

El concepto de verdad en la física moderna

José María Romero Baró

Partiendo de algunas reflexiones críticas acerca de los postulados de la física moderna respecto de la constitución ondulatoria o corpuscular de la materia y de la energía, así como del fracaso de la mecánica cuántica como intento explicativo de la realidad natural, se plantea la necesidad de revisar el concepto de naturaleza que propone la física de nuestro tiempo y cuestionar la validez de una interpretación puramente formal de los resultados experimentales o la de un positivismo que renuncia a toda teoría (metafísica). En consecuencia, se propone de nuevo el concepto de verdad como coherencia de los conceptos clásicos con las nuevas realidades de la física.

Introducción

El desarrollo de los nuevos conceptos de la física cuestiona algunos de los conceptos más elementales de nuestro pensamiento, en base a la interpretación que debe hacerse de los nuevos datos aportados en la observación de la realidad natural. El cambio de escala que supone el abandono de la macrofísica obliga a perfilar el lenguaje tradicional para hacerlo utilizable en la microfísica.

Entre los datos nuevos que la física moderna obliga a conceptualizar, figura sobre todo el cuanto mínimo de acción de Planck aplicado por Einstein para explicar el efecto fotoeléctrico, constituyendo con ello el aporte más firme para caracterizar a la luz como constituida por corpúsculos y añadiendo así un elemento más de discontinuidad a la interpretación global de la naturaleza.

Sin embargo, las duras críticas planteadas por los detractores de la imagen discontinua de la materia en la naturaleza plantearán tales dificultades a esa interpretación, que pondrán al descubierto los problemas inherentes al conocimiento de una realidad directamente inobservable, mostrando la necesidad de postular una teoría física que, sin pretensiones de ser definitivamente verdadera, se conforme con ser lo más coherente posible con todos los resultados observados y permita contemplar desde ella, como tal teoría, la totalidad de los fenómenos de la naturaleza.

Hitos en el desarrollo de la física moderna

Si damos por aceptado que la evolución de la física como ciencia matemática comienza a partir de Galileo en el siglo XVII y que su asentamiento como mecánica o ciencia del movimiento se realiza en el siglo XVIII tras Newton, podría afirmarse que no sería hasta el siglo pasado con Maxwell cuando la luz ocuparía el lugar destacado que ocupa y que a lo largo del presente siglo sólo desbancaría la física de las altas energía en estrecha conexión con el problema de la luz. Así, con la mecánica de Newton sólidamente asentada, la física del siglo XIX no parecía esperar grandes cambios cuando ya la teoría electromagnética de la luz como campo unificado de ondas le abría una brecha a la explicación mecanicista de las pequeñas partículas dotadas de grandes velocidades, brecha que más tarde demostraría ser casi abismal.

Por lo que aquí interesa, fijaremos tan sólo dos de los momentos decisivos que hicieron decantar a la física por caminos definitivamente nuevos: el cuanto mínimo de acción y el efecto fotoeléctrico.

Hacia 1900, Max Planck se hallaba inmerso en plena labor de reinterpretación de la radiación energética del calor, cuando en sus cálculos aparecía una constante con las unidades de una energía por un tiempo que no se dejaba reducir a otras constantes conocidas¹. Esta resistencia le llevaría a definir su constante como la cantidad o cuanto mínimo de acción (movimiento o energía) que pone en juego la naturaleza en una unidad de tiempo. Dado que este mínimo es una cantidad dada, se pudo interpretar ya desde entonces la radiación energética a altas temperaturas de un modo cuantitativo por medio de la emisión de cuantos o mínimos discretos o discontinuos que otorgaban a la energía una naturaleza discontinua. Con ello, ya no era solamente la materia la que poseía tal característica de discontinuidad, sino que a las concepciones atomísticas de la naturaleza había que añadir ahora la energía como formada también por paquetes o mínimos (átomos) de radiación².

