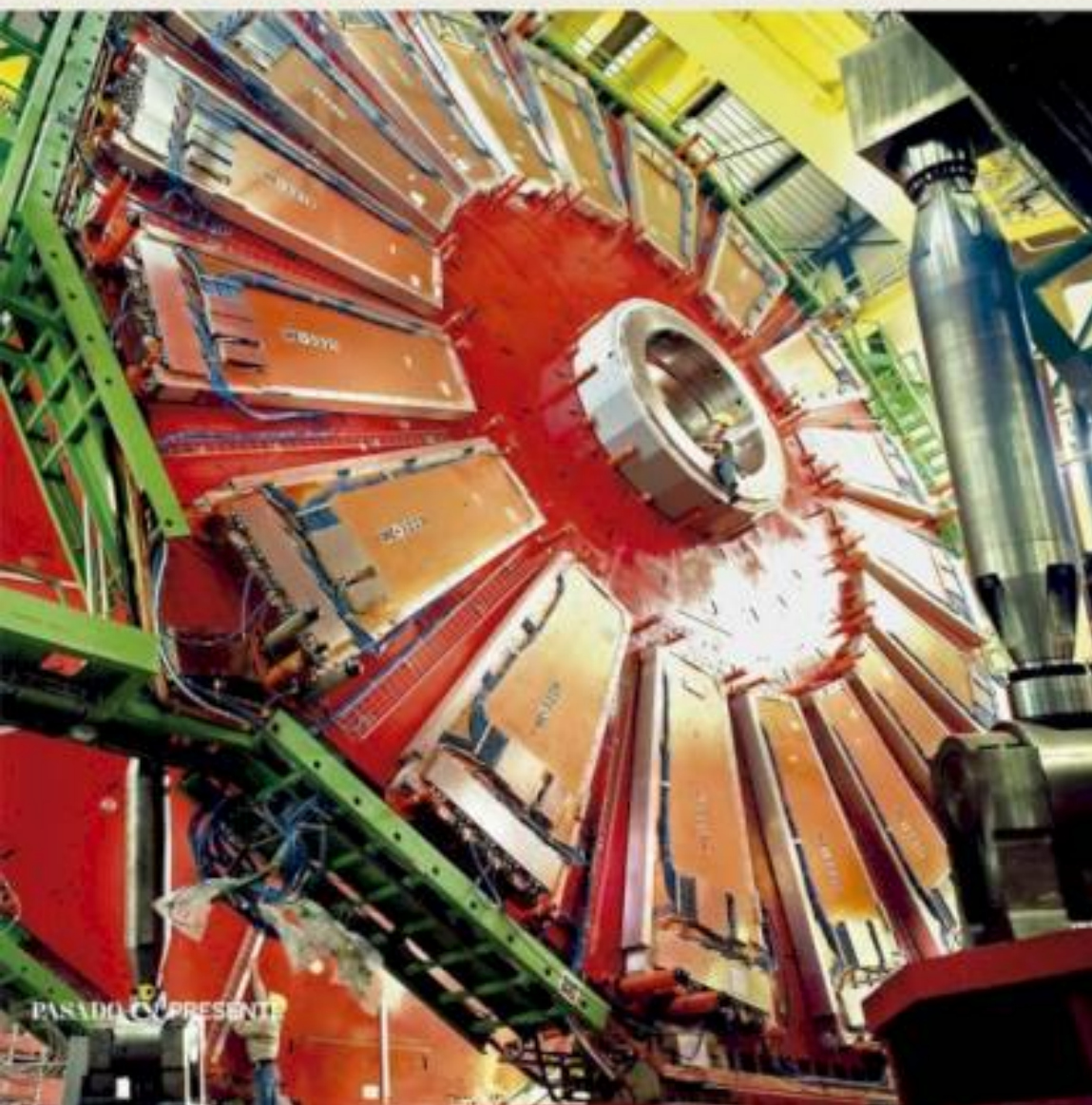


DAVID JOU
MATERIA
Y MATERIALISMO



ÍNDICE

PORTADA
PRÓLOGO

PRIMERA PARTE. LA MATERIA ELEMENTAL.LA ESTRUCTURA DE LA MATERIA

1. DEL ATOMISMO FILOSÓFICO A LA DISGREGACIÓN DEL ÁTOMO
2. RELATIVIDAD ESPECIAL, FÍSICA CUÁNTICA: LA MATERIA COMO ENERGÍA Y COMO ONDA
3. LA ESTRUCTURA CUÁNTICA DE MOLÉCULAS, ÁTOMOS Y NÚCLEOS
4. PARTÍCULAS ELEMENTALES E INTERACCIONES BÁSICAS
5. DEL ÁTOMO INMUTABLE Y DETERMINISTA A LA MATERIA AMBIGUA Y NO LOCAL

SEGUNDA PARTE. LA MATERIA COSMOLÓGICA.EL ORIGEN DE LA MATERIA

6. EL VACÍO CUÁNTICO Y EL INICIO DEL UNIVERSO
7. GENEALOGÍA Y CONTINGENCIA DE LA MATERIA
8. UNIVERSO Y VIDA: UNA SINTONÍA SORPRENDENTE
9. MATERIA OSCURA Y ENERGÍA OSCURA
10. DE LA MATERIA ETERNA Y NECESARIA A LA MATERIA HISTÓRICA Y CONTINGENTE

TERCERA PARTE. LA MATERIA TECNOLÓGICA.EL USO Y LOS LÍMITES DE LA MATERIA

11. MATERIA, FORMA, ENERGÍA, ENTROPÍA
12. LOS ALIMENTOS. DE LA MADRE TIERRA A LAS TECNOLOGÍAS DE LA ALIMENTACIÓN
13. DE LAS MATERIAS PRIMAS A LA CONTAMINACIÓN PLANETARIA
14. CIENCIA DE MATERIALES: DE LOS SEMICONDUCTORES A LOS MATERIALES INTELIGENTES
15. DEL PESO DE LA MATERIA A LA SUTILEZA DE LAS FORMAS

CUARTA PARTE. LA MATERIA VIVA.VIDA Y MENTE DE LA MATERIA

16. MOLÉCULAS Y ESTRATEGIAS DE LA VIDA
