
EL ESPACIO VACÍO Y SUS IMPLICACIONES EN LA HISTORIA DE LA CIENCIA

Joan Josep Solaz-Portolès

I.B. Camp de Túria. Lliria/ Centre Associat de la U.N.E.D.

Magdalena Moreno-Cabo

B.P.M. de L'Elia.

València - España

Resumen

En este artículo se presenta la evolución de las ideas de los científicos en torno al concepto de espacio vacío a lo largo de la historia de la ciencia, y las consecuencias que se derivaron en el desarrollo de las ciencias físicas.

I. Introducción

En el presente trabajo, hemos recogido las distintas concepciones que se han sostenido en distintos momentos de la historia de la ciencia en torno al concepto de espacio vacío. Estas concepciones tuvieron una gran influencia en la formación y desarrollo de conceptos en varias áreas de las ciencias físicas. De hecho, las concepciones *plenistas* o negadoras del espacio vacío se erigieron en algunos períodos de la historia del pensamiento en verdaderos *obstáculos epistemológicos* que frenaron el progreso científico.

Hemos dividido la historia de la ciencia en ocho bloques: Ciencia Griega, Ciencia Árabe, Escolásticos, Renacimiento, Siglo XVII, Siglo XVIII, Siglo XIX y Siglo XX. Comenzaremos, pues, con las ideas de los filósofos griegos y acabaremos con las ideas aceptadas por la mayoría de la comunidad científica contemporánea.

II. Ciencia Griega

El primer filósofo que a la hora de hablar de materia introdujo el concepto de espacio fue Anaxímenes. Vivió durante la primera mitad del siglo VI a.C. y perteneció a la denominada Escuela Jónica. Sostuvo que todo era vapor y que la materia adop-

taba formas diferentes como resultado de procesos de rarefacción y condensación. Según él lo que diferenciaba una forma de materia u otra era la cantidad de materia contenida en un espacio dado (vacío).

A finales del mismo siglo que vivió Anaxímenes se destacó Parménides, fundador de la Escuela Eleática. Negó la posibilidad del movimiento y del cambio. Negó la existencia del vacío, afirmando que existía una plenitud absoluta del Ser, materia o elemento fundamental del cual el mundo está hecho. Rechazó la idea de Anaxímenes de un principio fundamental diluido o concentrado en un espacio vacío y defendió que, por el contrario, el espacio debía estar absolutamente lleno.

Empédocles, a mediados del siglo V a.C., diferenció el aire del espacio vacío, esto es, demostró la corporeidad del aire. Lo hizo experimentalmente mediante una clepsidra, llegando a la conclusión de que los recipientes que llamamos vacíos están en realidad llenos de aire. También demostró cómo superar las limitaciones de nuestra percepción y descubrir, mediante procesos de inferencia basados en la observación empírica, verdades no aprehensibles directamente.

El primer científico en postular la constitución atómica de la materia se llamaba Leucipo, quien en la segunda mitad del siglo V a.C. pensaba que la materia primaria era sólida, indestructible, inmóvil y poseída de la absoluta plenitud del Ser. Además, de acuerdo con sus ideas, la materia existía en forma de partículas pequeñísimas que no podían ser percibidas por nuestros sentidos. Estas partículas, los átomos, eran infinitas en número e impenetrables, y estaban separadas entre sí por vacío. Todas las cosas perceptibles eran meramente el efecto sobre nuestros sentidos de átomos de diferentes formas y tamaños, agrupados de múltiples formas.

De un discípulo de Leucipo, Demócrito, somos deudores de un modelo de constitución del Universo basado en la teoría atómica. Los elementos que utilizó para componer el mundo fueron dos: átomos indivisibles e impenetrables y vacío. En este modelo los átomos se mueven violentamente en el vacío, chocan entre sí y se transfieren energía. Los átomos más pesados, lógicamente, se mueven menos y su concentración produce las sustancias terrestres más pesadas, que se encuentran en el centro del mundo. Alrededor están los átomos más ligados, con mayor movimiento. Éstos forman primero agua, luego aire y finalmente fuego.

Con Platón (427-367 a.C.) se llega a una concepción matemática del espacio, que él imagina como dimensiones independientes de los cuerpos. En el espacio, los cuerpos existen y se mueven, es el receptáculo de todas las cosas, y es tan real como las ideas eternas. La parte del espacio ocupada por un cuerpo se corresponde con el lugar del cuerpo, la parte no ocupada es espacio vacío. Como vemos, se trata de una visión muy similar a la sostenida por los atomistas.

