

# La parte y el todo

Conversando en torno a la física atómica

Werner Heisenberg



Los recuerdos de Heisenberg giran en torno al desarrollo de la moderna física atómica, desarrollo en el que él contribuyó de manera decisiva. Para Heisenberg, la física está ligada a cuestiones filosóficas, religiosas, políticas y artísticas. Los disturbios de la República Soviética de Múnich, los años de estudiante y el grupo de amigos del Movimiento Juvenil, los dilemas y las amenazas de la época nacionalsocialista, el volver a empezar tras 1945...; éste es el telón de fondo en el que cobra vida la relación de Heisenberg con Albert Einstein, Max Planck, Niels Bohr, Carl Friedrich von Weizsäcker y otros. El autor perfila de forma nítida la atmósfera de paisajes o lugares históricos, paseando por el lago de Starnberg y los Alpes, navegando en Dinamarca, caminando por las playas y en los seminarios de Múnich, Leipzig, Berlín y Gotinga.

## Índice de contenido

Cubierta

La parte y el todo

Prólogo

Primeros contactos con la teoría atómica (1919-1920)

La decisión de estudiar física (1920)

El concepto comprender en la física moderna (1920-1922)

Enseñanzas sobre política e historia (1922-1924)

La mecánica cuántica y una conversación con Einstein (1925-1926)

Marchando hacia un nuevo mundo (1926-1927)

Primeras conversaciones sobre la relación entre ciencia y religión (1927)

Física atómica y pensamiento pragmático (1929)

Conversaciones sobre la relación entre biología, física y química (1930-1932)

Mecánica cuántica y filosofía kantiana (1930-1932)

Discusiones sobre el lenguaje (1933)

Revolución y vida universitaria (1933)

Discusiones sobre las posibilidades de la técnica atómica y las partículas elementales (1935-1937)

La actuación del individuo ante la catástrofe política (1937-1941)

El camino hacia un nuevo comienzo (1941-1945)

Sobre la responsabilidad del investigador (1945-1950)

Positivismo, metafísica y religión (1952)

Discusiones en política y ciencia (1956-1957)

La teoría del campo unificado (1957-1958)

Partículas elementales y filosofía platónica (1961-1965)

Notas

Sobre el autor

## Prólogo

*Respecto a las palabras que dijo cada uno... resultaba difícil recordarlas exactamente... Con todo, tal como me parecía que cada uno lo diría de acuerdo con las circunstancias presentes en cada momento y acercándome lo más posible al sentido general de lo que realmente se dijo, así se ha expuesto.*

(Tucídides).

La ciencia es producto del hombre. Este hecho, que parece evidente en sí mismo, suele olvidarse con facilidad. No obstante, volver a mencionarlo puede contribuir a disminuir el abismo frecuentemente lamentado entre las dos culturas humanístico-artística y técnico-científica. El presente libro trata del desarrollo de la física atómica en los últimos cincuenta años tal y como el autor lo ha vivido. La ciencia se basa en experimentos y llega a sus conclusiones a través de las conversaciones que mantienen entre sí los que se dedican a ella, los cuales discurren sin cesar sobre el significado de dichos experimentos. Sobre tales discusiones versa principalmente este libro, y en ellas queda claro que la ciencia surge del diálogo. Han transcurrido varias décadas desde que tuvieron lugar estas conversaciones, así que es imposible reproducirlas de forma literal. Sólo las cartas, allí donde se citan, son transcritas con fidelidad. Tampoco hay que considerar este libro como unas memorias. Por eso el autor se ha permitido la libertad de recortar aquí y allá, de ser conciso y de renunciar a la exactitud histórica; lo narrado sólo es veraz en lo esencial. La física atómica no constituye de ningún modo el tema principal de las conversaciones.

De hecho, en éstas aparecen con la misma frecuencia problemas humanos, filosóficos o políticos y el autor espera que sea esto precisamente lo que ponga de manifiesto lo poco que se puede separar las ciencias de estos problemas generales.

