

Reflexiones sobre el atomismo y las partículas elementales, a la luz de la filosofía de la química.

Eduardo Badía Serra*

El autor sostiene la hipótesis, a la luz del análisis histórico del atomismo, de su evolución vista desde la filosofía y de la ciencia, y de su posición a la luz de la actual visión de la realidad científica y filosófica, de que la actualidad y vigencia del atomismo se comprueba y se sostiene, al margen de las concepciones aceptadas hoy en torno a la estructura de las partículas elementales. Para él, las sustancias últimas de la realidad universal siguen siendo los átomos; las partículas elementales, quarks y leptones, son sólo manifestaciones de ellos que para nada alteran su composición y estructura.

Introducción: las ideas puestas y objetivo de este trabajo.

Las tesis atomistas pasaron a convertirse en la base de la fisicoquímica que explica la estructura de la materia, a partir de la segunda mitad del siglo XVII y hasta la primera del XVIII, con Robert Boyle, Isaac Newton, Mijail Lomonosov y John Dalton, a los cuales se había anticipado el mismo Galileo.

Sin embargo, deben reconocerse algunos detalles y realidades que permiten matizar tal afirmación, sin por supuesto negarla, producto de esa larga evolución del contenido de la doctrina desde su concepción original por los griegos en el siglo V a.C hasta nuestros días. Se intenta un poco detallar tal cuestión.

En opinión de Jesús Mosterín⁹⁷, el atomismo de Leucipo y Demócrito fue una teoría física y metafísica audaz y omniabarcadora, pero, al igual que la teoría de los cuatro elementos de Aristóteles, para nada contribuyó al desarrollo de la ciencia física en los dos mil años siguientes a su comienzo. El cristianismo la corrigió ligeramente para hacerla compatible con él y pudiera servir así de ideología filosófica dominante en la incipiente comunidad científica de entonces. Robert Boyle, en 1626, que fue un piadoso genuino, como científico defendió el atomismo, pero insistió en que para que este fuera una *aceptable guía científica* había que purgarlo de sus *conexiones ateísticas*, aunque ello había sido ya hecho por Descartes, y más completamente por Gassendi, quien *"cristianizó el atomismo"* cuando afirmó que *los átomos fueron creados por Dios y no son eternos. Sólo Dios puede destruirlos*. Así entonces, lo resucitaron tanto Pierre Gassendi como Isaac Newton, aunque aun y con ello siguió siendo hasta los siglos XVII y XVIII una mera especulación filosófica sin ningún tipo de apoyo empírico y aceptado en función de su sola plausibilidad intrínseca.

Sólo deja de ser lo anterior, prosigue el filósofo de la ciencia español, convirtiéndose en una verdadera hipótesis científica, a principios del siglo XIX, y no precisamente por obra de los físicos sino de los químicos. Fueron las mediciones de las cantidades de sustancia que entraban en combinación, a partir de los trabajos de Lavoisier, las que le proporcionaron una base empírica creciente, hasta que ello se establece en forma definitiva con el químico francés J. L. Proust a partir de 1799, con su *Ley de las Proporciones Definidas*, y se confirma en 1803 con la *Ley de las Proporciones*

* Eduardo Badía Serra es ingeniero químico y filósofo. Actualmente es el Director de la Editorial Universidad Don Bosco.

⁹⁷ Mosterín, Jesús, *conceptos y teorías en la ciencia*, Alianza Editorial, Primera Reimpresión, Madrid, 2003.

Múltiples del inglés John Dalton, y en 1870 con la tabla periódica de los elementos de Mendeleev.

Posteriormente entonces, la física retomó científicamente el atomismo, producto de lo cual fueron el desarrollo de la termodinámica estadística o teoría cinética de los gases de Maxwell, Boltzmann y Gibbs, en las que magnitudes fenomenológicas como la temperatura se interpretan como resultantes de los movimientos de los átomos y moléculas, en este caso, como su velocidad media.

La aceptación y consolidación del atomismo como teoría científica gracias al aporte de los químicos del siglo XIX, se ve relativizada en el siglo XX por el descubrimiento de las partículas elementales, precedido este por el de los rayos catódicos en 1875, los rayos X en 1895, la radioactividad en 1896, el electrón en 1897, el protón en 1907, la medición de la carga y la masa del electrón por Millikan, los modelos atómicos de Lennard y Rutherford en 1911 y de Bohr-Sommerfeld en 1913, el neutrón por Chadwick en 1932, la estructura de los rayos alfa por Heisenberg en el mismo año, el positrón también en 1932, etc. Gell-Mann y Zweig en 1963, proponen la hipótesis de los Quarks, y luego Harari en 1979 hace lo mismo con los *rishons* o *prequarks* argumentando que dichas dos partículas, la T y la V, son las únicamente elementales. De esa forma, cada vez más la noción del átomo va siendo relativizada, y hoy por hoy, leptones y quarks forman los componentes últimos de los sistemas físicos, con su estructura en franca dependencia de los *mediadores* y de las cuatro fuerzas fundamentales. Esta *relativización* del atomismo, o el dejar de considerar a los átomos como los *cuerpos últimos*, simples y carentes de estructura, sin embargo, se enfrenta ahora a una también *relativización* de la teoría de las partículas elementales. Menchaca Rocha⁹⁸, expone la necesidad de *introducir orden en la selva de las nuevas partículas*, y la imposibilidad de introducir ese orden hace que dicha teoría esté actualmente también fuertemente cuestionada.

Esta larga historia del atomismo es, al decir de Feyerabend⁹⁹, *un ejemplo interesante de ese rasgo del cambio científico*. El atomismo se enfrentó a dificultades teóricas y empíricas, en la antigüedad al formular Aristóteles una crítica sutil y efectiva, en la edad media cuando fue a menudo desacreditado por su conexión con el hedonismo y el ateísmo, y en el siglo XIX cuando leyes y hechos bien establecidos en el campo de la química y de la termodinámica parecían proporcionar una evidencia refutadora y decisiva.

Podría entonces pensarse que el atomismo clásico es insostenible, pues su esencia misma, la existencia de cuerpos simples inalterables, ingenerables e indestructibles, ya no es sustentable, dado que todas las partículas hoy conocidas o postuladas pueden aniquilarse, o crearse, o transformarse las unas en las otras. Sin embargo, la actual teoría de las partículas elementales pareciera ser un paradigma en agotamiento. La tendencia hoy aceptada¹⁰⁰ considera a las cosas como sistemas, siendo estos, universos o conjuntos de elementos (la materia) provistos de estructura (la forma). Por otro lado, la volatilidad de los actuales y recientes paradigmas científicos hace que el carácter progresivo de la ciencia se relativice, y por lo tanto, se sostengan y emerjan de nuevo *viejas* teorías ya desechadas. Un ejemplo actual es la citada teoría de las supercuerdas de Gell-Mann, la cual, de acuerdo a las predicciones, no será sostenible en el corto plazo.

⁹⁸ Menchaca Rocha, Arturo, *El discreto encanto de las partículas elementales*, quinta reimpresión, Fondo de Cultura Económica, México, 1996.

⁹⁹ Feyerabend, Paul, *Provocaciones Filosóficas*, Edición de Ana P. Esteve Fernández, Clásicos del Pensamiento, Biblioteca Nueva, Madrid, 2003.

¹⁰⁰ Mosterín, Jesús, op. cit.

Dampier¹⁰¹ opina que el atomismo se acerca más a las ideas actuales que cualquiera de los otros sistemas que le precedieron o le reemplazaron. Para él fue un lamentable desacierto el que quedase virtualmente eliminado bajo las críticas destructivas de Platón y de Aristóteles. Aristóteles, dice Dampier, *fue un gran filósofo, pero en la historia de la ciencia experimental debe considerarse como una verdadera calamidad.*

Yo agregaría que la actualidad y vigencia del atomismo se comprueba y sostiene al margen de las concepciones aceptadas hoy en torno a la estructura de las partículas elementales. Mi argumento es el siguiente: En una reacción química, cualquiera que sean su naturaleza y las condiciones en que se desarrolle, sin excepción, aparecen y desaparecen moléculas pero se mantienen los átomos que las conforman y en ella intervienen. En una interacción, las partículas elementales se destruyen y se generan sin control y de manera no predecible. Pienso así que las sustancias últimas de la realidad universal siguen siendo los átomos, y que las partículas elementales, quarks y leptones, por ahora, son sólo manifestaciones de ellos que para nada alteran su composición y su estructura. A la pregunta inicial de los atomistas griegos, de ¿quién o qué origina todas las cosas?, habría que responder con otra: ¿ Los átomos, o las partículas elementales ?

El objetivo de este trabajo es, precisamente, sostener esta hipótesis, a la luz del análisis histórico del desarrollo del atomismo, de su evolución vista desde la filosofía y desde la ciencia, y de su posición a la luz de la actual visión de la realidad científica y filosófica.

El atomismo en su concepcion inicial.

El atomismo en su concepción inicial, tal y como se acepta, tiene su origen dentro del conjunto de la filosofía griega en los siglos VI-III a.C, con su formulación por Leucipo de Mileto (500-440 a.C.) y Demócrito de Abderá (460-370 a.C.), y su continuación por Epicuro de Samos (341-270 a.C.). Su culminación se da ya en los siglos último a.C y primero de la era cristiana con el romano Tito Lucrecio Caro (99 a.C-55 d.C.). Son estos cuatro pensadores los iniciadores de esta corriente filosófica, cuya importancia y riqueza parece no haber sido reconocida adecuadamente por los historiadores de la filosofía. Rosental¹⁰², señala que hay una formulación primera del atomismo en las filosofías indias *niaia* y *vaisheshika*, aunque sólo con los griegos es ella completa y consecuente.