La física de Aristóteles (384-322 a.C.), a la que se ha llamado del sentido común, recoge en diversos puntos la explícita negación del espacio vacío. Para funda-

mentar esta aseveración empleó diversos argumentos que ahora expondremos. En primer lugar, en la explicación del movimiento de los cuerpos postula la necesidad de la acción de un motor y constata la resistencia del medio en que se mueven. Esta resistencia del medio, que depende de su densidad (a mayor densidad mayor resistencia), frena el impulso del motor. Si no hubiera resistencia, como es el caso del vacío, el impulso motor no cesaría y el móvil adquiriría una velocidad infinita, lo que no tiene sentido. Así pues, como el vacío no existe, la materia no puede estar constituida de átomos, como afirmaban los defensores de la teoría atómica, sino que debe ser continua. Por otra parte, para explicar por qué se mantenía el movimiento de un cuerpo en el aire una vez éste abandonaba el agente propulsor, Aristóteles dice que es justamente el aire que se precipita tras el cuerpo para evitar el vacío, el que le transmite la fuerza necesaria para continuar la trayectoria. Es decir, el espacio ha de estar lleno de materia para transmitir efectos físicos por contacto.

En la cosmología aristotélica la Tierra se sitúa en el centro y alrededor de ella se suceden regiones de agua, aire y fuego, donde cada cosa posee un lugar propio conforme a su naturaleza, un lugar natural. Este conjunto forma lo que llama el mundo sublunar, a partir del cual se extiende la región del éter y de las esferas celestes que se mueven en torno a la Tierra. La primera esfera es la de la Luna y la última la de las estrellas fijas. Todos los cuerpos que forman el Universo son contiguos unos a otros, constituyendo un *plenum*. El movimiento de las cosas representa un desorden cósmico, por ello debe recuperarse el equilibrio de las cosas de tal manera que éstas ocupen su lugar natural. Como en el vacío no puede haber lugares naturales, tampoco puede haber movimiento.

Epicuro (340-270 a.C.) introdujo algunas modificaciones a la teoría de los átomos y vacío de Demócrito. Estableció que los átomos diferentes tendrían pesos distintos, pero todos caerían con la misma velocidad. Esta misma idea la aplicó a los cuerpos en general, señalando que las diferencias de velocidad entre dos cuerpos en un medio resistente dado se debían a diferencias en proporción de la resistencia al peso.

En el prefacio de la Neumática de Herón de Alejandría (siglo I a.C.) se relatan un conjunto de experimentos sobre el vacío que se atribuyen a Estratón, de quien se conoce muy poco. De él se sabe tan sólo que dirigió el Liceo de Atenas entre 287 y 269 a.C. Este filósofo combinó el atomismo con concepciones aristotélicas y adoptó una perspectiva empírica sobre la existencia del vacío. Defendió que en todas las sustancias, a excepción del diamante, había espacios vacíos esparcidos entre las partículas. Empleó esta teoría del vacío discontinuo en la interpretación de muchos fenómenos. Así, por ejemplo, afirma que si el vacío no existiera, ni la luz ni el calor podrían atravesar el agua. No obstante esto, rechazó la idea de un vacío externo a los cuerpos.

III. Ciencia Árabe

Los árabes fueron conocedores de las críticas a la dinámica aristotélica efectuadas por un cristiano, nacido en Alejandría (Bizancio) en siglo VI d.C, llamado Filopón. A pesar de que justificó el movimiento de los cuerpos celestes a partir de la fuerza motora inagotable con el tiempo que Dios les había conferido, fue condenado como hereje por la Iglesia. Afirmaba que un cuerpo en movimiento no precisaba estar en contacto físico constante con un motor ya que el instrumento que lo había proyectado transfería su fuerza motriz al cuerpo en cuestión. Esta fuerza motriz decrecía según las tendencias naturales del cuerpo y la resistencia del medio, e incluso en el vacío esta fuerza desaparecía progresivamente, de modo que cesaba el movimiento forzado. Puede observarse que con este razonamiento se ponía en cuestión uno de los argumentos de Aristóteles para negar la existencia del vacío, puesto que ya no se necesitaba un continuo de materia para transmitir fuerzas por contacto físico.

Un árabe nacido en Zaragoza (España) de nombre Ibn Bagda, más conocido por su nombre en latín Avempace, se preocupó en el siglo XII d. C. de buscar la naturaleza y causa de los fenómenos no en los datos inmediatos de la experiencia sensible, sino a través de un análisis abstracto que le permitió dejar de lado los factores no esenciales. Se convirtió en valedor de las ideas de Filopón, como alternativa a la de Aristóteles, y añadió un argumento más a favor de la existencia del vacío: un cuerpo que se moviera en el vacío se movería con velocidad finita, no infinita como concluía Aristóteles, porque aunque no hubiera resistencia del medio, el cuerpo tendría que necesitar un tiempo finito para recorrer el espacio correspondiente.

IV. Los escolásticos

Este movimiento se caracterizó por la búsqueda de esquemas filosóficos en los que el dogma cristiano encontrara, si no una auténtica explicación, sí al menos una amplia justificación racional. Así, la filosofía aristotélica se integró en la teología católica gracias a Alberto Magno (1206-80) y a Santo Tomás de Aquino (1225-74). Ambos no fueron más allá del sistema de mundo aristotélico. Para ellos, el Universo era una esfera llena de materia, donde era imposible el vacío, porque todas las acciones exigían contacto físico directo o indirecto. Para Santo Tomás la primera prueba de la existencia de Dios era que los movimientos de los cielos exigían un primer motor: Dios.