Con todo, la constante de Planck no hubiera probablemente pasado de ser una curiosidad más de la física si A. Einstein no la hubiera utilizado cinco años después como base de su explicación del efecto fotoeléctrico, concediendo a la

¹ «Mucho más incómoda que la primera resultó la interpretación de la segunda constante universal de la ley de radiación que designé como cuanto elemental de acción porque representaba el producto de una energía y de un tiempo. (...) resultó ser una constante insubordinada y perturbadora que se resistió a todos mis intentos por hacerla encajar en el marco de la teoría clásica». (PLANK, M.: «Gènesi i desenrotllament de la teoria quàntica», *El coneixement del món físic*, trad. Catalana de GASCÓN I RODA, J.: Edicions 62, Barcelona, 1984, 1.ª ed., Cap. X, pp. 139-152, p. 145).

² El intento de reducir la Naturaleza a mínimos de materia dotados de movimiento procede ya del atomismo de Epicuro y de Demócrito, recogido por Lucrecio. Para éste, el mundo puede explicarse a partir sólo de materia y de vacío (*De Rerum Natura*, libro I, versos 221 y 335, CSIC, Madrid, 1983, Vol. I, pp. 18 y 22), pues el movimiento se da por añadidura a los dos anteriores principios.

Sólo la difracción de la luz parece oponer desde Huygens un serio obstáculo a esta teoría corpuscular o atomista de la Naturaleza como un todo dividido.

luz ese carácter innegable de partículas (fotones) dotadas de aquella energía mínima que Planck postulaba para su cuanto de acción. De ese modo, Einstein podía explicarse el hecho de que la luz arrancara con facilidad una carga de la superficie del átomo gracias a la energía incidente³.

Con la anterior sencilla explicación quedaba reforzada la tesis de la naturaleza corpuscular de la luz, muy poco antes de que las experiencias de la difracción de electrones vinieran a recordar el carácter eminentemente ondulatorio de las partículas más pequeñas de la naturaleza, y el de la luz en especial como lo afirmaba la tradicional teoría de Huygens desde el siglo XVIII. Si la nueva física, por tanto, parecía conceder carácter corpuscular a la luz, no había que olvidar tampoco a las antiguas teorías que la consideraban como una onda. Esta doble naturaleza de la luz, entendida tan pronto como una onda, tan pronto como una partícula, constituiría uno de los escollos más difíciles de salvar a lo largo de la historia de la nueva física y sería el blanco de las más duras críticas.

La explicación mecánica de la materia en la naturaleza

El modelo atómico de Bohr de 1913, que consideraba el átomo como un minúsculo sistema solar, ofrecía ideas tan intuitivas como poco viables⁴. Y sin embargo, el éxito interpretativo de las rayas espectrales como saltos energéticos del electrón entre las distintas órbitas de aquel átomo fue enseguida lo bastante notorio como para que los físicos más emprendedores (W. Heisenberg, M. Born, P. Jordan y el mismo Bohr) se decidieran a corregir ese modelo atómico que consideraban válido sólo en primera aproximación. Fue así como W. Heisenberg propuso en 1925 una mecánica matricial que manteniendo lo esencial de la naturaleza corpuscular y mecánica de los electrones le permitiera prescindir de la rigidez insostenible de las órbitas electrónicas, quedando así a salvo el carácter corpuscular de los componentes del átomo y de la naturaleza,

³ El efecto fotoeléctrico consiste, en esencia, en admitir que la radiación de la luz incidente (de frecuencia ν) posee la energía suficiente ($h\nu$ según la hipótesis del cuanto mínimo de acción de Planck) como para ionizar a un metal alcalino, por ejemplo el sodio, de bajo potencial de ionización (I), comunicándole a ese electrón una energía cinética adicional (E) de modo que puede formularse la ecuación $h\nu = I + E$. Los resultados experimentales, acordes con las variables de la anterior ecuación, han fortalecido la hipótesis del efecto fotoeléctrico.

⁴ Entre los inconvenientes, quizá fuera el mayor la órbita definida del electrón, que obligado a girar alrededor del núcleo debería emitir energía terminando por caer sobre él.