17. ORIGEN DE LA VIDA, VIDA ARTIFICIAL, BIOLOGÍA SINTÉTICA
18. EVOLUCIÓN Y DIVERSIDAD DE LA VIDA
19. CEREBRO, MENTE, ORDENADOR
20. DE LA MATERIA INERTE A LA MATERIA FECUNDA Y PENSANTE

A MODO DE CONCLUSIÓN: LA SINFONÍA DE LA MATERIA

GLOSARIO: SETENTA TÉRMINOS Y SU RELACIÓN CON LA MATERIA

BIBLIOGRAFÍA

CRÉDITOS

PRÓLOGO

La ciencia dedica buena parte de su esfuerzo a estudiar las propiedades de la materia, a explorar sus potencialidades, a averiguar las fuerzas que determinan su evolución y su diversidad. Cada momento histórico se plantea sus cuestiones sobre la materia. El estudio de la materia, los esfuerzos para definirla y aclarar sus incógnitas, es uno de los campos de confluencia más intensos y permanentes entre ciencia y filosofía, con resonancias en el arte y la poesía. Reflexionar sobre la materia puede constituir un auténtico ejercicio espiritual, un camino de introspección: somos, profundamente, materia, pero materia capaz de conocerse a sí misma, de ser consciente del prodigio y la fragilidad de existir, de sentirse llamada a ser algo más que materia y de plantearse dudas sobre el desvanecimiento total o la permanencia misteriosa de aquello que ha emergido de la materia y que tan intensamente se ha sentido.

