

# EL ENIGMA CUÁNTICO

*Descubriendo la clave oculta*



WOLFGANG  
SMITH



Lectulandia

Tras derrumbarse la imagen clásica del mundo debido a los hallazgos de la mecánica cuántica, los físicos han propuesto una amplia gama de visiones del universo... Pero en la práctica ninguna es consistente, pese a la mayor o menor exactitud de las predicciones basadas en sus teorías y modelos. La situación ha deparado todo un «mercado de realidades».

Wolfgang Smith, reputado científico, nos brinda en este libro el marco idóneo para descubrir la auténtica cosmovisión a la que apunta la mecánica cuántica, logrando hacerla al mismo tiempo enteramente comprensible. Desgrana cómo todas esas cosmovisiones previas están aquejadas de cierto «cartesianismo residual» y, con ello, la teoría cuántica empieza a cobrar más sentido que nunca. Como demuestra el autor, ahora es posible, por vez primera, integrar los avances de la física cuántica en una visión del mundo que no es forzada sino natural, y que concuerda con las intuiciones permanentes de la Humanidad. Al dominar ambos terrenos merced a su asombrosa erudición, este trabajo provee una comprensión trascendente de la física moderna que es el contrapeso a tantos otros que tratan de interpretar las enseñanzas milenarias de Oriente y Occidente desde postulados que se han revelado erróneos.

Quienes se encuentren abrumados y desamparados por el reduccionismo, el cientifismo y las pretensiones desmedidas de una ciencia puramente cuantitativa, y que al mismo tiempo sean conscientes de los logros y las ambigüedades de la mecánica cuántica, sacarán provecho de este trabajo de excepcional significado.

Wolfgang Smith

# **El enigma cuántico: descubriendo la clave oculta**

ePub r1.0

Un\_Tal\_Lucas 19-08-2024

Título original: *The Quantum Enigma: Finding the Hidden Key*  
Wolfgang Smith, 1995  
Traducción: José Antonio Estarellas

Editor digital: Un\_Tal\_Lucas  
ePub base r2.1



## *Prefacio*

El significado de la mecánica cuántica, desde el comienzo de su desarrollo, ha sido el foco de diferentes interpretaciones no solo de físicos, especialmente Bohr y Einstein, sino también de varios filósofos. Tales interpretaciones, no obstante, no han logrado hacer que las consecuencias de lo observado y medido a nivel experimental sean muy comprensibles. Este trabajo es el primero llevado a cabo por un científico calificado que no aporta una filosofía racionalista o empírica, sino que pone en juego metafísica, ontología y cosmología tradicionales con respecto a la mecánica cuántica a fin de proveer la clave para comprender el auténtico significado de esta ciencia física fundamental. Como resultado, tenemos aquí uno de los libros más importantes sobre la explicación de la física moderna a la luz de las verdades eternas de la filosofía perenne y que refuta, categóricamente, el cientificismo y reduccionismo que tanto caracteriza el entendimiento contemporáneo de la ciencia moderna.

El autor, bien conocido por estudiantes en el campo de la relación entre religión y ciencia gracias a sus primeros trabajos, *Cosmos and Transcendence* junto a *Teilhardism and the New Religion*, así como por su reciente *Ancient Wisdom and Modern Misconceptions*, se apoya profundamente en la metafísica y la teología tradicional, especialmente en la escuela de Santo Tomás de Aquino. Al mismo tiempo, es un notable científico bien versado en los detalles y complejidades de la mecánica cuántica. Por ello, escribe con una autoridad que brilla a lo largo de estas páginas, en las que ofrece un tratamiento del tema que se sitúa en las antípodas de esas síntesis superficiales hoy tan habituales entre la física moderna y la metafísica oriental especialmente adoptadas por ciertas corrientes de lo que hoy se llaman «las nuevas religiones».

En su prefacio, el autor señala que de hecho no hay ninguna cosmovisión mecánico cuántica consistente, pese a la notable precisión de las predicciones basadas en sus teorías y modelos. La situación se ha hecho tan difícil que ha dado lugar a que un autor reciente hable de un «mercado de realidades». Descubrir la auténtica cosmovisión a la que señala la mecánica cuántica, y

hacer que se pueda entender, es lo que ha motivado al profesor Smith a trabajar en este libro.

También ofrece una filosofía de la mecánica cuántica extraída de doctrinas tradicionales ontológicas, cosmológicas y metafísicas que reemplaza el cartesianismo imperante que sigue subyaciendo en la ciencia moderna a pesar de los muchos cambios que ha traído la mecánica cuántica. Así, elimina las contradicciones aparentes en la mecánica cuántica según se la ve ordinariamente, haciéndola inteligible desde el punto de vista de la *philosophia perennis*. Su clara distinción entre lo físico y lo corporal, que es uno de los principales aportes del libro, acoge el ámbito ontológico que trata la física moderna dentro de la jerarquía universal del ser. Asimismo, libera al mundo corporal y sus ciencias cualitativas asociadas del dominante yugo estrangulador de una ciencia puramente cuantitativa, y destruye de una vez por todas el reduccionismo cientificista, que es uno de los pilares de las visiones del mundo moderna y posmoderna.

*El enigma cuántico* es de gran importancia no solo para filósofos de la ciencia, sino también para todo el dominio del conocimiento humano, y debería darse a conocer tan ampliamente como se pueda. Marca el primer encuentro profundo entre la ontología tradicional y la mecánica cuántica en la mente de una persona que domina ambos terrenos, y es capaz de proveer una comprensión metafísica de la física moderna, de sus logros y de sus limitaciones. Es, de hecho, el contrapeso a tantos trabajos que van en dirección inversa interpretando las enseñanzas metafísicas milenarias de Oriente y Occidente a la luz de la física moderna. El libro está redactado con claridad, reservando el tratamiento técnico matemático de la mecánica cuántica a un apéndice que podrán consultar aquellos con la formación necesaria. El trabajo mismo, no obstante, no requiere conocimientos técnicos de física matemática, sino que se dirige a todo aquel que busque entender el mundo que le rodea y el significado que tiene la ciencia moderna, tanto para explicar una dimensión particular del mundo, como a la hora de velar sus aspectos cualitativos al hombre moderno. Quienes se encuentren abrumados y desamparados por el reduccionismo, el cientifismo y las pretensiones desmedidas de una ciencia puramente cuantitativa, y que al mismo tiempo sean conscientes tanto de los logros como de las ambigüedades de la mecánica cuántica, quedarán agradecidos a Wolfgang Smith por haber realizado un trabajo de excepcional significado que destruye las extravagantes afirmaciones del cientifismo, al mismo tiempo que desentraña el enigma de la mecánica cuántica a la luz de las doctrinas perennes que siempre han ofrecido los medios para resolver los enigmas y acertijos de la existencia humana a lo largo de todas las edades.

Seyyed Hossein Nasr  
Universidad George Washinton

## *Prefacio a la tercera edición*

En la década siguiente a la aparición de la primera edición, las nociones básicas que presenta este libro han demostrado ser seminales con respecto a una amplia gama de asuntos cosmológicos. Una de las aplicaciones más directas, perteneciente al dominio de la astrofísica, ha traído a la luz las limitaciones categóricas de las cosmologías contemporáneas. Parece que las lecciones ontológicas aprendidas en el contexto de la teoría cuántica también son decisivas para el reino astrofísico. Otra aplicación bien inmediata de los mismos principios en lo que se llama coincidencia antrópica ha alterado radicalmente la situación: resulta que los fenómenos en cuestión no son en absoluto «fortuitos», sino que de hecho están lógicamente implicados en el terreno ontológico. Con respecto a la cosmografía —por mencionar una tercera línea de investigación— encontramos que el aparente conflicto entre la ciencia moderna y las antiguas «imágenes del mundo» de ningún modo es tan absoluto como se tiende a imaginar: las mismas «lecciones ontológicas aprendidas» implican que no son los llamados hechos concretos de la ciencia los que descartan las cosmografías alternativas, sino que la incompatibilidad estipulada deriva, de hecho, de presuposiciones de tipo cartesiano. Asombra ver cuán diferente aparece el mundo cuando deja de observarse con gafas cartesianas. Por regla, se descubre que al exponer y eliminar la confusión que subyace al pensamiento científico contemporáneo, se despeja el camino hacia la integración de auténticos hallazgos científicos en órdenes de conocimiento pertenecientes a lo que a veces se ha llamado la sabiduría perenne de la humanidad<sup>[1]</sup>.

Entre las ideas presentadas en el contexto de la teoría cuántica que han encontrado aplicación allende la física, merece señalarse el concepto de «causalidad vertical» —que se define en el capítulo VI— por su conexión íntima con un nuevo dominio de la ciencia, cada vez más influyente, que se conoce como la teoría del diseño inteligente. El resultado central de la teoría DI es un teorema sobre cómo una cantidad llamada «información compleja especificada» («Complex Specified Information» o CSI) no puede incrementarse mediante ningún proceso temporal, ya sea determinista,



aleatorio o estocástico<sup>[2]</sup>. Lo que significa, a la luz de nuestro análisis, que solo la causación vertical puede originar información compleja especificada. Así, nuestro resultado principal asume un significado ampliado en el sentido de que el colapso del vector de estado también ha de atribuirse a la causalidad vertical. La causación vertical, lejos de constituir un *deus ex machina* para resolver la paradoja cuántica, como podrían acusar los críticos, constituye de hecho un principio universal de causalidad que la ciencia moderna está finalmente obligada a reconocer. Resulta que una multitud de fenómenos naturales, desde que colapse un vector de estado hasta el nacimiento de organismos biológicos, exige esa clase de causalidad que hasta ahora no se ha reconocido. Puesto que la ciencia contemporánea, por la misma naturaleza de su *modus operandi*, se orienta a considerar exclusivamente modos de causación «horizontales», implica que los fenómenos en cuestión, estrictamente hablando, no se pueden explicar ni comprender en términos científicos: guste o no, los principios metafísicos forzosamente entran en escena, desafiando el naturalismo prevalente.

La presente tercera edición ofrece una versión revisada del capítulo VI. En la presentación original abordé el tema de la causalidad vertical mediante la cosmología astrofísica, que todavía no había sondeado adecuadamente, tanto desde el punto de vista científico como del ontológico. Mientras tanto, sin embargo, esta teoría se ha ido cargando de dificultades desde ambas direcciones, de las que no estaba lo bastante advertido cuando escribí el texto original<sup>[3]</sup>. En la nueva versión del capítulo VI he abandonado toda referencia a la cosmología del Big Bang y trato directamente los problemas etiológicos. Tras introducir el concepto de causalidad vertical en términos generales, sigo explicando su relevancia no solo para el fenómeno de colapso del vector de estado, sino de hecho para la mecánica cuántica en general. Lo que se presenta como incongruente y estrafalario desde el habitual ángulo cartesiano, resulta que ontológicamente es lo necesario: esto es lo que la línea del argumento, que comienza en el capítulo primero y se consume en el sexto, saca a la luz.

## *Prefacio a la primera edición*

Este libro trata de física cuántica, de lo que se ha llamado el problema de la «realidad cuántica». Se ocupa de un enigma que lleva décadas escandalizando a físicos, filósofos y a un público cada vez mayor. La literatura pertinente es vasta, y parecería que casi todo camino de acercamiento concebible al problema —sin importar lo descabellado que parezca— se ha defendido y explorado en algún lugar. ¡Atrás quedaron los días en los que se podía invocar la autoridad de la física para afirmar una sola cosmovisión establecida! Lo que ha ocurrido es que la cosmovisión científicista precuántica (ahora denominada «clásica») ha llegado a rechazarse «en la cima», es decir, por parte de los físicos capaces de entender las implicaciones de la teoría cuántica. Y esto, a su vez, ha dado lugar a que se conjeturen numerosas alternativas, enfrentadas entre sí, como si se intentase llenar el vacío ontológico —situación que ha movido a un autor reciente a hablar de un «mercado de realidades»—. Por así decirlo, la mecánica cuántica es una teoría científica en busca de una *Weltanschauung*<sup>[1]</sup>. Tal búsqueda lleva en marcha desde 1927<sup>[2]</sup>.

Mientras tanto, el espectáculo de que una docena de eminentes científicos defiendan una docena de cosmovisiones diferentes difícilmente produce confianza; y existe la tentación de concluir que la verdad es inalcanzable o, aún peor, que es relativa, simplemente cuestión de opinión personal.

Lo que se precisa, no obstante, es observar más de cerca los cimientos del pensamiento científico, las premisas ocultas que han condicionado nuestras percepciones intelectuales contemporáneas. Basta un modesto sondeo en cuestiones generalmente ignoradas para revelar un hecho sorprendente: resulta que todas las posiciones de realidad cuántica enunciadas hasta ahora dependen de la misma presuposición ontológica, una premisa que además deriva de las especulaciones filosóficas de Galileo y Descartes y que, bien sorprendentemente, algunos de los más eminentes filósofos del siglo veinte atacaron aguda y convincentemente. En efecto, puede parecer extraño que una premisa ontológica caída bajo sospecha, por decir lo mínimo, haya tenido que permanecer incuestionada a lo largo y ancho del debate de la realidad

cuántica<sup>[3]</sup>; pero hay que recordar que la concepción de la que hablamos se ha enraizado en la mentalidad científica hasta el punto en el que difícilmente cabe reconocerla como presuposición, por no decir como premisa espuria que abandonar.

Ahora se puede enunciar muy sencillamente mi afirmación fundamental: si eliminamos este error, si exponemos esta premisa prácticamente ubicua como la falacia que es, todas las piezas del puzle cuántico comienzan a caer en su lugar. En efecto, las mismas características de la teoría cuántica que antes de esta rectificación ontológica parecían de lo más incomprensibles pasan ahora a ser las más iluminadoras. Como cabría deducir, estas características atestiguan, en un nivel técnico, un hecho ontológico, una verdad que hasta ahora se había obscurecido.

Mi primer objetivo principal será identificar esa premisa elusiva y falaz, para refutarla con óptima eficacia. A continuación, habré de ofrecer una explicación revisada del *modus operandi* por el que se define la física, una explicación que ya no dependerá del axioma recién descartado. Una vez hecho esto, estaremos en posición de volver a reflexionar sobre los hallazgos destacados de la teoría cuántica, para ver si estos hechos extraños y desconcertantes finalmente se pueden entender. Y este es el último propósito que ocupará el resto del libro.

Como primero en la lista de «hechos extraños» que exigen una explicación, está el fenómeno del colapso del vector de estado, que bien podría llamarse el enigma central de la física cuántica. Plantea un problema fundamental que no podemos ignorar ni pasar por alto si queremos comprender la naturaleza del universo físico y su relación con cualesquiera otros planos ontológicos que haya.

De otra parte, consideraciones como estas no han de detener al físico operativo, ni tampoco alteran el hecho de que la mecánica cuántica sea la teoría científica más precisa, más universal y también más sofisticada que ha llegado a proponer el ser humano. En mil experimentos de máxima precisión nunca ha llegado a fallar. Pero la teoría cuántica hace más que responder a muchas preguntas: ella misma también propone unas cuantas. Y en tanto que la física clásica, que por comparación es tosca e imprecisa, generalmente inspira sueños de omnisciencia, la nueva física aconseja precaución y una sobriedad cada vez mayor.

Tras estas observaciones generales quiero decir enfáticamente que escribo este libro tanto para el lector general o «no matemático» como para el físico interesado. Me he esforzado en no presuponer ningún conocimiento técnico de física ni ninguna familiaridad con la literatura de realidad cuántica. Explicaré brevemente los conceptos técnicos de la teoría cuántica requeridos en términos adecuadamente simplificados. Las nociones o referencias técnicas que no explico son, en todos los casos, extrañas al argumento principal y no

deberían preocupar a los lectores en general. Para aquellos con interés en las matemáticas añado una breve introducción a la teoría cuántica que da un atisbo de su estructura matemática.

En ocasiones empleo términos filosóficos que pueden no conocerse y he visto la necesidad, aquí y allá, de acuñar unas pocas expresiones técnicas propias. En todos los casos me he esforzado lo posible por explicar qué significan tales palabras especiales allí donde aparecen por vez primera. También ofrezco definiciones en un glosario.

Por último, hay que enfatizar que, pese a su naturaleza aparentemente «especializada», el problema de la realidad cuántica es, sin duda, la cuestión más universalmente significativa que la ciencia dura ha llegado a plantear. Lo que exige, claramente, es una cosmovisión integral que rompa radicalmente con lo acostumbrado, con lo «clásico»; y eso es lo que propongo hacer en las siguientes páginas. Sin embargo, no adelantaré las conclusiones de la investigación en estas notas de prefacio. En cuanto a las concepciones ontológicas requeridas, se desarrollarán en el contexto de la problemática de realidad cuántica, cada una en su lugar.

# I

## REDESCUBRIR EL MUNDO CORPÓREO

Las dificultades y, de hecho, perplejidades que nos asaltan solo con intentar extraer algún sentido filosófico de los hallazgos de la teoría cuántica no se producen únicamente por la complejidad y sutileza del mundo microscópico, sino ante todo a causa de la adhesión a ciertos supuestos metafísicos erróneos que llevan dominando intelectualmente desde la época de René Descartes.

¿Cuáles son esos supuestos? Para empezar, está la concepción cartesiana del mundo externo constituido exclusivamente por las llamadas *res extensae* o «entidades extendidas», que se asume que están desprovistas de todo atributo cualitativo o «secundario» como, por ejemplo, el color. Todo lo demás se relega, de acuerdo con esta filosofía, a las llamadas *res cogitantes* o «entidades pensantes», cuyo acto constitutivo, por así decirlo, no es la extensión sino el pensamiento. Así, de acuerdo con Descartes, cualquier cosa en el universo que no sea una *res extensa* es, por lo tanto, «un objeto de pensamiento», o como diríamos en otras palabras, una cosa que no existe fuera de una *res cogitans* particular o mente.

Se admite que la dicotomía tiene su utilidad; pues, de hecho, al relegar los llamados atributos secundarios al segundo de los compartimentos cartesianos, de un plumazo se logra simplificar el primero incalculablemente. Lo que queda, en efecto, es precisamente la clase de «mundo externo» que la física matemática podría en principio comprender «sin residuo». No obstante, hay un precio que pagar: pues una vez que se divide lo real en dos, por lo visto nadie sabe cómo volver a reunir las piezas. Concretamente, ¿cómo puede la *res cogitans* conocer la *res extensa*? Mediante la percepción, ciertamente; pero entonces, ¿qué es lo que percibimos? Pues bien, antes de Descartes solía pensarse —por parte de filósofos y también no filósofos— que, por ejemplo, en el acto de la percepción visual de hecho «miramos al mundo externo». Descartes declaró que no es así; y con buena razón, siempre que se haya aceptado la dicotomía cartesiana. Pues si lo que realmente percibo es un objeto rojo, digamos, entonces *ipso facto* ha de pertenecer a la *res cogitans*, por la simple razón de que la *res extensa* no tiene color en absoluto. Así,

prosiguiendo desde sus premisas iniciales, no fue por elección, sino por necesidad lógica, que Descartes fue llevado a postular lo que desde entonces se conoce como «bifurcación»: a saber, la tesis de que el objeto perceptual pertenece exclusivamente a la *res cogitans*, o dicho de otra manera, que lo que realmente percibimos es privado y subjetivo. En total oposición a la creencia corriente, el cartesianismo insiste en que *no* «miramos al mundo externo»; de acuerdo con esta filosofía, en realidad estamos confinados, cada uno en su propio mundo privado, y lo que normalmente tomamos como si fuera parte del universo externo no es, en verdad, más que una ilusión, un objeto mental —como un sueño— cuya existencia no se extiende más allá del acto perceptual.