Contra este «pecado original» luchará Heisenberg desde sus comienzos tan estrechamente vinculados a la Escuela de Copenhague, por otra parte para liberarse de ese concepto tan molesto como evidente. «(...) tenía la sensación de que debía renunciar a cualquier descripción de las órbitas electrónicas, de que incluso debía reprimir conscientemente tal idea» (HEISENBERG, W.: «Los comienzos de la mecánica cuántica en Gotinga», *Encuentros y conversaciones con Einstein y otros ensayos*, trad. PAREDES, M.: Alianza Ed., Madrid, 1979, pp. 44-62, p. 52).

haciendo posibles la explicación de su comportamiento por medio de las leyes de la mecánica⁵.

Al año siguiente otro joven físico, el austriaco Erwin Schrödinger, desarrollaba otra interpretación (ondulatoria) del comportamiento del electrón en el átomo partiendo de ideas del físico francés De Broglie⁶ que intentaban explicar la energía del átomo y no el átomo mismo como valores propios de una función de onda material tridimensional. En cuanto a los resultados, la mecánica ondulatoria de Schrödinger y la mecánica cuántica de Heisenberg eran totalmente equivalentes; pero en lo que hace al concepto mismo de átomo parecía claro que ambas mecánicas no podían estar más confrontadas: la mecánica de ondas continuas de Schrödinger venía a oponerse frontalmente a la mecánica cuántica, corpuscular y discontinua de Heisenberg, el cual se vio obligado a plantear la innegable trayectoria del electrón en la cámara de niebla en términos de «puntos», cada uno de los cuales era el resultado de una relación de incertidumbre entre la posición y la velocidad del electrón en ese «punto»⁷. Por su parte, la mecánica ondulatoria de Schrödinger ofrecía la posibilidad de interpretar directamente no la posición, sino la probabilidad de hallar el electrón en un lugar preciso mediante el cuadrado de la función de onda que lo describe.

En ambos casos quedaba claro que, por más que fueran equivalentes en sus resultados, las nuevas mecánicas no podían precisar la posición de sus objetos como hasta entonces lo había hecho la física tradicional.

⁵ Ante A. Einstein, el mismo Heisenberg se defiende de que en su mecánica no aparezcan las órbitas electrónicas, señalando que «esa órbita no se podía observar; que lo que realmente uno registraba eran frecuencias de la luz emitida por el átomo, intensidades y probabilidades de transición, pero no órbitas» (Idem, «Encuentros y conversaciones con Albert Einstein», *Encuentros y conversaciones...*, *op. cit.*, pp. 116-131, p. 122), y ante Max Born diciendo: «de vuelta a Gotinga le enseñé a Born el trabajo (de mecánica matricial compuesto en Helgoland); lo encontró interesante pero algo extraño, en la medida en que el concepto de órbita electrónica había sido eliminado por completo». (Idem, «Los comienzos de la mecánica cuántica en Gotinga», *loc. cit.*, p. 53). De este modo, Heisenberg apelaba al hecho explicándola como un salto entre dos niveles energéticos distintos en el átomo, pero reservando todas sus dudas para cualquier interpretación que asignara un lugar definido al electrón en el átomo.

⁶ Para De Broglie, existe una correlación absoluta entre las ondas y las partículas, de modo que toda partícula (en el fondo, toda la materia, y en particular un electrón) de masa m y velocidad v lleva asociada una onda de longitud λ de modo que se cumpla que $\lambda = h/mv$.

⁷ «La respuesta quedó luego formulada en la forma de la relación de incertidumbre. El concepto de trayectoria sólo puede utilizarse con un grado de imprecisión caracterizado por el hecho de que el producto de la indeterminación de la posición y de la indeterminación del impulso conjugado no puede ser menor que el cuanto de acción de Planck» (HEISENBERG, W.: «Los comienzos de la mecánica cuántica en Gotinga», *loc. cit.*, p. 61).

La expresión cuantitativa de la relación de incertidumbre de Heisenberg señala, por tanto, que el producto de la incertidumbre en la medida de la posición (Δx) y de la velocidad (Δv) simultáneas de una partícula de masa m , no puede ser inferior al cuanto mínimo de acción de Planck. Es decir, que $\Delta x \cdot \Delta v \gg h$.