Sin embargo, este atomismo no puede verse desvinculado de otras tendencias y expresiones del pensamiento de los mismos griegos de la época, particularmente la *doctrina de los cuatro elementos* de Empédocles y Aristóteles, y la *doctrina de las homeomerías* de Anaxágoras. E incluso algunas situaciones que se daban en el pueblo heleno para esos siglos merecen ser consideradas y ser vistas en adecuada perspectiva, por cuanto de alguna manera influyen y podrían haber inducido al desarrollo del pensamiento atomista. Piensa Lockemann¹⁰³, que ya en Grecia en los siglos VIII y VII a.C., según relata Herodoto, se conocían aleaciones de Oro y Plata (ho elektros = 4 partes de Oro + 1 parte de Plata). En el siglo IV a.C. eran conocidos el Cobre, el Bronce, el Sulfato de Cobre, el Estaño, el Mercurio, el Hierro y el Plomo. Continúa ese autor diciendo que en el siglo III a.C, Arquímedes determina el contenido de Oro en la corona del rey Hieron II de Siracusa, determinando su peso específico y gritando !Eureka! Incluso debe considerarse la que aparentemente ha

¹⁰¹ Dampier, William Cecil, *Historia de la ciencia y sus relaciones con la filosofía y la religión*, tercera edición, Tecnos, Madrid, 1997.

¹⁰² Rosental, M. M., y Iudin, P. F., *Diccionario Filosófico*, Editorial Tecolut, El Salvador, 1971.

¹⁰³ Lockemann, Georg, *Historia de la Química*, tomo I, Primera edición en español, UTEHA, México, 1960.

sido la pregunta inicial de la filosofía, cuando los milesios se interrogan por el *argé* de las cosas, dando sus famosas respuestas: el agua (Tales), el apeiron (Anaximandro), el pneuma (Anaxímenes), e incluso las de los metafísicos Pitágoras (ho arithmos) y Heráclito (el fuego). Esta preocupación de los filósofos griegos por la naturaleza sin lugar a dudas provoca una reflexión sobre la ultimidad de las cosas, su esencia misma, reflexión que pudiera haber sido la de los atomistas.

Asegura Aristóteles en su *Metafísica* que Leucipo fue el fundador del atomismo. Teofrasto le otorga incluso la paternidad del *Megas Diakosmos* o *Gran sistema del mundo*, aunque ésta también se le atribuye, (Trásilo), a Demócrito. El mismo Demócrito cuenta que Anaxágoras plagió a Leucipo con las *homeomerías*. Se cuenta también que Platón intentó quemar las obras de Demócrito. Hay quienes niegan incluso la misma existencia física de Leucipo. Ervin Rhode, Paul Tannery y A. Brieger¹⁰⁴, aceptan lo anterior apoyándose en una afirmación del mismo Epicuro de que *no existió nunca un Leucipo filósofo*. Dentro de esa variedad de historias, los filósofos atomistas se confirman como uno de los conjuntos de pensadores de más relevancia en la antigüedad. Hirschberger incluso considera a Demócrito un genio universal *no inferior acaso a Aristóteles*, y se atribuye incluso a Leucipo la formulación del *Principio de Causalidad* en los términos siguientes: *Ninguna cosa surge sin causa; todo surge por alguna razón y en virtud de la necesidad*.

A Leucipo se le atribuyen dos obras, *Gran Sistema del Mundo*, como se ha dicho, y *Del Espíritu*, en las cuales, sobre todo en la primera, expone su concepción atómica. Demócrito se reconoce como su discípulo. Epicuro es considerado el más importante de los filósofos helenísticos. Pero es el romano Tito Lucrecio Caro el que con más profundidad expone la doctrina atomista, recogiendo los aportes de sus antecesores y corrigiendo, a su criterio, las deficiencias y los errores en que estos incurrieron. El atomismo de Tito Lucrecio es, sin lugar a dudas, el más acabado aunque no necesariamente el más preciso.

Cuatro grandes problemas son abordados en su conjunto por los atomistas: La doctrina atomista, el mundo, el alma y la teoría del conocimiento, aunque en Leucipo no se identifica realmente esta última. Hay diferencias fuertes entre ellos, aunque estas no significan en ningún momento que se pierda la unidad de doctrina.

El atomismo.

En un sentido lo bastante general, el atomismo establece que las sustancias están constituidas por unidades indivisibles (*atoma*) pequeñísimas, no perceptibles por los sentidos (*aorata*) y sin cualidad. Estos átomos son en el espacio vacío, *lo que es en lo que no es*, y se diferencian unos de otros sólo por la forma y el tamaño. Girando en el espacio vacío se unen y se separan sometidos sólo a la ley natural, a la ciega necesidad (*anagke*). No existe ni azar ni albedrío; todo es necesidad.

Sosteniendo siempre lo anterior, los filósofos atomistas sin embargo guardan cada quien sus propias particularidades. Veamos a continuación como cada uno de ellos expone su propia concepción.

Leucipo establece que los átomos son el elemento último y originario de todas las cosas. Estos átomos requieren como elemento inseparable al vacío, el cual viene así a ser una condición indispensable para su movimiento. El vacío es el *no-ser*, pero un *no-ser* que es con tanta realidad como los átomos. Los átomos son partículas indivisibles debido precisamente a su pequeñez; son además impenetrables, eternos

¹⁰⁴ Peña Ramos, Héctor A., *La doctrina atomista antigua*, Alfa y Omega, República Dominicana, marzo, 1979.

y homogéneos. Son iguales en cuanto a la sustancia que los compone, no admiten diferencias cualitativas, sólo cuantitativas.

Para Leucipo existe el movimiento, el mundo es de carácter material, la naturaleza es increada, así como las cosas existentes. Esto lo hace enfrentar al idealismo eleático y platónico. Refuta las aporías de Zenón sobre la inamovilidad de las cosas, argumentando que el espacio no es infinitamente divisible, pues si lo fuera, al llegar al límite atómico, pudiera dividirlos. Los átomos tienen además formas infinitas, pero en los ámbitos más pequeños, esta infinitud de formas atómicas tiene límites, cuestión esta criticada posteriormente por Demócrito, para quien habían *átomos grandes, tan grandes como un mundo*, con lo cual destruía la tesis de la indivisibilidad como consecuencia de su pequeñez, y hacía insostenible su propia tesis de que los átomos no se perciben por los sentidos. Con posterioridad a Leucipo, se llegó a establecer que la indivisibilidad de los átomos no es por causa de su pequeñez sino por la solidez de su estructura íntima. Este conflicto fue resuelto por Epicuro, al establecer que las formas de los átomos son limitadas, no infinitas.

Para Leucipo, el movimiento es eterno, existe desde siempre y es consustancial a la materia de los átomos. La única función del vacío es la de permitir el movimiento y la existencia de los átomos, que son las partículas finales de todo lo que está compuesta la realidad. Aristóteles criticó a Leucipo, e incluso a Demócrito, por no señalar el origen del movimiento, crítica que es inconsistente pues si el movimiento es eterno no tiene principio ni fin.

Demócrito, discípulo de Leucipo, coincide con él en que los átomos y el vacío son la expresión final de todas las cosas, en que los átomos son indivisibles, carecen de diferenciaciones cualitativas, y en que el vacío es el lugar en que invariablemente existen y se mueven dichos átomos. Sin embargo, como se ha dicho, la indivisibilidad de los átomos no es a causa de su pequeñez sino de su dureza. Los átomos existen en número ilimitado y se mueven eternamente en el vacío infinito. De esta manera, Demócrito enfoca correctamente el problema de la materia en función de sus tres propiedades inherentes: Movimiento, tiempo y espacio.

Para Demócrito, los átomos solamente se diferencian mutuamente por su forma, orden y posición, y además, por su magnitud y su peso. Ya se ha señalado la contradicción en que incurre Demócrito cuando afirma que los átomos son *invisibles* pero puede haberlos *tan grandes como un mundo*, al tratar de resolver el problema en que había caído Leucipo al radicar en la pequeñez su indivisibilidad.

La magnitud de los átomos está relacionada con su forma. El peso aparece una vez creados los cuerpos, y está determinado por la cantidad de vacío que contienen. Por su movimiento eterno se desplazan, se asocian y se separan. Cuando Demócrito afirma que este movimiento *ocurre en medio de una presión exterior, y es también, connatural y automático*, está denotando ya en él alguna tendencia de carácter mecanicista.

Epicuro prosigue con la teoría de sus antecesores, en cuanto a que los átomos constituyen la realidad última de todas las cosas, siendo indivisibles e impenetrables, y el vacío sigue siendo una condición indispensable para su movimiento y su existencia. Son homogéneos cualitativamente, y sólo se diferencian cuantitativamente por la forma, la magnitud y el peso.

Pero contrario a Demócrito, establece límites a las formas de los átomos, aunque estos existan en número infinito. De igual manera, el vacío es infinito y ello hace posible el movimiento atómico. Los átomos y el vacío se mueven perennemente, han existido desde siempre y nunca perecerán. Se diferencian por su peso, se mueven vertical y descendentemente, y además se separan espontáneamente de manera

internamente condicionada de su caída vertical. Es una declinación o ciclamen atómica, tesis esta con la cual Epicuro trata de superar el fatalismo de Demócrito.

Epicuro sostuvo siempre el principio de la conservación de la materia. En él se advierte algún nivel de contradicción cuando afirma que los átomos existen en un número infinito a pesar de que su cantidad es constante y por lo tanto no varía.