Pero esta posición es, como mínimo, precaria; pues si el acto de percepción no sortea en efecto la separación entre los mundos externos interior y exterior —entre *res cogitans* y *res extensa*— ¿cómo entonces se cubre la separación? En otras palabras, ¿cómo es posible conocer cosas externas, o incluso saber que existe un mundo externo en primer lugar? Como se recordará, el propio Descartes tuvo gran dificultad para superar sus famosas dudas, y no pudo hacerlo más que mediante un tortuoso argumento que hoy pocos encontrarían convincente. ¿No es extraño que tenaces científicos hayan estado tan dispuestos, y durante tan largo tiempo, a abrazar una doctrina racionalista que cuestiona la misma posibilidad del conocimiento empírico?

Pero entonces, si se ignora este *impasse* epistemológico —o si se finge haberlo resuelto— se puede sacar partido del aparente beneficio que confiere el cartesianismo: pues, como ya he señalado, la simplificación del mundo externo que resulta de la bifurcación hace que se pueda pensar en una física matemática de alcance ilimitado. Pero, en cualquier caso, la pregunta no es si la bifurcación es ventajosa en algún sentido, sino simplemente si es cierta y realmente sostenible. Y este es el problema que es preciso resolver en primer lugar; todas las demás cuestiones pertinentes a la interpretación de la física son obviamente consecuentes con esto y, por lo tanto, han de aguardar su turno.

\* \* \*

Antes de la ciencia, antes de la filosofía, antes de cualquier indagación racional, el mundo existe y se conoce en parte. No existe ni deja de hacerlo necesariamente en el sentido específico en que ciertos científicos o filósofos han imaginado, sino precisamente como algo que puede y ocasionalmente debe presentarse a nuestra inspección. Ha de presentarse así, además, por una especie de necesidad lógica, pues a la misma concepción de un mundo le corresponde ser parcialmente conocido, al igual que en la naturaleza de un

círculo está encerrar alguna región del plano. Por decirlo de otra manera: si el mundo *no* se conociera en parte, *ipso facto* dejaría de ser el mundo —«nuestro» mundo, en cualquier caso—. Así, en cierto sentido —que, sin embargo, ¡fácilmente puede malinterpretarse!— el mundo existe «para nosotros»; está ahí «para nuestra inspección», como he dicho.

Sin duda esa inspección se hace con nuestros sentidos, a través de nuestra percepción; solo que ha de comprenderse desde el comienzo que la percepción no es pura y simple sensación, es decir: percibir no es la mera recepción pasiva de imágenes ni es un acto al margen de la inteligencia humana. Pero independientemente de cómo se consume el acto, sigue el hecho de que percibimos las cosas que nos rodean; si las circunstancias lo permiten, las podemos ver, tocar, oír, saborear y oler, como bien sabe todo el mundo.

Por lo tanto, es fútil y perfectamente vano hablar del mundo como algo en principio no percibido e imperceptible; y además, es una ofensa contra el lenguaje —tanto como decir que el océano está seco o que un bosque está vacío. Pues el mundo manifiestamente se concibe como el lugar de las cosas perceptibles; consiste en cosas que, aunque puedan no percibirse realmente ahora mismo, sin embargo, en las condiciones adecuadas se *podrían* percibir: eso es lo decisivo de la cuestión. Por ejemplo, ahora percibo mi escritorio (con los sentidos de la vista y el tacto), y cuando abandone mi estudio, ya no lo percibiré más, pero la cuestión, claro está, es que cuando vuelva podré percibirlo de nuevo. Como acertadamente observó el obispo Berkeley, decir que un objeto corpóreo existe no implica que *esté* siendo percibido, sino que cabe percibirlo en las circunstancias apropiadas.

Esta verdad vital y a menudo olvidada subyace en su justamente famosa máxima «*esse est percipi*» («ser es ser percibido»), pese a que una afirmación tan elíptica se puede de hecho interpretar en el sentido de un idealismo espurio. Este peligro —del cual fue víctima el obispo irlandés<sup>[1]</sup>— surge, además, principalmente de la circunstancia de que el *percipi* de la fórmula de Berkeley fácilmente se puede malinterpretar. Como ya he señalado, la percepción se puede malinterpretar, como si no fuera más que sensación; y así es como la tomaron la mayoría de filósofos, desde los tiempos de John Locke hasta el siglo veinte, cuando las principales escuelas escudriñaron y descartaron esa perspectiva tosca e insuficiente.

\* \* \*

Dado que percibimos el objeto externo, naturalmente ha de admitirse que solo podemos percibirlo en parte, y que el grueso de la entidad, por decirlo así, queda forzosamente oculto a nuestra vista. Así, en el caso principal, que

evidentemente es el de la percepción visual, normalmente lo visible es la superficie externa, mientras que el interior permanece sin percibirse. Ahora bien, puede parecer a algunos que, a fin de percibir un objeto, habría que percibirlo en su totalidad —lo que implicaría que nunca podríamos percibir nada en absoluto—. Pero entonces, la circunstancia de que percibamos solo en parte ¿no aboga en realidad —no contra el supuesto de que percibamos objetos externos—, sino precisamente contra la perspectiva «todo o nada» de la percepción?

El hecho es que corresponde a la misma naturaleza del objeto estar manifestado solo en parte, tal como es propio de un círculo, digamos, excluir una porción indefinida del plano. Hay un simple y obvio «principio de indeterminación», en vigor dentro de nuestro conocido mundo corpóreo, que afirma que ni el mundo externo en general ni el menor de los objetos en él pueden conocerse o percibirse «sin residuo». Así, no es que no se puedan conocer, además, simple o unilateralmente por cierta incapacidad del observador humano, sino por la propia naturaleza de las mismas entidades corpóreas. Claro está que siempre es posible percibir más y extender nuestro conocimiento perceptual, tal como se puede agrandar un círculo; lo que no es posible, de otra parte, es «agotar» el objeto mediante la percepción —agrandando el círculo hasta que deje de excluir algún «remanente infinito» del plano—. Pues hay que señalar que un objeto corpóreo «completamente percibido» dejaría de ser un objeto corpóreo, igual que un círculo «sin exterior» dejaría de ser un círculo.

Dicho sencillamente: si pudiéramos «mirar al mundo» con el ojo de Dios, el mundo como tal directamente dejaría de existir —tal como las imágenes en una pantalla de cine desaparecen al encenderse una luz lo bastante brillante—.

Es cierto que no hay que enfatizar demasiado la metáfora cinematográfica, pues si Dios «ve» el mundo corporal, tal «percepción» obviamente no aniquila los contenidos del mundo. Pero incluso aunque permanezcan las entidades corpóreas, no son lo que vería un observador omnisciente, siendo lo importante, de nuevo, que un objeto corpóreo «totalmente conocido» *ipso facto* dejaría de ser un objeto corpóreo. Hemos de recordar que estas entidades, digamos que por definición existen «para nosotros» como cosas a explorar mediante la percepción.

El hecho es que «nosotros» de algún modo estamos presentes en la escena —en este ejemplo, no como objetos, sino precisamente como sujetos—. Y aunque tal presencia subjetiva efectivamente se puede olvidar o ignorar, no puede exorcizarse —lo cual es decir que, si se inspecciona con más rigor, está obligada a aparecer en la misma naturaleza del propio objeto—. De diversas maneras el objeto muestra necesariamente las marcas de la relatividad, de estar orientado, por así decirlo, hacia el observador humano.



Una de esas «marcas» que acabamos de considerar es que es propio del objeto ser percibido solo en parte. No obstante, además de que lo percibimos solo parcialmente, también es evidente que lo que percibimos es inevitablemente «contextual». Y esto también constituye una característica inalienable del mismo objeto. En otras palabras, los atributos de los objetos corpóreos son, sin excepción, en cierto sentido contextuales.

Examinémoslo. La figura percibida de un cuerpo, por ejemplo, depende de nuestra posición relativa al objeto, tal como el color percibido depende de la luz en la que se ve. Pero mientras que la contextualidad de la silueta generalmente se acepta sin objeciones, está la inclinación de afirmar que el color, en tanto que «atributo contextual», ha de ser por tanto también un «atributo secundario» en el sentido cartesiano. Pero ¿por qué? ¿Qué impide realmente a un atributo contextual ser objetivamente real? La respuesta es que nada lo impide, mientras tengamos una noción realista de la objetividad.

En lo concerniente a la contextualidad de la figura, es evidente que las siluetas bidimensionales percibidas se pueden comprender como proyecciones planas de una «silueta» o «forma» invariante tridimensional; y, con todo, tal forma tridimensional —y de hecho todos los llamados atributos primarios, por «invariantes» que sean—, son forzosamente contextuales en un sentido más fundamental. Después de todo, un atributo no es ni más ni menos que una característica observable de interacción. La masa, por ejemplo, es una característica observable de interacciones gravitacionales e inerciales; así, decimos que un cuerpo tiene tantos gramos de masa si, al colocarlo en una balanza, observamos una correspondiente desviación o lectura del señalizador.

En el caso de atributos cualitativos el principio es el mismo; el color, por ejemplo, también es «una característica observable de interacción» —pues, como sabemos, el color de un objeto se percibe cuando interactúa con un rayo de luz, reflejándolo—. Está claro que hay una enorme diferencia entre atributos cualitativos y cuantitativos —en efecto, una diferencia «categorical<sup>[2]</sup>»; el rojo, por ejemplo, a diferencia de la masa, no es algo que se deduce de las lecturas de un señalizador sino, más bien, algo que se percibe directamente—. No se puede cuantificar, por tanto, ni meter en una fórmula matemática, y en consecuencia no cabe concebirlo como invariante matemático. Y, aun así, el rojo también es una clase de invariante; pues, de hecho, si un observador capaz mira un objeto rojo, se mostrará rojo ¡todas las veces!

Pero no solo ambos tipos de atributos son incorregiblemente contextuales, sino que los dos son igualmente objetivos: el color no menos que la masa. Ser objetivo, después de todo, es pertenecer al objeto; pero ¿qué es un objeto corpóreo, sino una cosa que manifiesta atributos —claro está, tanto cuantitativos como cualitativos— dependiendo de las condiciones en las que

se sitúa? El objeto, por tanto, lejos de ser una *res extensa* cartesiana o una *Ding an sich* kantiana, se concibe o define efectivamente en términos de sus atributos. Para ser precisos, el objeto concreto está idealmente especificado en términos de la gama completa de sus atributos; y mientras que cada uno de estos atributos en principio es observable, está en la naturaleza de las cosas que la mayor parte permanezca por siempre sin observarse.

Lo que hemos de comprender por encima de todo es que nada en el mundo «simplemente existe», sino que existir es precisamente interactuar con otras cosas —lo que finalmente incluye observadores—. El mundo, por tanto, no ha de concebirse como una mera yuxtaposición de numerosas entidades individuales o autoexistentes —ya sean *res extensae*, «átomos», o lo que se quiera—, sino que se ha de ver como una unidad orgánica, en la que cada elemento existe en relación con los demás y así pues en relación con la totalidad, que incluye también necesariamente un polo consciente o subjetivo. Además, este descubrimiento fundamental, que muchos en nuestros días asocian a los recientes hallazgos en el dominio de la física cuántica —o ya que estamos, al misticismo oriental—, se puede hacer fácilmente «a simple vista», por así decirlo, pues pertenece tanto al mundo corpóreo percibido con los sentidos como al recientemente descubierto dominio cuántico; lo que sucede es que durante varios siglos se nos ha impedido ver el primero sin los prejuicios y distorsiones producidos por los prejuicios de tipo cartesiano.

\* \* \*

Se puede objetar que los atributos cuantitativos, como la masa, aunque sean contextuales, sin embargo, pueden concebirse como existentes en el mundo externo, mientras que no sucede así, supuestamente, cuando se trata de una «cualidad perceptual» como lo rojo. Por consiguiente, parecería que un «universo puramente objetivo» —un universo, digamos, en el que no hubiera ningún observador— se puede de hecho concebir, pero solo a condición de que no contenga «atributos secundarios» (como el rojo).

Examinemos esta línea de pensamiento. Para comenzar, no cabe más que estar de acuerdo con que la idea de una cualidad, como el rojo, hace referencia a la percepción, lo cual es lo mismo que decir que el rojo es ineluctablemente algo que se percibe. Pero esto de ningún modo implica que algo no pueda ser rojo a menos que realmente se perciba; pues obviamente hablamos de cosas no percibidas como rojas, significando por tanto que *aparecerían* rojas si se las percibiera (siempre, claro está, a condición de que se vean con la luz apropiada y por un observador con un cuerpo sano). La afirmación de que un objeto dado es rojo es, pues, condicional, y precisamente es en virtud de esta condicionalidad que su verdad es independiente de si el objeto se percibe de hecho o no. Por consiguiente, cabe

dar por sentado que una manzana Jonathan madura, por ejemplo, es roja aunque no haya nadie en el huerto para percibirla; y si súbitamente desapareciera la vida inteligente sobre la tierra, no habría razón para dudar de que la manzana Jonathan seguiría siendo roja.

Así pues, hay un sentido en el que puede decirse que existiría un universo repleto de atributos cualitativos «en ausencia de observadores humanos»; la verdadera pregunta, por tanto, es si cabría afirmar *más* que esto sobre un universo imaginado del que se han borrado todas las cualidades. Ahora bien, por supuesto hay que admitir que atributos cuantitativos, como la masa, por ejemplo, se refieren menos directamente a la percepción —ya sea visual, táctil o cualquier otra— que el color; y esta es la razón, presumiblemente, por la que puede ser más fácil pensar en los primeros como «atributos primarios» en el clásico sentido cartesiano. Pero no hay que olvidar que los atributos cuantitativos de los que se ocupa la física están después de todo definidos empíricamente, es decir, que su definición entraña una referencia necesaria a la percepción sensorial, por indirecta o lejana que pueda ser. Es cierto que la masa de un cuerpo no se percibe directamente (aunque el sentido cenestésico en algunos casos pueda darnos una aproximación), y que a este respecto la masa difiere del color; pero también hay que señalar que la medición u «observación» de la masa tiene lugar necesariamente mediante actos perceptuales. Por tanto, decir que un cuerpo tiene tal y cual masa es lo mismo que decir que una medición de su masa dará el valor en cuestión, lo que nuevamente significa que, si llevamos a cabo cierta operación, *entonces* le seguirá una percepción sensorial (por ejemplo, percibiremos este o aquel número en una balanza). Por tanto, el caso de la masa y de los demás supuestos atributos primarios no es tan diferente del color como podrían creer los cartesianos; pues en ambos ejemplos la declaración del atributo (tal masa, o tal y cual color) constituye una afirmación condicional que posee exactamente la misma forma lógica. Por tanto, una masa, no menos que un color, es en cierto sentido un potencial a actualizar mediante un acto inteligente que implica la percepción sensorial. Pero como potencialidad, ambos existen en el mundo externo, lo cual es decir que cada uno *existe*, a la vista de que los dos *son* potencialidades. Eso es todo lo que podemos preguntarnos lógicamente o esperar razonablemente de un atributo: pedir más sería como esperar que estuviera en acto y que al mismo tiempo no lo estuviera.

Por lo tanto, en lo concerniente a la objetividad e independencia del observador, el caso de la masa y el del color se mantienen igualmente bien; ambos atributos son de hecho objetivos e independientes del observador en el sentido más fuerte concebible. Lo que ocurre es que, en el caso de la masa y otros atributos «científicos», la complejidad de la definición hace más sencillo —psicológicamente, cabría decirse— esperar lo imposible: dicho de otra

manera, olvidar que el mundo está ahí «para nosotros», como un campo a explorar con el ejercicio de nuestros sentidos.

\* \* \*

Puede ser instructivo reflexionar sobre el hecho de que existan percepciones «ilusorias»: Por ejemplo, cuando vemos una película o programa televisivo, percibimos —o parece que percibimos— objetos que no están realmente presentes; no hay montañas ni ríos en el espacio del cine, no hay gente disparándose en nuestra sala de estar, y aun así percibimos tales cosas como si fueran reales. De por sí, ¿no se presta esto a la postura bifurcacionista? ¿No muestra que lo que percibimos es de hecho subjetivo, un mero espejismo de alguna manera situado en el cerebro o mente del perceptor?

Ahora bien, ciertamente demuestra que lo que percibimos *puede* ser subjetivo, es decir, que existen «ilusiones ópticas» o percepciones falsas. Pero ¿demuestra eso que *toda* percepción es ilusoria o falsa? Es obvio que no. Pues en efecto, el mismo hecho de que hablemos de una ilusión óptica, o de una percepción falsa, indica que han de existir también aquellas que *no* son ni ilusorias ni falsas.

Entonces ¿cuál es la diferencia entre ambos casos? Claramente la diferencia es que una percepción verdadera o auténtica cumple «criterios de realidad» apropiados. Si percibo un río, la cuestión es: ¿puedo saltar dentro de él? Y si percibo un caballo, entonces es: ¿puedo subirme a su lomo? Así, con cada supuesta percepción de una entidad corpórea hay un síndrome asociado de «expectativas funcionales» que, en principio, pueden ponerse a prueba; y si (en caso de duda) se comprueba y verifica algún subconjunto razonable de ellas, concluimos que la cosa en cuestión en efecto es lo que hemos percibido: si puedo montarlo, atarlo a un vagón y darle de comer heno, entonces es un caballo. De manera que, claro está, mi percepción inicial del caballo no era ilusoria, sino auténtica. Tales son los criterios de realidad en base a los cuales distinguimos entre percepciones verdaderas y falsas —y no dejemos de señalar que la validación de una percepción dada se lleva a cabo necesariamente mediante otras percepciones, por circular que este procedimiento pueda parecer a los teóricos—.

De otra parte, cuando el bifurcacionista nos dice que las percepciones son «ilusorias» (o «subjetivas»), no quiere decir que sean ilusorias o falsas en el sentido normal. Para el filósofo cartesiano mis percepciones del escritorio en el que escribo son exactamente tan «ilusorias» como la percepción de montañas y ríos en un cine, pues se supone que ambas son espejismos privados. Está claro que el cartesiano también distingue entre percepciones verdaderas o falsas en el sentido habitual; lo hace suponiendo que en el caso de una percepción verdadera existe un objeto externo que corresponde a lo

perceptual en ciertos aspectos específicos. De acuerdo con esta filosofía, en efecto hay dos escritorios: el «mental» que percibo, y el externo que no percibo. Y ambos son bien diferentes: el primero, por ejemplo, es marrón y carece de extensión en el espacio, mientras que el segundo tiene extensión, pero no es marrón. Mas pese a estas diferencias ambos son supuestamente similares en ciertos aspectos: si el escritorio que percibo parece tener una tapa rectangular, el escritorio externo también la tiene, etcétera. Pero todas estas afirmaciones cartesianas son, claro está, conjeturales, es decir, que en principio es imposible comprobar si cualquiera de ellas es verdadera. Más concretamente, si el dogma de la bifurcación fuese cierto, entonces la correspondiente teoría de la percepción de «dos objetos» *ipso facto* dejaría de ser verificable, por la evidente razón de que no habría jamás modo alguno de averiguar si el objeto externo existe, por no decir siquiera que sea geoméricamente similar al percibido. Todo lo que podemos observar es siempre un objeto, y la estipulación de que hay dos es perfectamente gratuita. La teoría de la percepción de «dos objetos», no menos que el supuesto bifurcacionista en el que descansa, constituye así una premisa metafísica que no puede verificarse ni refutarse por medio empírico o científico alguno.

Nuestra pregunta era si el hecho de que haya percepciones «ilusorias» en sentido ordinario presta apoyo a la postura bifurcacionista; y ahora ha quedado claro que, en efecto, resulta que no. El hecho de que haya ilusiones ópticas o percepciones alucinógenas en nada muestra que, en el caso de percepciones ordinarias, existan realmente dos objetos, tal como considera la filosofía cartesiana. En efecto, parece que es al revés: pues si las ilusiones ópticas o las alucinaciones se caracterizan por el fallo del acto perceptual, entonces esto implica que, en el caso de las percepciones normales, no falla; lo que presumiblemente significa que lo que percibimos, entonces, son precisamente los objetos externos.