Divergencias en la explicación mecanocuántica de la materia en la Naturaleza

Como era de esperar, la distinta interpretación teórica que se daba de la naturaleza mediante las dos mecánicas anteriores dividió desde el principio a sus mismos creadores en dos grandes grupos. Por un lado los representantes de la mecánica corpuscular (Heisenberg, Born, Bohr), y por otro los representantes de la mecánica ondulatoria (Schrödinger, Dirac), iniciándose con ellos una discusión que todavía no ha terminado⁸.

En lo fundamental, parecería que la interpretación corpuscular ofrecería una imagen más realista que la ondulatoria, pues desde este segundo punto de vista parece difícil imaginar cómo se constituye la materia⁹. Sin embargo, para la interpretación continua de la mecánica ondulatoria, la mecánica cuántica ofrece su mayor blanco en el problema de la discontinuidad de la masa y de la energía, pues en el fondo se trata del problema de la discontinuidad y de la continuidad de la realidad, conceptos ambos que se oponen como contradictorios desde el comienzo mismo de la historia de la física en tanto que filosofía de la naturaleza. Para Schrödinger, la solución adoptada por toda la mecánica cuántica no se distingue básicamente de la solución adoptada por todo el mecanicismo atomista desde Leucipo. El problema del continuo, nos dice Schrödinger en esta reflexión filosófica de la naturaleza, sólo podía ser resuelto de una vez por todas estableciendo las bases de un atomismo por el cual la materia (o la energía) se agrupara en mínimos dotados de movimiento¹⁰.

⁸ «(...) siempre hemos tenido (¡secreto, secreto, cerrad las puertas!) siempre hemos tenido una enorme dificultad en comprender la visión del mundo que nos proporciona la mecánica cuántica», nos confiesa un conocido físico contemporáneo (FEYNMAN, R. P.: «Simulating Physics with Computers», *Int. J. Theor. Phys.*, 21, Nos. 6/7 [1982], pp. 467-488, p. 471), quien en otro lugar nos sigue diciendo: «creo que puedo decir con toda tranquilidad que nadie entiende la mecánica cuántica». (Idem, *El carácter de la ley física*, trad. A. Bosch, Antoni Bosch editor, Barcelona, 1983, VI Conferencia, pp. 109-127, p. 111).

Aunque desde una perspectiva distinta, tampoco ha faltado quien en nuestro país se alzara para protestar también contra esa confusión que en la visión del mundo proporciona la mecánica cuántica: «(...) con la lectura de tanta Metamatemática, desde Einstein hasta Dirac, quedé tan sofisticado —o entontecido— que las teorías me parecían tanto más admirables cuanto menos se entendían. (...) lo que se consigue es embrollar aún más el asunto y dejar al embelesado lector en condiciones de comulgar con ruedas de molino». (PALACIOS, J.: «Física y Filosofía», en VV.AA., *Homenaje a Zubiri*, Ed. Moneda y Crédito, Madrid, 1970, 1.ª ed., Vol. II, pp. 427-431, p. 429). Resulta curioso observar que J. Palacios substituyó poco antes de su muerte su contribución al homenaje.

⁹ «Para terminar, el lector me preguntará: ¿qué son, entonces, en realidad, estos corpúsculos, estos átomos y moléculas? Habré de confesar, honradamente, que *no lo sé*». (SCHRÖDINGER, E.: «Nuevo concepto de la materia», *Qué es una ley de la naturaleza*, trad. J. J. Utrilla, FCE, México, 1975, pp. 138-163, pp. 162-163. El último subrayado es mío).

¹⁰ «La mejor salida a estas dificultades, que radican en el carácter misterioso del continuo, es la que han adoptado los atomistas, es decir, la de considerar la materia formada por "puntos" aislados, o pequeñas partículas (...). Por lo tanto, parece que la ciencia física en su estado actual (...) surge desde sus orígenes gracias al deseo de evitar la vaguedad intrínseca del concepto de *continuum*». (SCHRÖDINGER, E.: «Átomos o cuanto. El antiguo exorcismo para soslayar el embrollo del *continuum*», *Ciencia y humanismo*, trad. F. Marín, Ed. Tusquets, Barcelona, 1985, pp. 67-69).