Muchas de las personas que aparecen en estas páginas lo hacen sólo con su nombre de pila, bien porque no hayan adquirido notoriedad pública, bien porque la relación existente entre ellos y el autor se exprese mejor de esta forma. Además, esto evita que el libro sea considerado como una descripción históricamente detallada de los diferentes acontecimientos. Por este motivo, el autor se ha abstenido de retratar de manera más precisa a los personajes; éstos sólo son reconocibles por su forma de hablar. Sin embargo, sí que se ha intentado transmitir de la manera más fiel y vivaz posible la atmósfera en la que se desarrollaron las conversaciones, pues en ella se hace patente el proceso de formación de la ciencia; es en este contexto en el que mejor se comprende cómo la cooperación entre personas muy diversas daría lugar a descubrimientos científicos de tanta trascendencia. La intención del autor ha sido también acercar a personas ajenas a esta disciplina a las líneas de pensamiento que han acompañado el nacimiento de esta ciencia. Esto, en ocasiones, hace que los discursos giren en torno a cuestiones matemáticas de gran abstracción y complejidad que no pueden comprenderse sin un estudio detallado sobre esta materia.

Y, al final, el autor se ha propuesto otra meta todavía con la redacción de estas conversaciones. La moderna física atómica ha planteado nuevos y fundamentales problemas de tipo filosófico, ético y político, en cuya discusión debería participar el mayor número de personas posible. Quizás el presente libro contribuya a sentar las bases para lograr este objetivo.

## Primeros contactos con la teoría atómica (1919-1920)

Puede que fuera en la primavera de 1920. El fin de la Primera Guerra Mundial había puesto a la juventud inquieta de nuestro país en movimiento. A las viejas generaciones, profundamente desencantadas, se les habían ido las riendas de las manos. Los jóvenes se juntaban en grupos grandes y pequeños intentando encontrar, si no un nuevo camino, por lo menos una nueva brújula que les guiara, puesto que la vieja parecía haber saltado en pedazos. En esa situación me encontraba yo mismo mientras paseaba un claro día de primavera junto a un grupo de unos diez o veinte colegas, la mayoría de ellos más jóvenes que yo. Si mal no recuerdo, el paseo nos condujo por las lomas situadas en la orilla occidental del lago de Starnberg, el cual podíamos ver, cuando se abría un claro en el verde luminoso de los hayedos, yaciendo a nuestros pies a la izquierda; el lago parecía querer extenderse casi hasta las montañas que se alzaban al fondo. En este camino, curiosamente, tuvo lugar aquella primera conversación sobre el mundo de los átomos que tanto significado tendría en mi posterior desarrollo científico. Para comprender cómo podían surgir tales temas de conversación en un grupo de jóvenes alegres y despreocupados, abiertos a la belleza de una naturaleza exuberante, hay que tener en cuenta la confusión de aquellos años, que había dado al traste con la protección de padres y maestros de la que suelen gozar los muchachos en tiempos de paz. Para sustituir estas carencias, había surgido una independencia de pensamiento que se permitía emitir juicios incluso allí donde se carecía de fundamentos.

Unos pasos por delante de mí caminaba un muchacho rubio de buen aspecto, cuyos padres me habían confiado en alguna ocasión la supervisión de sus deberes. Un año atrás, en los días de la República Soviética de Múnich<sup>[1]</sup>, siendo sólo un quinceañero, había participado en los motines acarreado cajas de municiones mientras su padre combatía apostado con una ametralladora detrás de la Fuente de Wittelsbach. Otros, entre ellos yo mismo, habíamos trabajado dos años atrás como mozos de labranza en las granjas de la Alta Baviera. En fin, sabíamos lo gélido que podía llegar a ser el viento y no temíamos enfrentarnos a los problemas más difíciles.

La conversación comenzó porque me estaba preparando por entonces para los exámenes de bachillerato, que tendrían lugar en verano, y me gustaba hablar sobre temas de ciencia con mi amigo Kurt, el cual compartía mis intereses y más tarde quería llegar a ser ingeniero. Mi amigo provenía de una familia de militares protestantes, era un buen deportista y un compañero en el que se podía confiar. El año anterior, mientras las tropas del Gobierno sitiaban Múnich y en casa ya nos habíamos comido las últimas migas de pan, Kurt, mi hermano y yo emprendimos un viaje a Garching a través de la línea de fuego para volver a casa con una mochila llena de comida: pan, mantequilla y tocino. Como es lógico, tales vivencias compartidas constituyen la base óptima para lograr tanto una confianza sin reservas como la complicidad de unos verdaderos camaradas. En el presente caso se trataba del interés que ambos compartíamos por las ciencias experimentales. Le comentaba a Kurt que había encontrado una lámina en un libro de física que no tenía, a mi modo de ver, ni pies ni cabeza. Se trataba de una ilustración del fenómeno básico de la química mediante el cual dos sustancias homogéneas se fusionan y se convierten en una nueva sustancia igualmente homogénea, en un compuesto químico. De la fusión entre el carbono y el oxígeno surge el dióxido de carbono. Según enseñaba el li-