La mayor parte de los filósofos escolásticos aceptaron las ideas de Aristóteles y rechazaron el vacío. Sin embargo, algunos llegaron a aceptar la descripción del vacío que dio Roger Bacon (1124-94) como cantidad matemática extendida en las tres dimensiones y sin ninguna cualidad natural. Este mismo autor defendió que la causa final de los fenómenos era el orden de la naturaleza, que no admitía el vacío. Gil de

Roma (1243-1316), llegó a proponer que la succión del vacío era una fuerza de atracción universal que mantenía los cuerpos en contacto y evitaba las discontinuidades. Incluso afirmó que esta misma fuerza era la causante de que el imán atrajera al hierro.

En la Universidad de Oxford, William of Ockham (1295-1394) negó la validez de la primera prueba de Santo Tomás de la existencia de Dios. Según él, un cuerpo en movimiento no exige el contacto físico continuo con el motor, como es el caso de un imán que puede mover un trozo de hierro sin tocarlo. Este caso, representa un ejemplo de acción a distancia que se podría dar también presumiblemente en el vacío. En consecuencia, el espacio no tiene por qué estar lleno de materia para transmitir efectos físicos, el vacío es posible. Ockham estuvo de acuerdo con Filopón en que Dios confirió una fuerza motriz a los cuerpos celestes que no se agota con el tiempo, y por tanto elimina la necesidad de postular motores.

Jean Buridan (1300-66) ofreció dos argumentos de peso en contra de la tesis aristotélica de que los cuerpos en movimiento en el seno del aire eran propulsados por el propio aire desplazado que se precipitaba a la parte posterior del cuerpo, con el fin de evitar la formación de vacío. El primero es que si una peonza rota sin cambiar de posición, es imposible que se mueva por acción de aire desplazado. El segundo es que una jabalina con el extremo posterior plano no llega más lejos, aplicándole la misma fuerza, que una jabalina afilada por ambos extremos, en contra de lo que cabría esperar si el aire fuera el propulsor. Buridan propuso la denominada teoría del *ímpetus*. El *ímpetus* que recibía un cuerpo por acción de una fuerza es el responsable del movimiento. La cantidad de *ímpetus* recibido por un cuerpo es proporcional a densidad y volumen del cuerpo y a su velocidad inicial. Los cuerpos celestes se mueven merced al *ímpetus* comunicado por Dios en un instante inicial. Este *ímpetus* no se agota porque no hay resistencia del aire en los Cielos.

V. El renacimiento

En el siglo y medio que separa los escolásticos de principios del siglo XV de los primeros representantes de la ciencia del siglo XVII (Galileo, Kepler,...), aparecen científicos que van sentar las bases de la ciencia moderna. Destacaremos aquí a dos de ellos: Giambattista Benedetti y Giordano Bruno.

Giambattista Benedetti (1530-90) en su esfuerzo de matematizar la ciencia, se opuso a la física meramente cualitativa de Aristóteles. Para este científico el error más destestable de Aristóteles era la negación del vacío y del movimiento en él. La demostración aristotélica de imposibilidad del vacío por reducción al absurdo, esto es, si el vacío existiera no habría resistencia al movimiento y los cuerpos adquirirían velocidad infinita, es absolutamente falsa. Esto es así, porque la velocidad es proporcional al peso disminuido por la resistencia del medio, con el cual, aun no existiendo resistencia,

jamás se puede hacer infinita. Por otra parte, Benedetti haciendo uso de un experimento mental concluye que los cuerpos compuestos de la misma materia, caerán en el vacío con la misma velocidad.

Giordano Bruno (1548-1600) llevó a cabo una verdadera transformación de la imagen que se tenía del mundo y de la realidad física. Se opuso al Cosmos finito aristotélico y proclamó la infinitud del espacio y del Universo. Negó la existencia de lugares naturales o direcciones privilegiadas para los cuerpos en movimiento, afirmando que el espacio es el verdadero lugar de los cuerpos. El propio Universo tiene su lugar en el espacio, que no es más que un vacío inmenso e infinito que subtiende y recibe a la materia. Con esto, Bruno identificó el vacío con el espacio que contiene a todos los cuerpos y lo calificó de infinito. Además, apuntó que el movimiento de los cuerpos presupone la existencia de espacio y que, justamente al contrario de lo que pensaba Aristóteles, la existencia de vacío es la condición necesaria para este movimiento. No obstante, este científico del renacimiento recalca que el espacio vacío no existe salvo allí donde los cuerpos se tocan, puesto que es en realidad el aire o el éter lo que llena el espacio.