Por su lado, tampoco Einstein se dejaba contentar con la interpretación estadística o de los grandes números de la mecánica cuántica, y en su intransigencia parecía dispuesto a poner a prueba sus más sólidas amistades¹¹, hallándose como se hallaba siempre a la búsqueda de una explicación causal y unitaria del mundo¹². Mientras que casi letra por letra y en contra de este mismo espíritu, Dirac establecería por principio que el físico moderno no debe ocuparse en formarse una imagen de la naturaleza, sino que debe estar sólo atento a formular nuevas leyes y a ampliar el campo de aplicación de esa física¹³.

Pero a la vez, tampoco ha faltado quien hoy, también casi letra por letra, haya contestado a este texto de Dirac, resistiéndose a interpretar la mecánica cuántica como un juego de fórmulas apenas sin contenido y funcionando solas casi por arte de magia¹⁴.

Conocimiento y realidad

Si, como acaba de verse en los apartados anteriores, el objeto de la física ha cambiado disminuyendo de tamaño hasta hacerse imperceptible y ha originado tan agrias discusiones, parece lógico pensar que la actitud cognoscitiva con la que debemos emprender su estudio debería también cambiar y adaptarse, ajustando su escala a la nueva realidad. Esto es, debería quedar de manifiesto el hecho de que no pueda emprenderse sin más el estudio de la realidad microfísica con los mismos postulados conceptuales con que se aborda el estudio de la realidad macrofísica. El principio de incertidumbre formulado por Heisenberg nos

¹¹ El 4 de diciembre de 1926 A. Einstein le escribe a su amigo Max Born: «La mecánica cuántica impone respeto, pero una voz interior me dice que todavía no es el *non plus ultra*. La teoría nos informa de muchas cosas, pero apenas si nos dice nada del secreto del Amigo. Sea como fuere, estoy convencido de que por lo menos El no juega a los dados», carta que comenta Born con amargura diciendo: «el juicio de Einstein acerca de la mecánica cuántica fue para mí un golpe terrible», y haciendo hincapié en la ausencia de razones sólidas en el rechazo de Einstein a la mecánica cuántica, prosigue: «la rechazaba y lo hacía sin una auténtica argumentación, sino basándose más bien en una "voz interior"», expresión esta última que a un físico profesional como era Born no podía menos que sonarle a escarnio en sus oídos. (Cf. EINSTEIN-M., A. y BORN, H.: *Correspondance 1916-1955*, Ed. Seuil, París, 1972, p. 107).

¹² «Aún creo en la posibilidad de un modelo de la realidad, esto es, de una teoría que describa las cosas en sí y no sólo la posibilidad de su aparición». (EINSTEIN-M., A.: *Mi visión del mundo*, trad. S. Gallardo, M. Bübeck, Tusquets Eds., Barcelona, 1986, 6.^a ed., p. 160).

¹³ «El objetivo principal de la física no es proporcionar modelos (*pictures*), sino formular leyes que gobiernen fenómenos y aplicar esas leyes al descubrimiento de nuevos fenómenos. Si existe un modelo tanto mejor, pero ésa es sólo una cuestión de segunda importancia». (P.A.M. DIRAC. *The Principles of Quantum Mechanics*, Clarendon Press, Oxford, 1958, 4.^a ed., Prólogo, p. 10).

¹⁴ «No estoy seguro de que en un universo donde todos los fenómenos se hallaran regulados por un esquema matemáticamente coherente, pero desprovisto de contenido imaginario, el espíritu humano estuviera plenamente satisfecho. Pues, ¿no nos hallaríamos entonces en plena magia?» (René Thom, *Stabilité structurelle et morphogénèse*, InterEditions, París, 1977, 2.^a ed., Cap. I, pp. 1-12, p. 5, citando exactamente el anterior pasaje de Dirac en la p. 11).

permite enunciar y evaluar esta diferencia¹⁵. La física moderna, en tanto que física de partículas, se ha visto abocada al estudio de una realidad *nueva* con la distorsión inevitable de los conceptos *viejos*.

En efecto, una meditación acerca del tamaño del electrón y de la energía de la radiación necesaria para observarlo ha llevado a postular una interacción con el observador que hace impensable ya el referirse al objeto de la observación como a una realidad externa alejada e inmutable por la observación del hombre.