La palabra *materia* (en griego, *hilé*) está vinculada a la palabra latina *mater*, que sugiere una filiación de la realidad observable con respecto a la materia. Si nos preguntamos sobre la materia exclusivamente desde la ciencia actual cometemos un error de perspectiva: estamos perdiendo matices que siguen siendo cercanos, candentes, estamos ignorando la inmediatez o las distancias entre los enigmas del yo y la materia del cuerpo. Invocar la fertilidad y rechazar la muerte son aspectos intensos de nuestra

relación con la materia, desde las formas más primordiales de religiosidad hasta la biología y la medicina actuales, y forman parte de un elenco de preguntas que compartimos, aunque desde perspectivas muy diferentes y sin ser conscientes de ello, con toda la historia humana. Por eso, conviene situar en un contexto amplio los hallazgos con que la ciencia nos sorprende y que responden a indagaciones recientes y especializadas, pero que también remiten a inquietudes y preguntas milenarias.

Muchos filósofos han advertido las dificultades de definir la materia en la física moderna y las novedades conceptuales que presenta su manipulación en la ingeniería genética y la tecnología, desde la escala nuclear a la escala planetaria. Ello hace que el concepto de materia, más o menos claro en otras épocas, se llene ahora de ambigüedades, contradicciones y urgencias. César Ulises Moulines, en *Los conceptos de la materia y sus dificultades* o, antes, Gaston Bachelard o Josep Ferrater Mora, o más recientemente John Gribbin y Paul Davies en *Los mitos de la materia*, han expuesto algunas de esas dificultades; por su parte, Charbonnat ofrece una amplia panorámica del materialismo en su *Historia de las filosofías materialistas*.

El concepto actual de materia está más alejado que nunca de la visión que sobre ella proporcionan los sentidos, y que fue la base de los materialismos clásicos: la forma, el color, la rotundidad de su presencia dura e impenetrable, se desvanecen en una matematización llena de sutilezas y en una danza de transformaciones. Las visiones clásicas de la materia —como sustrato universal de la realidad, como oposición al espíritu, como oposición al vacío, como átomos indivisibles— son cuestionadas por la física moderna. Y sin embargo, ciertos juegos de dualidades y oposiciones —luz/materia, vacío/materia, Dios/materia, mente/materia, energía/materia, materia/forma,

cuerpo/alma...— siguen siendo útiles como fuente de preguntas técnicas o metafísicas y subsisten como interrogaciones.

El objetivo de este libro es presentar una panorámica del estudio de la materia desde las ciencias y ver cómo sus resultados repercuten en múltiples formas de materialismos, una corriente de pensamiento interpretativa de la realidad con largo recorrido histórico y notables transformaciones, que parte de la materia como base de sus explicaciones y razonamientos. Estas cuestiones son demasiado ignoradas en los libros de divulgación científica, que suelen estar centrados en la ciencia de un período muy reciente y dedican poca atención a la filosofía. Dada la abundante bibliografía y su ritmo incesante de novedades, he preferido optar por la concisión y la síntesis, para facilitar una visión de conjunto que se difuminaría bajo un exceso de información demasiado técnica y detallada. No soy dado a absolutizar la materia pero me interesa la historia de los materialismos, desde el materialismo atomista de los antiguos griegos hasta el materialismo dialéctico, el materialismo neurológico o el materialismo consumista postmoderno: sus interpretaciones, juegos mentales, dogmas y propuestas invitan a preguntarse, incansablemente y con cierta fascinación, sobre la materia.

He estructurado el libro según cuatro vertientes con que se nos presenta la materia: la materia elemental, o estructura básica de la materia; la materia cosmológica, y el origen de la materia; la materia tecnológica, o transformación y usos de la materia, y la materia viva, y sus incógnitas sobre el origen de la vida o la relación entre mente y materia. Cada uno de esos temas —que no se refieren a materias diferentes, sino a perspectivas diferentes sobre la materia— suscita cuestiones filosóficas propias: las relaciones entre materia y realidad, materia y Dios, materia