bro, se podían entender las leyes de los procesos observados al asumir que las partes más pequeñas de cada elemento, los átomos, se fusionan en pequeños grupos llamados *moléculas*. Así, una molécula de dióxido de carbono se compone de un átomo de carbono y dos de oxígeno. El libro contaba con ilustraciones explicativas. Para mostrar mejor cómo un átomo de carbono y dos de oxígeno podían formar una molécula de dióxido de carbono, el dibujante había provisto los átomos con ganchos y hembrillas. A mí eso me pareció un auténtico disparate. Desde mi punto de vista, ganchos y hembrillas son objetos absolutamente arbitrarios, objetos que pueden adoptar formas de lo más variado según el uso que se quiera hacer de ellos. Pero los átomos debían ser una consecuencia de las leyes de la naturaleza, y merced a dichas leyes se fusionan en moléculas. Aquí no puede haber arbitrariedad alguna, pensaba yo, ni formas tan arbitrarias como ganchos y hembrillas.

Kurt replicó: «Si desconfías de los ganchos y las hembrillas —la verdad es que a mí también me parecen raros—, antes que nada, tendrías que conocer qué experiencias han motivado al dibujante a colocarlos en el dibujo, pues la ciencia actual se basa en experiencias y no en conjeturas filosóficas, y uno tiene que ajustarse a estas experiencias siempre y cuando se hayan obtenido de una forma segura, es decir, con suficiente cuidado. Por lo que yo sé, los químicos sostienen que las partes elementales de un compuesto siempre aparecen en unas relaciones de peso muy determinadas. Esto ya es extraño de por sí. Incluso si se cree en la existencia de los átomos, es decir, de las características partículas de cada elemento químico, ninguna fuerza conocida de la naturaleza bastaría para explicar por qué siempre se sienten atraídos y se unen sólo dos átomos de oxígeno a uno de carbono. ¿Por qué, si existe una fuerza de atracción entre ambos tipos de átomos, no se pueden unir tres átomos de oxígeno?».

«Quizás los átomos de carbono o de oxígeno tienen una forma tal, que resulta imposible una ligazón entre tres átomos por razones de disposición espacial».

«Si admites esa hipótesis, que, la verdad, no me parece descabellada, entonces casi vuelves a una situación similar a la de los ganchos y las hembrillas. Quizás el dibujante quiso expresar exactamente lo mismo que tú acabas de decir, pero tuvo que ilustrarlo de esa manera porque no se puede saber la forma exacta del átomo. Ha dibujado ganchos y hembrillas para mostrar de manera drástica que hay unas formas que pueden conducir a ligar dos, pero no tres, átomos de oxígeno a uno de carbono».

«Bien, ganchos y hembrillas son una tontería. Pero dices que los átomos, sobre la base de las leyes naturales responsables de su existencia, también tienen una forma que garantiza la correcta ligazón. Pero, por ahora, ni tú ni yo ni, aparentemente, el ilustrador, conocemos esta forma. Lo único que creemos saber de esta forma es que es precisamente la responsable de que se le ligen dos y no tres átomos de oxígeno. En el libro se dice que los químicos aplican a esto el concepto de *valencia química*. Con todo, queda aún por averiguar si se trata del concepto adecuado o de una mera palabra».

«Quizás sea algo más que una mera palabra. Las cuatro valencias que se le atribuyen al átomo de carbono —de las cuales cada dos de ellas deben saturar las dos valencias de cada átomo de oxígeno— podrían tener algo que ver con la forma de tetraedro que posee el átomo. Detrás de todo esto se esconde aparentemente un conocimiento empírico más determinante al que, por ahora, no tenemos acceso».

Robert se unió en este punto a la conversación. Había estado caminando a nuestro lado sin decir palabra, aunque era evidente que nos escuchaba con atención. Una mata de pelo muy negra enmarcaba su rostro pequeño pero intenso, confiriéndole a primera vista un aspecto taciturno. Raras veces participaba en las charlas triviales que amenizaban

los paseos; pero, al caer la noche, cuando se leía en voz alta en las tiendas, o si se recitaba alguna poesía antes de la comida, todos nuestros ojos estaban puestos en él, pues nadie entendía tanto como Robert de poesía alemana, e incluso de filosofía. Cuando nos leía poemas lo hacía sin afectación, sin ostentación, y conseguía llegar hasta al más prosaico de nosotros. La forma que tenía de hablar, la concentración y la calma con que se expresaba, nos obligaba a escucharle. Parecía que sus palabras tuvieran más peso que las de los demás. También sabíamos que leía libros de filosofía al margen de la escuela. Robert no estaba de acuerdo con lo que decíamos.