Por su lado, la mecánica ondulatoria de Schrödinger no puede hacer referencia más que a una probabilidad de hallar su objeto en un lugar determinado del espacio, perdiéndose de nuevo el sentido preciso y definido del término *posición*, del mismo modo que en la mecánica de Heisenberg pierden precisión tanto el término posición como el término *velocidad*. La nueva mecánica ya no puede trabajar, por tanto, con los conceptos absolutos de posición o de velocidad. En compensación, surgen sin embargo conceptos como el valor de la energía, más aptos para interpretar la realidad microfísica¹⁶.

De este modo, si el conocimiento de la realidad física había podido proponerse hasta entonces como el modelo del conocimiento por cuanto su objeto era evidente y sensible, con el cambio de escala a la microfísica esa realidad parece haberse esfumado, apareciendo de nuevo la discusión del modo de conocer una realidad oculta sin caer en los extravíos de nuestra imaginación. Heisenberg se muestra consciente de la dimensión del problema epistemológico cuando en sus contactos con Einstein éste le expone su teoría del conocimiento por la cual se indica que es la teoría la que debe interpretar a la experiencia¹⁷.

Podríamos concluir, por tanto, que con el cambio de escala en la física ya no es la naturaleza la que proporciona su imagen, ahora imprecisa, sino que es el fi-

¹⁵ Con su principio, Heisenberg establece que no nos es posible conocer a la vez la posición y la velocidad de una partícula con una certeza absoluta. Una forma análoga de exponer cualitativamente este principio consistiría en afirmar que no es lo mismo medir la temperatura del agua en un gran recipiente que en uno pequeño, porque en el segundo caso el termómetro puede enfriar o calentar el agua alterando la observación.

¹⁶ El método utilizado para conocer la función de onda que describe el estado fundamental de una molécula consiste precisamente en aproximar el valor teórico de la energía al resultado experimental. De este modo se consigue «describir» a la molécula más sencilla (la del hidrógeno) con una función de onda de cincuenta (!) términos de corrección. Cf. la función de prueba de Coolidge y James citada por DÍAZ PEÑA M. y ROIG MUNTANER A.: *Química Física*, Vol. I, Ed. Alhambra, Madrid, 1972, p. 167.

¹⁷ «Toda observación —argumentaba (Einstein)— presupone que entre el fenómeno a observar y la percepción sensorial que finalmente entra en nuestra conciencia existe una relación unívoca y conocida. Pero de esa relación sólo podríamos estar seguros si conociésemos las leyes de la naturaleza que la determinan. Ahora bien, cuando es preciso poner en duda esas leyes —como sería el caso de la moderna física atómica—, entonces el concepto de "observación" pierde también su claro significado. *Entonces es la teoría la que determina lo que puede observarse*». HEISENBERG, W.: «Encuentros y conversaciones con Albert Einstein», *loc. cit.*, p. 123, (subrayado mío).

El texto anterior quedaría plenamente reafirmado por el propio Einstein cuando en otro lugar afirma: «El "ser" siempre es algo mentalmente construido por nosotros, esto es, algo libremente puesto

sico quien provisto de una teoría hace de intérprete de los datos que va obteniendo de la realidad e intenta integrarlos en un conjunto coherente de conceptos que va formándose de esa naturaleza. Y en esa hermenéutica o interpretación de los resultados empíricos es donde la física moderna se aleja definitivamente del *becho* incontestable del positivismo.

Realidad y verdad

Con lo expresado en el apartado anterior se hace patente la necesidad de adaptar los criterios de verdad a la nueva realidad, pues los conceptos que eran válidos hasta ahora para referirnos a la realidad macrofísica dejan de ser inmediatamente aplicables a la realidad microfísica. Para ello, los antiguos conceptos no necesariamente deberán dejar de ser válidos; pero sin duda su aplicación deberá ajustarse al nuevo lenguaje.