y forma, materia y alma, preguntas inagotables a las que este texto no pretende aportar respuestas, sino formularlas en una perspectiva actual. Naturalmente, esas cuatro vertientes no son independientes entre sí, sino que se superponen a menudo: los aspectos cosmológicos de los orígenes de la materia, por ejemplo, están profundamente relacionados con la materia elemental; características relevantes de la materia viva dependen acusadamente de la estructura de las moléculas que la constituyen. En diversos puntos deberemos hacer hincapié en aspectos cuánticos, que he procurado sintetizar adecuadamente, remitiendo al lector a mi libro *Introducción al mundo cuántico: de la danza de las partículas a las semillas de las galaxias*, publicado en esta misma editorial, o en cosmología y neurología, que he tratado en *Cerebro y universo*. Aquí, considero la materia como un ámbito sistematizador de experiencias, conocimientos e interrogantes, más que como una respuesta definitiva a los enigmas de la realidad.

Barcelona, marzo de 2015

PRIMERA PARTE

LA MATERIA ELEMENTAL LA ESTRUCTURA DE LA MATERIA

La diversidad de la materia que percibimos es tan amplia, tan desbordante, que parece desafiar todo conocimiento profundo. Sin embargo, ya desde la antigüedad, se intuyó un orden subyacente, unos constituyentes básicos, que algunos imaginaron como partículas indestructibles, los átomos, y otros como elementos no necesariamente corpusculares, tal vez continuos, como los famosos cuatro elementos (fuego, aire, agua, tierra). En esta parte esbozamos la historia de la búsqueda de los constituyentes básicos de la materia y de sus interacciones elementales, un viaje que nos lleva hacia lo más microscópico y ultramicroscópico. La búsqueda de unidad, simplicidad y elegancia conceptual ha sido uno de los grandes estímulos para la ciencia. Sin embargo, ¿hasta dónde llega realmente esa unidad, esa simplicidad? Su búsqueda ha conducido a inicios del siglo XXI a teorías de gran complejidad matemática y conceptual, que parecen contradecir la intui-

ción de simplicidad de fondo, a teorías todavía no contrastadas por experimento alguno, y que aún dejan sin respuesta a una buena parte de las preguntas básicas que las motivaron.

I

DEL ATOMISMO FILOSÓFICO A
LA DISGREGACIÓN DEL ÁTOMO

Una de las impresiones que más sorprenden al considerar la materia es su diversidad y mutabilidad: generación, pujanza, decadencia, putrefacción, un cambio continuo, una diversidad extrema y, a pesar de ello, una sensación de permanencia y unidad. No fue fácil ni intuitivo intentar poner un cierto orden en esa diversidad. En los siglos VI-V a.C., los filósofos jónicos empezaron a tratar la cuestión del posible principio común subyacente a toda la materia y, a la vez, compatible con su diversidad. La ciudad griega de Mileto, en la costa egea de Asia, fue el escenario de las primeras propuestas: Tales, gran geómetra y pensador, sugirió que el agua era la base de toda la materia, mediante las posibilidades que le conferían la congelación y la evaporación; Anaximandro sugirió que el fondo de todo era el *Apeiron*, lo indeterminado, algo impreciso y abstracto; Anaxímenes defendió que el aire constituía la base de todas las cosas, gracias a rarefacciones y condensaciones.

Heráclito (s. VI-V a.C.) defendió, más que la permanencia, la mutabilidad esencial del mundo, dominado por el combate y el conflicto y sometido, en el mejor de los casos, a una armonía inestable de tensiones

opuestas. Identificó la esencia de las cosas con el fuego, destacó los cambios incesantes del mundo, y apuntó la sospecha de que los sentidos pueden dar informaciones engañosas que hay que discernir con la ayuda crítica de la razón. Con esas reflexiones, la materia dejaba de ser patrimonio exclusivo de la información sensorial y se convertía, también, en objeto intelectual.