«Los creyentes en las ciencias naturales», comenzó, «os remitís enseguida a la experiencia, pensando que os va a poner la verdad en las manos. Pero, cuando se reflexiona lo que realmente sucede en la experiencia, me parece muy discutible el modo como lo hacéis. Lo que decís proviene de vuestros pensamientos, sólo de ellos tenéis noticia, pero los pensamientos no están en las cosas. No somos capaces de percibir los objetos directamente; primero hay que transformarlos en representaciones y después formar conceptos a partir de ellas. Lo que fluye hacia nosotros en la percepción sensorial es una mezcla bastante desordenada de impresiones diferentes a las que no corresponden las formas o cualidades que después percibimos. Cuando vemos un cuadrado en una hoja de papel no habrá ni en nuestra retina ni en nuestras neuronas nada que tenga que ver con esa forma cuadrada. Más bien ordenamos inconscientemente las percepciones sensoriales mediante una representación, por así decir: la totalidad de ellas en una representación, en una imagen coherente y 'llena de sentido'. Sólo tras esta transformación, tras esta estructuración de impresiones aisladas en algo 'inteligible', tiene lugar la 'percepción'. Por ello, antes de confiar de modo tan seguro en la experiencia, primero habría que examinar de dónde provienen las imágenes que constituyen nuestras represen-

taciones, cómo se aprehenden conceptualmente y qué relación guardan con los objetos. Y esto es así porque obviamente las representaciones preceden a la experiencia, son la condición previa de la experiencia».

«¿No proceden acaso esas representaciones que tú quieres separar de forma tan tajante del objeto de la percepción, de nuevo: de la propia experiencia? Quizá no suceda de una forma tan inmediata como ingenuamente se pudiera pensar sino indirectamente, ¿quizás mediante la reiteración de grupos similares de impresiones sensoriales o a través de las relaciones entre los testimonios de los diversos sentidos?».

«Este argumento no me parece en absoluto algo seguro, ni siquiera es particularmente convincente. Recientemente he estudiado las obras de Malebranche y allí me llamó la atención un pasaje en el que precisamente se trataba esta cuestión. Malebranche distingue esencialmente entre tres posibilidades para explicar el origen de las representaciones. La primera es justo la que acabas de mencionar: los objetos crean directamente las ideas en la mente humana a partir de las impresiones sensoriales. Malebranche rechaza esta opinión puesto que las impresiones son cualitativamente diferentes, tanto de los objetos en sí como de las representaciones que tienen atribuidas. La segunda reza así: la mente humana posee las ideas desde el principio, o al menos la facultad de construir estas ideas por sí misma. En este caso, las impresiones sensoriales o bien le hacen recordar a la mente las ideas que ya tiene o bien la estimulan para crearlas ella misma. La tercera, por la que se decanta Malebranche, es la siguiente: la mente humana forma parte de la razón divina, está unida a Dios, y de Él recibe tanto la facultad de representación como las imágenes o ideas con las que ordena y estructura en forma de conceptos la profusión de impresiones sensoriales».

Estas explicaciones tampoco satisfacían a Kurt: «Los filósofos enseguida os remitís a la teología. Cuando hay algo

que os sobrepasa hacéis salir a escena al gran desconocido que, de alguna manera, resuelve por sí mismo todos los problemas. Pero yo no me conformo. Ya que lo has mencionado, me gustaría saber de dónde obtiene la mente sus representaciones, pero en este mundo, no en el más allá. Porque la mente y las ideas existen en este mundo. Si no quieres admitir que las representaciones provienen simplemente de la experiencia, tienes que explicar cómo es que la mente las posee de antemano. ¿Acaso son las representaciones, o al menos la facultad de configurarlas —con las que ya el niño experimenta el mundo—, algo innato? Si sostienes esto, hace pensar que nuestras ideas se basan en las experiencias de las generaciones pasadas. Y, a decir verdad, no me parece tan importante si se trata de nuestras experiencias o de las de nuestros antepasados».