\* \* \*

Surge la pregunta de por qué el pensamiento occidental ha tenido que estar dominado durante tanto tiempo por la filosofía cartesiana, una doctrina especulativa que contradice nuestras intuiciones más básicas y para la que, en principio, no puede haber ninguna evidencia corroboradora. Y ¿por qué debería el científico, de entre todas las personas, abrazar esta enseñanza quimérica que, en efecto, hace que no se pueda conocer el mundo por medios empíricos? Cabría pensar que él despreciaría la especulación cartesiana como el más vano de los sueños y que, de entre todas las fantasías metafísicas, la tendría como la más contraria a su propósito. Y aun así, a partir del siglo diecisiete, como sabemos, el cartesianismo y la física han estado estrechamente unidos, tanto que a un observador superficial podría parecerle

que el dogma de la bifurcación constituye de hecho una premisa científica, apoyada por el enorme peso de los descubrimientos físicos. Después de todo, fue el propio gran Newton quien ató el nudo de esta curiosa pareja, y lo hizo tan bien que, hasta hoy, semejante unión ha resultado virtualmente insoluble<sup>[3]</sup>.

Pero ni la premisa cartesiana ni su asociación con la física eran de hecho algo completamente nuevo bajo el sol, pues al parecer el primer bifurcacionista declarado en la historia del pensamiento humano no fue otro que Demócrito de Abdera, el reconocido padre del atomismo. «Según la creencia vulgar», declaró Demócrito, «existe el color, lo dulce y lo amargo; pero en realidad solo hay átomos y vacío»<sup>[4]</sup>. Además hay una conexión necesaria entre las dos mitades de la doctrina, siendo cuestión de que quien desee explicar el mundo en términos de «átomos y vacío» ha de negar en primer lugar la realidad objetiva de las cualidades percibidas por los sentidos. Pues, como observó Descartes con admirable claridad:

Podemos concebir fácilmente cómo el movimiento de un cuerpo puede estar producido por el de otro, y diversificado por el tamaño, figura y situación de sus partes, pero somos totalmente incapaces de concebir cómo estas mismas cosas [tamaño, figura y movimiento] pueden producir algo más de una naturaleza enteramente diferente de ellas mismas como, por ejemplo, esas formas substanciales y cualidades reales que muchos filósofos suponen que están en los cuerpos<sup>[5]</sup>.

Y permítaseme añadir que aunque Descartes no asumió un modelo atomista de la realidad externa, la diferencia es bien insignificante en cuanto a aquello de lo que se trata; pues ya se piense en términos de *res extensae* continuas o en términos de átomos democriteanos, el pasaje citado basta en cualquier caso para explicar por qué una física totalista —una física que busca comprender el universo «sin residuo»— está obligada a aceptar la bifurcación, casi se podría decir como «mal necesario».

Sin embargo, debe admitirse que los beneficios de la bifurcación son más aparentes que reales; pues, de hecho, el cartesiano está finalmente obligado a admitir aquello mismo que «somos totalmente incapaces de concebir». Está forzado a admitirlo cuando se trata del proceso de la percepción, en el que las cualidades que se perciben sensorialmente —ya sean privadas o «ilusorias»— por lo visto se originan (siguiendo sus propios supuestos) por «partículas en movimiento». Guste o no, se está obligado a explicar cómo «estas mismas cosas pueden producir algo más de una naturaleza enteramente diferente de ellas mismas», y necesariamente ha de admitirse al final que «somos totalmente incapaces de concebir» cómo tal cosa es posible. Por lo tanto, del

postulado de bifurcación no resulta ninguna verdadera ventaja filosófica, lo que equivale a decir que las afirmaciones totalistas de la física han de abandonarse en cualquier caso. En resumen, no se puede entender o explicar todo sin excepción en términos exclusivamente cuantitativos.

Volviendo a Demócrito, quiero señalar que su posición fue vigorosamente combatida por Platón y después las principales escuelas filosóficas la rechazaron justo hasta la llegada de los tiempos modernos; lo que significa que ambas premisas parejas de atomismo y bifurcación pueden de hecho clasificarse como «heterodoxas». Pero, como también se sabe, las viejas herejías no mueren, sino que solo aguardan su momento y, con el regreso de condiciones favorables para su aceptación, invariablemente se redescubren y reafirman con entusiasmo. En el caso de Demócrito encontramos que su doctrina se restauró en el siglo diecisiete, tras un periodo de unos dos mil años; y es interesante advertir que ambas mitades de la teoría retornaron aproximadamente en la misma época. Galileo —quien diferenció entre los supuestos atributos primarios y secundarios y se inclinó hacia el atomismo— quizá fue el primer portavoz de tal reactivación. Y mientras que Descartes propuso la bifurcación, pero más que nada pensando en términos de materia continua, tenemos que Newton se entregó libremente a especulaciones químicas de tipo atomista. Solo que en aquellos primeros días los físicos carecían de los medios para cuantificar sus especulaciones atomistas y ponerlas a prueba; no fue hasta el final del siglo diecinueve, en efecto, que los «átomos» comenzaron a entrar en el campo experimental. Pero durante todo el trayecto, la concepción atomista de la materia estuvo desempeñando un papel heurístico decisivo; como señaló Heisenberg, «La más fuerte influencia en la física y la química de los siglos recientes sin duda la ha ejercido el atomismo de Demócrito»<sup>[6]</sup>.

Sin embargo, durante el siglo veinte el panorama comenzó a cambiar. En primer lugar, varios filósofos poderosos e influyentes entraron finalmente en escena —Husserl, Whitehead y Nicolai Hartmann, por ejemplo— para desafiar y refutar las premisas cartesianas; y mientras tanto, otros tipos de filosofías se pusieron de moda, como el pragmatismo, el neopositivismo y el existencialismo, que no descalificaron el axioma bifurcacionista sino que lo pasaron por alto. Por tanto, ya sea por refutación o por negligencia, en cualquier caso puede decirse que el cartesianismo ha sido abandonado por las principales escuelas filosóficas.

De otra parte, en el mundo científico la doctrina que se ha visto atacada es la atomista de Demócrito, mientras que la premisa bifurcacionista ha permanecido prácticamente sin cuestionarse. E incluso cuando se trata de atomismo —que está lisa y llanamente en conflicto con los últimos hallazgos de la física de partículas— resulta que no pocos físicos eminentes han permanecido tácitamente democriteanos en su *Weltanschauung*; precisamente

por esto Heisenberg lamentó que «Hoy, en la física de las partículas elementales, la buena física está siendo socavada inconscientemente por la mala filosofía»<sup>[7]</sup>. Pero son pocos los que se dan cuenta de que ambas mitades de esta «mala filosofía» todavía siguen con nosotros y deben abandonarse si queremos obtener sentido filosófico de la física contemporánea.

Mientras tanto, lo que plantea el mayor problema es el bifurcacionismo. En primer lugar, la bifurcación es mucho más fundamental, y en consecuencia mucho más difícil de comprender; pero lo más importante es que se trata de la premisa en la que se basa la concepción totalista de la física. Los físicos pueden arreglárselas bien sin el atomismo, pero en general aborrecen renunciar a sus afirmaciones totalistas, por lo que les guste o no, están comprometidos con la hipótesis cartesiana<sup>[8]</sup>.

\* \* \*

Si el acto de percepción nos pone en contacto con el mundo externo —tal como sostengo— naturalmente sigue quedando la pregunta de cómo se produce tal prodigio. En el caso de la percepción visual (a la que podemos ceñir nuestra consideración) sin duda existe la imagen perceptual de un objeto externo; y aun así lo que realmente percibimos no es la imagen como tal, sino precisamente el objeto. «Vemos» la imagen, por así decirlo, pero percibimos el objeto; pues en cierto sentido percibimos más de lo que vemos, más de lo que se nos presenta o recibimos pasivamente. Y así, la percepción no es pura y simplemente sensación, sino sensación catalizadora de un acto inteligente<sup>[9]</sup>.

No obstante, debería señalarse que el acto perceptual no es racional ni discursivo: la percepción de un objeto no conlleva ningún razonamiento en absoluto. Además, si el acto perceptual fuese discursivo, sería cuestión de interpretar la imagen como si representara un objeto externo; y esto implicaría, primero, que el objeto sería conjetural —un concepto, en lugar de un percepto— y, segundo, que la imagen, por su parte, se vería como imagen, lo cual no es. La cuestión es que en el acto perceptual se ve la imagen, no como imagen, sino como parte o aspecto del objeto; en otras palabras, se ve como algo que pertenece al objeto, igual que el rostro de un hombre pertenece al hombre. Así, la imagen pasa a ser algo más que una imagen, si cabe decirlo así: se percibe como una superficie, un rostro, un aspecto o cosa que inmediatamente trasciende la imagen como tal.

Ahora bien, esta decisiva transición —de imagen a aspecto— es algo que la razón o el razonamiento no pueden efectuar ni de hecho comprender —lo que puede dar buena cuenta del hecho de que los filósofos hayan tenido tanta dificultad al vérselas con el problema de la percepción—. Como, por norma, hemos olvidado que hay una inteligencia que es intuitiva, directa e



instantánea en su operación, una inteligencia que no necesita el pensamiento dialéctico ni discursivo, sino que va directa a la diana como una flecha; y mucho menos nos damos cuenta de que esta elevada y olvidada facultad — que los antiguos denominaban «intelecto»— está en funcionamiento y de hecho desempeña el papel esencial en el acto de la percepción sensorial. Para el pensamiento discursivo, la imagen y el objeto deben permanecer por siempre separados —escindidos en dos, podría decirse— pues la misma naturaleza de la facultad racional es analizar, despedazar. Así, en ausencia del intelecto —o, en otras palabras, si solo tuviéramos la capacidad de recibir imágenes pasivamente junto con la facultad de razonar—, la auténtica percepción sería imposible, lo que es decir que el mundo externo pasaría a ser para nosotros una mera concepción o una hipótesis especulativa. Como afirmaría Descartes, nunca podríamos verlo, tocarlo ni escuchar su sonido.

El objeto percibido se une al perceptor en el acto de percibir por la fuerza del intelecto —asumiendo, claro está, que se trate de una percepción auténtica o válida; pues como antes señalé, el acto perceptual puede en efecto confundir, como sucede, por ejemplo, en el caso de una ilusión óptica o una percepción alucinógena—. Para decirlo como lo harían los antiguos, el acto perceptual puede confundir porque no es puramente intelectual, sino que solamente «participa» del intelecto; pero estas son cuestiones que no nos conciernen ahora especialmente. Por ahora basta con tomar nota del hecho de que hay un modo de inteligencia no discursiva por el que se efectúa la transición desde la imagen perceptual hasta el objeto percibido, y que la razón o el pensamiento discursivo simplemente no está a la altura de la tarea. Pero evidentemente esto para nada implica que haya algo irracional en el acto perceptual o, mejor dicho, en la constatación filosófica de que realmente miramos al mundo externo.

Enlazando con lo que se acaba de decir sobre el tema de la inteligencia humana, puede no estar fuera de lugar observar que la reducción del intelecto a la razón —la falacia del racionalismo— bien puede constituir la primera ofensa, no solo de René Descartes y sus seguidores más o menos inmediatos, sino quizá de la filosofía moderna en general. Pues incluso las escuelas contrarias al racionalismo, como el pragmatismo y el existencialismo, parecen presuponer la misma reducción, la misma negación racionalista del intelecto. Sea como fuere, una vez se efectúa esta asunción filosóficamente fatal, nos vemos atrapados en una dicotomía imposible de sortear en modo alguno. El mundo externo de la materia y el interno de la mente, por decirlo así, aparentemente pierden entonces su conexión; y esto significa, claro está, que el universo y nuestra posición en él han pasado a ser *de facto* ininteligibles. La naturaleza de la razón es analizar, al parecer incluso escindir, lo que Dios mismo ha unido; así que no sorprende que una *Weltanschauung* basada nada más que en la razón esté fracturada más allá de cualquier intento de repararla.

De otra parte, el intelecto es el gran conector; une lo que parece separado, no externamente, naturalmente, sino trayendo a la luz un vínculo profundo que preexiste. Para decirlo en términos algo míticos, aquello que «todos los caballos y hombres del rey» han fallado en «volver a unir», el «intelecto real» lo restaura en un santiamén.

Ahora bien, el ejemplo clásico de esta maravillosa proeza es sin duda el acto, ordinario y humilde, de percepción sensorial: por ejemplo, el acto de contemplar una manzana. La brecha entre sujeto y objeto —el abismo que desconcertó a Descartes y a Kant— se cubre, sostengo, en un pestañeo; todos los niños pueden llevar a cabo el milagro y de hecho lo hacen, lo que no disminuye en nada su magnitud. Porque es y sigue siendo una maravilla ver que la manzana está fuera de nosotros y que, no obstante, la percibimos. O en palabras de Aristóteles: que en el acto de conocer «el intelecto y su objeto se unen».

Que nadie, además, niegue el milagro: que «mediante» la imagen («como por medio de un espejo») percibimos el objeto mismo, la cosa externa. Que no haya en esto ningún error: el término del acto intencional no es simplemente otra imagen, o una representación subjetiva, sino el objeto mismo; lo que percibimos es precisamente la manzana, y no solo una representación, concepto o idea de la manzana. Pero evidentemente nuestra percepción o conocimiento es incompleto: «Pues ahora vemos por medio de un espejo, oscuramente... ahora conozco en parte» (1 Corintios 13:12).

Por lo tanto, no es poca cosa lo que acontece en estos actos diarios que nos resultan familiares; pues la inteligencia que se manifiesta en ellos es misteriosa: un poder tan asombroso que su misma existencia empequeñece nuestras nociones acostumbradas de lo que es el hombre y de cómo ha llegado a ser.

\* \* \*

Consideremos cómo suele considerarse el acto perceptual. Un estímulo externo incide en un órgano sensorial (digamos, la retina) y produce una corriente de información codificada que se transmite por vías neuronales hasta los centros cerebrales apropiados. Pero ¿qué pasa entonces? Quizá la mayoría de los científicos siguen adhiriéndose a la vieja posición materialista o «monista» según la cual el cerebro lo es todo, lo que implica que la vida psíquica se interpreta como si fuera un epifenómeno de la función cerebral. De otra parte, un creciente número de neurofisiólogos y expertos cerebrales —incluyendo algunas autoridades máximas— han llegado a creer que la posición monista es insostenible, y que los fenómenos de la percepción y el pensamiento solo pueden explicarse con la premisa de que, además del

cerebro, también existe un «segundo elemento» o mente. Como ha dicho un afamado cirujano cerebral:

Puesto que parece seguro que siempre será bien imposible explicar la mente sobre la base de la acción neuronal dentro del cerebro, y dado que en mi opinión la mente se desarrolla y madura independientemente a lo largo de la vida de un individuo como si fuera un elemento continuo, y ya que un ordenador (lo que el cerebro es) ha de ser puesto en funcionamiento por un agente con entendimiento independiente, estoy obligado a escoger la proposición de que nuestro ser ha de explicarse sobre la base de dos elementos fundamentales<sup>[10]</sup>.

Existe la fuerte tentación de considerar el segundo elemento o mente como si fuera una especie de fantasma dentro de la máquina —presumiblemente porque no se sabe cómo concebirlo si no—. Y esto hace entrar en juego la perturbadora noción de un agente consciente capaz de descifrar los estados de un billón de neuronas e integrar esta información en una imagen que se percibe —¡todo ello en una fracción de segundo!—. Aunque lo que nos desconcierta no es, de hecho, la velocidad de la operación o su complejidad, sino su naturaleza: pues ni un mecanismo ni un observador humano podrían cumplir esa tarea ni siquiera de lejos.

Pero supongamos que de algún modo la mente es capaz de «leer el ordenador», transformando la información neuronal en una imagen perceptual. Y luego ¿qué? El escenario resultante del acto perceptual evidentemente es comparable a un observador que mira monitores conectados a una fuente externa. Se podría pensar que, así, todo va bien, y que habiendo llegado tan lejos se ha alcanzado al fin un modelo viable. Pero no es el caso: pues es obvio que lo que nuestro observador percibe son imágenes en un monitor, y para nada el objeto externo. Ahora bien, desde una perspectiva teórica de la información este punto de vista no plantea problema alguno, y de hecho no hay ninguna diferencia significativa entre suponer que el observador percibe o deja de percibir el mundo afuera; por ejemplo, si fuera cuestión de leer un instrumento externo, evidentemente carecería de importancia si se mirase a la pantalla o directamente a la balanza externa. Pero lo que ocurre es que no solamente tratamos de comprender la transmisión de información (en el sentido del ingeniero eléctrico), sino el fenómeno de la percepción, que es otra cosa totalmente distinta —incluso aunque obviamente entrañe una transmisión de esa clase—. Hemos de recordar que la percepción auténtica termina, como hemos visto, no en una mera imagen, sino en un rostro o aspecto de la propia cosa externa. Pero aquí el modelo del observador/monitor falla: no hay modo de sortear el hecho de que nuestro observador percibe el

monitor, y nada más que el monitor. En suma, el modelo dado, tal como está, resulta incorregiblemente bifurcacionista. Puede hacerle justicia al cerebro, pero fracasa en el intento de comprender el segundo elemento: la mente y sus facultades.

Existe una antigua y largamente olvidada creencia de que del ojo perceptor emana un «rayo» que se encuentra con el objeto; y aunque en nuestros días esta noción puede parecer a muchos simplemente como una «superstición primitiva» más, ¿no es concebible que la propagación aferente del objeto al perceptor efectivamente haya de complementarse con un proceso eferente, con una propagación en dirección inversa? Así, si la propagación aferente fuese «material», ¿no podría la eferente ser, por así decir, de tipo «mental»? Me parece que, cuando se trata del problema de la percepción, difícilmente estamos en posición de rechazar doctrinas «extrañas» de antemano. Todo lo que sabemos, en este punto, es que las piezas actualmente al alcance de la ciencia no encajan entre sí, lo que parece implicar que la pieza faltante del puzle *debe* ser en efecto «extraña». Llámesele «mente», «espíritu» o como se quiera; según observó Charles Sherrington: «Transita nuestro mundo espacial más fantasmalmente que un fantasma. Invisible, intangible, es algo ni bosquejado siquiera, no es una cosa»<sup>[11]</sup>. Solo cabe estar de acuerdo con el eminente neurofisiólogo sobre que la ciencia «es impotente para tratar o describir» esa presencia elusiva y enigmática, por la que, por lo visto, se consuma el acto perceptual.

\* \* \*

Por «mundo corpóreo» de aquí en adelante entenderemos la suma total de cosas y sucesos que un ser humano normal puede percibir directamente empleando la vista, el oído y sus sentidos del tacto, sabor y olor; lo que equivale a decir, en suma, que el dominio corporal no es ni más ni menos que el mundo real en el que normalmente nos encontramos. Pero está claro que esta afirmación, simple y de hecho obvia como es, inmediatamente será disputada por el bifurcacionista, sobre la base de que lo que realmente percibimos no es para nada un mundo, una realidad externa, sino un espejismo privado del cual solo ciertas características cuantitativas tienen significado objetivo. En otras palabras, a lo que en un nivel prefilosófico tomamos como el mundo, se le niega así el estatuto externo u objetivo —presumiblemente, para hacer sitio al mundo tal como lo concibe el físico—. Por tanto, esta constatación de lo que puede llamarse el principio de no bifurcación equivale a redescubrir o, si se quiere, reafirmar el mundo corpóreo, mundo que, según Descartes y sus discípulos, no existe.