La ocupación persa de las costas de Asia Menor en el siglo vi a.C. desplazó multitudes hacia Sicilia y el sur de Italia. Fue allí, en Crotona y Tarento, donde se desarrolló la escuela pitagórica, que vio en los números la esencia de lo real, más allá de las potencialidades utilitarias de la contabilidad y la agrimensura. Las relaciones numéricas entre las longitudes de las cuerdas de la lira y las armonías de sus sonidos la convicción de un decisivo trasfondo matemático de la realidad, la sublimación mística de las formas geométricas y de los números propuesta por esa escuela, marcaron profundamente la cultura occidental y la ciencia que en ella se desarrollaría —otro estímulo decisivo fue la idea judía de creación del mundo por un Dios legislador, que impondría un orden más o menos accesible a los humanos. Quizá la gran tragedia de esa escuela fue, irónicamente, el célebre teorema de Pitágoras, que reveló que los números irracionales también juegan un papel importante en el mundo, como en el cociente entre la diagonal de un cuadrado y su lado, que es la raíz cuadrada de dos.

Parménides de Elea (s. vi-v a.C.) extremó la sospecha sobre las limitaciones de los sentidos; postuló la inmutabilidad, inmovilidad, eternidad y unidad básicas del Ser, y negó el vacío y el movimiento, que atribuyó a apariencias ilusorias de los sentidos. La posición de Parménides ha tenido una influencia profunda en la filosofía, y uno de los estímulos de la ciencia ha sido,

precisamente, la búsqueda de elementos de permanencia tras la diversidad y los cambios del mundo.

Esa postulación de unidad no impidió, sin embargo, que las reflexiones sobre la materia se abrieran a una cierta multiplicidad básica. Así fue, por ejemplo, en el siglo v a.C., en la teoría de los cuatro elementos, sistematizada por Empédocles de Agrigento, según la cual todo está compuesto de agua, tierra, aire y fuego, combinados diversamente según las tensiones del amor y el odio, considerados como interacciones básicas entre los elementos. Anaxágoras llevó más allá la idea de la diversidad fundamental de la materia y sugirió la existencia de un número infinito de elementos o «semillas» de la realidad, la cual sería, pues, esencialmente irreductible a simplificación.

EL ATOMISMO FILOSÓFICO: CONCILIACIÓN DE UNIDAD Y DIVERSIDAD

El intento más genial y perdurable de conciliar permanencia y cambio, unidad y diversidad, fue la teoría atomística, propuesta originalmente en el siglo v a.C. por Leucipo de Mileto y Demócrito de Abdera, que postula que la materia no es continua, sino que está formada por átomos elementales, indivisibles, que se mueven en el vacío. Esos átomos estarían formados por una sustancia única, increada, eterna, representación de la plenitud del ser, que constituiría la unidad, y que formaría átomos indestructibles, de formas y tamaños diversos. Las agregaciones de esos átomos darían lugar a la diversidad y el cambio de la materia observada.

Platón, en el *Timeo*, su diálogo más cósmico y científico, escrito hacia el final de su vida, hizo confluir la

matematización pitagórica, el atomismo de Demócrito y la teoría de los cuatro elementos, atribuyendo la forma de un poliedro regular a los átomos de cada uno de ellos. Para acomodar los cinco poliedros regulares atribuyó la forma del que le sobraba al conjunto del universo. Posteriormente, Aristóteles le atribuyó un éter o quinta esencia que llenaría los espacios cósmicos. La matematización poliédrica de la materia se complementaba con la matematización esférica o circular del cielo, que influyó durante muchos siglos la cosmología hasta que, muy a su pesar y forzado por las observaciones astronómicas, Kepler introdujo la elipse como figura geométrica de las órbitas planetarias.

Fig. 1. 1. Platón asignó a los átomos de los cuatro elementos (tierra, agua, aire y fuego) formas poliédricas regulares (cubo, icosaedro, octaedro y tetraedro). Posteriormente, el poliedro restante, el dodecaedro, fue imaginado como la forma atómica de un quinto elemento o quinta esencia.