Como ejemplos de aquellos conceptos que deben ser adaptados a la nueva realidad, citemos ahora tan sólo la variación de la masa con la velocidad. Desde Newton y hasta este siglo, no se había dudado de que la única constante que podía poner en relación a una fuerza que produjera una variación en la velocidad de un cuerpo era la cantidad de materia o masa de ese cuerpo, constituyendo ésta la ley fundamental de la mecánica clásica. Pero postular que aquella masa no se conservaba constante, sino que aumentaba al crecer su velocidad, pareció que arruinaba las leyes de la antigua mecánica cuando en realidad éstas solamente dejaban de tener validez en el campo de las partículas elementales a gran velocidad, pero seguían conservando toda su validez para el campo de los grandes cuerpos para los que habían sido formuladas.

Por lo demás, esta corrección relativista se mostraba irrelevante en las leyes clásicas de la física donde las velocidades que se alcanzan son incomparablemente menores que la velocidad de la luz, sin afectar para nada en los resultados. Con ello, parecía quedar intacta la correlación de las dos físicas: en la macrofísica con las leyes de la mecánica clásica y en la microfísica con las correcciones de las altas velocidades¹⁸, teniendo también presente la debida cautela respecto de la perturbación de las pequeñas masas con la observación. De este modo, la validez de la antigua física quedaba a salvo y el concepto de verdad siempre presente en la física no tenía por qué ser abandonado.

por nosotros (en el sentido lógico)» (EINSTEIN-M, A.: «*Reply to criticism*», en P. A. Schipp (ed.), *Albert Einstein: Philosopher-Scientist* Open Court Pubns., La Salle, II, 1970, 3.ª ed., pp. 663-688, p. 609). Obsérvese que al no ser la realidad claramente observable en microfísica, al físico no le queda otra salida más que la de «imaginar» o «construir» esa realidad e intentar hacerla lo más coherente posible con las observaciones.

¹⁸ Obsérvese que según la expresión $m_0 / \sqrt{1-(v/c)^2}$ cuando una partícula (en reposo con masa m_0) alcanza la mitad de la velocidad de la luz su masa aumenta un 15%, y cuando alcanza 3/4 partes del valor de la velocidad de la luz gana la mitad de su masa en reposo.

La no conservación de la masa de un cuerpo en movimiento supone por tanto un duro golpe a las leyes absolutas o teóricas de la mecánica clásica basadas en la constancia de la masa en movimiento, por más que no se alteren los resultados prácticos.

De acuerdo con lo anterior, en el desarrollo de los nuevos conceptos de la física no se manifiesta ninguna necesidad de invalidar antiguas leyes o verdades, sino que tan sólo se hace patente la necesidad de perfilarlas y afinarlas a los nuevos datos que van apareciendo. Pero tal vez nunca se había sentido con tanta crudeza la inadecuación de unos conceptos absolutos (como los del espacio y el tiempo) hasta la aporética experiencia de la invariancia de la velocidad de la luz. Hasta tal punto se sintió esa inadecuación que obligó a cambiar y a reformular las bases de lo que hasta entonces había sido el principio de nuestra explicación del mundo: la existencia de un sistema de referencia en reposo absoluto desde el que poder observar¹⁹. Pero no se reformularon las bases de la observación para sustituir las antiguas, sino para ensancharlas y dar cabida a hechos nuevos. Se trataba más bien de ver por encima de los nuevos hechos que de revisar la física clásica, pues las bases de ésta se mostraban incapaces de explicar el hecho de que la luz tuviera siempre la misma velocidad, nos acercáramos o nos alejáramos del sol.

Sin embargo, los embates quizá decepcionantes de la nueva física contra nuestra más sencilla manera de mirar al mundo no hicieron desistir del intento ni renunciar al anhelo eterno del físico o investigador de la naturaleza por encontrar una imagen coherente que le permitiera explicarse a sí mismo la constitución íntima de esa naturaleza, ni le hicieron renunciar al convencimiento más íntimo todavía de que existe una realidad por detrás de los fenómenos que aparecen en la física. Entre los representantes de esta perenne actitud realista citaremos a Max Planck quien, a pesar de su contribución al nacimiento y desarrollo de estos nuevos conceptos, no quiso desprenderse nunca de esa referencia obligada a la realidad exterior de la cual es el hombre sólo una parte insignificante²⁰.