En realidad, es evidente que nadie ha prestado la menor atención a las autoridades cartesianas; es decir, en nuestras vidas diarias no cuestionamos, ni mucho menos negamos, la autenticidad del mundo que percibimos con los sentidos. Todo el mundo sigue con sus cosas, firmemente convencido de que «las montañas son montañas y las nubes son nubes», como señala el maestro Zen. Y, no obstante, la mayor parte de nosotros tiene sus momentos cartesianos. Pruébese, por ejemplo, a persuadir a un profesor universitario, o incluso mejor, a un estudiante de posgrado, de la no bifurcación, y pronto sacará al cartesiano en él; tal es la fuerza de la educación. Pero tal es, también, la naturaleza de la cuestión; pues, de hecho, lo que es obvio en el estado no reflexivo, no es *ipso facto* verdadero —pues la simple ausencia de pensamiento no confiere la infalibilidad—. Las dudas cartesianas, por lo tanto, están lejos de ser ilegítimas, y no discrepamos de las dudas sino de esta filosofía.

Con todo, tal filosofía se nos ha arraigado mediante el proceso educativo, tanto que puede ser chocante que se diga directamente que el mundo percibido es, en efecto, real, y que después de todo *no* estamos confundidos durante la mayor parte de nuestra vida de vigila —a lo largo de las horas y días que permanecemos desatentos a la enseñanza bifurcacionista—. Es evidente que esta conspicua resistencia e incredulidad con la que la mayor parte de nosotros reaccionamos al principio de no bifurcación, cuando se afirma, puede parecer extraña, habida cuenta de que el resto del tiempo, tanto antes como después del paréntesis filosófico, permanecemos firmemente comprometidos con el principio en cuestión. Solamente cuando se afirma explícitamente el principio de no bifurcación es cuando nos volvemos contra él y alegremente negamos aquello que, por lo demás, creemos firmemente. En suma, la filosofía cartesiana nos ha arrojado colectivamente a un estado de esquizofrenia, condición dudosamente saludable que bien puede tener algo que ver con muchos de nuestros males contemporáneos.

Pero, en cualquier caso, no es tarea fácil cortar el nudo newtoniano para soltar la carga de una filosofía antinómica; pues aunque la bifurcación como tal pueda no tener ninguna atracción en concreto, parece que confiere el considerable beneficio de fomentar las afirmaciones de una física que quiere ser de alcance totalista. Añádase a esto la extendida creencia de que la *Weltanschauung* prevalente ha sido dictada por los hallazgos positivos de una ciencia exacta e infalible, y se empieza a discernir la magnitud del problema. No sorprende, pues, que los cimientos filosóficos de la física sean un caos. Ha transcurrido ya más de medio siglo desde que Whitehead lamentó por primera vez el estado de las cosas y nos habló de lo que denominó «una completa confusión en el pensamiento científico, en la cosmología filosófica y en la epistemología»<sup>[12]</sup>; mas la confusión sigue ahí y, si acaso, solo se ha exacerbado por la erupción de textos pseudofilosóficos que hacen poco más

que echar vino nuevo en odres viejos. En lo que concierne a los físicos, además, parecería que la mayor parte de ellos apenas se inclina a investigar fundamentos filosóficos; e incluso así, parece que el proceso científico no siempre se transporta al dominio filosófico. Como bien dijo Heisenberg:

Si se observa la gran dificultad con la que incluso eminentes científicos como Einstein tienen para comprender y aceptar la interpretación de Copenhague de la teoría cuántica, pueden rastrearse las raíces de esta dificultad hasta la partición cartesiana. Esta partición ha penetrado profundamente en la mente humana durante los tres siglos posteriores a Descartes, y llevará largo tiempo reemplazarla por una actitud realmente diferente para el problema de la realidad<sup>[13]</sup>.

## II

### ¿QUÉ ES EL UNIVERSO FÍSICO?

Me gustaría decir que el universo físico no es más que el mundo concebido según los físicos; pero en ese caso, está lejos de ser evidente cómo conciben el mundo los físicos. En primer lugar, hay que recordar que la física ha experimentado un desarrollo increíble y sigue progresando a grandes pasos. Y, más aún, últimamente los físicos no se han puesto nada de acuerdo sobre qué es, exactamente, lo que la física está descubriendo. Así que ¿cómo puede hablarse de «el mundo concebido según los físicos»?

Puede hacerse, hasta cierto punto, en virtud de que la física tiene una metodología propia, un modo distintivo de investigación. Las teorías físicas concretas se pueden reemplazar, y las opiniones filosóficas pueden ir y venir; pero los medios cognitivos básicos que definen a la física como tal permanecen sin cambios: esa es la cuestión fundamental. Digamos, pues, que el universo físico es el reino de las cosas que en principio cabe conocer por estos medios en concreto —y consideremos a dónde nos conduce esto—.

Hemos visto en el capítulo anterior que el mundo corpóreo existe «para nosotros», como el dominio de cosas a conocer mediante la percepción sensorial; y ahora encontramos que el universo físico existe «para nosotros», básicamente en el mismo sentido. Lo que ocurre es que hay una marcada diferencia en los medios respectivos de conocer. En el primer caso, conocemos mediante la percepción directa, y en el segundo mediante un complejo *modus operandi* basado en la medición —lo que es completamente diferente—.

Examinemos brevemente el acto de medición. Lo primero que hemos de advertir es que no se mide directamente con la vista, ni por ningún otro sentido, sino por medio de un artefacto, un instrumento apropiado. Lo que cuenta, de hecho, es la interacción entre el objeto y el instrumento: esto es lo que determina el estado final del instrumento y, por lo tanto, el desenlace de la medición. Y tal desenlace, además, será una cantidad; un número, por así decirlo. Ahora bien, sin duda los físicos experimentales emplean sus sentidos a cada paso; y es por medio de la percepción sensorial, en concreto, que

averiguan el estado final del instrumento. Pero esto no significa que se perciba la cantidad en cuestión. Seamos claros sobre ello. Estrictamente hablando, no se percibe nada como el peso o el diámetro de un objeto que nos sea familiar, no más de lo que se puede percibir el impulso magnético de, digamos, el electrón. Lo que se percibe son objetos corpóreos de varias clases —incluyendo instrumentos científicos—. Y naturalmente, se puede leer la posición de un señalizador en una escala. Pero no se pueden percibir cantidades mensurables. Por eso se necesita un instrumento. El instrumento se requiere precisamente porque la cantidad en cuestión *no* es perceptible. Así pues, la función del instrumento es convertir esta última, por así decirlo, al estado perceptible de un objeto corpóreo, de modo que, mediante la percepción sensorial, se pueda lograr el conocimiento de algo que, en sí mismo, no es perceptible.

Ahora bien, el *modus operandi* de la física se basa en la medición, como he dicho; así pues, el universo físico llega a verse por medio de actos de medición. El físico no mira a la realidad con las facultades ordinarias de percepción, sino mediante instrumentos artificiales; y lo que ve a través de tales «ojos» de factura humana es un extraño nuevo mundo constituido por cantidades y estructuras matemáticas. En pocas palabras, observa el universo físico, a diferencia del mundo corporal que con el que estamos familiarizados.

Entonces, ¿qué hemos de hacer con esta curiosa dualidad? ¿Podemos decir, por ejemplo, que uno de los dos dominios es real y el otro subjetivo o, de algún modo, ficticio? No parece haber bases convincentes que apoyen ninguno de estos reduccionismos. Lo que se ve depende de las «lentes» con las que se mira: tal es la esencia de la cuestión.

Surge ahora la pregunta de cómo dos mundos aparentes —o «secciones transversales» de la realidad— pueden coexistir, o encajar juntos, como en efecto deben hacer. Y baste decir, por el momento, que esta es una cuestión que no se puede investigar, ni entender, mediante los medios cognitivos asociados con cualquiera de los dos reinos. Tampoco se puede resolver esta cuestión a través de la percepción sensorial ni por los métodos de la física —por la sencilla razón de que cada uno de estos medios cognitivos se limita a su propia esfera—. Lo que se precisa, idealmente, es una ontología integral, y podemos también dejar por resolver, de momento, la cuestión de si tal empresa es factible. Lo que importa, entretanto, es darnos cuenta de que cada uno de nuestros dos dominios —el físico no menos que el corpóreo— está limitado en su alcance. En cada caso están las cosas que pueden conocerse a través de los medios cognitivos dados, y luego están las que no. Como un círculo, el concepto de cada dominio incluye y excluye al mismo tiempo. Y no debería haber duda, desde el comienzo, de que lo que excluye cada uno efectivamente ha de ser inconmensurablemente más vasto que la multiplicidad —por pasmosa que pueda ser— de su propio contenido total.



\* \* \*

El universo físico «llega a verse» por medio de la medición; pero se debe añadir inmediatamente que la sola medición no basta. También hay, forzosamente, un lado teórico del proceso cognitivo, lo cual es decir que nada perteneciente al dominio físico puede conocerse sin una teoría, sin un «modelo» adecuado. Los aspectos experimentales y teóricos de la disciplina, además, funcionan juntos; existe una maravillosa simbiosis entre ambos — demasiado delicada, quizá, para describirse adecuadamente en términos de libro de texto—. Baste decir que experimento y teoría se combinan para dar lugar a una sola empresa cognitiva, un solo «modo de conocer».

Por tanto, los objetos físicos han de conocerse por medio de modelos adecuados, con representaciones teóricas de algún tipo. Sin duda, el objeto y la representación no coinciden entre sí. Conocemos el objeto *mediante* la representación —tal como se conoce un objeto corpóreo a través de una imagen mental—. La representación teórica sirve, pues, como símbolo, como signo, que además es indispensable. Pues de hecho, no se puede conocer, ni siquiera concebir, un objeto físico salvo por medio de un modelo, una construcción teórica de una u otra clase. Ciertamente podemos cambiar la representación de una entidad física dada, y a menudo lo hacemos; mas no podemos abandonar un modelo sin la ayuda de otro —so pena de perder el objeto por completo<sup>[1]</sup>.

En aras de la máxima claridad, señalemos que si el objeto fuese de hecho reductible a la representación, obviamente no estaría sujeto a la medición; después de todo, un mero modelo no afecta nuestros instrumentos. De otra parte, los objetos físicos evidentemente afectan los instrumentos de medición apropiados —por definición, si se quiere; y esto significa que tienen cierta existencia propia—. Así, el paso de la representación al objeto constituye un acto intencional ciertamente no menos enigmático que el humilde acto de percepción sensorial que hemos considerado ampliamente en el capítulo anterior. No sorprende, pues, que este paso crucial perteneciente al *modus operandi* de la física no se haya comprendido bien. Que el acto intencional del físico, lejos de ser accesible a la humanidad en general, presupone evidentemente un aprendizaje exacto —por no hablar de calificaciones intelectuales concretas que quizá no todo el mundo posea por completo— todo esto no facilita entender la cuestión epistemológica. Pero lo más importante es que las premisas filosóficas que se tienen en nuestros días no nos permiten en realidad tener ningún conocimiento de los objetos físicos —no más de lo que nos permiten percibir las entidades corpóreas—. Mientras tanto, todo físico reputado ha aprendido a consumir el acto intencional del que hablamos, y sin duda lleva a cabo este acto crucial repetidamente en el ejercicio de sus tareas profesionales —incluso si, como filósofo, puede estar

bien comprometido con una escuela de pensamiento que niegue la misma posibilidad de tal acto cognitivo—. Este escenario recuerda completamente al bifurcacionista, que niega —repetámoslo, en sus momentos filosóficos— la posibilidad de percibir sensorialmente: el acto cotidiano por el que miramos al mundo y percibimos —no meros datos sensoriales, o representaciones mentales— sino una miríada de cosas que existen. Ya hemos hablado suficientemente (en el capítulo I) de este extraño fenómeno que ahora hemos de encontrar de nuevo en el contexto del conocer científico. La cuestión, en todo caso, es que una cosa es conocer y otra muy diferente saber *cómo* conocemos.

El modelo con el que se conoce un objeto físico ha de cuadrar, claro está, con los hechos mensurables; lo que significa que de ahí deben poderse derivar consecuencias verificables. La representación tiene, por tanto, cierto significado operativo o contenido empírico, y si no fuera así no habría conexión alguna con la empresa científica. Sin embargo, hemos de comprender con claridad que tiene, adicionalmente, un contenido intencional, lo cual es decir que sirve como signo o símbolo cuyo referente es el mismo objeto físico. Los dos tipos de contenido o significado —el intencional y el operativo— están además estrechamente vinculados entre sí: ya que, en efecto, un objeto físico se puede modelar o representar precisamente en virtud de cómo se presenta a la observación empírica. Pero incluso aunque podamos conocer el objeto por su efecto en nuestros instrumentos, lo concebimos pese a todo como la causa externa o trascendente de tales efectos observables, y no simplemente como su suma total. Un campo electromagnético, por ejemplo, sin duda es más que el conjunto de lecturas de un instrumento, y un protón más que un conjunto de pistas en una cámara de burbujas. A diferencia de lo que los positivistas querrían que creyéramos, no puede reducirse el objeto físico a sus efectos observables. El objeto, pues, no es la manifestación, sino que es más bien la entidad que se manifiesta. Las lecturas de nuestro instrumento y las pistas de condensación señalan por tanto más allá de ellas mismas; y esa es precisamente la razón, evidentemente, por la que esas lecturas y observaciones no conciernen al físico. Su interés principal no está en juegos positivistas, sino en una realidad oculta que se manifiesta, al menos parcialmente, en toda clase de efectos mensurables. El universo físico, no menos que el corpóreo, es por lo tanto en cierto modo trascendente —incluso si (como he dicho repetidamente) existe «para nosotros»—.

\* \* \*

Estrictamente hablando, nadie ha percibido jamás un objeto físico, y nadie lo hará nunca. Las entidades que responden al *modus operandi* de la física son, por su misma naturaleza, invisibles, intangibles, inaudibles, desprovistas de

sabor y olor. Tales objetos imperceptibles se conciben mediante modelos matemáticos y son observados por medio de instrumentos adecuados. Sin embargo, hay entidades físicas que se presentan, por así decirlo, con la forma de objetos corpóreos. O, por decirlo a la inversa: todo objeto corpóreo X puede someterse a una serie de mediciones que, así, determinan el objeto físico asociado SX. Si X es una bola de billar, por ejemplo, se puede medir su masa, radio y otros parámetros físicos, y podemos representar el objeto físico asociado SX de diferentes maneras: por ejemplo, como una esfera rígida de densidad constante. Lo crucial, en todo caso, es que X y SX no son lo mismo. Ambos son, de hecho, tan diferentes como la noche y el día: pues resulta que X es perceptible, mientras que SX no lo es.

Ahora bien, la primera de estas afirmaciones es obvia e indiscutible. Todo el mundo sabe que algo como una bola de billar es perceptible. O, mejor dicho, todo el mundo sabe esto perfectamente bien —en tanto no se sea bifurcacionista—. Pero ¿qué hay de SX, por qué *no* es perceptible? Hay quienes, presumiblemente, argüirán que una esfera rígida, por ejemplo, se puede percibir muy bien. Pero en tanto que, estrictamente hablando, resulta que no es así<sup>[2]</sup>, la afirmación en realidad no viene al caso. Pues la pregunta que tenemos ante nosotros no es si se pueden percibir cosas tales como esferas rígidas, sino si cabe percibir SX, y eso es otra cosa bien diferente. Ya que, en tanto que el objeto físico asociado SX del ejemplo que nos ocupa se puede representar, en efecto (dentro de ciertos límites de precisión), como una esfera rígida, también cabe representarlo de muchas otras maneras. Por ejemplo, como una esfera elástica —modelo que, de hecho, puede dar lugar a una descripción más precisa—. Pero aún más importante es el hecho de que hoy se sepa que los objetos físicos están compuestos de átomos —o, más generalmente, de partículas subatómicas— y que toda representación continua o «clásica» no transmite más que una visión aproximada y parcial de la entidad en cuestión. Pero ahora, si presuponemos que SX es, de hecho, un ensamblado de átomos, de partículas subatómicas, ¿aún es concebible que SX pueda percibirse? Obviamente no; pues es evidente que lo que percibimos no es una colección de átomos, partículas subatómicas u ondas de Schrödinger sino, precisamente, una bola de billar. Claro que podría afirmarse que el conjunto de átomos o partículas de algún modo origina el objeto percibido o perceptible —pero esto es una cuestión totalmente diferente—. Se trata ahora de la identidad de este objeto percibido o perceptible, no de su causa conjeturada. Y esta identidad está más allá de discusión: lo que percibimos es la bola de billar roja o verde, para decirlo una vez más. Repito que nadie ha percibido jamás un ensamblado de partículas subatómicas ni una colección de átomos.

Se llega, así, a una constatación básica oscurecida durante mucho tiempo por los prejuicios bifurcacionistas: encontramos ahora que todo objeto

corpóreo X determina un objeto físico asociado SX. Por tanto, a partir de ahora me refiero a X como la *presentación* de SX. Es evidente que no todo objeto físico tiene presentación; lo que es decir que podemos distinguir entre dos tipos o clases de entidades físicas: las que tienen presentación y las que no la admiten. Digamos, *subcorpóreo* y *transcorpóreo*. Pero me apresuro a señalar que esta dicotomía tiene que ver, no con los objetos físicos como tales, sino con su relación con el dominio corporal. En otras palabras, los físicos, que investigan la estructura de las propiedades físicas de los objetos en cuestión no hallarán rastro alguno de esta dicotomía. Según los átomos se congregan en moléculas y las moléculas se unen en agregados macroscópicos, no hay punto ni línea mágica de demarcación que señale el comienzo del reino subcorpóreo. Pues, de hecho, esta noción se define solo con referencia al plano corporal. Y, por tanto, si tuviéramos ojos solo para el plano físico — y pudiéramos ver solo átomos y cosas similares— no habría forma de que pudiéramos diferenciar entre agregados subcorpóreos y transcorpóreos.

Esta distinción, no obstante, es de todas formas vital para la economía de la física. Pues está claro de lo que se dijo antes que los instrumentos de medición han de ser corpóreos. El proceso de la medición ha de terminar, después de todo, en el estado perceptible de un objeto corpóreo. Pero esto significa, a la luz de las consideraciones anteriores, que el instrumento *físico* es forzosamente subcorpóreo; para ser exactos, ha de ser el SI de un instrumento corpóreo I.

\* \* \*

Hay que señalar que, además de la medición, la física precisa de procedimientos empíricos que no terminan en el valor numérico de un parámetro físico, sino en algún tipo de representación gráfica. Los ejemplos son legión, y van desde los diversos telescopios y microscopios electrónicos hasta las cámaras de burbujas. Ahora bien, en todos estos casos un objeto o proceso físico de algún modo se convierte en una visualización pictórica — por ejemplo, una fotografía— que incorpora información sobre el objeto o proceso en cuestión. Y esta información, además, de nuevo es cuantitativa, aunque no específicamente numérica, si cabe decirlo así. En consecuencia, forzosamente se ha de distinguir entre la medición en sentido estricto —que culmina en un valor numérico, o en una «lectura de señalizador»— y un segundo modo de observación científica, al que (a falta de un término mejor) nos referiremos como «visualización». Ambos modos, claro está, se pueden combinar, como sucede por ejemplo cuando una fotografía —el término de una visualización— se emplea para efectuar la medición. Pero la simbiosis también puede ir en dirección contraria —como en el caso de las visualizaciones gráficas que incorporan los resultados de un conjunto de

mediciones—. Pese a la íntima interconexión que tienen ambos modos, sostengo que ninguno puede asimilarse o reducirse al otro sin violencia, lo que significa que la física necesita ambos<sup>[3]</sup>.

En vista de que los objetos físicos no son perceptibles, surge la pregunta de en qué sentido se puede hablar de una «visualización pictórica» de algo que, en principio, no puede percibirse. Es grande la tentación de considerar que el gráfico transmite una semejanza —tal como una fotografía corriente transmite la semejanza del objeto corpóreo que representa—. Pero ¿cómo puede hablarse de semejanza si nunca se ha visto el original, y si de hecho no puede verse en absoluto? Para decir que un retrato, por ejemplo, es semejante o no se necesita, a fin de cuentas, mirar al sujeto; pero, si en principio no se puede mirar al sujeto, entonces carece totalmente de «aspecto», con lo que no tiene sentido hablar de semejanza.