Finalmente, Tito Lucrecio Caro, en su obra *De la naturaleza de las cosas*, sostiene la existencia de los átomos y el vacío. En este filósofo encontramos ya una concepción mucho más elaborada del atomismo, aunque siempre sosteniendo los fundamentos que a partir de Leucipo han sostenido la unidad de doctrina.

Como de la nada no puede surgir absolutamente nada, dice Lucrecio, la materia es eterna e indestructible, y todo lo existente se ha formado de la combinación de los átomos y el vacío. Con ello, el movimiento es inseparable de la materia e igualmente no tiene principio ni fin. El tiempo no existe por sí mismo, sino es una propiedad inherente de la materia indestructible en movimiento constante.

Los átomos son homogéneos, y sólo se distinguen por su forma y magnitud, y en las combinaciones, por su posición y cantidad. Para Tito Lucrecio, el universo es infinito.

Este filósofo romano rechaza la tesis de Leucipo y Demócrito que sostiene que los átomos chocaban por la gran velocidad del movimiento de los más pesados en el vacío. Considera él que los cuerpos en el vacío se desplazan a la misma velocidad. Sólo la desviación en los átomos generaría nuevos choques atómicos, pero esta desviación no es la negación de toda conexión causal, puesto que el universo está regido por leyes. De acuerdo con esto, los átomos se mezclan con arreglo a leyes específicas, sus formas tienen determinados límites, no son infinitas.

Lo anterior significa ni más ni menos la aceptación por parte de Tito Lucrecio Caro de la tesis de Epicuro sobre la desviación y declinación de los átomos, y de la misma manera, un rechazo a Leucipo y Demócrito. Por las variadas formas atómicas es que se tienen las diferentes sensaciones de los cuerpos.

El mundo.

Dice Leucipo que los cuerpos son combinaciones de átomos. El mundo se origina por el arrastre de muchos cuerpos de toda clase de formas por el corte del infinito a un gran vacío, y al reunirse producen un sólo torbellino en el que, chocando unos con otros y circulando en todas las maneras posibles, se separan aparte los semejantes con los semejantes. Pero cuando su multitud no les permite ya girar en equilibrio, los más finos pasan al vacío exterior a través de una criba; los demás permanecen unidos, y entrelazándose unos con otros descienden conjuntamente y forman una primera estructura esférica: Esta se mantiene apartada como una membrana que contiene en sí todo género de cuerpos.

Esta fantástica concepción de Leucipo es retomada por Demócrito, quien al compartir con él que todas las cosas están compuestas por átomos, éstos luchan y se mueven debido a sus desemejanzas y a sus otras diferencias, precipitándose así a velocidades infinitas, entrecruzándose y sacudiéndose mutuamente, formando entonces *ciertas acumulaciones atómicas*. De estas acumulaciones, ciertos átomos, por algún frotamiento lateral, adquieren un movimiento circular que produce un torbellino. Viene entonces la separación selectiva en la que como en una especie de criba se reúnen los átomos semejantes por su tamaño y figura y se expulsan los que no guardan suficiente relación. Se forman entonces diferentes agregados o mundos en número infinito y tamaños diferentes, unos creciendo, otros en su plenitud, otros

decaendo. Nacen en algunos sitios, mueren en otros. Su muerte consiste en su disolución en átomos, último e imperecedero elemento de la realidad. Demócrito defendía así la causalidad y el determinismo, aunque éste tuviera un carácter fatalista. Su concepto de causalidad no se diferencia mucho de la mayoría de los mecanicistas modernos, como Thomas Hobbes, Baruch Espinosa y Pablo Enrique Holbach. Demócrito, de alguna manera, establece ya el principio de conservación de la materia: *Nada se engendra de lo no existente; nada se destruye en lo no existente*. Indudablemente como en Leucipo, esta concepción del mundo de Demócrito no deja de contener elementos fantásticos, pero claramente se advierten en él algunas posturas de muy fuerte contenido científico de gran riqueza si nos remitimos a la época en que fueron por él establecidos.

La formación del mundo según Epicuro es a grandes rasgos la misma de Demócrito. Niega el origen divino del universo. De igual manera, Tito Lucrecio niega también la intervención divina en la concepción del mundo, y niega la voluntad divina como causa de los fenómenos. Sólo las combinaciones atómicas producen todo lo que existe, y estas están sujetas a leyes. En consecuencia, la formación y desarrollo de la naturaleza depende de leyes inalterables, inquebrantables. Los fenómenos naturales, como el trueno, el rayo, las lluvias, son hechos no divinos sino naturales, sujetos a las leyes internas de la materia.

El alma.

Para Leucipo, el alma es una sustancia material, compuesta de los átomos más sutiles. No es inmortal, tiene una vida temporal, al igual que el cuerpo del hombre que le da cabida. *El alma perece entonces cuando muere el cuerpo, ya que sus átomos se dispersan en la atmósfera*.

Muy parecida es la concepción de Demócrito, para quien, de igual manera, el alma está también integrada por átomos sutiles, pero agrega que dotados de un movimiento rápido, de forma esférica. El alma es de naturaleza mortal y desaparece con la muerte del cuerpo.

Epicuro agrega a la sutilidad de los átomos que constituyen el alma, el ser átomos finos. El alma para él es tan normal como el cuerpo, a quien acompaña, y con él desaparece, no sobrevive a la muerte corporal. Según Epicuro no existe vida futura para los seres humanos después de su fallecimiento. Los dioses existen en los espacios vacíos que hay entre los mundos, viven al margen de todo, desarrollan una vida ociosa y feliz, no participan en la formación de las cosas, ni en su destrucción, ni en sus cambios, son totalmente indiferentes a cuanto existe, y no ve él razón alguna para adorarles y para temerles.

Finalmente, para Tito Lucrecio Caro el alma es, como para sus antecesores, tan mortal como el cuerpo. Es la unión pasajera de partículas singulares que, una vez producida la muerte corporal, se disgregan hasta regresar a su forma inicial. Para él, ésta era la forma de liberar al hombre del temor al infierno y de los suplicios de ultratumba. Lucrecio diferencia al alma del *ánimo*, al que llama inteligencia y lo sitúa en medio del pecho. Tanto el alma como el *ánimo* desaparecen con la muerte corporal del hombre.

Teoría del Conocimiento.

Como se ha dicho, no hay en Leucipo señal alguna de una teoría del conocimiento, por elemental que pueda considerarse. Su discípulo Demócrito sí desarrolla ya una. Según éste, de los cuerpos se desprenden los *ídolos*, emanaciones de estos mismos cuerpos, que al actuar sobre los órganos sensoriales ofrecen una imagen, una copia

de las cosas de donde provienen dichas emanaciones. Pero ese conocimiento es bastardo, oscuro, y sobre él se levanta uno más legítimo, más sutil, el conocimiento racional, que se obtiene mediante la inteligencia, y que es el único capaz de conocer los átomos y el vacío. Lo dulce, lo amargo, lo frío, el calor, etc., son cualidades accesorias de los objetos, transitorias, subjetivas, que sólo existen por convención; pero lo único objetivo son los átomos y el vacío¹⁰⁵. Esta concepción de Demócrito puede considerarse¹⁰⁶, un antecedente en la distinción entre las cualidades primarias y secundarias de las cosas, que reaparecerá en Descartes y en Locke.

Epicuro, por su lado, fija la fuente de todas las ideas en las sensaciones, producto de la actuación de las cosas materiales sobre los órganos de los sentidos. El pensamiento, el conocimiento teórico, es una elaboración posterior de las sensaciones ya formadas. Epicuro participa de la teoría de los ídolos. Para él, las sensaciones son siempre verdaderas siempre que sean sanas. Sólo los hechos son capaces de afirmar o negar un juicio; una hipótesis sería verdadera si nada la invalida; no es el sano juicio ni los postulados de la razón pura lo que valida lo verdadero o lo falso, sino su comparación con los hechos.

Como puede verse, es muy parecida la filosofía de estos cuatro filósofos atomistas. Tanto su concepción del mundo, como su teoría sobre el alma y su teoría del conocimiento giran en torno a una idea central, la idea atomista, que es el eje de su pensamiento.

La doctrina de los cuatro elementos de Empédocles y Aristóteles y las homeomerías de Anaxágoras.

Como se ha dicho, la teoría atomista no puede verse desvinculada de otras que se dieron en la época o con inmediata anterioridad y posterioridad a la misma. Entre ellas deben citarse la de los *Cuatro Elementos* de Empédocles - Aristóteles, y la de las *Homeomerías* de Anaxágoras. Hay incluso opiniones que hacen ver al atomismo como el resultado de la evolución natural de estas dos teorías.

Aristóteles (381-322 a.C.) no aceptó la teoría atómica o atomística. Sentado el principio de que la división de la materia podía continuar hasta el infinito, la aceptación de partículas indivisibles le parecía inaceptable¹⁰⁷. Aceptó los cuatro elementos de Empédocles, agregándoles un quinto, la *ousía* o *ither* (*éter*), que más tarde designó la filosofía escolástica como la *quinta esencia*, o el *quid*, la *quididad*,

introduciendo además el concepto de *transmutación de los elementos*, o *transelementación*. Existen cuatro propiedades fundamentales (*qualitates prima*) de las que cada dos se oponen entre sí: Seco-húmedo, frío-caliente. De estos dos pares de propiedades corresponde a todo elemento una de cada par: Seco y frío = tierra, húmedo y frío = agua, seco y caliente = fuego, húmedo y caliente = aire. Las restantes propiedades (*qualitates secundae*) están condicionadas por las propiedades principales. Sin embargo, el éter es eternamente invariable, flota por encima de todo y todo lo penetra. En esta idea de transmutación de los elementos basaron sus esfuerzos los alquimistas.