VI. El siglo XVII

Galileo Galilei (1564-1642) refutó las tesis aristotélicas de que los cuerpos pesados caían más deprisa y de imposibilidad del vacío. Señaló que, precisamente es en el vacío, donde tienen que estudiarse las relaciones entre el peso, determinado por la cantidad de materia por unidad de volumen, y el movimiento. Pero, dadas las dificultades que esto representaba para él, idealizó y matematizó las condiciones experimentales en sus trabajos sobre la caída de los cuerpos. Esto, le permitió llegar a concluir que todos los cuerpos, independientemente de sus pesos, recorren las mismas distancias en los mismos tiempos. Además, las distancias recorridas son proporcionales al cuadrado de los tiempos o, lo que es lo mismo, la velocidad de caída de los cuerpos aumenta uniformemente con el tiempo.

A Galileo se le atribuye el primer vacío artificial del que se tiene noticia. Lo consiguió a partir de un cilindro cerrado y un pistón. Conocía también este sobresaliente científico la imposibilidad observada por los prácticos de elevar agua mediante una bomba aspirante a más de 10,5 m. Este hecho lo justificó simplemente diciendo que representaba el límite de la fuerza del vacío.

La física de René Descartes (1596-1650) se basa en dos principios: la inexistencia del vacío y la constancia de la cantidad de movimiento y de la materia. La negación de la existencia del vacío es una consecuencia directa de la identificación cartesiana de materia con espacio, que al ser un atributo de la materia no puede existir

independientemente de ella. La constancia de la cantidad de movimiento y de la materia eran fruto del poder de Dios en el Universo.

A partir de estos principios Descartes formuló la teoría de los torbellinos en el *plenum* para explicar la formación del Mundo. En esta teoría se supone que se estableció inicialmente un vórtice gigante en el que los bloques primarios de materia eran arrastrados y se desgastaban por fricción, produciendo polvo o éter, la materia primera que llena el espacio, y pequeñas esferas, la materia segunda. A medida que el universo se desarrollaba, se iniciaban torbellinos secundarios en torno a cada conglomerado de materia. Así, por ejemplo, había un vórtice en torno a la Tierra que arrastraba a la Luna en su curso. En todos los vórtices la materia pesada era arrastrada hacia el centro, en tanto que la ligera se veía dispersada hacia el exterior. Esto explicaba que los objetos pesados cayesen hacia la Tierra, mientras que el fuego se elevaba. En este sistema del mundo todas las clases de materia están en contacto entre sí, de manera que el movimiento dentro de un torbellino es transmitido de unos cuerpos a otros.

En 1643 se comprobó, por iniciativa de Evangelista Torricelli (1608-47), que la atmósfera ejercía presión sobre la superficie de la Tierra. Para ello, tomó un tubo recto de vidrio abierto por uno de sus extremos, llenó el tubo de mercurio y lo invirtió - sin que cayera el mercurio- dentro de una cubeta que contenía mercurio. El mercurio descendió hasta 0,76 m por encima del nivel de mercurio de la cubeta. Torricelli defendía, por un lado, que en la parte superior del tubo se había formado espacio vacío y, por otro lado, que era la presión atmosférica actuante sobre la superficie libre del mercurio de la cubeta la que sustentaba la columna de mercurio de 0,76 m. Por el contrario, los seguidores de las posiciones *plenistas* o negadoras del vacío de Aristóteles y Descartes pensaban que debía de quedar alguna sustancia, el éter, que era la que con el fin de evitar la formación de vacío, ejercía una fuerza atractiva sobre el mercurio. Torricelli efectuó un segundo experimento con un tubo que contenía un gran bulbo en su extremo cerrado, y los resultados fueron los mismos. De este modo, acabó por rechazar la hipótesis *plenista* y confirmó la existencia de espacio vacío.

Torricelli hizo uso de la presión atmosférica para explicar el funcionamiento de las bombas aspirantes de agua. Para este mismo fin tanto los escolásticos como Galileo habían empleado la fuerza de succión del vacío, consecuencia del horror al vacío que manifestaba la Naturaleza. Torricelli explicó también por qué el agua no subía a más de 10,5 m mediante bombas aspirantes: el pistón de la bomba desaloja aire, con el cual libera al agua que sube de la presión atmosférica, y es esta misma presión atmosférica la que actuando sobre la superficie libre del agua hace subir al líquido.