Tal es el caso cuando se trata de visualización. La semejanza en el sentido normal está fuera de duda. Pero si la semejanza corriente falla, aún ha de haber algún tipo de similitud, en ausencia de la cual no tendría sentido hablar siquiera de visualización. Hay, por consiguiente, una noción de semejanza que se aplica a la visualización, y no debería sorprender que la similitud en cuestión sea de forma matemática, de estructura abstracta. Todo estudiante de matemáticas sabe que a veces se pueden representar formas matemáticas en términos visuales; quienquiera que haya hecho un curso de cálculo o geometría analítica, por ejemplo, recordará que la gráfica de la función dada por la fórmula  $y = x^2$  es una parábola. Y también se entenderá completamente que la función como tal es imperceptible, así como que la gráfica no es simplemente una similitud en el sentido habitual. Al mismo tiempo, no obstante, se comprende que la gráfica en cierto sentido representa la función; después de todo, se puede ver, con la gráfica, que tiene un mínimo en  $x = 0$ , que la derivada se anula en ese punto, que el valor absoluto de la derivada incrementa con el valor absoluto de  $x$ , y así. Además, en principio se puede recuperar la función a partir de su gráfica; lo que equivale a decir que si ignoramos el hecho de que las ordenadas y las abscisas no pueden averiguarse en principio con una precisión arbitraria, se puede obtener de la gráfica el valor  $f(x)$  de  $f$  para cada  $x$ .

En el caso de la visualización científica, claro está, el objeto no es una entidad matemática sino física, de alguna clase; pero aún la entidad física tiene su propia forma matemática, y es esta forma, precisamente, la que se plasma. El caso de la visualización es, así pues, análogo al de la gráfica. Porque no hace falta decir que, si la entidad física fuera a tener, además, propiedades no matemáticas, estas no aparecerían en la visualización. En otras palabras, lo que la fotografía, digamos, puede tener en común con una radioestrella, o con un conjunto de partículas en interacción —o ya de paso,

con nuestra anterior esfera rígida— no puede ser ni más ni menos que una forma matemática.

Se puede dar un sinnúmero de ejemplos para ilustrar este punto básico. Considérese, por ejemplo, la fotografía de rayos X de un objeto sólido corriente. Si coordinamos la región de modo cartesiano y suponemos que los rayos X viajan paralelos al eje  $z$ , y que la placa fotográfica está colocada paralelamente al plano  $xy$ , entonces la misma fotografía se puede coordinar por  $x$  e  $y$ , y la densidad óptica  $f(x, y)$  de la emulsión (tras la exposición y el desarrollo) definirá cierta función  $f$ . Ahora bien, esta función  $f$  es, precisamente, lo que la fotografía comparte, por así decirlo, con el cuerpo en cuestión; pues, en efecto, si conociéramos la «densidad óptica» apropiada  $\delta(x, y, z)$  del objeto, la integración con respecto a  $z$  daría una «densidad óptica efectiva»  $\delta^*(x, y)$ , y conociendo  $\delta^*$  podría calcularse  $f$ . De otra parte, la utilidad de los rayos X deriva del hecho de que este cálculo se puede invertir: conociendo  $f$ , se puede obtener  $\delta^*$ . Podría decirse que el propósito de la visualización de rayos X es mostrar la función  $\delta^*$ . Discernimos  $\delta^*$  al examinar una transparencia de rayos X; se ve dónde  $\delta^*$  es pequeño o grande por la negrura o blancura comparada de la región, y se puede juzgar la inclinación de su incremento o disminución en varias direcciones<sup>[4]</sup>. Se puede efectivamente considerar la transparencia como una «gráfica» o función de dos variables, en la que los valores de la función se plasman con la «densidad de puntos».

Está claro que existen muchos otros tipos de visualización; y en concreto cabe decir que no hay razón por la que las coordenadas  $x$  e  $y$  de una visualización siempre hayan de representar dimensiones espaciales. A este respecto es instructivo el ejemplo conocido del osciloscopio. En su forma de funcionamiento más sencilla solo hay una entrada  $V(t)$ , donde  $V$  es un voltaje y  $t$  representa el tiempo. El monitor, entonces, mostrará la gráfica de la función  $V$  en la que la ordenada representa el voltaje (y así, también, aquello que el mismo voltaje de entrada pueda representar) y la abscisa representa el tiempo. Se pueden «ver», así, pulsos eléctricos, ondas sonoras, fluctuaciones de temperatura, o lo que sea que se haya representado con una entrada  $V(t)$ . Una vez más, puede emplearse el osciloscopio con dos entradas, como  $V(t)$  y  $W(t)$ , y dejar que el monitor muestre la relación entre  $V$  y  $W$  tal como se da por medio de una curva en el plano  $VW$ . No obstante, en todos los ejemplos de la visualización, lo que se muestra es una función o una relación más general; el sistema físico como tal, por otra parte, permanece invisible.

\* \* \*

Se ha de señalar que toda forma de observación científica —ya sea un caso de medición o de visualización— depende de la correspondencia entre un objeto corpóreo X y el objeto físico asociado SX. En otras palabras, depende de un acto de presentación (siendo X la presentación de SX). En general, el paso desde el dominio físico al corpóreo, que consume el proceso de observación, se ha de efectuar precisamente por el paso de SX a X; pues, de hecho, no sabemos de ningún otro enlace o nexo entre los niveles de existencia físico y corpóreo. Además, es evidente que los físicos experimentales se valen constantemente y por norma de esta conexión. Lo hacen, por ejemplo, cuando tratan un objeto corpóreo como si fuera un sistema físico, o al emplear entidades corpóreas para «preparar» un sistema físico de tipo transcórpóreo; y también, sin duda, cuando miden o visualizan objetos físicos.

Sin embargo, resulta que este enlace crucial no se reconoce en ninguna parte. Así, antes de nada, no aparece en los mapas de los físicos, por la sencilla razón de que tales mapas se refieren exclusivamente al dominio físico (y están forzados, por tanto, a excluir el enlace en cuestión). Tampoco hay aquí espacio alguno para nuestra acostumbrada imagen científica del mundo; pues esta *Weltanschauung* cartesiana o «clásica», como se sabe, se basa en el postulado de bifurcación. Por consiguiente, niega la existencia del dominio corporal y, así, también, que exista un enlace. Mas, reconocido o no, el enlace de presentación se encuentra ahí, y en efecto parece emplearse científicamente todo el tiempo. Para nada importa, al parecer, que no comprendamos este nexo, ni por medio de la física ni por indagación filosófica. ¿Acaso no se emplea mucho también la percepción sensorial, que no se comprende mejor?

Se reduce a esto: no puede haber conocimiento del dominio físico sin presentación, incluso tal como no puede haber conocimiento del mundo corpóreo en ausencia de la percepción sensorial. Está claro que no hay modo de convencer al escéptico empedernido de que el universo físico existe en primer lugar, por no decir que se puede conocer; y sin duda siempre es posible recaer en el reduccionismo positivista. Baste decir, no obstante, que no puede evitarse la idea de presentación —salvo a costa del universo físico—.

Aquí surge la pregunta: ¿qué podemos saber de un objeto físico con su presentación? Pese a que X y SX son tan diferentes como pueden serlo —piénsese en una bola de billar, por ejemplo, y en una nube de átomos— tiene que haber, con todo, cierta «similitud» entre ambos, sin la cual X no podría decirnos nada de SX; entonces ¿cuál es esa «similitud» o conexión? Pues bien, lo primero a señalar a este respecto es que X y SX ocupan exactamente la misma región del espacio —por extraño que pueda parecer—. [5] Pues en efecto, no tendría ningún sentido distinguir entre un espacio llamado corpóreo y un espacio físico, ya que el espacio físico no tendría significado salvo que

pudiéramos relacionarlo con el corpóreo, lo que no obstante solo puede hacerse mediante la presentación. Pero esto equivaldría a identificar ambos espacios, con lo que X y SX coincidirían espacialmente.

Pero esta coincidencia espacial implicaría que las nociones de distancia y ángulo —que se pueden definir, como se sabe, en términos de operaciones de varillas corpóreas de medición— se transportan al dominio subcorpóreo. Por tanto, cada descomposición de un objeto corpóreo X en partes corpóreas, corresponde a una descomposición congruente o geoméricamente isomórfica de SX. En suma, existe una «continuidad geométrica» entre X y SX<sup>[6]</sup>. Y es precisamente por esta continuidad geométrica que se pueden observar los objetos físicos. Gracias a la continuidad se puede, por ejemplo, averiguar el estado de un instrumento físico con la posición de un señalizador en una escala (no hace falta decir que es un señalizador corpóreo en una escala corpórea). O por decirlo en términos más generales: el estado de un instrumento físico, dado por su geometría interna —o más exactamente, por las posiciones relativas de sus partes subcorpóreas— se transmite al plano corpóreo a través de la presentación. Está claro que toda medición, así como toda forma concebible de visualización, depende de este hecho.

Una observación más: en virtud de la continuidad geométrica, la presentación constituye un modo de visualización. Constituye de hecho lo que podría llamarse el modo principal de observación, tratándose de que todas las demás formas de observación dependen de la visualización presentativa, como hemos señalado antes.

\* \* \*

Ya sea un caso de medición o visualización, un objeto físico se observa en sentido científico haciéndolo interactuar con un instrumento subcorpóreo; el efecto o desenlace de la interacción se transmite entonces al nivel corpóreo mediante la presentación. Sin embargo, no hay que pensar que para observar el objeto en cuestión simplemente baste con disponer del equipo adecuado, esperar que ocurra la interacción deseada y anotar el resultado. Pues en efecto, tal resultado puede no ser más que la lectura de un señalizador, una impresión numérica o algún tipo de visualización gráfica. Lo que el instrumento da, en otras palabras, son datos; pero esto no es lo que busca el físico. Los datos son un medio, evidentemente, pero no el fin del proceso observacional. Lo que busca el físico, obviamente es el objeto físico; o, mejor dicho: cierto conocimiento o captación intelectual de este. Y ello es algo que no puede dar ningún instrumento científico ni *modus operandi* empírico alguno.



La observación, por tanto, no se efectúa solo por medios empíricos. No puede haber observación genuina sin que entre en juego el aspecto teórico de la empresa. Cabe decirlo de esta forma: observar, en el sentido del físico, es pasar de lo perceptible a lo imperceptible —y solo la teoría puede salvar la brecha—. Como hemos señalado antes, la teoría y el experimento van de la mano. Ambos constituyen un solo acto cognitivo, un solo «modo de conocer».

Estrictamente hablando, no existe tal cosa como un «hecho empírico» —en tanto que, claro está, el término se comprenda excluyendo el papel concomitante de la teoría—. No obstante, la circunstancia de que nada en el dominio físico puede medirse o visualizarse sin ayuda de premisas teóricas no sirve en realidad para poner en duda la validez de los hallazgos empíricos, sino para hacer que la teoría sea más cierta y de hecho más «evidente» de lo que resulta comúnmente. Así, la acostumbrada noción de que los principios teóricos son meras «hipótesis» hasta que se hayan verificado por medio de experimentos, es exagerada y algo engañosa, pues resulta que los supuestos «hechos concretos de la observación» pueden no tener, en principio, más certeza que las supuestas hipótesis en las que se basan.

Aquellos que afirman superficialmente que en física no se trata más que de «meras hipótesis» no parecen apreciar el hecho de que el intelecto juega un papel por derecho y de lo más necesario en el proceso científico. No solo la razón, ni la capacidad de pensamiento lógico, sino el intelecto en el sentido antiguo y tradicional de facultad de visión inmediata cuyos objetos son las «formas inteligibles». Se tiene todo el derecho a suponer, además, que los grandes físicos no solo estaban bien dotados a ese respecto, sino que supieron muy bien hacer uso de tan elevada facultad en el curso de sus indagaciones. En el mejor de los casos, por tanto, las premisas emplazadas por los fundadores pueden tener en efecto una especie de validez *a priori* que nuestra sabiduría de manual considera imposible.

Esto recuerda un incidente en la vida de Albert Einstein que lo expresa elocuentemente. En 1919, el Astrónomo Real de Inglaterra acababa de anunciar, en una apretada reunión de la Real Sociedad, que las placas fotográficas expuestas en el famoso eclipse habían confirmado la predicha flexión de la luz. Enviaron un telegrama a Berlín y alguien irrumpió en el despacho de Einstein para dar las noticias, pero el gran científico parecía totalmente indiferente. «¿Qué habría pensado usted si su teoría hubiera sido desaprobada?», preguntó la joven. Y la respuesta fue: «En ese caso, habría tenido lástima del anciano».

El gran hecho es que el universo físico no es, después de todo, una contingencia rotunda. A diferencia de lo que han estado predicando los nominalistas durante siglos, lo que otorga al particular su medida de ser es «el universal en el particular», lo que además coincide con su «aspecto

inteligible». Y esto implica que la física en realidad se ocupa, no de existentes particulares como tales, sino de particulares en tanto que muestran un principio universal o ley. El resto permanece necesariamente desconocido. Así, lo que busca el físico, y lo que puede captar a su propia manera, es lo necesario en lo contingente o, como también puede decirse, lo eterno en lo efímero.

Se comienza, si se quiere, con lo contingente en forma de datos empíricos. El conjunto de datos, no obstante, tiene interés precisamente porque de algún modo refleja o encarna un principio universal: es esto lo que el modelo o representación busca capturar, por así decirlo. Pero, aunque el principio, en cierto modo, se ejemplifica con los datos, de ninguna manera se revela, determina o se nos impone a la fuerza por ello. La representación constituye, así, «una creación libre del espíritu humano»<sup>[7]</sup>, por decirlo con las palabras de Einstein —lo que no significa, claro está, que sea meramente subjetiva o completamente arbitraria—. Pues en efecto, lo que muestra la representación es, a su manera, un principio objetivo que se ejemplifica en los datos, tal como hemos dicho: el mismo principio, de hecho, que en primer lugar se ejemplifica en el objeto físico mismo. Un mismo principio, pues, se refleja en tres niveles diferentes: en el objeto físico, en el conjunto de datos y en el modelo o representación. Y esta es la razón, después de todo, por la que el objeto físico es cognoscible. Brevemente dicho, conocemos el objeto por medio del principio, y el principio mediante la representación, a la que a su vez se llega a través del conjunto de datos.

No obstante, es necesario comprender que el paso del conjunto de datos a la representación no se efectúa solo por medio del razonamiento. No se llega a las «creaciones libres» de Einstein simplemente con la lógica, o siguiendo un conjunto de reglas; no es una tarea que pueda realizar un ordenador. Y, estrictamente hablando, la misma captación del modelo o representación entraña cierta visión intelectual, con lo que involucra al intelecto en sentido genuino. El acto intelectual, además, por el cual «percibimos» la representación, provee al mismo tiempo cierta captación del principio mismo. En cierto sentido, por tanto, el físico «ve» los objetos físicos con los que trata: los «ve» por medio de su representación, y así, en su principio o «aspecto inteligible».

Pero eso es precisamente lo que quienes hablan superficialmente de «meras hipótesis» no han podido comprender: pues en efecto, en lo que concierne a «ver», está la posibilidad de «ver verdaderamente», y también de la certeza. En cierto sentido, después de todo, «ver es creer». Y ¿no es esta la razón, finalmente, por la que Einstein podía estar despreocupado? ¿No había visto el principio? Deducimos que este era de hecho el caso, lo que explica y justifica a la vez la respuesta lacónica de Einstein («En ese caso, habría tenido lástima del anciano»).

Cabe objetar que en tanto que las teorías físicas son, forzosamente, aproximaciones, no se puede por tanto suponer que ofrezcan algún conocimiento cierto de los objetos físicos, o que se pueda haber llegado a él por un acto intelectual casi infalible. Pero ¿por qué no? Se ha de recordar, en primer lugar, que el universo físico se presenta en varios niveles que corresponden a la naturaleza y precisión de los instrumentos con los que se observa. No hay nada incongruente en la suposición de que cada nivel muestre sus propias leyes o «formas matemáticas» —en tanto que, claro está, las leyes asociadas con un nivel no contradigan las de otro—. Concretamente, si el nivel A resulta ser más fundamental o «preciso» que el nivel B, entonces las leyes conocidas pertinentes a B deberían seguirse de las leyes pertinentes a A —como de hecho siempre parece ser el caso—. La mecánica newtoniana, por ejemplo, se puede derivar de la relativista si asumimos que las velocidades son pequeñas en comparación con la velocidad de la luz; o la termodinámica de cristales se puede obtener a lo Boltzmann a partir de la mecánica clásica de partículas, que a su vez puede concebirse como un caso límite de la mecánica cuántica; y así sucesivamente. Es cierto que desde el punto de vista del nivel A, las leyes pertinentes al nivel B son aproximadas; pero esto en lo más mínimo implica que las formas matemáticas en cuestión sean «meramente subjetivas» —no más que el hecho de que una rueda, digamos, no sea un círculo perfecto, implica que su forma circular o «circularidad» sea, por ello, ficticia—. En otras palabras, si las formas matemáticas no están existenciadas en el ámbito físico con «absoluta fidelidad», ello no permite concluir de ningún modo que no estén ahí existenciadas en absoluto. En suma, encontramos que cada teoría principal se aplica en su dominio propio, y que los fundadores, después de todo «ven verdaderamente». Donde pueden haber errado, de otra parte, es en suponer que las leyes en cuestión se aplican sin restricción alguna. Newton, por ejemplo, no anticipó a Einstein, y a su vez este, como sabemos, tuvo gran dificultad en admitir el reino cuántico. Puede que todos los físicos verdaderamente influyentes tiendan a extender su visión más allá de sus marcos legítimos.

Si el universo físico, de alguna manera, no encarnase o reflejase formas matemáticas, simplemente sería ininteligible, y la física no existiría. De ahí que encarne o refleje formas matemáticas, y que de hecho esté constituido por estas mismas formas: por su «estructura matemática», precisamente.

\* \* \*

Lo física trata, a fin de cuentas, con estructuras matemáticas existenciadas. No obstante, hay que admitir que tanto laicos como expertos invariablemente tienden a revestir estas entidades matemáticas de formas imaginarias más o

menos concretas, derivadas sin duda de la experiencia sensorial. O, mejor dicho, necesitamos en efecto revestir estas entidades intangibles con imágenes sensoriales de una u otra clase para ponerlas al alcance, por así decirlo, de nuestras facultades mentales. Cuando se trata de matemáticos o físicos informados, además, este procedimiento es perfectamente cabal y juega, de hecho, un papel vital en la comprensión de estructuras y relaciones de tipo matemático. En manos expertas, la forma concreta se hace símbolo —un catalizador de intelección, por así decirlo—. Los teóricos consumados saben perfectamente cómo extraer de las imágenes concretas formas abstractas que puedan guardar analogías con las estructuras matemáticas que desean comprender. Han aprendido a hacerse con lo que es esencial y a descartar el resto. Este es, en efecto, el «arte oculto» que necesita dominarse. Siguiendo un aprendizaje más o menos amplio uno se hace capaz de emplear mentalmente lo que, en un sentido amplio, se pueden llamar «ayudas visuales», que pueden ir desde imágenes sencillas de entidades materiales a cosas como gráficas y diagramas, sin olvidar que hasta las fórmulas matemáticas necesariamente comportan aspectos visuales y sintácticos que tienen papeles que jugar<sup>[8]</sup>. Puede así decirse de las matemáticas y la física, no menos que de cualquier otra empresa humana, que «ahora vemos a través de un cristal, oscuramente»; hablando en términos generales, las formas sensoriales sirven como «cristal».