«No», replicó Robert, «no me refiero a eso en absoluto. Primero, porque es muy dudoso que se pueda heredar lo aprendido, es decir, el resultado de las experiencias. Por otro lado, lo que dice Malebranche se puede también expresar sin recurrir a la teología, e incluso encaja mejor en vuestras ciencias naturales. Voy a intentarlo. Malebranche sostenía más o menos esto: las mismas tendencias reguladoras responsables del orden perceptible del mundo, de las leyes naturales, de la creación de los elementos químicos y sus particularidades, de la formación de los cristales, de la generación de la vida y de todo lo demás, son también las causantes del origen de la mente y operan en ésta. Estas tendencias dejan corresponder representaciones a los objetos que consiguen la posibilidad de una estructuración conceptual. Además, son responsables de aquellas estructuras existentes realmente, estructuras que sólo aparecen de forma separada cuando son consideradas desde nuestra perspectiva humana y que las fijamos en forma de pensamientos, en algo objetivo —el objeto—, y algo subjetivo —la representación—. La tesis de Malebranche coincide con vuestra concepción científica tan plausible en que toda re-

presentación se basa en la experiencia, que la facultad de configurar representaciones puede haber surgido en el curso de la evolución a través de las relaciones entre los organismos con el mundo exterior. Sin embargo, Malebranche puntualiza al mismo tiempo que se trata de relaciones que no pueden ser explicadas simplemente como una cadena de sucesos únicos de desarrollo causal. Como en la formación de los cristales o de los seres vivos, aquí actúan estructuras superiores de índole morfológica para cuya explicación no basta la pareja conceptual causa y efecto. La pregunta de si la experiencia antecede a las ideas no tiene sentido, es como la vieja cuestión de qué es antes, el huevo o la gallina.

Por lo demás, no pretendía interrumpir vuestra conversación sobre los átomos, sino simplemente preveniros contra la facilidad de hablar de la experiencia cuando se discute dicho tema. Puede que los átomos, que no son observables de forma directa, tampoco sean simplemente cosas, sino que pertenecen a estructuras más fundamentales, en cuyo caso no tendría sentido distinguir entre representación y objeto. Por supuesto que no se pueden tomar en serio los ganchos y hembrillas de tu libro, ni tampoco los dibujos de los átomos que se ven de vez en cuando en publicaciones divulgativas. Tales ilustraciones, que tendrían que servir a una más fácil comprensión, complican aún más el problema. En mi opinión, hay que tener mucho cuidado con el concepto *forma del átomo* que has mencionado antes. Sólo si se emplea el término *forma* de manera muy amplia, no sólo en su sentido espacial, y si no se le da un significado muy diferente, como, por ejemplo, a la palabra estructura que acabo de mencionar, entonces podría estar más o menos de acuerdo con el concepto».

El giro que tomó la conversación me hizo recordar inmediatamente algo que había leído el año anterior y que me había fascinado, aunque por entonces no pude llegar a comprender los pasajes fundamentales. Se trataba del diá-

logo *Timeo* de Platón, en el que también se hablaba de las partículas más pequeñas de la materia. Las palabras de Robert me hicieron comprender por primera vez, aunque todavía de manera confusa, cómo alguien podía llegar a construcciones mentales tan singulares sobre las partículas más pequeñas como las que encontré en el *Timeo* de Platón. No es que tales elucubraciones me parecieran verosímiles, de hecho, las consideraba un absurdo completo, sino que por primera vez pude ver el camino por el que se podía llegar, en principio, a construcciones de ese tipo.

Para explicar mejor la importancia que tuvo para mí en ese momento el recuerdo del *Timeo*, debería comentar las circunstancias particulares en las que tuvo lugar su lectura. En la primavera de 1919 había una situación bastante caótica en la ciudad de Múnich. En las calles se disparaban tiros, pero nadie sabía a ciencia cierta quiénes eran los combatientes. La autoridad gubernativa cambiaba continuamente de personas e instituciones sin que nadie supiera siquiera sus nombres. Los saqueos y pillajes, de los que yo mismo fui víctima una vez, habían convertido la expresión República Soviética en sinónimo de anarquía. Cuando se creó en las afueras de Múnich un nuevo Gobierno bávaro, cuyas tropas estaban comenzando a movilizarse para conquistar la ciudad, todos esperamos el pronto restablecimiento del orden. El padre de aquel amigo al que había ayudado con los deberes tomó el mando de una compañía de voluntarios que deseaban participar en la conquista de Múnich. Nos pidió a los amigos adolescentes de su hijo que nos incorporásemos a las tropas como ayudantes para guiarlas por la ciudad. Nos asignaron a un regimiento llamado Comando XI de Apoyo a la Caballería que había establecido su cuartel frente a la universidad, en la calle Ludwig, concretamente en el edificio del seminario conciliar. Allí presté servicio, mejor dicho, allí vivimos juntos una vida aventurera e independiente. Como tantas otras veces durante las semanas anteriores, no teníamos que ir a la escuela; quería-