Esta teoría de los cuatro elementos se origina realmente en Empédocles de Agrigento (490 - 430 a.C.), para quien los fundamentos últimos de todos los fenómenos naturales son el fuego, el aire, el agua y la tierra. Todas las cosas se forman de

¹⁰⁵ Peña Ramos, Héctor Antonio, op. cit.

¹⁰⁶ Karapetians, M. J. y Drakin, S. I., *Estructura de la sustancia*, Segunda edición, Editorial Mir, Moscú, 1979.

¹⁰⁷ Lockemann, Georg, op. cit.

diversas combinaciones de estas cuatro *raíces*. Los cuatro elementos se mueven por la acción de dos fuerzas opuestas, el amor y el odio.

Por su parte, Anaxágoras de Claxomene, (500 - 428 a.C.), al igual que Empédocles, Leucipo y Demócrito, niega la realidad del nacimiento y la muerte. Veía todos los procesos como mezcla y separación de partículas invariables. Pero sus átomos son cualitativamente diferentes, son las *semillas primitivas de todas las cosas*, las *espermata panton chrematon*, denominadas más tardes por Aristóteles como *Homeomerías*, (*homao-mereia*). Los cuerpos derivaban de estos primeros elementos parecidos cualitativamente a ellos; así, la carne se compone de partículas de carne, la sangre, de gotitas de sangre, los huesecillos, de huesecillos. Estas eran, pues, las *homeomerías*, las *partes semejantes al todo*, que no se hallaban sometidas a una ley natural ciega sino que la *razón divina*, (*ho nous*) creó a partir del *chaos* o *desordenado estado primitivo*, el *kosmos* bien ordenado.

Las *homeomerías* se mueven por una fuerza exterior a ellas, el *nous*, o *inteligencia universal*, el más sutil y ligero de todos los seres.

Realmente, Anaxágoras, Empédocles y Demócrito (Claxomene-Atenas, Agrigento-Sicilia, y Abderá-Tracia), consideraban a los fenómenos de la naturaleza como resultado de la unión y separación de las partículas materiales, pero no aceptaban que estas se generaran o perecieran en sentido propio.

Entorno que rodea a los filósofos atomistas en Grecia.

Esta visión cosmocéntrica de los primeros filósofos griegos, cuya pregunta central era la pregunta por el principio, la naturaleza (*physis*), el *argé*, tuvo tres diferentes momentos:

En un primer momento, la preocupación es el primer principio, el principio material o ordenador de las cosas. La primera pregunta es ¿De qué está hecho el mundo? La respuesta: De un principio material y físico, el agua, lo indeterminado, el aire, (Escuela de Mileto, Tales, Anaximandro, Anaxímenes), el fuego, (Heráclito), los cuatro elementos, (Empédocles), las homeomerías, (Anaxágoras), los átomos, (Leucipo, Demócrito, Epicuro, Tito Lucrecio Caro). La segunda pregunta, ¿Quién o qué ordena o forma las cosas del mundo? La respuesta: Una fuerza elemental, el número (Pitágoras, Filolao).

En un segundo momento, la preocupación es cómo llega la materia a la forma. La pregunta: ¿Cómo surgen las cosas del mundo? ¿Cómo se aplican el perpetuo nacer y morir, la eterna mutación? Una de las respuestas es: Las cosas no existen, ! Son ! Existe lo invariante, el Ser, (Escuela Eleática, Xenófanes, Parménides, Xenón, Meliso). Otra de las respuestas: Existe el cambio, (Escuela Heraclitea, Heráclito de Efeso).

Y finalmente, en un tercer momento, la preocupación se torna hacia la determinación de si la esencia es única o es plural. La pregunta: Lo esente, ¿Es algo múltiple o algo único? La respuesta: Por un lado, no hay una sola esencia sino una pluralidad de esencias, el agua, la tierra, el aire y el fuego de la doctrina de los cuatro elementos; por el otro, el átomo, la atomística, como esencia única a pesar de su multiplicidad y variedad.

El atomismo encuentra entonces plena justificación como posibilidad de pensamiento en una sociedad abigarrada de reflexiones, logos y razón que habían sucedido al mundo mítico de Homero y Hesíodo de los siglos anteriores. Desafortunadamente, la historia de la filosofía ha privilegiado, como sucede siempre y en todo, algunos

autores y algunas corrientes, ocultando o mediatizando otras que de igual manera tuvieron una riqueza y una importancia igual o probablemente mayor. Opiniones se repiten en el sentido que si en vez de Aristóteles y su paradigma físico hubiera sido magnificado y privilegiado el atomismo, la ciencia hubiera avanzado mucho más rápidamente de lo que lo ha hecho.

Diferentes visiones: Aristóteles, Parménides y el atomismo.

El principio de la permanencia de la materia fue el principal fundamento de la metafísica de Demócrito. De acuerdo con Diógenes Laercio, en su obra *De clarorum philosophorum vitiis*, Demócrito habría establecido que *nada viene de la nada, y nada puede transformarse en nada*, cuestión que aparece en Lucrecio ya con más claridad en la forma de *nada puede ser creado de la nada por el poder divino*. Aristóteles, en la *Física*, atribuye la idea inicial de Demócrito a Anaxágoras, en la forma de *nada puede venir de aquello que no existe*. Adicionalmente, Lucrecio afirma la indestructibilidad de la materia: *La naturaleza resuelve todas las cosas en sus átomos componentes y nunca reduce algo a nada*. Lo anterior muestra claramente cómo el esquema conceptual de Lucrecio es fundamentalmente diferente al de Aristóteles, pues para él, el peso no es una propiedad accidental de la materia sino uno de sus atributos universales, y está además en relación a la cantidad de materia que lo contenga. Y viene a confirmar también las diferentes visiones existentes en esos momentos en torno a la debatida e importante cuestión de la composición última de la realidad, el famoso *argé* de las cosas, que venía preocupando y ocupando a los griegos de los siglos VI-II a.C., de las cuales prevaleció la visión aristotélica, perjudicando así el desarrollo ulterior del atomismo, al margen de los esfuerzos posteriores de Epicuro y Lucrecio.

Se trata aquí de exponer rápidamente estas distintas visiones.

El atomismo ha sido considerado un tipo especial de *corporeismo* o de *pansomatismo*¹⁰⁸, tesis que sostiene que todas las entidades son cuerpos. Mosterín, en la obra en referencia, afirma que Leucipo vio en la tesis parmenídica que lo único que existe es lo existente, y que lo existente es homogéneo, eterno, ingenerable, inalterable, indestructible, único y continuo. Para los eleáticos, como sabemos, el mundo observable es pura ilusión. Leucipo vio aquí la posibilidad de combinar la férrea lógica parmenídica con la evidente multiplicidad y cambio de las cosas visibles.

Siempre según Mosterín, Leucipo y Demócrito aceptaron la tesis anterior de Parménides, excepto en lo referente a la unicidad y continuidad; para ellos, lo existente es efectivamente homogéneo, ingenerable, inalterable e indestructible, pero no único ni continuo. Al contrario, lo existente es, precisamente, múltiple y discreto, y por ello es que se requiere del vacío y no existente pues ello permite fraccionar o separar los trozos de existente, trozos que son cuerpos simples, homogéneos, eternos, ingenerables, inalterables, indestructibles, indivisibles (átomos) y sólo se diferencian unos de otros por su figura y por su tamaño. Los cuerpos complejos, que son los que vemos, cambiantes y cualificados, sólo son momentáneas configuraciones o conglomerados de los cuerpos simples indivisibles o átomos, y precisamente la generación y destrucción de estos cuerpos complejos se explica por la agregación y disgregación de los cuerpos simples debido a su continuo y ciego movimiento en el vacío.

¹⁰⁸ Mosterín, Jesús, op. cit.

Siguiendo siempre a Mosterín¹⁰⁹, Aristóteles acepta que efectivamente los objetos naturales que vemos por doquier son sistemas compuestos de cuerpos simples que no vemos (átomos). En esto coincidía con el atomismo. La diferencia estribaba en que:

- Mientras estos enfatizaban en las propiedades y en el funcionamiento de los compuestos, Aristóteles colocaba el énfasis en su estructura;
- Mientras para los atomistas cabía perfectamente un análisis definitivo y absoluto de los cuerpos compuestos en cuerpos simples, para el estagirita este análisis era sólo provisional y relativo en componentes y estructura;
- Para el atomismo, los cuerpos simples (átomos), son eternos e inalterables, no estando sujetos a más cambio que el meramente local; Para Aristóteles, los cuerpos simples (los elementos) son sujetos del cambio entitativo, transformándose en determinadas circunstancias unos en otros.

Como se ve, el entorno del pensamiento en esa Grecia de la primera filosofía se debatía por la naturaleza aun en el período llamado antropológico o del esplendor. El atomismo, arraigado en un pensamiento de grueso contenido científico, aunque saturado de perfiles metafísicos, sin embargo, no pudo ante el embate del aristotelismo posterior que se entronizó gracias al relanzamiento de su doctrina por los árabes Avicena y Averroes, y posteriormente por los escolásticos, sobre todo aquí, Santo Tomás.

Transición de la atomística a la teoría corpuscular.