No obstante, emplear imágenes o soportes sensibles fácilmente puede hacerse ilegítimo al convertirse en una especie de idolatría intelectual. Todo depende de si se comprende la diferencia entre una representación visual — que los escolásticos llamarían una «ilusión»— y el objeto físico o matemático que de algún modo se supone que representa. El error se da en cuanto se confunde la imagen con el objeto; cuando las ilusiones se confunden con la realidad, el resultado es la fantasía. Pero, a decir verdad, la línea se cruza de continuo tan fácilmente que puede ser más realista hablar, no de conocimiento en contraste con la pura fantasía, sino de grados. La distinción lógica, no obstante, entre el empleo «simbolista» y el «concreto» de las ilusiones retiene toda su validez y sus derechos, independientemente de la debilidad humana.

De manera que hay grados de comprensión, y ni siquiera los físicos están exentos, para nada, de esta tendencia a concretar. En otras palabras, de vez en cuando se inclinan a «cosificar» los objetos físicos (como diremos de aquí en adelante) al aceptar más o menos ingenuamente los soportes visuales; y se podría incluso argüir que, por regla, cosifican de este modo con mucha libertad siempre que las ilusiones en cuestión no entren en conflicto demasiado flagrante con las exigencias lógicas o matemáticas de sus teorías. Y con todo, hasta la cosificación más aparentemente inocua siempre es ilegítima; a diferencia del empleo genuinamente simbolista de soportes visuales, se proyectan así espuriamente cualidades sensibles en un dominio

donde tales cualidades no tienen lugar. Por decirlo de alguna manera, la cosificación «corporifica» lo que es inherentemente incorpóreo y, con ello, confunde el plano físico con el corpóreo.

No puede negarse que hubo mucha cosificación durante toda la era newtoniana. Había, antes de nada, mecánicas de cuerpos rígidos y no rígidos, de objetos subcorpóreos, por tanto, que sin duda se cosificaban continuamente siendo identificados con las correspondientes entidades corpóreas. También estuvo, sin duda, la gravitación, que no se podía tratar de este modo; pero tal circunstancia se percibía como una anomalía. El mismo Newton trató (en su *Óptica*) de explicar la fuerza gravitacional en términos del gradiente de presión de un hipotético fluido interplanetario; pero también reconoció con admirable claridad que en un sentido técnico o computacional la cuestión no tenía ninguna relevancia para la física. En el cálculo del movimiento de cuerpos bajo la acción de la fuerza gravitacional, lo único que importa es la ley matemática que describe cómo una «partícula de masa» afecta a otra; y Newton tuvo buena razón para suponer que su propia ley de gravitación había zanjado esta cuestión de una vez por todas.

No obstante, no se sació el anhelo de explicaciones mecanicistas. Fue una era en la que los hombres de ciencia miraban expectantes a la mecánica como si fuera la clave para desentrañar simplemente todo fenómeno; y esa *Weltanschauung*, como sabemos, tuvo sus victorias. Además de sus primeros descubrimientos —las leyes del movimiento, la gravedad y la consiguiente explicación de las órbitas planetarias—, el propio Newton fue pionero en acústica que, en efecto, redujo el sonido a ser un fenómeno de mecánica continua, y comenzó al menos a especular —bastante correctamente— que la temperatura y el calor tenían que ver con la «agitación vibratoria de las partículas». No carece de interés señalar que una segunda teoría del calor, menos feliz pero no menos mecánica que la newtoniana, apareció aproximadamente al mismo tiempo y fue ampliamente acogida durante unos doscientos años. Según esta perspectiva, el calor supuestamente era el fluido «sutil, invisible y sin peso» llamado flogisto, que se pensaba que de algún modo impregnaba los cuerpos y fluía de las regiones cálidas a las frías, tal como los fluidos ordinarios fluían en un gradiente de presión. No fue sino hasta el final del siglo diecinueve que el flogisto finalmente se abandonó a favor de la teoría newtoniana, gracias al trabajo de Joule y Helmholtz.

Aparte de las diversas ramas de la mecánica —incluyendo la todavía problemática teoría del calor— la física newtoniana también abarcó la óptica como rama de investigación más o menos independiente. Nadie albergó dudas serias de que este dominio también llegaría a entenderse en términos mecánicos, y de hecho existieron dos modelos mecánicos —el modelo ondulatorio de Huygens y la teoría corpuscular de Newton— que pretendían explicar el fenómeno de la luz.

También hubo una química rudimentaria a la que Newton, por su parte, dedicó un esfuerzo inmenso. Lo que sucede es que no había la menor posibilidad, entonces, de explicar los fenómenos químicos en términos matemáticos, por no decir mecánicos —lo que, sin duda, es la razón por la que Newton jamás publicó ningún tratado independiente sobre el tema—. Tal como, no obstante, se esperaba, Newton y sus colegas se inclinaron fuertemente hacia una teoría mecánica de átomos que pronto llegó a considerarse en círculos más amplios como un dogma de ciencia indiscutible. Tal como dijo Voltaire, con su aplomo característico:

Los cuerpos más duros se miran como si estuvieran llenos de agujeros, como cribas y, de hecho, eso es lo que son. Se reconoce que los átomos son los principios indivisibles e inmutables a los que se debe la permanencia de los diferentes elementos y de las diferentes clases de seres<sup>[9]</sup>.

Se ha de señalar, por último, que además de la mecánica y la óptica —junto al atomismo imaginado— los newtonianos también estaban versados en rudimentarios fenómenos eléctricos y magnéticos<sup>[10]</sup>. Sin embargo, por diversas razones se avanzó poco en ese dominio hasta el siglo diecinueve, cuando los medios requeridos se hicieron disponibles y prosperó la investigación, que culminó en la magnífica teoría de Faraday y Maxwell. Y con el descubrimiento del campo electromagnético, la visión mecanicista comenzó a declinar. El concepto de estructura pura, de forma matemática, suplantaría las nociones mecánicas de la época newtoniana. Pero la transición fue gradual. El propio Maxwell concibió el campo electromagnético según líneas mecánicas en términos de un éter —otro fluido «sutil, invisible y sin peso», no diferente al desafortunado flogisto— y esta perspectiva se aceptaría ampliamente durante varias décadas. En retrospectiva, podemos ver que en la comunidad científica seguía estando en vigor un potente prejuicio a favor de las explicaciones mecánicas y, por lo visto, la derrota de esta empedernida propensión requirió toda la fuerza de refinados experimentos junto al atrevido genio de Einstein. No obstante, la transición se llevó a cabo, y hoy en día hemos reconciliado el campo electromagnético, por ejemplo, como entidad física por derecho propio, «estructura» que no puede reducirse a categorías mecánicas.

Pero aun si hemos abandonado el éter y ya no anhelamos modelos mecánicos, seguimos necesitando soportes sensibles. Por lo tanto, es indudable que el campo electromagnético, no menos que ningún otro objeto físico, no se concibe en términos mecánicos, sino en base a representaciones apropiadas de tipo visual. Todo estudiante sabe que el campo eléctrico en un

punto viene dado por un vector, una entidad matemática que, al tener longitud y dirección, se puede representar con una flecha —preferiblemente pequeña— que se puede localizar convenientemente en el punto en cuestión. Existe la inclinación de colocar la flecha con su «cola» exactamente en el punto P. Con un poco de esfuerzo, ahora podemos representar un campo eléctrico en un momento dado como una distribución tridimensional de tales flechas, que cambian de longitud y dirección según lo exija la teoría matemática. Se puede hacer lo mismo para el campo magnético y, por tanto, para el electromagnético, que requiere así vincular *dos* flechas en cada punto, que corresponden a los componentes eléctrico y magnético del campo. Para facilitar más nuestra comprensión, podemos incluso pensar que los vectores eléctricos son rojos y los magnéticos azules, artificio que permite producir imágenes impresionantes de ondas electromagnéticas<sup>[11]</sup>. No sugiero, claro está, que alguien pueda ser tan simple como para creerse literalmente la noción de «vectores rojos y azules»; lo que quiero decir, más bien, son dos cosas. En primer lugar, ha de admitirse que al menos en el plano mental, las representaciones de esta clase general son necesarias y de hecho legítimas como soportes sensoriales para el concepto de campo electromagnético. Y siendo este el caso, en principio es posible —y de hecho bien fácil— cosificar el campo electromagnético; a ese respecto basta con olvidar que un vector eléctrico o magnético en P no es de hecho una flecha, sino algo de una clase totalmente diferente que, de hecho, no se puede «dibujar» en absoluto —salvo, claro está, mediante un artificio, como el de la flecha—. En pocas palabras, hay que dar un salto, y no siempre es fácil saber, desde fuera, si alguien «mira al dedo o a la luna».

Se podría argüir desde un punto de vista lo bastante pragmático que ello apenas importa; y suele ser cierto. En este ejemplo, no obstante, resulta que la cosificación indicada del campo electromagnético es inadmisibles incluso desde el punto de vista técnico, por el hecho de que los vectores eléctricos y magnéticos no son invariantes de Lorentz. En otras palabras, la descomposición del campo electromagnético en componentes magnéticos y eléctricos depende de la elección del marco de referencia. Y lo único invariable, por tanto, objetivamente real, resulta que no son un par de vectores en un espacio tridimensional, sino lo que se llama una 2-forma exterior en un espacio de cuatro dimensiones. Mientras tanto, nuestros «vectores rojos y azules» retienen, no obstante, su validez y utilidad como representación del campo electromagnético —mientras se comprenda que tal imagen no se ha de entender literalmente, y que incluso en sentido formal solo se aplica a una clase de marcos de referencia muy específica—. En lo que concierne a la 2-forma exterior, también precisa soportes visuales, pero no existe ninguna «imagen» ni representación concreta del espacio y tiempo ordinarios con la

que se pudiera identificar este objeto matemático. En suma, el campo electromagnético no se puede cosificar al modo de un invariante de Lorentz.

Lo mismo se aplica, en efecto, a otras estructuras invariantes de Lorentz, y así, a la física relativista en general. Y esto, sin duda, es la principal razón por la que la relatividad nos parece tan abrumadora: es «difícil» ya que no se puede cosificar con impunidad. Cuando se trata del mundo microscópico, además, sucede lo mismo incluso si se omite el requisito del invariante de Lorentz, en tanto que el dualismo onda-partícula evidentemente prohíbe la cosificación de las supuestas partículas. Pues, de hecho, estos objetos no se pueden plasmar consistentemente como partículas, porque en el contexto de ciertos experimentos se comportan como ondas; y por la misma razón, no pueden dibujarse como ondas. Por consiguiente, no se pueden representar en absoluto —y esto es precisamente lo que nos desconcierta.

Lo que ha ocurrido en nuestro siglo es que la física ha sido llevada en su propio terreno a rechazar interpretaciones ingenuas y a mantener una postura rigurosamente simbolista con respecto a las representaciones concretas. O, mejor dicho, se la ha obligado a mantener tal postura en el dominio de las altas velocidades y, sobre todo, en el mundo microscópico. De otra parte, cuando se trata del dominio físico macroscópico ordinario, sigue apareciendo la tendencia a cosificar, incluso en autores que se extienden sobre el tema de la «extrañeza cuántica» —¡como si  $10^{24}$  átomos se pudieran dibujar más fácilmente que uno!—. Aún falta que se admita que hay una diferencia ontológica entre los dominios físico y corpóreo, y que la brecha no se puede cubrir con la mera agregación de supuestas partículas.



### III

## MUNDO MICROSCÓPICO E INDETERMINACIÓN

Es muy diferente hablar de un objeto físico genérico —como «el campo electromagnético», por ejemplo— que de un objeto físico específico que exista concretamente y pueda realmente observarse. Y la diferencia es que en tanto que el objeto genérico se determina únicamente por un modelo matemático o representación, el otro está sujeto, además, a determinaciones empíricas. En otras palabras, se trata de un objeto con el que ya hemos establecido cierto contacto observacional. Por ejemplo, podemos hablar del planeta Júpiter porque de hecho ha sido visto o detectado; y así, podemos buscar el planeta Plutón (que se descubrió en 1930) porque también se había observado ya, sin duda no directamente, sino por sus efectos sobre otros planetas.

Hay, claro está, grados de especificación; no obstante, la diferencia entre genérico y específico, que resulta crucial, está bien definida. Porque tenemos que la física trata, primero, y ante todo, con objetos físicos de tipo «específico»: tales son sus objetos «reales», podría decirse, que son diferentes de entidades (como «el campo electromagnético») que existen en algún sentido abstracto, idealizado o puramente matemático. Los objetos «reales» de la física, por tanto, son entidades que no solo pueden observarse en algún sentido adecuado, sino que, de hecho, ya se han observado. Como Júpiter o Plutón, han sido especificados hasta cierto punto por un conjunto de observaciones. Emplearé el término «especificación» para referirme al acto o actos empíricos que especifican un objeto físico; y con esta comprensión se puede decir, en efecto, que un objeto no es específico hasta que ha sido especificado<sup>[1]</sup>.

Consideremos ahora algunos ejemplos de especificación. En el caso de objetos subcorpóreos es normal o natural especificar SX mediante el correspondiente objeto corpóreo X, lo que equivale a decir: por medio de presentación. Por otra parte, también se puede especificar un objeto subcorpóreo SX por medios más indirectos —como, por ejemplo, el caso antes citado de Plutón—. Habiéndose especificado por cualesquiera medios,

el objeto se puede especificar más, claro está, con determinaciones adicionales; la especificación, como hemos dicho, está sujeta a grados.

Mientras que los objetos subcorpóreos pueden en efecto especificarse por presentación (o, mejor dicho, solo por presentación), esa opción no existe para objetos transcorpóreos, como átomos, por ejemplo, ni para partículas elementales. Así, cuando se trata de objetos transcorpóreos, la especificación necesariamente procede en dos etapas: primero, el objeto ha de interactuar con una entidad subcorpórea, que a su vez se observa (o se hace observable) mediante presentación. Considérese, por ejemplo, un campo electromagnético producido en laboratorio: en primer lugar, el campo interactúa con el aparato científico por el que se genera; y este aparato (concebido ahora como un objeto subcorpóreo) se puede entonces observar por medio de presentación. O, de nuevo, un contador Geiger registra la presencia (dentro de su cámara) de una partícula cargada. La partícula entra en la cámara y produce una descarga eléctrica, que entonces se registra de algún modo en el nivel corpóreo (quizá en forma de un chasquido audible, o en la lectura de un señalizador). Pues bien, esta cadena de sucesos constituye, evidentemente, la especificación de la partícula. Se puede hablar de aquí en adelante de la «partícula X» —aun cuando no fuese posible restablecer más contacto observacional con ella—. Por otra parte, con ayuda de una instrumentación más compleja, el experimentador no solo puede establecer contacto observacional inicial con la partícula, sino también continuarlo con observaciones adicionales. En otras palabras, habiendo especificado la «partícula X», puede someterla a mediciones ulteriores —como hizo, por ejemplo, Hans Dehmelt, reciente premio Nobel, que se las arregló para «apresar» un positrón en la llamada trampa de Penning durante tres meses, pudiendo observar la partícula dada (apodada «Priscila») hasta grados de precisión sin precedentes—.

Pero, en cualquier caso, lo que ahora nos ocupa es el siguiente hecho general: ya se esté tratando con una partícula fundamental o con la entidad subcorpórea más sencilla, no se puede hablar de un objeto físico X hasta que se haya establecido cierto contacto observacional inicial con X. Los objetos físicos no «crecen en los árboles», simplemente: en primer lugar, se han de «especificar» en el sentido técnico que hemos dado a este término.

\* \* \*

Ahora surge la pregunta de si se puede especificar un objeto físico tan completamente que se pueda predecir el desenlace de todas las observaciones adicionales, o en cualquier caso determinarse por adelantado. Hará falta, no obstante, reformular ligeramente esta pregunta, después de introducir algunas distinciones más. De acuerdo con el uso aceptado, emplearé el término

«sistema» para designar la representación abstracta o matemática de un objeto físico. Un objeto físico, concebido en términos de una representación dada, se puede entonces denominar sistema físico. Además, es la representación o sistema abstracto lo que define los observables: las cantidades asociadas al sistema físico, que en principio se pueden determinar por medios empíricos. En otras palabras, qué es observable y qué no, no depende simplemente del objeto, sino del modo en el que este se concibe. Por ejemplo, una bola de billar, considerada como una esfera rígida, admite un número indefinido de observables más bien rudimentarios (comenzando con su masa, diámetro y coordenadas de posición y velocidad); de otra parte, si esa misma bola de billar se concibe como un conjunto de átomos, entonces admite muchos más observables. La especificación se refiere, consiguientemente, al sistema físico, diferenciado del objeto como tal. Dado un sistema físico y un subconjunto de sus observables, se puede decir que puede especificarse tal subconjunto si es posible medir todos sus observables (de modo que, al término del experimento compuesto, se conozcan los valores de todos esos observables). La pregunta antes planteada se puede reformular así: dado un sistema físico, ¿existe un subconjunto especificable de sus observables cuya determinación experimental determine los valores de todos los demás observables del sistema? En otras palabras ¿es posible dejar completamente determinado un sistema físico mediante especificación? Hoy se sabe, a la luz de la teoría cuántica, que hay que responder a esta pregunta negativamente. En realidad, no hay tal cosa como un sistema físico completamente determinado (del que se puedan predecir los valores exactos de todos los observables). Y esto no es así simplemente porque no podemos controlar o monitorizar las fuerzas externas con la precisión requerida, sino que se debe igualmente a cierta indeterminación residual que es intrínseca al propio sistema físico y que no se puede disipar por mucha especificación que se haga.

Por otra parte, mientras se trate de sistemas físicos a gran escala lo bastante sencillos, puede que los efectos de tal indeterminación residual no sean mensurables, o pueden ser tan pequeños como para que no jueguen ningún papel significativo<sup>[2]</sup>. En sentido formal y aproximado, por tanto, se puede hablar de un sistema físico determinado; y estos son, sin duda, los sistemas que conciernen a la física clásica y a los que se aplica. Tal sistema se puede entonces describir o representar en términos de un conjunto completo de observables —un conjunto en términos del cual se pueden describir o representar todos los demás observables—. Y esto significa que ya no necesitamos distinguir entre el sistema como tal y sus observables; en efecto, se puede identificar al sistema con un conjunto completo de observables. ¿Qué es, por ejemplo, un campo eléctrico concebido clásicamente? Es una distribución continua de vectores eléctricos: es decir, ¡de observables!

Además, tal reducción del sistema a un subconjunto de sus observables está implicada de hecho en el mismo formalismo de la física precuántica, que trata exclusivamente relaciones funcionales entre cantidades observables. Un sistema físico clásico, pues, no es más que una distribución en el espacio y el tiempo de ciertas magnitudes observables escalares o tensores<sup>[3]</sup>.

Allí donde hay indeterminación, por otra parte, el formalismo clásico se viene abajo. Es preciso, entonces, diferenciar categóricamente entre el sistema físico  $S$  y sus observables, de entre las cuales no todas se pueden en principio determinar por especificación. La reducción clásica (del sistema a sus observables) por consiguiente solo es admisible en lo que se podría llamar el límite clásico: es decir, bajo condiciones que garanticen que los efectos de la indeterminación no juegan un papel mensurable o significativo. Fuera de este límite, o de este dominio restringido, la física requiere un formalismo que no sea clásico, y tal necesidad fue brillantemente cubierta en 1925 con el descubrimiento de la mecánica cuántica. El nuevo formalismo, como sabemos, diferencia entre el sistema y sus observables, y sobre esta base nos permite hacer la física frente a la indeterminación.