Pierre Gassendi (1592-1655) atacó con dureza los fundamentos de la ontología cartesiana. Frente al plenismo cartesiano sostuvo que el mundo estaba constituido de átomos y vacío. Asignó a la materia las características de movilidad, impenetrabilidad y discontinuidad y se negó a identificarla con el espacio, que supuso ilimitado y

continuo. Como puede verse, Gassendi no hace sino retomar ideas bien conocidas con anterioridad, si bien, tuvo la audacia de aplicarlas con acierto en la interpretación de algunos fenómenos. En concreto, superó la explicación que el Blaise Pascal (1623-62) dio a la célebre experiencia del Puy de Dôme. En ella, Pascal repitió el experimento de Torricelli, varias veces en un mismo día, en el pie y en la cima de la citada montaña. Obtuvo una diferencia de alturas de mercurio entre la falda y la cima de más de tres pulgadas. La interpretación de Gassendi para la variación de la altura del mercurio con la altitud, se basó en la distinción de la acción de dos factores: peso y presión elástica de la columna de aire atmosférico. El factor esencial en la experiencia de Pascal es la presión elástica del aire. Gassendi explica, de acuerdo con su modelo de átomos y vacío, la variación de la presión del aire mediante la dilatación o compresión de éste, y el hecho de que una misma cantidad de aire (un mismo peso de aire) pueda ejercer presiones diferentes según su estado de compresión o dilatación.

Pascal efectuó otro experimento decisivo en la confirmación de la influencia de la presión atmosférica en la experiencia de Torricelli. Repitió dicha experiencia en el interior de un recipiente en el que previamente había hecho el vacío. Constató que el mercurio descendía por completo en el tubo.

En este punto, no podemos dejar de destacar el famoso experimento de los hemisferios de Magdeburgo, que llevó a cabo Otto von Guericke (1602-86) para evidenciar la fuerza que podía ejercer la presión atmosférica. En él mostró que cuando dos hemisferios metálicos se encajaban y se hacía un vacío interior mediante una bomba neumática, no podían ser separados por dieciséis caballos.

La pretensión de Robert Boyle (1627-91) como científico fue desarrollar una teoría universal de la materia, que consideraba formada por partículas, a partir de sus propiedades mecánicas, y atendiendo siempre a los resultados obtenidos por los experimentos. Realizó, o mandó realizar, un sinnúmero de experimentos con el aire, al que definía como fluido tenue, transparente, compresible, dilatado, diferente al éter y compuesto de partículas. Comprobó con aire que, a temperatura constante, toda disminución de volumen de un gas lleva consigo un aumento proporcional de la presión, y también ocurre al revés (Ley de Boyle). También llevó a cabo experimentos mediante campanas de cristal en las que hacía el vacío. Con ellos verificó que el sonido no se transmite en el vacío, pero sí la luz.

Boyle ofreció dos modelos diferentes para explicar la compresibilidad y expansibilidad del aire, ambos de carácter corpuscular. En el primero, que podemos llamar modelo estático, las partículas del gas se comportan como pequeños muelles, y se encuentran unas en contacto con otras. En el segundo, que podemos llamar modelo cinético, las partículas se hallan en violenta agitación sumergidas en un fluido sutil o éter que lo llena todo, como ya proponía Descartes. De hecho, Boyle intentó encontrar una prueba experimental de la existencia del éter, pero no la halló.

La idea cartesiana de la presencia de un fluido o éter corporal que llena todo el espacio fue rechazada frontalmente por Isaac Newton (1642-1727). Para este gran científico un fluido material, por sutil que fuera, ofrecería gran resistencia al movimiento de los cuerpos celestes, lo que imposibilitaría el movimiento regular y permanente que se observa en los planetas y cometas.

Pese a que Isaac Newton (1642-1727) inicialmente rechazó la idea cartesiana de un fluido o éter que llena todo el espacio, y que se jactaba de utilizar una metodología que no usaba hipótesis especulativas y en la que se ligaba de manera muy fructífera la experimentación y las matemáticas, no pudo desprenderse del error conceptual de creer en la existencia de un éter que llena los espacios vacíos intra y extracorporales. De él dijo que era un medio estacionario y compuesto por partículas que se repelían entre sí, y eran repelidas por las partículas de los cuerpos. Por ello, el éter resultaba muy poco denso en las proximidades de los cuerpos celestes, y les ofrecía muy poca resistencia. Por consiguiente, la cantidad de movimiento del universo no podía ser constante, como supuso Descartes y, según Newton, Dios reponía constantemente la cantidad de movimiento perdida por fricción.

También recurrió Newton en última instancia, movido por los incesantes interrogantes lanzados por sus adversarios, al éter como origen y medio de transmisión de la fuerza de atracción gravitatoria. Newton evitó mientras pudo hacer un análisis físico de este asunto y se decantó, en un principio, por un tratamiento matemático neutro, sin ningún tipo de implicación.

Tanto Newton como Christian Huygens (1629-95) consideraron que la luz se propagaba en un fluido sutil, elástico y compuesto por partículas: el éter. Sin embargo, para el primero la luz tenía realidad sustancial y estaba formada por corpúsculos materiales, a los que para justificar las propiedades observadas en la misma, se les podía aplicar las leyes de la Dinámica. Para el segundo, la luz era un movimiento vibratorio del éter situado entre el observador y el cuerpo luminoso, pensaba, por tanto, que tenía un carácter ondulatorio análogo al sonido.