Hasta el siglo XV, la atomística se sostuvo prácticamente inalterada y no significó ninguna influencia en el desarrollo científico, dominado por la física misma aunque ya con algunos elementos de desarrollo en el campo de la química y de la biología. El paradigma aristotélico, adaptado al cristianismo por los escolásticos, dominó el ámbito científico desde el momento de la recuperación de la obra luego de sus *peripecias*. Como hemos dicho, hubo una *cristianización del atomismo*, pero esta cristianización trasladó la original concepción a otra que se conoció como *Teoría Corpuscular*. Con esta *cristianización* se logró superar la oposición general basada en consideraciones teológicas y sobre todo en la fuerte influencia de Aristóteles.

Con la renovación de la filosofía de la naturaleza en el siglo XV, se advierte de nuevo un resurgimiento de las antiguas teorías del atomismo griego, sobre todo en Italia, y coincidiendo ello con la superación del aristotelismo a partir de las ideas de Nicolás de Cusa y de Giordano Bruno. Schilling¹¹⁰, señala como precursores de este movimiento a Fracastoro, (1483-1553), Cardanus, (1501-1576), y Telesius, (1508-1588), quienes, más que al atomismo, se asocian a las ideas de Empédocles y Anaxímenes. Este movimiento alcanza su máxima representación con Giordano Bruno (1548-1600). Bruno desarrolla su filosofía de la naturaleza retomando a los anteriores y uniendo sus ideas con algunas de Nicolás de Cusa y de Copérnico, pero supera incluso a este último cuando afirma que ni la tierra ni el sol son el centro del universo dado que este es infinito y un infinito no tiene centro o este se encuentra en él en cualquier parte.

Este resurgimiento de la filosofía de la naturaleza muestra su retomar el atomismo ya en el siglo XVI, y si bien en el siglo anterior son los paradigmas físicos los que lo motivan, ahora es el desarrollo de la química el que provoca el nuevo fenómeno.

¹⁰⁹ Mosterín, Jesús, op. cit.

¹¹⁰ Schilling, Kurt, *Historia de la Filosofía*, tomo V, desde el renacimiento hasta Kant, UTEHA, México, primera edición en español, 1965.

Como una necesidad de liberarse de los dogmas escolásticos y iatroquímicos, la investigación inductiva y el empirismo experimental surgen con Leonardo da Vinci, (1452-1519), Luis Vives, (1492-1540), y especialmente Francis Bacon de Verulam, (1561-1626). Bacon es considerado¹¹¹, un *renovador de la atomística*, y en su *Novum Organum*, 1620, expone su hipótesis acerca de la constitución material de las cosas. No considera las partículas más pequeñas componentes de los cuerpos en el mismo sentido que Demócrito, es decir, como átomos cualitativamente iguales en el espacio vacío, sino como las partículas últimas, moviéndose en todas direcciones, del propio cuerpo, visible y palpable, y que se diferencian de este sólo por el tamaño, y la designa con el nombre de *corpúscula*, corpúsculos, con lo cual funda la *Teoría Corpuscular*. En Bacon hay atisbos alquímicos. Sus corpúsculos, materia primordial, son todavía indeterminados, aunque plasmables en una forma que los determinan hacia las diferentes cosas.

Seguidor de la Teoría Corpuscular fue el alemán Daniel Sennert (1572-1637), quien expone, (*De chymicorum cum galenicis et Peripateticis consensu ac dissensu*), en 1619, su concepción de la teoría atómica en combinación con la de Demócrito. Sus *atoma corpuscula* o *corpora individua* no son pequeños puntos matemáticos en el espacio vacío sino que tienen extensión tridimensional, y son al mismo tiempo el último grado de división y el elemento primero de la composición de los cuerpos físicos. Sennert fue el primero que puso en relieve el concepto de *sustancia química* como aquello que subsiste en todos los compuestos y en todas las transformaciones. Con esta teoría de la invariabilidad de la partícula elemental, unido al concepto de fuerza de la mecánica de Galileo, Sennert puso el fundamento de la física química teórica. Debe decirse que Sennert sostuvo sin embargo la doctrina de los cuatro elementos de Empédocles. Para él, de estos átomos fundamentales se constituyen los elementos químicos como *prima mixta*.

Junto a Sennert, hubo en Alemania otro pensador en esa dirección, Joachim Jungius, o Junge, (1587-1657), desafortunadamente no adecuadamente conocido. Igual, Junge defendió la renovación del atomismo de Demócrito como *teoría corpuscular*, precisando por primera vez el concepto de *elemento químico* como sustancia unitaria que no puede descomponerse en partes diferentes. Sostuvo Junge que por la diferente ordenación en el espacio pueden ser explicadas las diferentes propiedades de los cuerpos, constituidos estos por las mismas sustancias fundamentales, anticipando así el concepto de *isomería*. Así se explicaban según él las transformaciones de un compuesto en otro, rechazando la transmutación de los metales y la *tría prima* de Paracelso. Junge además dio un paso importante en la transformación del atomismo en base de la fisicoquímica actual, al resaltar el uso de la balanza para determinar las proporciones en peso de los procesos químicos.

En Francia, por su parte, Pierre Gassendi (1592-1655), contemporáneo de Sennert, acoge el atomismo, sobre todo en las versiones últimas de Epicuro y Tito Lucrecio. Gassendi, sacerdote, intenta amalgamar el atomismo renovado con un sensualismo y eudemonismo ético, y además, con el dogma cristiano¹¹². Ello provocó una especie de *escepticismo componedor, rico en tensiones, más fuerte en la polémica con otros que en sus alcances*¹¹³. Según Gassendi, el atomismo era la hipótesis más razonable para la explicación de los fenómenos de la naturaleza. Hay que decir que Descartes (1596- 1650), también había manifestado con claridad su reconocimiento del atomismo. Beltrán Marí¹¹⁴, expone que *tras el momento inicial de la creación, el*

¹¹¹ Lockemann, Georg, op. cit.

¹¹² Schilling, Kart, op. cit.

¹¹³ Schilling, Kart, op. cit.

¹¹⁴ Beltrán Marí, Antonio, *Los orígenes de la imagen moderna del mundo. Historia de la ciencia hasta los siglos XVII y XVIII*, Programa de Altos Estudios Universitarios, Universidad de Barcelona, España, 2003 - 2004.

universo de Descartes y su funcionamiento, desde el punto de vista científico, son difícilmente distinguibles del universo atomista de Demócrito, Epicuro y Lucrecio. El azar y la necesidad de estos se diferencian poco de las leyes naturales cartesianas. Ya lo dice Descartes en sus Principios de la filosofía: Dios ha creado toda la materia del universo y los astros en forma de partículas que, a raíz del movimiento y el roce, se han ido diferenciando en tres clases, y siguiendo las leyes del movimiento se han ido organizando en grandes vórtices o torbellinos como nuestro sistema solar.

Pero fue el inglés Robert Boyle (1627 - 1691) ya plenamente en el siglo XVII, quien apoyándose en el atomismo y en la teoría corpuscular, funda, como se dice, la auténtica química. Boyle parte del rechazo a las viejas ideas alquímicas y iatroquímicas, y, siguiendo a Bacon, hace de la química una ciencia experimental. *Los químicos tomaron como tarea la preparación de medicamentos y la extracción y transmutación de los metales. Yo he procurado trabajar en la química con un criterio completamente distinto, no como un médico o como un alquimista, sino como ha de hacerlo un filósofo*, afirmó el sabio inglés. Boyle hizo de la química a partir de ese momento una ciencia autónoma, deslindándola de la física y venciendo el pretendido reduccionismo de aquella a ésta; y ello le llevó además a aceptar y defender la teoría corpuscular. Según él, los corpúsculos más pequeños de los diferentes elementos debían diferenciarse entre sí por sus tres propiedades fundamentales, forma, tamaño y movimiento. En *On the excellency and grounds of the corpuscular or mechanical philosophy*, expresa Boyle con claridad su posición: *Al abrazar la filosofía corpuscular o mecánica, estoy lejos de suponer con los epicúreos que los átomos encontrándose accidentalmente en un vacío infinito fueran capaces, por sí mismos, de producir un mundo y todos sus fenómenos. Tampoco creo que, cuando Dios hubo puesto una cantidad invariable de movimiento en toda la masa de materia, no necesitara hacer más para hacer el universo, siendo capaces las partes materiales, por sus propios movimientos sin guía, de organizarse en un sistema. La filosofía que yo propongo sólo abarca las cosas puramente corpóreas, y distingue entre el primer origen de las cosas y el subsecuente curso de la naturaleza; enseña que Dios, efectivamente, dio movimiento a la materia, pero que, en el principio, también guió los distintos movimientos de las partes de esta para lograr que compusieran el mundo que él había diseñado; y estableció esas reglas del movimiento, y el orden de las cosas corpóreas que nosotros llamamos leyes de la naturaleza. De este modo, una vez que el universo ha sido estructurado por Dios y establecidas las leyes del movimiento, y mantenido todo por su perpetuo concurso y general providencia, la misma filosofía enseña que los fenómenos del mundo son físicamente producidos por las propiedades mecánicas de las partes de la materia y que actúan unas sobre otras de acuerdo con las leyes mecánicas. Este es el tipo de filosofía corpuscular que yo propongo.*

Se dice de Boyle que fue un *químico escéptico*. En la misma forma en que Jungius consideraba a los elementos químicos aislados sustancias simples que químicamente no podían dividirse en partes diferentes, Boyle dejaba abierta la cuestión de si estos elementos no estarían tal vez constituidos por tres, cuatro o hasta cinco sustancias fundamentales, algo así como los elementos de Empédocles, en grumos sumamente apretados, con lo cual Boyle no se situaba muy lejos de la moderna concepción de la composición última de la materia.