La tradición atomística de Demócrito pasó a Epicuro (s. IV-III a.C.) y Lucrecio (s. I a.C.), el cual, en su gran poema *De rerum natura*, presenta una de las formulaciones más nítidas, amplias e influyentes de la visión atomística. Esos autores intentaron sacar consecuencias vitales y morales de aquellas hipótesis físicas. Para ellos, el atomismo supuso una opción filosófica radical que no requería ningún tipo de alma. En los escritos de Epicuro o Lucrecio, el atomismo es utilizado para tranquilizar a los humanos, garantizando que, al no haber alma capaz de sobrevivir a la muerte, no hay, después de esta, posibilidad de tormentos a manos de dioses arbitrarios y crueles.

La muerte, pues, era una liberación y no debía ser temida. Tras ella, ningún castigo, ninguna tortura, ningún vagar de sombras tristes y turbias en el Hades. La sabiduría

consistía, pues, en un disfrute medido y sereno de la vida, más que en alguna forma de piedad enfocada al más allá. Por ello, el atomismo fue rápidamente asociado al ateísmo, aunque, de hecho, no implicaba necesariamente la ausencia de dioses. Epicuro y Lucrecio creían en la posibilidad de dioses inmortales, compuestos de una materia sutil, pero que no actúan sobre el mundo ni se interesan por nosotros.

Aquel atomismo, de hecho, ya experimentó los problemas sociales y religiosos con que más tarde se encontrarían las doctrinas que otorgan a la materia la exclusiva de la realidad. Algunos autores han sugerido que el motivo de fondo de las disputas de la Iglesia católica con Galileo podría haber sido su defensa del atomismo, más que la del modelo copernicano del sistema solar. Al defender la inmutabilidad de la materia, la transubstanciación real en la consagración podía quedar seriamente puesta en duda. Dado que este dogma es más importante que las consideraciones sobre la estructura del cosmos, la reacción eclesiástica habría sido contundente, pero desviando la atención hacia otro aspecto de la obra galileana. En el Renacimiento y el Barroco, la hipótesis atomista, abandonada durante siglos, recobró vigor y Gassendi, uno de los discípulos de Galileo, retomó las ideas platónicas respecto de los átomos, que influyeron fuertemente en los círculos libertinos, que criticaban los postulados metafísicos y preconizaban el epicureísmo como sabiduría de vivir.

La teoría de los cuatro elementos, en su forma no atomística, tuvo una aceptación mucho más amplia y menos problemática, duró muchos siglos, e inspiró muchos trabajos físicos y químicos, ya que era lo suficientemente flexible para suponer unos pocos principios detrás de la diversidad de la materia, fueran corpusculares o no. Aire y

fuego tendían a ascender; agua y tierra tendían hacia el centro de la Tierra, tendencias que daban razón de los movimientos naturales de las cosas en la física de Aristóteles. Su carácter cercano a la experiencia del mundo y su paralelismo con las cuatro estaciones le otorgaron un atractivo estético perdurable.

LA ALQUIMIA

Durante siglos, la visión de la materia no pasó de esa forma sencilla. La exploración mucho más sistemática, sutil e incisiva por parte de los alquimistas puso de manifiesto la conveniencia de ampliar el esquema de los cuatro elementos, a los cuales sumó tres nuevos principios: mercurio, azufre, y sal.

Uno de los aspectos popularmente más conocidos y mitificados de los alquimistas fue su búsqueda de la transmutación de la materia en oro. La idea no resultaba absurda, ya que para ellos los diversos metales no eran sustancias puras, sino mezclas de los elementos primordiales. Se trataba, pues, de hallar la manera de combinar dichos elementos en la proporción característica del oro. Esas búsquedas, llevadas a cabo en una multitud de penosos y esforzados experimentos, no carecían de aparente fundamento empírico. Por ejemplo, algunas mezclas de cal, mercurio y cobre, mantenidas a temperatura elevada en hornos de cocción, daban en la cerámica vistosos brillos metálicos que, en algunas ocasiones, eran idénticos a los del oro. Sin embargo, al romper la cerámica para extraer el anhelado oro, se perdía toda traza de él. Hasta que no se ha dispuesto de la perspectiva de la nanotecnología no se ha podido