VII. El siglo XVIII

Durante este siglo, y a contracorriente de sus contemporáneos, Daniel Bernoulli (1700-82) niega la existencia del éter que todo lo llena. Lo hace en su investigación sobre el comportamiento de los gases. Suponía a los gases constituidos por pequeñas partículas, de las que habría una ingente cantidad incluso en un pequeño recipiente. Optó por un modelo cinético para los gases, cuyas partículas se moverían rápidamente en todo el espacio vacío disponible, chocarían entre ellas elásticamente y también contra las paredes del recipiente. La presión del gas sobre las paredes la interpretaba mediante los choques de las partículas contra ellas.

Haciendo uso de este modelo Bernouilli llevó a cabo un desarrollo cuantitativo que le permitió, por una parte, deducir la ley experimental de Boyle para gases, y por otra, encontrar la relación entre el aumento de presión y el calor suministrado (aumento de la temperatura) a un sistema de volumen constante.

Por contra, el famoso matemático Leonhard Euler (1707-83) vuelve a hacer uso del éter que penetra en todos los cuerpos y llena el vacío para explicar la propagación ondulatoria de la luz, y proponer un modelo cinético para los gases en donde las partículas gaseosas giran en el éter. Para dar una justificación de la mayor velocidad de la luz a respecto del sonido, dio al éter una densidad mucho menor que la de aire, pero mucha mayor elasticidad.

En este siglo surge una nueva clase de fluido sutil o éter: el calórico. Este término fue introducido por Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-94) para designar la materia del fuego o calor, al que consideraba un fluido indestructible e inmaterial. Joseph Black (1728-99), un gran estudioso del calor, describió el incremento de temperatura observada en un gas cuando se le comprime rápidamente o en un trozo de metal al que se le golpea bruscamente, como consecuencia de la liberación del calórico existente entre los espacios vacíos de las partículas.

VIII. El siglo XIX

Hasta el primer cuarto de este siglo la teoría de la luz con más adeptos era la corpuscular de Newton. Pero, a partir de las investigaciones de Thomas Young (1773-1829) y de Augustin Fresnel (1788-1827), fue mayoritaria la hipótesis del carácter ondulatorio. Young hizo resurgir hacia 1801 la teoría ondulatoria en la interpretación de varias experiencias con la luz, que consideró una vibración longitudinal que se propaga por el espacio lleno de éter. Fresnel (1788-1827) analizó los fenómenos luminosos considerando a la luz como un movimiento vibratorio transversal en el omnipresente éter. Por otro lado, muchos científicos de la primera mitad del siglo XIX aceptaban la identificación, en términos cualitativos, de luz y calor, por el cual, acabó considerándose éste como un movimiento vibratorio a través del éter.

No obstante, el tratamiento de la luz como vibraciones transversales en el éter exigía a este último tener características de rigidez. Pero, también al mismo tiempo tendría que ser muy poco denso, para permitir el movimiento de los cuerpos celestes y de los átomos. Como posteriormente veremos, tuvieron que pasar bastantes años para zanjar el problema de la existencia y/o necesidad del éter en el espacio para describir los fenómenos físicos.

Para explicar las fuerzas que actúan entre las cargas eléctricas y los imanes, Michael Faraday (1791-1867) imaginó que el espacio intermedio estaba lleno de algún ente que pudiese estirar o empujar. A este ente, que conecta polos magnéticos y cargas

eléctricas, lo llamó líneas o tubos de fuerza, y les asignó existencia real. Asimismo, introdujo en la física el concepto de campo, que desempeñaría en momentos posteriores un papel vital. Faraday, en un principio, entendió el campo como un espacio lleno de líneas de fuerza. Después llegó a pensar en el espacio como un campo, un lugar que permite todas las interacciones (gravitatorias, eléctricas y magnéticas), y que el éter no era sino el espacio tal y como él lo entendía. También comprobó que el campo magnético de un imán hace cambiar la orientación del plano de polarización de la luz, lo que le llevó a sugerir que la luz consistiría en vibraciones ondulatorias a lo largo de líneas de fuerza

James Clerk Maxwell (1831-79) trató de poner en forma matemática cuantitativa las ideas de Faraday sobre los fenómenos eléctricos y magnéticos. A partir de la hipótesis de un medio que sirve de soporte al campo electromagnético y llena el espacio, el éter, y de las leyes de la dinámica, dedujo que las interacciones o perturbaciones electromagnéticas se propagan a la velocidad de la luz. De este resultado pudo inferir la identidad de las vibraciones luminosas y electromagnéticas, esto es, que la luz se comporta como una onda electromagnética propagándose en el éter. Cabe señalar, no obstante, que la eliminación posterior del éter como medio en el que se propagan los campos no invalida el resto de la teoría maxwelliana.