Otros representantes de la *Teoría Corpuscular* fueron el francés Nicolás Lemery (1645-1715), y de alguna manera, el alemán Johann Joachim Becher (1635-1682). M. S. Karapetians y S. I. Drokin, en su obra *Estructura de la sustancia*¹¹⁵, afirman por su lado, que *la primera representación moderna de los átomos como partículas más pequeñas de los elementos químicos que son capaces de unirse en partículas más*

¹¹⁵ Karapetians, M. J. y Drakin, S. I. op. cit.

grandes, moléculas, las cuales componen las sustancias, fue expresada por M. V. Lomonósov por primera vez en 1741, en su trabajo "Los elementos de la química matemática", pero sus contemporáneos no le prestaron mucha atención. A partir de este momento, la teoría corpuscular engranaría con uno de los dientes más sólidos en el piñón que movía la ciencia y el conocimiento. La química había sido quien había hecho eso posible, fundándose en el ya viejo atomismo de los griegos presocráticos que culminó con el pensamiento de Epicuro y del romano Tito Lucrecio Caro.

Consolidación del atomismo.

Fueron las mediciones, como se ha dejado dicho al inicio de este trabajo, las que proporcionaron al atomismo una base empírica que le permitía ya considerarse una teoría científica. Lavoisier, Proust, Dalton y otros proporcionaron dicha base, pero asimismo sus leyes (de las proporciones definidas, de las proporciones múltiples), pudieron ser científicamente sostenidas sólo en función de la hipótesis atomista, tanto así que Dalton, en su *A new system of chemical philosophy*, 1808 y 1810, expone que la hipótesis atomista es la única que da cuenta de las leyes cuantitativas de la química. Este fundamentar la química sobre bases atomistas encuentra su culminación con la tabla periódica de los elementos de Mendeleev y Meyer, publicada hacia 1870. La expresión cuantitativa de la inalterabilidad de los átomos es precisamente la *ley de la conservación de la masa* formulada por Lavoisier.

Sobre la tabla periódica de Mendeleev, que, como digo, culminó la fundamentación de la química sobre bases atomistas, estimo necesario hacer algunas puntualizaciones. Eric R. Scerri, en su trabajo *Research in philosophy of science. Philosophy of chemistry*¹¹⁶, establece que es necesario hacer una distinción histórica entre los elementos como *sustancias simples* y los elementos como *sustancias básicas*.

Mendeleev, dice este investigador, los consideró, no *sustancias simples* sino *sustancias básicas*. El radioquímico Paneth los ha considerado recientemente *sustancias básicas*, y Scerri se muestra de acuerdo con esta denominación, con lo cual, dice, *representan una ventana para las bases metafísicas de la química moderna*. Esto, considero que es un aporte importante en la confirmación de la autonomía de la química como ciencia y en la confirmación de la no reductibilidad de esta a la física. Scerri, que trabaja en el proyecto de establecer estas bases metafísicas de la química, abunda en una consideración de suyo esencial¹¹⁷: Siendo que los orbitales son la base de gran parte del trabajo conducido en química cuántica, se reconoce sin embargo que ellos son meras construcciones matemáticas y no poseen ningún estatus físico independiente. De acuerdo con la mecánica cuántica, la asignación de cuatro números cuánticos a cada electrón en un átomo de muchos electrones, que es otra forma de caracterizar un orbital, es una aproximación. De hecho, dice, *sólo el átomo como una entidad completa posee estados estacionarios bien definidos, y estos están caracterizados por los acoplamientos vectoriales de los momentos electrónicos individuales, con diferentes esquemas de acoplamiento operando dependiendo de si el acoplamiento spin - órbita es significativa*. Es, como puede verse, también un soporte considerable al atomismo como base fundamental de todo lo que existe, si de ello se hace una interpretación epistemológica realista y actual.

¹¹⁶ Eric. R. Scerri, *Research in philosophy of science. Philosophy of chemistry*.

¹¹⁷ Eric R. Scerri, *Have orbitals really been observed ?*, Journal of chemical education, vol 77 No. 11, November 2000.

Kédrov, Kagánov y Garkavenko, científicos de la Academia de Ciencias de la URSS¹¹⁸, argumentan que en lo que se refiere a la estructura de la materia, fueron más bien, a comienzos del siglo XX, *los descubrimientos de la física los que se pusieron a tono con la ley periódica y no al revés*. En esto, prosiguen, aportó mucho el danés Niels Bohr, para quien *el sistema periódico fue el hilo conductor del avance de la teoría cuántica, lo que le dio sentido físico a dicha ley*. Incluso, dicen, la ley periódica de Mendeleev fue la fuente fundamental del principio de exclusión de Pauli. Esta posición de estos científicos soviéticos es, de suyo, un gran espaldarazo al atomismo como base de la estructura de la materia y de la naturaleza de la sustancia.

Retomando el hilo, John Dalton, pues, le dio al atomismo su forma científica moderna. Sin embargo¹¹⁹, paradójicamente, su hipótesis atómica no recibió una acogida muy favorable de parte de los químicos, quienes la consideraron *metafísica*, con, a lo sumo, un apreciable valor heurístico, dado que los átomos eran inobservables, y por esa época no eran bien vistas las hipótesis sobre entidades inobservables en la ciencia. El átomo se entendió como un recurso explicativo útil, como un mero instrumento para representar los fenómenos, pero no como una entidad real. Fue la física, de nuevo, la que retomó y revalidó la hipótesis atómica, al ser esta apoyada por el desarrollo de la teoría cinético-molecular de los gases por Rudolf Clausius, James Maxwell y Ludwig Boltzmann, y también por la difusión y aceptación, a partir de la década de 1860, de la hipótesis de Avogadro. A pesar de esto, importantes científicos continuaban considerando irreales a los átomos, y a la hipótesis atómica simplemente una idea metafísica inverificable. Entre estos se encontraban Ernst Mach, Wilhem Ostwald y Henri Poincaré.

El debate quedó definitivamente zanjado con la llegada de Einstein y su teoría del *efecto fotoeléctrico* en 1905, y la aceptación definitiva del *número de Avogadro*, una de las constantes más importantes de la moderna teoría físicoquímica y de la ciencia.

Ya un poco antes, Isaac Newton había dado un fuerte sostén a esta teoría, cuando en su *Optica* (Isaac Newton, *Optica*, libro III, parte 1), citado por Mosterín¹²⁰, afirma lo siguiente: *Tras considerar todas estas cosas, me parece muy probable que Dios haya creado desde el comienzo la materia en forma de partículas sólidas, masivas, duras, impenetrables y móviles, con tales tamaños y figuras, con tales otras propiedades y en una proporción tal al espacio que resulten lo más apropiadas al fin para el que fueron creadas. Estas partículas primitivas, al ser sólidas, son incomparablemente más duras que cualquier cuerpo poroso formado a partir de ellas. Tan duras incluso como para no gastarse ni romperse nunca en pedazos, pues ningún poder ordinario es capaz de dividir lo que el mismo Dios ha hecho uno en la primera creación... Puesto que la naturaleza ha de ser perdurable, los cambios de las cosas corpóreas han de ser atribuidos exclusivamente a las diversas separaciones y nuevas asociaciones de los movimientos de estas partículas permanente...* En opinión de Mosterín¹²¹, si

¹¹⁸ Kedrov, B. M., Kagánov, V. M., y Garkavenko, R. V., *Nuevos avances de la actual revolución en las ciencias de la naturaleza, y Significación metodológica de los nuevos progresos de la biología y la química*, en *Historia de la Filosofía*, tomo VII, capítulo IV, *Problemas Filosóficos de las ciencias de la naturaleza en la época actual*, apartados 1 y 3, redacción general de M. A. Dynnic y otros,

Editorial Grijalbo, S. A., México, 1963.

¹¹⁹ Diéguez Lucena, Antonio, *Filosofía de la ciencia*, Manuales Universidad, Biblioteca Nueva, Universidad de Málaga, Madrid, España, 2005.

¹²⁰ Mosterín, Jesús, op. cit.

¹²¹ Mosterín, Jesús, op. cit.

dejamos de lado las alusiones a la creación divina, Newton nos presenta aquí un resumen perfecto de la tesis atomista.

Al final, las ideas atomistas fueron transportadas por Max Planck (1858 - 1947), desde el campo de la materia al de la energía. Esto significó un salto de calidad en su formulación. Las experiencias de Richard Zsigmondy (1865 - 1929), profesor en Gottingen y premio nóbel de química en 1925, y de Henry Siedentopf (1872 - 1940), en Jena, con el uso del ultramicroscopio por ellos descubierto, permitieron hacer visible el movimiento browniano de las partículas coloidales. El desarrollo de la teoría del movimiento browniano hizo que Ostwald, férreo opositor de la teoría atómica hasta ese momento, terminara aceptándola y reconociéndola como justa. Adicionalmente, los experimentos de Svedberg en 1925 con su ultracentrífuga y los del francés Jean Perrin (1870 - 1942), comprobaron la naturaleza corpuscular (dispersa) de la materia. Posteriores investigaciones con iones electrolíticos, cristalografía y composición de los compuestos orgánicos, llevaron a la comprobación de la estructura atómica de las moléculas, incluso en el anillo bencénico.

El microscopio electrónico permitió hacer visibles e identificar los virus y los compuestos macromoleculares, como las moléculas de proteínas. En 1951, en un dispositivo de ensayo ideado por Erwin Muller, con microscopio electrónico y un fuerte campo eléctrico, se hicieron visibles los átomos en su incesante movimiento oscilatorio sobre la pantalla fluorescente.