Sin miedo a pecar de ingenuo, Planck acepta el movimiento natural del espíritu del hombre que le lleva a pasar por alto las trabas de la percepción física impuestas por el positivismo, para establecer los presupuestos metafísicos (o

¹⁹ La necesidad de prescindir de los conceptos absolutos de espacio y tiempo deberían bastar para cuestionarse la validez de los «a priori» kantianos y para sospechar que una teoría del conocimiento se elabora siempre *después* de acaecido aquello que se intenta explicar o justificar. Así, parecería congruente con la física de Newton —cuyas leyes de la mecánica se habían desarrollado ya en el escenario de un espacio y un tiempo absolutos, vacíos— el elaborar una teoría del conocimiento donde esos dos absolutos fueran connaturales al observador. La teoría de la relatividad vendría a borrar esa ingenua concepción haciendo *irreales* un espacio y un tiempo concebidos sin una materia que se mueva en su seno.

²⁰ «(...) sólo somos algo insignificante en medio de la sublimidad de una naturaleza inalcanzable que está más allá de toda medida, y cuyas leyes no obedecen a lo que hay dentro del reducido cerebro del hombre, sino que existían ya mucho antes de que la vida apareciera sobre la Tierra, y perdurarán aun después de que no quede ya ni rastro del último físico (...) el mundo real tiene existencia propia independientemente del hombre» (PLANCK, M.: «La imatge del món en la nova física», *El coneixement del món físic, op. cit.*, Cap. XIV, pp. 221-241, p. 222. El texto está fechado en 1926, en polémica ya con las extralimitaciones conceptuales derivadas de las primeras interpretaciones de la mecánica cuántica).

transfísicos) de todo conocimiento²¹. Con ello, Planck viene a reconocer nuestra limitada capacidad humana de conocer la verdad del mundo físico y anuncia con ello todo el *misterio* que yace siempre detrás de toda interpretación que el hombre se hace de la naturaleza²².

Conclusión

Dos hitos fundamentales en la historia del desarrollo de la física moderna abren nuevas perspectivas en el conocimiento de la realidad natural: la discontinuidad de la energía según el cuanto mínimo de acción Planck y el carácter corpuscular de la luz que Einstein puso de manifiesto con el efecto fotoeléctrico. Con ello, parecía hallada la clave para interpretar a fondo la realidad material de la naturaleza con el átomo de Bohr, aunque las distintas interpretaciones de la mecánica cuántica recién elaborada no permitieron dar con una imagen única de la realidad. En el fondo de esa impotencia radicaban problemas epistemológicos hondos, como el de adecuar el lenguaje conceptual clásico a la nueva escala de la realidad, y como el de interpretar (no percibir) una observación que ya no es inmediata a esa realidad, poniendo en entredicho la validez de un positivismo basado en la percepción del mero hecho, y apareciendo por sí sola la necesidad de recurrir a una teoría de la física (metafísica) que se vaya haciendo coherente con la observación sucesiva de los nuevos hechos. Sólo así podremos decir que poseemos una imagen valedera de la física que se va acercando sin fin a la verdad.

Con ello, acabará poseyéndose una teoría coherente con los resultados observados, teoría que podrá parecer ya digna de ser llamada *verdadera*.

²¹ «Siguiendo el impulso del sentido común, nos hemos adentrado en el terreno de la metafísica; porque hemos aceptado la hipótesis de que nuestras percepciones sensoriales en sí no crean el mundo físico de nuestro alrededor, sino que nos permiten saber de otro mundo que existe fuera del nuestro: el mundo real exterior. (...) Hay un mundo real exterior que existe independientemente de nosotros». (Idem, «El positivismo i el món real exterior», *El coneixement del món físic, op. cit.*, Cap. XV, pp. 243-262, p. 250).

²² «El mundo real exterior no es directamente cognoscible». «Este hecho anuncia la presencia de un elemento irracional o místico que es inherente a la ciencia física del mismo modo que es inherente a cualquier otra rama del conocimiento humano. (...) En todos los progresos científicos modernos vemos que la solución de un problema no hace sino poner de manifiesto el misterio de otro nuevo problema» (*Ibid.*, id., p. 250).