A finales del siglo XVIII, ya se aceptaba por gran parte de los químicos que aquella substancia que no se descomponía en otras por cualesquiera de los medios físico-químicos conocidos, correspondía a un elemento químico. John Dalton (1766-1844) retomó y modificó la vieja hipótesis atómica, y basándose en los datos experimentales que recogía, la relacionó con el concepto de elemento químico. Imaginó a la materia constituida por átomos indivisibles, esféricos, pero los envolvió de una atmósfera de calórico; y sostuvo que los elementos químicos estaban formados por átomos de una misma clase. En cuanto a los gases, suponía que sus partículas estaban en reposo y sus capas de calórico en contacto. Esto es, no había vacío entre partículas gaseosas.

Otro estudioso de los gases, Amedeo Avogadro (1776-1856), modificó el modelo de gases de Dalton al defender que las partículas de gas sólo tienen una fina capa de calórico y son muy pequeñas frente a las distancias que las separa. De este modo, el volumen que ocupan las partículas gaseosas es mínimo respecto del volumen total del recipiente que las contiene. En definitiva, propone un modelo de gases que deja entrever zonas de espacio vacío, aunque no se pronuncia sobre si es estático o dinámico. Por otra parte, Avogadro consideró que las partículas de los elementos gaseosos no eran átomos simples, como se venía aceptando hasta el momento, sino un conjunto de dos o más átomos semejantes.

Uno de los primeros científicos que abrió camino a la teoría cinético-molecular de los gases fue James Prescott Joule (1818-89), quien mostró que con la aceptación de una teoría cinética para el calor y de una teoría atómica para la materia, se

podía dar cuenta de un amplio abanico de fenómenos físicos de los gases. El ya citado Maxwell, junto a Ludwig Boltzmann (1844-1906) y Rudolph Clausius (1822-88) se encargaron, mediante métodos estadísticos, de dar forma matemática a dicha teoría. Sin embargo, se ha de señalar una cierta resistencia de los científicos de este siglo a asumir que las partículas gaseosas pudiesen moverse libremente en el espacio vacío. Sólo John Herapath (1790-1868) se destacó en este aspecto, proponiendo una teoría cinética que desarrollaba la ideas de Bernouilli.

IX. El siglo XX

En 1905 Albert Einstein (1879-1955) dio a conocer uno de los pilares básicos en que se sustenta la teoría de la relatividad: la velocidad de la luz es constante e independiente de las velocidades de la fuente y del observador. Esta hipótesis, que se vería confirmada experimentalmente, junto con una acumulación de experiencias anteriores donde se pretendía medir la velocidad relativa del éter o respecto de él, acabarían por hacer superfluo al éter como medio de propagación de la luz y reemplazarlo por espacio vacío.

En este siglo, en la comunidad científica se rechazan las acciones directas a distancia, como implícitamente admitía la mecánica newtoniana, y se niega la existencia de un medio intermediario que transmite las interacciones. Se acepta, por el contrario, que todas las interacciones están aseguradas por los campos de fuerza (gravitatorio, electromagnético, etc.). Se les considera como una realidad objetiva que puede existir independientemente de los cuerpos que los han generado, y como una de las formas de existencia de la materia. En suma, ya no hay espacio absolutamente vacío, pues todo está lleno de campos.

Joseph John Thompson (1856-1940) ante la confirmación experimental de la existencia de unas partículas cargadas negativamente, los electrones, que son un constituyente de toda la materia, propuso un modelo atómico en que el átomo es una esfera homogénea cargada positivamente y los electrones están incrustados en ella.

En la segunda década de este siglo, se disponía de átomos radiactivos con una gran energía cinética de los que se podía hacer uso como proyectiles en el estudio de la estructura de la materia: las partículas alfa. Los experimentos llevados a cabo por Ernst Rutherford (1871-1937) en 1911 haciendo incidir un haz de partículas alfa sobre una fina lámina metálica, le llevaron a la formulación de un nuevo modelo atómico. En él se concentra casi toda la masa del átomo en un pequeño núcleo central, cargado positivamente, y a su alrededor se mueven los electrones. Con el cual, este modelo ofrece una imagen del átomo prácticamente vacío, que es tal y como se acepta hoy en la actualidad a pesar de que el modelo haya sido abandonado y sustituido por el mecano-cuántico.

Hasta el primer cuarto de este siglo se acumularon ciertas evidencias experimentales de que la interacción de la radiación electromagnética con la materia no se ajustaba de manera adecuada a la teoría de Maxwell para el campo electromagnético. Por otro lado, varios experimentos pusieron de manifiesto que el movimiento de las partículas subatómicas no seguía las leyes de la dinámica newtoniana. Con el correr del tiempo, y gracias a los esfuerzos de científicos brillantes, entre ellos Werner Karl Heisenberg (1901-1976) y Erwin Schrödinger (1887-1961), se llegó a una nueva teoría que constituye la esencia de la física contemporánea: la teoría cuántica.