¿Átomos o partículas elementales ?

En el primer centésimo de segundo de existencia del universo, no habían átomos. Habían solamente partículas elementales, electrones, neutrinos, fotones, neutrones y protones. El universo se expandía ya, bajando su densidad y enfriándose. La temperatura del universo era del orden de 100,000 millones de °K.

En el primer segundo de existencia del universo, éste estaba constituido básicamente por neutrinos. Su temperatura había bajado a unos 10,000 millones de °K.

A los 13.8 segundos de existencia, aparecen los fotones acompañando a los neutrinos, y la temperatura continúa bajando, siendo esta en este momento, de unos 3,000 millones de °K.

A los 3 minutos de existencia, aparecen ya los primeros núcleos atómicos, siendo estos de Deuterio y Helio. Esta nucleosíntesis se da a una temperatura de 1,000 millones de °K.

A los 34 minutos, ya hay núcleos de Helio y de Hidrógeno. Los primeros constituyen el 25% del universo, y los segundos, el 75 %, apareciendo también pequeñísimas cantidades de núcleos de Deuterio, Litio y Berilio. La temperatura del universo ha caído hasta 300 millones de °K.

El universo se torna aburrido entre este instante de sus primeros 34 minutos y los 380,000 años siguientes. A esta edad, 380,000 años, aparecen, por fin, los átomos, y también la famosa Radiación Cósmica de Fondo. La temperatura del universo es de tan sólo unos 3,000 °K.

A los 200 millones de años se forman las primeras estrellas, galaxias y estructuras mayores. Hay ya en el universo, Hidrógeno, Helio, Nitrógeno, Carbono, Hierro y otros elementos.

Ahora, la ciencia calcula la edad del universo en unos 15,000 millones de años, un poco menos realmente.

En esta apretada relación de la evolución universal, ¿Cuál ha sido en cada momento de los citados, y en otros por supuesto, la materia fundamental de la cual se forman *todas las cosas*? ¿Acaso ha sido siempre la misma? ¿Es, acaso, la pregunta por el *argé* de las cosas, intemporal? En el momento del Big Bang, el momento del *instante cero*, todo lo que existe y sucede se da en los órdenes que corresponden a las *escalas de Planck*, esto es, 10^{-43} segundos y 1.64×10^{-33} centímetros. ¿Qué puede ser en esas dimensiones? E incluso, más que saber qué sucedió en el momento de la *gran explosión*, habría que conocer qué había antes de la gran explosión. ¿Leptones y quarks? ¿En esas dimensiones? ¿O acaso, como se especula científicamente, lo que se dio fue realmente, no un *big bang* sino un *big bounce* ?

Este problema de la atemporalidad o temporalidad del *argé*, o de la sustancia fundamental, debe, a mi entender, ser resuelto para poder establecer cuál ha sido, es y será este *argé* precisamente. ¿Ha sido el mismo siempre? Esa sustancia única fundamental a partir de la cual se forman todas las cosas, ¿Ha sido siempre la que hoy buscan los filósofos y los científicos?

En fin, ¿Cuál o cuáles son los componentes últimos de todas las cosas? ¿Los elementos químicos, o los quarks y leptones? ¿Son las partículas elementales, realmente elementales, o deben ser consideradas únicamente como estructuras compuestas de lo básico? ¿Son los quarks realmente *estados* o *conceptos matemáticos* capaces de convertirse en partículas físicas reales, físicamente detectables? ¿Es la *teoría SU3* el camino hacia una comprensión más profunda de la estructura de la materia? ¿Qué es lo que permanece en ultimidad?

Para que una teoría científica pueda tener suficiente validez, debe responder a la mayoría de interrogantes en el campo al que pertenece, y proporcionar una visión adecuada y confiable, además de confrontable y con el suficiente respaldo empírico. Sin embargo, aceptando que la teoría de las partículas elementales responde adecuadamente a muchas de las cuestiones que hasta hace poco se consideraban irresolubles, y que su aplicación ha posibilitado en desarrollo de tecnologías útiles y de interés (como las modernas tecnologías de computación, por ejemplo Internet, y concretamente la red *www*, inventada por los físicos de partículas del CERN), plantea también muchas, probablemente demasiadas, interrogantes: ¿Dónde se encuentran las dimensiones adicionales a las cuatro del espacio-tiempo relativista de las que nos habla la teoría de las supercuerdas? ¿Cuál es el desarrollo de estas dimensiones adicionales? ¿Porqué la naturaleza no ha sido simétrica al crear la materia y la antimateria? ¿Dónde se encuentra el *bosón de Higgs*? ¿Es real este bosón? Esta partícula aparece como una predicción matemática dentro del marco del *modelo standard*, pero no hay al momento evidencia alguna de su existencia. Siendo ella la responsable de que el resto de partículas constituyentes de la materia tengan masa, si no se lograra evidencia sobre este bosón, ello trastornaría toda la concepción del origen de la masa. ¿Porqué el *modelo standard* plantea tres generaciones de quarks si en el mundo estable sólo existen los de la primera generación? ¿Son necesarias las dos generaciones restantes? Si de acuerdo al SU3 siempre deberá existir un múltiplo de tres para las generaciones de quarks, esto es, que bastarían los seis quarks que ya existen, ¿Existen más quarks? ¿Son necesarias más generaciones de quarks?

El conocimiento de las partículas elementales conduce incluso a un círculo vicioso en cuanto al conocimiento del origen del universo. Según Barrow¹²², si una partícula elemental existe realmente, habría tenido que sobrevivir al *big bang* en tal abundancia que la densidad de su atracción gravitatoria hoy en día habría provocado una desaceleración de la expansión del universo a un ritmo mucho mayor del que se observa. *Es necesario, entonces, dice, conocer el comportamiento de las partículas elementales de la materia para poder entender los comienzos del universo, pero a la vez es necesario conocer cómo fueron esos primeros comienzos del universo para poder descubrir el comportamiento de las partículas elementales.*

Primero fueron los átomos; luego, los componentes del núcleo; ahora son los quarks y los leptones. ¿Cómo podemos considerar que *algo* no tenga masa ni ocupe espacio? ¿Acaso la teoría de las partículas elementales en sus diferentes versiones no es una teoría metafísica? ¿No hay en ella un muy alto grado de especulación, e incluso, de fantasía? No es que deba concluirse que el que una teoría científica sea considerada metafísica implica necesariamente la negación de tal carácter científico. Para Feyerabend¹²³, la unidad de la ciencia y su grado de comprensión son hipótesis metafísicas, no hechos, y llamar hipótesis metafísica a la unidad de la ciencia no es, para él, una objeción en su contra. Afirma incluso que *una ciencia sin metafísica no podría dar fruto*, y que a menudo los científicos, al intentar mirar más allá de los experimentos y de la configuración lógica de cierta idea, no hacen otra cosa que hacer metafísica. *La metafísica, dice, no es el problema. El problema consiste en descubrir si la idea según la cual todos los resultados científicos forman una unidad, que refleja propiedades objetivas de un mundo independiente de la investigación, es una buena hipótesis metafísica.* Y este pareciera ser el problema de la teoría de las partículas elementales en su *versión standard* y en las muchas versiones y modelos que la explican.

La tecnología y la experimentación en torno a las partículas elementales nos muestra que los aceleradores proporcionan la energía para producirlas, que los campos eléctricos y magnéticos nos ayudan a separar dichas partículas para su estudio, y que los detectores de partículas permiten observarlas, estudiar sus propiedades y las leyes que rigen su comportamiento. La teoría, siguiente paso, es quien efectivamente construye el modelo de intercambio de fuerzas entre ellas y permite establecer una teoría general, que es la que posibilita el establecimiento de una posible estructura general de la materia. ¿Cómo se confronta esta teoría general? ¿Contra quién se confronta? ¿Qué grado de abstracción maneja? ¿Cuánto hay en ella de imaginación o de elucubración? ¿Debemos esperar que se confirme la tendencia hacia la *grand unified theory* para integrar el campo electrodébil y el campo fuerte, o incluso que al fin se de la anhelada *teoría del todo*, que integre también el campo gravitacional?¹²⁴ ¿Habrá que esperar que se confirme o se niegue la existencia de esa *quinta fuerza* de la que ya se habla, que se interpreta como un comportamiento ligeramente diferente de la fuerza de gravedad? ¿Por qué no admitir la posibilidad de seis o de siete fuerzas? Feyerabend piensa que ... *la idea de un cuerpo de conocimiento científico coherente es una quimera, y el sueño de la unificación de las ciencias, un anhelo metafísico carente de justificación empírica.*

Ahora se habla de *teorías del campo unificado*, de *campos débiles*, de *unificación electrodébil*, de *teorías renormalizables*, de *monopolios magnéticos*, de *supersimetría* y *supergravedad*, de *extradimensiones*... El mundo de las partículas elementales es el mundo cuántico. Muchos científicos han expresado que entre más estudian la física cuántica, menos la entienden y más se confunden. ¿No será que

¹²² Barrow, John D., *Teorías del todo. Hacia una explicación fundamental del universo*, Crítica, Barcelona, 2004.

¹²³ Feyerabend, Paul, op. cit.

¹²⁴ Feyerabend, Paul, op. cit.

Einstein tenía razón cuando en su *disputa* con su amigo y colega Niels Bohr insistía en afirmar que *algo no pega en la física cuántica*, y que, buscando hacer que pegue todo, los científicos actuales se han alargado en el mundo de la más elevada especulación?