\* \* \*

Suele hacerse una distinción entre el llamado mundo microscópico y el macroscópico —como si el universo físico pudiera, de algún modo, dividirse en dos subdominios que respondan respectivamente a estas designaciones—. Se podría preguntar, claro está, simplemente cuántos átomos o partículas subatómicas hacen falta para pasar del mundo microscópico al macroscópico; pero entonces, ¿a qué se debería tal distinción en primer lugar? Pues bien, la cuestión parece ser que los sistemas a «gran escala», llamados macrosistemas, se supone que se prestan a descripción en términos más o menos «continuos». Consisten, pues, en agregados a los que cabe aproximarse efectivamente con modelos clásicos. Sin embargo, hay que comprender con claridad que la distinción entre agregados «grandes» y «pequeños» no tiene ningún significado ontológico. Dicho de otro modo: la noción de macrosistema, en concreto, pertenece al reino práctico o pragmático; tiene que ver con grados de aproximación y con la factibilidad de ciertos modelos simplificados. En realidad, no obstante, todo objeto físico constituye un microsistema —por estar compuesto de átomos o partículas fundamentales—. El mundo microscópico, pues, lejos de constituir un subdominio, coincide realmente con la totalidad del universo físico.

Mientras tanto, la escala tiene su significado. La cuestión, no obstante, no es que la realidad física de algún modo se torne extraña «en lo pequeño», sino que es forzoso, al movernos hacia lo pequeño, descartar modelos idealizados

para tratar finalmente con el objeto físico como agregado de partículas fundamentales. La circunstancia de que los objetos físicos sin excepción están realmente compuestos de estas llamadas partículas más pequeñas significa que la física de tales «partículas» es, de hecho, la física fundamental. Así pues, precisamente en los dominios atómico y subatómico la física está obligada a descender, por así decir, a su propio nivel fundamental.

No obstante, persiste la creencia de que el universo físico se hace cada vez más «extraño» según nos acercamos a las dimensiones atómica y subatómica. Los objetos grandes, supuestamente, se comportan de una manera más o menos familiar y razonable, mientras que los átomos y las partículas actúan de los modos más extravagantes. Tanto, de hecho, que según algunas autoridades, incluso las leyes acostumbradas de la lógica dejan de aplicarse en ese asombroso dominio. Sin embargo, de lo que hemos dicho antes resulta que los llamados objetos a gran escala de la física son en realidad tan «extraños» como los electrones o los quarks; lo que sucede es que cuando se trata de los primeros, suele permitírseles ignorar su extrañeza, por así decirlo, al concebirlos en términos de modelos clásicos —de la clase que de hecho responde más o menos a las exigencias de nuestra imaginación o sentido común—. Lo que nos es, así, en cierto modo conocido, no obstante, son precisamente los modelos, no los objetos mismos. Y se podría añadir que incluso el primero se dirige a nuestra imaginación solamente porque sin demora se da el paso de identificar de un modo u otro el modelo clásico con algún tipo de objeto corpóreo; en otras palabras, tras pasar al límite clásico, se cosifica. Y entonces, finalmente —habiendo vuelto a la seguridad, por así decirlo, a la *terra firma* del dominio corpóreo— encontramos lo conocido; pues, en efecto, para nosotros lo conocido no es sino lo perceptible.

Mientras tanto, el mundo microscópico —y así, el universo físico en general— ciertamente es «extraño» en el sentido de que no se puede percibir ni imaginar; pero no es «extraño cuántico» en el sentido más o menos popular. Por ejemplo, para nada es cierto que el electrón a veces sea una partícula y otras una onda, o que sea de algún modo partícula y onda al mismo tiempo, o que «salte» erráticamente de un lugar a otro y esa clase de cosas. Pues, de hecho, esta clase de «extrañeza cuántica» deriva, bien sencillamente, de que no se sabe diferenciar entre el microsistema como tal y sus observables (el electrón, en este ejemplo, y su posición, impulso y otras variables dinámicas). En efecto, se tratan estas últimas como si fueran atributos clásicos del electrón, lo que no son y no pueden ser. Dicho de otro modo, se proyectan espuriamente los resultados de mediciones específicas claras que interfieren sobre el electrón mismo, el cual por ello parece combinar atributos que son lógicamente incompatibles. Así, resulta que el electrón puede parecer ser tanto onda como partícula, o entregarse a un ejercicio de «saltos» que, en efecto, desafía el entendimiento. Puede decirse

que esta clase de «extrañeza cuántica» resulta de un realismo acrítico y espurio —un realismo que, en efecto, confunde los planos físico y corpóreo—.

La interpretación prevalente de Copenhague, por otra parte, evita este escollo abandonando enteramente todo realismo con respecto al mundo microscópico. «No hay ningún mundo cuántico», dijo Bohr; y aunque se ha discutido mucho lo que Bohr quiso decir exactamente con esta citadísima declaración, los copenhagueños por norma retroceden ante la concepción demasiado realista de los sistemas microfísicos. Su tendencia dominante parecería que es mantenerse lejos de problemas, por así decirlo, recurriendo a una postura básicamente positivista con relación al mundo microscópico.

Para nosotros, por otra parte, el mundo microscópico es objetivamente real, tanto, en efecto, como el universo físico en general, con el que de hecho coincide.

\* \* \*

Se ha dicho a menudo que el mundo microscópico es indeterminista<sup>[4]</sup>, y presumiblemente tal afirmación se basa en el principio de incertidumbre de Heisenberg o en el fenómeno de indeterminación, que equivale a lo mismo. Aunque queda la pregunta de si la incertidumbre —o indeterminación— de Heisenberg implica indeterminismo.

Para empezar, señalemos que la incertidumbre de Heisenberg no se refiere al mundo microscópico o universo físico como tal, sino a los resultados de mediciones, y por tanto a la transición del plano físico al corporal. En el plano del propio mundo microscópico, de otra parte, no hay tal cosa como la incertidumbre de Heisenberg. Por ejemplo, no se puede decir que la posición o impulso de un electrón sea incierta o indeterminada, por la sencilla razón de que un electrón —en y por sí mismo— no tiene posición alguna, ni tampoco impulso. En jerga técnica se describe con un vector de estado, que por regla no será el vector propio de ningún observable.

Así pues, ¿qué suele decirnos de un observable el llamado vector de estado de un sistema físico? Básicamente nos dice dos cosas, ambas probabilísticas, que por tanto tienen un contenido empírico estadístico. Así, en primer lugar, el vector de estado determina un valor esperado, es decir, el valor medio del observable a lo largo de un número suficientemente grande de observaciones —concepto que puede, en efecto, interpretarse en términos precisos—. Y, en segundo lugar, el vector de estado determina lo que se llama la desviación estándar, otra cantidad probabilística que nos dice, hablando aproximadamente, cuán cercanos estarán —en promedio— los valores

observados con respecto a los esperados. Y a esta noción, no hace falta decirlo, de nuevo se le puede dar un sentido estadístico preciso.

Ahora bien, recordemos que el principio de incertidumbre de Heisenberg tiene que ver con las desviaciones estándar  $\Delta p$  y  $\Delta q$  que se asocian a conjugados observables  $p$  y  $q$ . Lo que afirma el principio, de hecho, es que

$$\Delta p \Delta q \geq h/2\pi,$$

donde  $h$  es la constante de Planck. Esto constituye una afirmación matemática precisa que puede derivarse de los axiomas de la teoría cuántica e interpretarse empíricamente en términos de conjuntos estadísticos.

La teoría cuántica se apoya en el hecho de que el vector de estado —o equivalentemente, el sistema físico—, aunque generalmente no determina los resultados de mediciones individuales, en cualquier caso determina su distribución estadística. Mientras tanto, no obstante, no hay nada en absoluto «incierto» sobre el sistema físico como tal. El caso es, en efecto, análogo al de una moneda, que al tirarla puede dar «cara» o «cruz». Aquí, también, el hecho de que no se pueda decir de antemano qué resultado dará la moneda no significa que esté de algún modo «indeterminada»; en otras palabras, la llamada incertidumbre pertenece obviamente a la tirada, no a la moneda. Y añadamos que esta última —no menos que un sistema mecánico cuántico— determina la distribución (y, así, el valor esperado junto con la desviación estándar) del número de «caras» en  $n$  pruebas —como recordará todo estudiante de la teoría de probabilidad—.

Entonces, si los sistemas mecánico cuánticos no son en sí mismos «incierto», ¿son no obstante indeterministas? Pues bien, decir que un sistema físico es determinista implica afirmar, presumiblemente, que la evolución del sistema se determina únicamente por su estado inicial (asumiendo, claro está, que conozcamos las fuerzas externas que afectan al sistema). Pero ¡esto es precisamente lo que implica la famosa ecuación de Schrödinger! Así pues, el mundo microscópico es de hecho determinista, incluso si los sistemas físicos son indeterminados. Cabe decirlo así: el estado inicial de un sistema físico aislado (y de un sistema físico sujeto a fuerzas externas conocidas) determina sus estados futuros; pero resulta que el estado de un sistema generalmente no determina los valores de sus observables. No hay, pues, conflicto entre determinismo e indeterminación; y de hecho, la teoría cuántica insiste en ambos. Para ser exactos, lo que garantiza el determinismo es la ecuación de Schrödinger, tal como el principio de Heisenberg garantiza la indeterminación.

Se puede plantear la objeción de que la medición destruye el determinismo; pues, como se sabe, la medición que se ejerce sobre un sistema físico puede ocasionar lo que se llama el colapso del vector de estado, suceso

que viola la ecuación de Schrödinger. Puede decirse que la medición abole el determinismo al interrumpir la evolución «normal» del sistema físico. Se ha de recordar, sin embargo, que los sistemas físicos se especifican mediante la medición. Así, en tanto que una medición colapsa el vector de estado, constituye un acto de especificación que altera el estado, y así, el sistema físico «real». Por lo general, el sistema físico X con el que tratamos previamente a la medición, no será el mismo que el sistema Y resultante de esa especificación adicional. De modo que mientras tratemos con sistemas físicos determinados, claro está, el sistema se puede especificar de una vez por todas. No hay, entonces, colapso del vector de estado ni cambio de especificación —o «pérdida de identidad»— resultante de actos de medición ulteriores. Por otra parte, cuando se trate de sistemas indeterminados, las mediciones subsiguientes por lo general especificarán un nuevo sistema físico como resultado. Se podría decir que el sistema físico original culmina —o se metamorfosea— con el colapso de su vector de estado. Sin duda, los sistemas mecánico cuánticos no son perdurables, ni tampoco «absolutos» —sino que existen «para nosotros», como objetos de intencionalidad—. Estos hechos básicos, no obstante, no impiden el determinismo, puesto que los sistemas mecánico-cuánticos (mientras existan) se comportan, no obstante, de manera determinista.

Evidentemente, este determinismo mecánico cuántico se aleja mucho del clásico. No obstante, lo que se ha dejado atrás no es tanto el determinismo, sino el reduccionismo: a saber, la suposición clásica de que el mundo corpóreo «no es nada más» que el físico. Es este axioma el que se ha anticuado con la separación mecánico cuántica del sistema físico y de sus observables. La física cuántica, como hemos visto, forzosamente opera en dos planos: físico y empírico; o, mejor dicho, físico y corpóreo, porque hay que recordar que tanto la medición como la visualización terminan necesariamente en el plano corpóreo. Así, tenemos estos dos planos ontológicos, y tiene lugar una transición del físico al corpóreo que resulta en el colapso del vector de estado. Se podría decir que este colapso no indica indeterminismo a nivel físico, sino precisamente discontinuidad entre los planos físico y corpóreo.

Pero aunque el propio formalismo de la mecánica cuántica proclama que estos dos niveles están ahí y exige, por así decirlo, que ello se admita, el prejuicio reduccionista prevalente ha impedido que tenga lugar tal constatación. Así que no sorprende que la interpretación ontológica de la mecánica cuántica no haya ido bien.

\* \* \*



La mecánica cuántica sugiere que los sistemas microfísicos constituyen una especie de potencialidad con relación al mundo real. Como Heisenberg señaló, ocupan en efecto una posición intermedia entre la inexistencia y la realidad, con lo que a este respecto recuerdan a la llamada potencialidad aristotélica.

Para comprender esto más claramente, hemos de ver algo más de cerca el formalismo mecánico cuántico. Señalemos, en primer lugar, que todo observable admite un conjunto de valores posibles (sus llamados valores propios), y que en general la medición de un observable dado puede dar cualquiera de estos resultados admisibles. No obstante, los sistemas físicos también pueden estar en un estado en el que el valor del observable dado se determine con certeza; y tales estados se denominan estados propios. Por ejemplo, si una medición del observable da el valor propio  $\lambda$ , entonces se sabe que el sistema en ese momento está en un estado propio correspondiente a  $\lambda$ . [5]

He aludido ya al hecho de que un sistema físico, concebido mecánico-cuánticamente, se representa con lo que se llama el vector de estado. Más exactamente, los vectores de estado representan *estados* de un sistema físico<sup>[6]</sup>. Y esto evidentemente explica la noción de vectores propios a la que me he referido (al hablar de la indeterminación): un vector propio, por tanto, es un vector de estado que corresponde a un estado propio.

Pues bien, se recordará que los vectores pueden añadirse, y también multiplicarse por un número (real o complejo, dependiendo del caso); y esto significa que los vectores pueden combinarse para formar sumas ponderadas. Así, cada suma ponderada de vectores de estado (mientras no sea cero) define otro vector de estado<sup>[7]</sup>. No obstante, ya que los vectores de estado representan estados del sistema físico, cada suma ponderada tal corresponde a un estado físico. Se llega, pues, al llamado principio de superposición, que afirma que las sumas ponderadas de vectores de estado corresponden a una verdadera superposición de estados. Para decirlo con otras palabras, resulta que las operaciones algebraicas por las que se forman sumas ponderadas de vectores de estado (con coeficientes complejos, nada menos) tienen un significado físico. Existe, por así decir, una «álgebra de estados» que nos permite representar los estados físicos de múltiples modos como una superposición de otros estados<sup>[8]</sup>.

Surge la pregunta de si, para un observable cualquiera, todo estado del sistema se puede representar como una superposición de estados propios. En otras palabras, ¿puede todo vector de estado expresarse como suma ponderada de vectores propios pertenecientes al observable dado? Y en tanto que esto no es así, por lo general se puede obtener una representación análoga con medios matemáticamente más sofisticados<sup>[9]</sup>. No obstante, a fin de evitar complicaciones técnicas irrelevantes para el argumento, supondré que todo

observable tiene un conjunto «completo» de vectores propios: a saber, un conjunto en términos del cual todo vector de estado puede expresarse como suma ponderada.

Ahora bien, ¿qué tiene todo esto que ver con la postura de Heisenberg de que los sistemas cuánticos constituyen una especie de potencialidad aristotélica? Esto es lo que hemos de explicar ahora. Consideremos la representación de un vector de estado como la suma ponderada de vectores propios pertenecientes a un observable dado. Cada vector propio corresponde a un estado propio, y así al posible desenlace de un experimento real. De tal modo, representa cierta posibilidad empíricamente realizable, cuya probabilidad está de hecho determinada por el peso con el que el valor propio tiene lugar en la suma dada<sup>[10]</sup>. El propio vector de estado, como suma ponderada de vectores propios, puede verse, en consecuencia, como ensamblado o síntesis de las posibilidades en cuestión. Y si se asume (como hemos hecho) que el vector de estado puede expresarse como suma ponderada de vectores propios para todos y cada uno de los observables, entonces constituye, de la misma manera, una síntesis de *todos* los desenlaces posibles para toda medición concebible que pueda realizarse del sistema físico dado<sup>[11]</sup>.

Por otra parte, al término de una medición el sistema será un estado propio perteneciente al observable dado. Si el vector de estado, previamente a la medición, era una suma ponderada de vectores propios, ahora es un vector propio concreto y, por tanto, por así decirlo, una suma ponderada de vectores propios en la que todos los coeficientes salvo uno son cero. Tal como decimos, el vector de estado ha colapsado; se ha reducido en un instante a un solo vector propio del observable dado: es decir, una sola posibilidad cuya probabilidad ha saltado ahora al valor de 1 (lo que indica certidumbre). Por el acto de medición, se destaca un elemento particular del ensamblado dado de posibilidades, lo que se realiza en lo empírico, es decir, en el nivel corpóreo. El sistema físico, como ensamblado de posibilidades, así, ha sido «actualizado»<sup>[12]</sup>. Aunque ¡solo en parte! Pues, en tanto que el valor de un observable particular ahora se ha determinado, el sistema permanece en superposición de estados propios para la mayor parte de los demás observables. Y, por tanto, pese a actualizaciones parciales efectuadas por la medición, el sistema es y sigue siendo un ensamblado o síntesis de posibilidades. En palabras de Heisenberg, no es realmente una «cosa ni un hecho», sino más bien una especie de potencialidad.

Como sugiere la misma terminología aristotélica, la noción de sistemas físicos y de colapso de vector de estado a la que hemos llegado es, en cierto modo, clásica, y puede de hecho comprenderse desde el punto de vista metafísico tradicional. Por largo tiempo se ha sabido que la transición desde

lo posible hasta lo actual —o de lo potencial a lo manifestado— entraña invariablemente un acto de determinación: la elección de un desenlace concreto dentro de un conjunto de posibilidades. La geometría euclidiana, además, ejemplifica este proceso muy claramente —pero solo en tanto que esta disciplina se conciba al modo antiguo—. Se ha de recordar que con anterioridad a Descartes, el continuo geométrico —el plano euclidiano, por ejemplo— se concebía como entidad por propio derecho, y no simplemente como la totalidad de sus puntos. Según la visión previa a Descartes, de hecho, *no hay* puntos en el plano —es decir, hasta que se les hace entrar en la existencia mediante la construcción geométrica—. Concebido a la manera clásica, el plano como tal está vacío: de por sí constituye una especie de vacuidad, una mera potencialidad, en la que aún no se ha actualizado nada. Y entonces, se construye un punto o una línea, seguida de otros elementos geométricos, hasta obtener una figura. Hay que señalar que estas determinaciones no pueden hacerse en realidad sobre bases racionales, o en base a reglas prescritas, lo que tiende a desconcertar a las mentes analíticas. El acto determinante, además, es de hecho más que una mera elección, más que una mera selección de un elemento entre un conjunto dado: pues hace entrar en la existencia —por así decirlo, *ex nihilo*— algo que previamente no existía como entidad real (en acto). La construcción geométrica, concebida clásicamente, sugiere por tanto la cosmogénesis. Puede decirse que imita o ejemplifica el mismo acto creativo dentro del dominio matemático.

Volviendo a la mecánica cuántica, y en concreto al acto de medición, se percibe ahora que esto puede, en efecto, interpretarse en términos ontológicos tradicionales. La medición, así, es la actualización de cierta potencialidad. Ahora bien, la potencialidad en cuestión se representa con el vector de estado (sin colapsar), que contiene en sí mismo, como hemos visto, la gama total de posibilidades a realizarse a través de la medición. Medir es, pues, determinar; y esta determinación, además, se realiza en el plano corpóreo: para ser exactos, en el estado de un instrumento corpóreo. Por debajo de este nivel corporal, se trata de posibilidades o potencialidades, mientras que su actualización se logra en el plano corpóreo. No sabemos cómo tiene lugar esta transición<sup>[13]</sup> De algún modo, se efectúa una determinación —la selección de un desenlace particular entre un espectro de posibilidades—. No sabemos si esto sucede por azar o por diseño; lo que sabemos es que, de algún modo, el dado está echado. Y este «arrojar el dado» constituye, de hecho, el acto decisivo: se trata, pues, de que el sistema físico completa su papel como potencialidad en relación al dominio corpóreo.

\* \* \*

Hemos de decir algo ahora del principio de superposición. Dirac quizá fuera el primero en observar que este principio no tiene otro que se le pueda comparar en el dominio clásico. Es cierto que las soluciones de una ecuación lineal homogénea se pueden «superponer», y este hecho subyace en el análisis de Fourier, por ejemplo, de sistemas vibratorios clásicos. Pero, según aclaró Dirac, «la superposición que acontece en la mecánica cuántica es de una naturaleza enteramente diferente de cualquiera que se da en la teoría clásica, como muestra el hecho de que el principio de superposición cuántica exige indeterminación en los resultados de observaciones a fin de poder lograr una interpretación física perceptible»<sup>[14]</sup>. Por lo tanto, el principio de superposición se aplica necesariamente a un nivel de realidad en el que los valores de los observables aún no se han determinado: es decir, el mundo microscópico, que es un reino de potencialidad, un dominio subactual. La transición a lo actual ha de conllevar cierta «des superposición» —lo que no es sino el colapso del vector de estado—.