Precisamente un principio formulado por Heisenberg, el principio de incertidumbre, proporciona un nuevo argumento a la ciencia contemporánea para poner en duda la existencia de espacio vacío. Así, si consideramos una zona del espacio vacía, esto implicaría que en cualquier campo de fuerzas tendría allí valor exactamente cero. Si aplicamos entonces el principio de incertidumbre, que indica en este caso que cuanto mayor es la precisión con la que se conoce el campo menor es la precisión con la que podemos saber su variación con el tiempo, en el espacio vacío el campo no puede tener valor cero porque su variación con el tiempo también tendría valor preciso cero. En consecuencia, la teoría cuántica nos conduce inevitablemente a llenar el espacio vacío con pares de partículas que aparecen juntas en un instante determinado, se separan, y luego se vuelven a juntar aniquilándose entre sí. Es decir, que suponemos que el espacio vacío es en realidad un maremágnum de materia no permanente: electrones, protones, neutrones, fotones, mesones, neutrinos o cualquier tipo posible de partícula y anti-partícula subatómica.

En definitiva, se puede concluir que la ciencia actual admite la existencia de espacio vacío de materia real, a saber, de materia permanente, pero este mismo espacio lo llena de materia virtual o no permanente.

Referencias

ALONSO, M. & FINN, E.J. (1982) *Física*. México: Fondo Educativo Interamericano.

ASIMOV, Y. (1988) *Breve historia de la Química*. Madrid: Alianza.

BENSON, H. (1995) *Física Universitaria*. México: CECSA.

BOLTZMANN, L. (1986) *Escritos de mecánica y termodinámica*. Madrid: Alianza.

BOYLE, R. (1985) *Física, Química y Filosofía mecánica*. Madrid: Alianza.

BUNGE, M. (1985) *La investigación científica*. Barcelona: Ariel.

- CANTOR, G., GOODING, D. & F.A. JAMES (1994) *Faraday*. Madrid: Alianza.
- CROMBIE, A.C. (1987) *Historia de la ciencia: De San Agustín a Galileo*. Madrid: Alianza.
- DAMPIER, W.C. (1992) *Historia de la ciencia y sus relaciones con la filosofía y la religión*. Madrid: Tecnos.
- DAVIES, P. (1986) *Otros mundos. El espacio y el Universo cuántico*. Barcelona: Salvat.
- DAVIES, P. (1988) *La frontera del infinito. De los agujeros negros a los confines del Universo*. Barcelona: Salvat.
- EINSTEIN, A. & INFELD, L. (1984) *L'evolució de la física*. Barcelona: Edicions 62/Diputació de Barcelona.
- EULER, L. (1985) *Reflexiones sobre el espacio, la materia, la fuerza y la materia*. Madrid: Alianza.
- FARRINGTON, B. (1986) *Ciencia y filosofía en la Antigüedad*. Barcelona: Ariel.
- FARRINGTON, B. (1986) *Ciencia Griega*. Barcelona: Icaria.
- GEYMONAT, L. (1985) *Historia de la filosofía y de la ciencia*. Barcelona: Crítica.
- HALL, A.R. (1985) *La revolución científica 1500-1750*. Barcelona: Crítica.
- HAWKING, S.W. (1988) *Historia del tiempo*. Barcelona: Círculo de Lectores.
- HOLTON, G. & BRUSH, S.G. (1989) *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*. Barcelona: Reverté.
- IHDE, A.J. (1984) *The development of modern chemistry*. New York: Dover.
- KIPPENHAHN, R. (1987) *Luz del confín del Universo. El Universo y sus inicios*. Barcelona: Salvat.

- KOYRÉ, A. (1980) *Estudios Galileanos*. Madrid: Siglo XXI.
- KOYRÉ, A. (1983) *Estudios de historia del pensamiento científico*. Madrid: Siglo XXI.
- LEICESTER, H.M. (1967) *Panorama histórico de la Química*. Madrid: Alhambra.
- MAHAN, B.H. (1977) *Química*. México: Fondo Educativo Interamericano
- MASON, S.F. (1986) *Historia de las ciencias*. Madrid: Alianza.
- MORENO, A. (1988) *Aproximación a la Física*. Madrid: Mondadori.
- NEWTON, I. (1977) *Óptica*. Madrid: Alfaguara.
- NEWTON, I. (1986) *El sistema del mundo*. Madrid: Alianza.
- PAPP, D. (1945) *Historia de la Física*. Buenos Aires: Espasa-Calpe.
- PASCAL, B. (1984) *Tratados de pneumática*. Madrid: Alianza.
- ROSMORDUC, J. (1993) *Una història de la Física i de la Química*. Barcelona: Edicions de la Magrana.
- SIVOUKHINE, D. (1982) *Cours de Physique Générale*. Moscú: Mir.
- TATON, R. (Ed.) (1988) *Historia General de las Ciencias*. Barcelona: Orbis.
- TAYLOR, J.G. (1981) *La nueva Física*. Madrid: Alianza.