Hay antecedentes que indican muchas similitudes metodológicas y de pensamiento entre el atomismo y la teoría de las supercuerdas. Ejemplos de ello son la *teoría del todo* como único y necesario posible respaldo confirmatorio a ambas, y el hecho de que ambas también han sido consideradas casos de *topología física*. Una versión *similar* a la actual *teoría del todo* había sido ya expuesta por uno de los científicos más brillantes y a la vez más ignorados de la ciencia moderna europea, Roger Boscovich. Boscovich se *imaginó* una *teoría del todo* científica, y la expuso en su obra *Teoría philosophiae naturalis*, publicada en Viena en 1758 y repetidamente ampliada y republicada hasta el año de 1763. En ella hace hincapié en la idea atomista de que la naturaleza estaba formada por partículas elementales idénticas, siendo los objetos mayores, de tamaño finito, consecuencia de la forma en que esos constituyentes elementales interaccionaban entre sí, generando estructuras resultantes a su vez de estados de equilibrio entre fuerzas opuestas de atracción y de repulsión. Al margen de las disimilitudes y de las distancias en el tiempo y en el conocimiento, lo importante es que ya para esa época se pensaba en una idea unificada del conocimiento del universo, una teoría, efectivamente, única, del todo; y adicionalmente, que esta se haya dado alrededor del atomismo.

Por otro lado, la *teoría de las supercuerdas* ha sido considerada¹²⁵, como un ejemplo de topología física. También ya antes, de igual manera que con la *teoría del todo*, la topología física había sido aplicada al problema del atomismo. Esto fue hecho por Lord Kelvin en el siglo XIX, aunque por supuesto se hablaba de la interacción entre los átomos en vez de entre partículas elementales. En 1867, lord Kelvin presentó a la Real Sociedad de Edimburgo, su teoría sobre los átomos. Concebía a los átomos como especies de remolinos locales en el seno de un fluido universal que penetraba todo el universo. En las interacciones atómicas, los átomos eran vórtices en un fluido etéreo de fondo, y átomos vorticiales anudados y entrelazados en variedad interminable de formas constituían las variedades y alotropías de los cuerpos simples y conocidos y sus afinidades mutuas.

Una de las características de la actual *teoría de las supercuerdas* es que cada cuerda lleva asociada la energía de sus modos naturales de vibración y estas pueden ser asociadas a las energías de masa de las partículas elementales. Kelvin, de forma similar, especuló que podían existir estructuras atómicas formadas por cadenas de vórtices engarzados, y que las energías vibracionales de los vórtices debían exhibir una dependencia de la temperatura que podría conducir al fenómeno de absorción al coincidir con los modos vibracionales de otra sustancia. La teoría de Kelvin, fundamentada en casi dos décadas de trabajo de él y sus colegas, fue tomada en serio por eminentes físicos de la época, y vista a la luz de la moderna *teoría de cuerdas*, ofrece una notable imagen temprana de cómo la estabilidad puede surgir de cambios puramente topológicos y de cómo la presencia de modos vibracionales podría ser la fuente de configuraciones de materia energéticamente estables.

Si el atomismo fue criticado e incluso rechazado por considerarse una teoría metafísica, una mera especulación filosófica sin ningún tipo de apoyo empírico, y no fue sino a través de las mediciones que logró esa base empírica que le permitió erigirse en teoría científica, ¿No podría decirse lo mismo de la actual teoría de las partículas elementales, a reserva de ampliar que, compartiendo el criterio de Feyerabend, no es este el problema sino su falta de unidad y de reproducibilidad con

¹²⁵ Barrow, John D. op cit.

el mundo real independiente de la investigación? ¿No será que el problema no es el que sea una hipótesis metafísica, sino el que no es una buena hipótesis metafísica? Roger Penrose, por ejemplo, en *La mente nueva del emperador*¹²⁶, clasifica las teorías científicas en cuatro categorías: *Extraordinarias*, o *supremas*, *útiles*, *provisionales*, y *erróneas*, y coloca su propia *teoría de los twistors*, muy modestamente, dentro de la clase de las provisionales, junto con, precisamente, la *teoría de las supercuerdas* y otros *grandes esquemas unificadores que hoy son fuertemente debatidos*. Precisamente la característica de una *teoría provisional* es, según Penrose, la falta de un fundamento experimental importante. En cambio, al sistema periódico de los elementos de Mendeleev, el gran físico inglés la califica como una *teoría útil*, dado que, aunque no proporciona un esquema productivo con el carácter *excepcional* exigido para las *teorías supremas*, ha llevado a hacer *deducciones correctas dentro de las teorías supremas que se desarrollaron a partir de ella, como la dinámica newtoniana y la teoría cuántica, precisamente, por ejemplo*. Si el sistema periódico de los elementos de Mendeleev posibilita, considerando a los átomos, no como *elementos simples* sino como *elementos básicos*, tal como lo consignó el mismo químico ruso y lo aceptan ahora científicos como Scerri, el establecimiento de una base metafísica de la filosofía de la química, el atomismo, que está a la base de dicho sistema, se convierte entonces en el hilo conductor y el soporte de una buena y actual teoría de la estructura de la materia y de la naturaleza de la sustancia.

Hoy en día, los físicos aceptan el punto de vista atomista. Para Barrow, el atomismo surgió como una idea filosófica que no habría superado casi ninguna de las pruebas contemporáneas de lo que debería ser considerado como *científico*; ahora, sin embargo, en mi opinión, sigue constituyendo la piedra angular de la ciencia física, y, también, es hoy por hoy la mejor respuesta al viejo problema de cuál es la estructura fundamental de la materia. Parecieran comprobarlo tres de las cinco famosas obras del Einstein de la Oficina de Patentes de Berna en 1905, (*Un punto de vista heurístico sobre la producción y transformación de la luz*, Berna, 17 de marzo de 1905, 9 de junio de 1905, *Sobre el movimiento requerido por la teoría cinético-molecular del calor de pequeñas partículas suspendidas en un líquido estacionario*, Berna, 11 de mayo de 1905, 17 de mayo de 1905, y *Sobre la teoría del movimiento browniano*, Berna, 27 de septiembre de 1905, 21 de noviembre de 1905), con las que las posturas de quienes no creían ni en el átomo ni en la molécula fueron definitivamente superadas. ¿Sigue, pues, el átomo, siendo el *argé*?

Bibliografía.

- * Mosterín, Jesús, " *Conceptos y teorías en la ciencia* ", Alianza Editorial, Primera Reimpresión, Madrid, 2003.
- * Feyerabend, Paul, " *Provocaciones filosóficas* ", edición de Ana P. Esteve Fernández, Clásicos del Pensamiento, Biblioteca Nueva, Madrid, 2003.
- * Lockemann, Georg, " *Historia de la Química* ", tomo I, Primera Edición en Español, UTEHA, México, 1960.
- * Peña Ramos, Héctor Antonio, " *La Doctrina Atomista Antigua* ", Alfa y Omega, República Dominicana, Marzo, 1979.
- * Rosental, M. M. y Iudin, P. F., " *Diccionario Filosófico* ", Editorial Tecolut, El Salvador, 1971.
- * Schilling, Kurt, " *Historia de la Filosofía* ", tomo V, " desde el renacimiento hasta Kant ", UTEHA, México, primera edición en español, 1965.

¹²⁶ Roger Penrose, " *La mente nueva del emperador*. En torno a la cibernética, la mente y las leyes de la física ", consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Fondo de Cultura Económica, México, primera edición en español del FCE, 1996.

- * Diéguez Lucena, Antonio, “ *Filosofía de la ciencia* “, Manuales Universidad, Biblioteca Nueva, Universidad de Málaga, Madrid, España, 2005.
- * Beltrán Marí, Antonio, “ *Los orígenes de la imagen moderna del mundo. Historia De la ciencia hasta los siglos XVII y XVIII* “, Programa de Altos Estudios Universitarios, Universidad de Barcelona, España, 2003-2004.
- * Karapetiants, M. J., & Drakin, S. I., “ *Estructura de la sustancia* “, segunda edición, Editorial Mir, Moscú, 1979.
- * Dampier, William Cécil, “ *Historia de la ciencia y sus relaciones con la filosofía y la religión* “, tercera edición, Tecnos, Madrid, 1997.
- * Menchaca Rocha, Arturo, “ *El discreto encanto de las partículas elementales* “, Quinta reimpression, Fondo de Cultura Económica, México, 1996.
- * Barrow, John D., “ *Teorías del todo. Hacia una explicación fundamental del Universo* “, Crítica, Barcelona, 2004.
- * Días Pazos, Patricio, “ *A horcajadas en el tiempo* “, Astrocosmo, 31 de Octubre del 2002.
- * Eric R. Scerri, “ *Research in philosophy of science. Philosophy of chemistry* “,
- * Eric R. Scerri, “ *Have orbitals really been observed ?* “, Journal of chemical education, vol. 77 No. 11, November 2000.
- * Roger Penrose, “*La mente nueva del emperador. En torno a la cibernética, la mente y las leyes de la física* “, consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Fondo de Cultura Económica, México, primera edición en español del FCE, 1996.
- * B. M. Kedrov, V. M. Kagánov y R. V. Garkavenko, *Nuevos avances de la actual revolución en las ciencias de la naturaleza, y Significación metodológica de los nuevos progresos de la biología y la química*, en *Historia de la Filosofía*, tomo VII, capítulo IV, *Problemas filosóficos de las ciencias de la naturaleza en la época actual*, apartados 1 y 3, redacción general de M. A. Dynnik y otros, Editorial Grijalbo, S. A., México, 1963.