, Argentorati.

BOLTZMANN, L. (1895) "On certain questions of the kinetic theory of gases". *Nature*, 51, 413.

BORN, M. (1949) *Natural philosophy of cause and chance*. Oxford. Clarendon Press.

BOSCOVICH, R.G. (1763) *Theoria philosophiae naturalis*. Venecia, Typographia Remondiniana. 2ª edición revisada. 1ª edición inglesa a cargo de J.M. Child (1922) *A theory of natural philosophy*. Chicago. Open Court. Reimpresión (1961) por The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

BRUSH, S.G. (1965) *Kinetic theory*. Oxford, Oxford University Press, 3 vols.

CAPEK, M. (1965) *El impacto filosófico de la física contemporánea*. Madrid, Tecnos [Traducción de Eduardo Gallardo Rufz].

CASSIRER, E. (1972) *Filosofía de la Ilustración*. Madrid, Fondo de Cultura Económica [Traducción de Eugenio Ímaz].

CERCIGNANI, C. (1998) *Ludwig Boltzmann. The man that trusted atoms*. Oxford, Oxford University Press.

CLAUSIUS, R. (1857) "Über die Art des Bewegung wir wärme nehmen". *Annalen der Physik*, 100, 353.

EULER, L. (1736) *Mechanica sive motus scientia analytice exposita*. San Petersburgo.

HARMAN, P.M. (1995) *The scientific letters and papers of James Clerk Maxwell*. Cambridge, Cambridge University Press, 2 vols.

HARMAN, P.M. (1998) *The natural philosophy of James Clerk Maxwell*. Cambridge, Cambridge University Press.

JAMMER, M. (1961) *Concepts of mass in classical and modern physics*. New York, Dover.

LAPLACE, P.S. (1985) *Ensayo filosófico sobre las probabilidades*. Madrid, Alianza Editorial [Traducción, introducción y notas de Pilar Castrillo].

LEIBNIZ, G.W. (1990) *Monadología*. Madrid, Alhambra [Edición, traducción y notas de H. Arnau y P. Montaner].

MAXWELL, J.C. (1860) "Illustrations of the dynamical theory of gases". *Philosophical Magazine*, 19, 19.

NASH, L.K. (1967) *The Atomic-Molecular Theory*. Harvard, Harvard University Press.

NIVEN, W.H. (Ed.) (1890) *The scientific papers of James Clerk Maxwell*. Cambridge, Cambridge University Press, 2 vols.

POPPER, K.R. (1985) *Teoría cuántica y el cisma en física*. Madrid, Tecnos [Traducción de Marta Sansigre Vidal].

PRIGOGINE, I. y STENGERS, I. (1990) *La nueva alianza. Metamorfosis de la ciencia*. Madrid, Alianza Editorial, 2ª ed. [Traducción y notas de María Cristina Martín Sanz].

TRUESDELL, C. (1975) *Ensayos de historia de la mecánica*. Madrid, Tecnos [Traducción de Juan Carlos Navascués Howard y Enrique Tierno Pérez-Relaño].

WILLIAMS, L.P. (1961) "Boscovich and the british chemists". En: L.L. Whyte (Ed.), *Roger Joseph Boscovich. Studies of his life and work on the 250th anniversary of his birth*. London, George Allen and Unwin, 153-172.

WHYTE, L.L. (1961) "Boscovich's atomism". En: L.L. Whyte (Ed.), *Roger Joseph Boscovich. Studies of his life and work on the 250th anniversary of his birth*. London, George Allen and Unwin, 102-106.