No hay nada en el mismo vector de estado que pudiera explicar o dar cuenta de este acto determinativo —tal como no hay nada en el plano euclidiano que nos permitiera, con alguna clase de regla, escoger un punto o una línea—. De otra parte, en tanto que el acto de medición entraña la interacción con un segundo sistema, apenas sorprende que el primero, por sí mismo, no baste para explicar el colapso del vector de estado. Lo que, no obstante, ha ocasionado perplejidad entre los físicos es que, incluso habiendo colocado el segundo sistema, la situación no es mejor: pues resulta que el sistema combinado nuevamente está en una superposición de estados propios para el observable dado. Por incómodo o paradójico que esto pueda ser en tanto se falle en distinguir entre los planos físico y corpóreo, es exactamente lo que cabría esperar una vez se ha reconocido esta distinción fundamental. La cuestión es que la transición de lo potencial a lo actual requiere, invariablemente, un acto creativo —un decreto creativo, podría decirse— que nada en el dominio de la potencialidad puede explicar. Por tanto, nada en el plano físico podría ocasionar el colapso de un vector de estado —por preocupante que este hecho pueda ser para quienes imaginan que no hay nada más allá de lo físico—.

Ciertamente, estas consideraciones no resuelven el llamado problema de la medición; no obstante, dejan claro por qué hasta ahora han fracasado los intentos de hallar una solución. Dejo para un capítulo posterior la cuestión de si la mecánica cuántica constituye o no una teoría «completa»; la cuestión que tratamos ahora es que la mecánica cuántica podría ser, a lo más, una teoría completa del universo *físico*. Pues resulta evidente que, en tanto que el orden corporal no se reduce al físico, tampoco la mecánica cuántica ni ninguna otra teoría física podría estar «completa» en un sentido total. Por tanto, lo que cabe esperar es que una teoría física bien formulada de algún modo atestigüe esta

limitación ontológica. Y así, no hace falta sorprenderse de que la evolución de Schrödinger de los sistemas físicos no pueda evitar tener «huecos» que la misma mecánica cuántica es incapaz de predecir, y que aparezcan precisamente cuando se trata de la decisiva transición que nos saca del plano físico. Lejos de indicar imprecisión, esta característica básica de la mecánica cuántica testifica, por el contrario, a favor de su justeza y suficiencia. La aparente compleción de la física clásica, por otra parte, indica el hecho de que trata, no tanto con realidades físicas, sino con abstracciones convenientes. Hay razón, después de todo, para el provocador precepto de Whitehead: «La exactitud es una farsa».

Volviendo al principio de superposición, cabe señalarse que, en el caso de un sistema subcorpóreo, es evidente que se descartan ciertas superposiciones. En el caso de un instrumento científico, por ejemplo, el señalizador no puede estar en dos posiciones distinguibles al mismo tiempo. Así, para cualquier sistema subcorpóreo SX, se ha de asumir que los únicos estados «perceptualmente indistinguibles» pueden estar concebiblemente superpuestos. La cuestión, claramente, es que el objeto subcorpóreo se actualiza parcialmente por medio de presentación; y la actualización, como siempre, conlleva determinación, y por tanto des-superposición.

Es de interés que esta constatación zanja la llamada paradoja del gato de Schrödinger. Un solo átomo radiactivo, por así decirlo, se coloca cerca de un contador Geiger. Si el átomo se desintegra, dispara el contador, lo que a su vez pone en marcha cierta cadena de sucesos que culmina con la prematura muerte del gato de Schrödinger. Ahora bien, en tanto que se admite que el átomo está en una superposición de estados (desintegrado y sin desintegrar), se razona que el contador Geiger y el gato han de estar, similarmente, en una superposición correspondiente. Y esto sería rigurosamente cierto, además, si el contador y el gato no fueran más que sistemas cuánticos. Pero resulta que ambos sistemas son subcorpóreos, y que la superposición en cuestión es del tipo que se descarta: no es posible que un contador Geiger haga el chasquido y deje de hacerlo dentro de un intervalo de tiempo dado, ni tampoco es posible que un gato esté tanto muerto como vivo al final del experimento. Si el vector de estado (normalizado) del átomo tiene la siguiente forma

$$0.6|\psi_1\rangle + 0.8|\psi_2\rangle$$

por ejemplo, donde  $|\psi_1\rangle$  y  $|\psi_2\rangle$  corresponden a estados desintegrados y no desintegrados, respectivamente, ello no implica que el vector de estado del gato esté en una superposición correspondiente: no significa que el gato esté 36 % muerto y 64 % vivo<sup>[15]</sup>. Significa que tiene una probabilidad de sobrevivir de 64 % —hecho que, claro está, hay que interpretar en términos estadísticos—.

No hay aquí ningún misterio excepcional. Tampoco es necesario (como algunos han sugerido) abrir la compuerta y mirar al desdichado gato para que colapse su vector de estado. Podría decirse que el gato colapsa su propio vector de estado por el hecho de existir en el plano corpóreo.

\* \* \*

Como antes señalamos, la frecuente afirmación de que el mundo microscópico es indeterminista —o algo vago y difuso— se apoya finalmente en confundir los dominios físico y corpóreo. El hecho, por ejemplo, de que no se pueda averiguar con precisión la posición e impulso de un electrón lo toman los proponentes del indeterminismo como si significara que el mismo electrón está mal definido, o sujeto a un comportamiento aleatorio. Se olvida así que la partícula —es decir, el sistema físico— es una cosa, y sus observables otra. Dicho de otro modo, se olvida que el electrón como tal *no tiene* posición ni impulso —salvo que, claro está, resulte estar en un estado propio del observable en cuestión—. Entretanto, sin embargo, esta supuesta partícula no es vaga ni difusa, ni de hecho salta por ahí de alguna manera extraña y aleatoria. En efecto, de todas las cosas con que la física ha de tratar, no hay nada más claramente definido y que se conozca con más precisión que el electrón.

Hablando de esto, hay que mencionar sus llamados atributos estáticos, como la masa, la carga y el espín. A diferencia de los atributos dinámicos — que, como hemos visto, para nada son atributos— estas cantidades pertenecen al electrón como tal. Y se pueden medir con asombrosa precisión. Recientes mediciones del impulso magnético, por ejemplo, han llevado al valor de 1 001 159 652 188 (en unidades apropiadas), con un error posible de 4 en el último dígito<sup>[16]</sup>. Como señaló Richard Feynmann: «Si se fuera a medir la distancia desde Los Ángeles a Nueva York con esta precisión, sería exacta hasta el nivel del grosor de un cabello humano»<sup>[17]</sup>. Además, este impulso magnético puede calcularse también mediante la electrodinámica cuántica; la respuesta parece, pues, la suma de una serie convergente infinita en la que los términos sucesivos rápidamente disminuyen pero se hacen cada vez más trabajosos de evaluar. Y aunque los cálculos completados hasta este momento aún no han podido igualar la precisión de los últimos experimentos, en efecto han confirmado los dígitos 1 001 159 652. No sabemos de ningún dominio de física en el que el acuerdo entre teoría y experimento haya sido más espectacular.

El hecho es que la física se perfecciona en el mundo microscópico, en el nivel de átomos y partículas fundamentales. Es aquí, precisamente, donde las cosas se definen con nitidez. Por ejemplo, ya no se ha de trabajar con toscos

parámetros macroscópicos —como el radio de un planeta, o la densidad de esto o aquello— sino que se puede tratar, en cambio, con constantes fundamentales como la masa, la carga o el impulso magnético del electrón. La transición desde la mecánica clásica a la cuántica, además, lejos de complicar el formalismo, implica una tremenda simplificación; pues, de hecho, el principio de superposición hace entrar en juego lo que realmente resulta más manejable de todas las estructuras matemáticas: es decir, un espacio de Hilbert. Todo matemático entiende muy bien el lujo que supone trabajar en un espacio lineal; de hecho, eso es hallarse, matemáticamente hablando, en el mejor de los mundos posibles. En breve, se podría decir que los dominios atómico y subatómico están «hechos a la medida» del físico; es aquí donde se encuentran las formas matemáticas fundamentales, descargadas, por decirlo así, de complejidades accidentales.

Pero ¿qué son estas «formas» fundamentales? Es forzoso responder que no son sino los genuinos arquetipos del mundo microscópico, y así, del universo físico en general. La meta principal o función primaria de la física —conforme a esta perspectiva inherentemente platónica— es, pues, ascender desde el dominio empírico hasta el nivel de los arquetipos matemáticos. Son estos los que constituyen sus verdaderos objetos, y no sus fugaces reflejos en el plano empírico.

Aunque esta posición ontológica está obviamente en contraste con el espíritu dominante de nuestra época. Nos inclinamos a dar realidad al plano empírico y a considerar las formas matemáticas —a las que Bohr se refirió en el contexto de la microfísica con la «descripción cuántica abstracta»— como poco más que medios artificiales para registrar datos empíricos<sup>[18]</sup>. Por tanto, para el nominalista, es la forma matemática la que de algún modo se aproxima a los datos empíricos, mientras que el platónico, por su parte, insiste en que la cuestión es justo al revés: que es el dato empírico el que refleja —y en cierto sentido se aproxima a— la forma matemática. Es una cuestión de prioridad ontológica, de qué va primero: lo universal o lo particular, lo constante o lo efímero.

Sin embargo, en todo caso hay que admitir que no se puede mantener una postura realista frente al mundo microscópico solo con una base platónica. Los átomos y partículas subatómicas pueden ser «reales» solo en la medida que las formas matemáticas sean arquetipos genuinos. Como dijo Heisenberg: «La “cosa en sí”, para los físicos atómicos, si es que llegan a emplear este concepto, finalmente es una estructura matemática»<sup>[19]</sup>.

Mientras tanto, por lo que parece los hechos son claramente favorables a la afirmación platónica. ¿Cómo si no podría explicarse el tremendo éxito de la física matemática?

\* \* \*

Entre las muchas y variadas filosofías contemporáneas de la física, la más cercana con diferencia a la posición desarrollada en este trabajo es la filosofía de Werner Heisenberg. Puede ahora ser de interés comparar ambas doctrinas.

Como bien se sabe, Heisenberg se consideró miembro de la escuela de Copenhague. En sus manos, sin embargo, la llamada interpretación de Copenhague asumió una forma distintiva, cuya característica destacada está en una visión realista del mundo microscópico, basada en la noción aristotélica de potencialidad. De acuerdo con Heisenberg, existen dos dominios ontológicos: «En los experimentos sobre sucesos atómicos hemos de tratar con cosas y hechos, con fenómenos que son tan reales como cualquier otro fenómeno de la vida diaria. Pero los átomos y las partículas elementales mismas no son tan reales. Conforman un mundo de potencialidades o posibilidades, en vez de uno de cosas y hechos»<sup>[20]</sup>. Además, para tratar con estos dos dominios diferentes, los físicos necesitan emplear dos idiomas: en primer lugar, el de la física clásica, que se aplica al mundo de «cosas y hechos» —y a los instrumentos científicos que son parte de este mundo factual— y el idioma de la mecánica cuántica, que se aplica al dominio de las potencialidades. Así, en el vector de estado, interpretado a lo Born como una especie de onda probabilística Heisenberg percibió «una versión cuantitativa del antiguo concepto de “potencialidad” de la filosofía aristotélica»<sup>[21]</sup>. Está claro que no puede negarse que una onda probabilística implica elementos subjetivos; la característica destacada de la filosofía de Heisenberg, por otra parte, es su insistencia en que la onda probabilística entraña también un contenido «completamente objetivo» —precisamente bajo la forma de afirmaciones sobre la potencialidad—. <sup>[22]</sup>

Así, la teoría cuántica trata con dos dominios ontológicos, y se sortea la brecha mediante la medición u observación:

La transición desde lo «posible» a lo «actual» tiene lugar durante el acto de observación. Si queremos describir qué ocurre en el suceso atómico, hemos de darnos cuenta de que la palabra «sucede» solo puede aplicarse al acto de observación, no al estado de las cosas entre dos observaciones. Se aplica al acto físico de observación, y podemos decir que la transición de lo «posible» a lo «actual» tiene lugar nada más entra en juego la interacción del objeto con el instrumento de medición, y por tanto con el resto del mundo; no está conectado con el acto de registrar el resultado por parte de la mente del observador<sup>[23]</sup>.



Hasta aquí, la posición de Heisenberg y la mía parecen estar muy cercanas — hasta el punto de ser indistinguibles—. ¿No es el «mundo de potencialidad» de Heisenberg equiparable al mundo microscópico, como lo he concebido? ¿Y su reino de «cosas y hechos», al que denomino mundo corporal? A primera vista lo parece. No obstante, si lo examinamos más de cerca, advertimos una diferencia importante. El quid de la cuestión es este: en la filosofía de Heisenberg no hallamos una nítida diferencia entre el universo físico a escala macroscópica y el mundo corporal propiamente dicho. La distinción entre el mundo de potencialidad y el mundo real (en acto), se ha de comprender, por consiguiente, únicamente en términos de tamaño o escala — como si el paso de la potencialidad a la realidad pudiera efectuarse simplemente juntando un número suficiente de átomos—. Consideremos, por ejemplo, la siguiente afirmación: «La ontología del materialismo se apoyaba en la ilusión de que la clase de existencia, la “actualidad” directa del mundo en torno nuestro, se podía extrapolar al rango atómico. Sin embargo, tal extrapolación es imposible»<sup>[24]</sup>. No cabe más que estar de acuerdo con que «tal extrapolación es imposible»; pero la cuestión es si la física alcanza «la “actualidad” directa del mundo en torno nuestro» incluso a escala macroscópica. En cualquier caso, mi propia posición es totalmente clara a este respecto. Sostengo que el descenso de la actualidad a la potencialidad ya tiene lugar a nivel macroscópico: tiene lugar en el mismo momento en que pasamos de un objeto corpóreo X a su objeto asociado subcorpóreo SX. El hecho, además, de que se pueda describir SX (hasta cierto punto) en términos de física clásica no altera el caso ni tampoco que estos términos se puedan derivar, de algún modo, de la experiencia ordinaria.

Así pues, me refiero a que los objetos macroscópicos de la física clásica son exactamente tan «potenciales» como los átomos y las partículas subatómicas. Tomo en serio la afirmación de los físicos atómicos de que estos objetos a gran escala están, en realidad, compuestos de átomos. Sin embargo, el hecho de que SX sea reductible a átomos no implica que X también lo sea; pues, de hecho, X y SX no se sitúan en el mismo plano ontológico. Este es, simplemente, el hecho crucial, para decirlo una vez más: SX existe como potencialidad, mientras que X existe como «cosa o hecho».

De otra parte, Heisenberg parece identificar, en efecto, SX y X. En línea con esta identificación, además, concibe el «acto físico de observación» realizado sobre un microsistema como una especie de traducción de micro a macroestado, como el que tiene lugar en un contador Geiger o en una cámara de burbujas. Ahora bien, según mi perspectiva, este proceso, de por sí, no nos saca del dominio potencial: el macroestado de un contador Geiger, por ejemplo, concebido como sistema físico, sigue situándose en el plano físico. Por tanto, el paso de la potencia al acto se efectúa, no simplemente por el proceso en cuestión, sino por el hecho de que el propio contador Geiger es

«más» que un sistema físico. En realidad, lo que actualiza el microestado no es un proceso físico —un «acto físico de observación»—, sino el paso de SX a X (desde el contador Geiger potencial al actual, por así decirlo).

Por su parte, Heisenberg mantuvo (como hemos visto) que la transición de lo «posible» a lo «actual» se efectúa simplemente por el «acto físico de observación». Estuvo, así, obligado a concluir que el acto físico no puede explicar el llamado colapso del vector de estado; para esto necesitó hacer que «la mente del observador» entrase en juego:

El cambio discontinuo en la función de probabilidad se produce, sin embargo, con el acto de este registrarse en la mente, porque es el cambio discontinuo de nuestro conocimiento el que tiene su imagen en el cambio discontinuo de la función de probabilidad<sup>[25]</sup>.

Por mi parte, encuentro difícil entender cómo la onda probabilística puede tener un contenido «completamente objetivo» si depende de que el resultado de un experimento se haya «registrado» mentalmente o no. Si la posición de, por ejemplo, un señalizador, indica cierto estado objetivo de las cosas *después* de haber sido «leído», ¿por qué no *antes*? Parece que hemos vuelto al reino místico del gato de Schrödinger, en el que los vectores de estado colapsan al abrir una compuerta. No obstante, mientras no distingamos categóricamente entre sistemas físicos —por macroscópicos que sean— y objetos corpóreos, no hay de hecho manera de salir de este dilema. En efecto es un teorema de mecánica cuántica que los sistemas físicos no producen el colapso del vector de estado. Si se supone, pues, que hay sistemas físicos y actos psíquicos —y nada más—, entonces se desprende que el colapso en cuestión *debe* ocasionarse por un acto psíquico.

Sin embargo, curiosamente, el propio Heisenberg no parecía satisfecho con la dicotomía de «sistemas físicos y actos psíquicos». Una y otra vez arremetió contra «la partición cartesiana»; dijo que es «una simplificación excesiva peligrosa»<sup>[26]</sup>. En ciertas ocasiones casi pareció reconocer el dominio corpóreo. «Nuestras percepciones», escribió en uno de estos pasajes no cartesianos,

no son principalmente manojos de colores y sonidos; lo que percibimos ya se percibe como alguna cosa, estando aquí el énfasis en la palabra «cosa», y por tanto es dudoso que se obtenga algo tomando las percepciones en lugar de las cosas como si fueran los elementos definitivos de la realidad<sup>[27]</sup>.

En otras palabras, lo que percibimos puede que no solo sean «manojos de colores», sino «cosas»: objetos corpóreos, como decimos. Pero Heisenberg pareció no advertir que la alternativa cartesiana —es decir, la perspectiva bifurcacionista sobre la percepción— no solo es una ventaja «dudosa», sino que de hecho es insostenible. Tampoco dedujo, por lo visto, que la perspectiva no bifurcacionista de la percepción, llevada a su conclusión lógica, podía librar a su filosofía de la premisa más embarazosa: es decir, de la noción de que el colapso del vector de estado resultaba de «registrar».

Así pues, la filosofía de Heisenberg y la mía no coinciden. Sin duda, hay un elemento de misterio en ambas: en una es el enigma del colapso del vector de estado —del gato de Schrödinger, podría decirse— y en la otra es, ante todo, el milagro del dominio corpóreo —de este mundo visible y tangible— y, así, del propio Acto creativo.

## IV

### *MATERIA QUANTITATE SIGNATA*

Se habla de muchos objetos físicos diferentes: estrellas y galaxias, campos electromagnéticos y de radiación, y finalmente de moléculas, átomos y partículas fundamentales. Deberíamos recordar, no obstante, que cada tipo de objeto se concibe con relación a un procedimiento observacional correspondiente y que, por consiguiente, los objetos físicos no son tanto «cosas de por sí» sino más bien cosas con respecto a modos específicos de indagación empírica. Como señaló Heisenberg, la física no trata simplemente la naturaleza, sino lo que llamó «nuestras relaciones con la naturaleza»<sup>[1]</sup>. Podría decirse así: el propio experimentador es quien interroga lo que Heisenberg llama naturaleza<sup>[2]</sup> —la realidad externa, por así llamarla; según el tipo de disposición de su instrumentación formula una pregunta, y por supuesto es la pregunta la que provoca la respuesta, la reacción—. La diversidad de objetos físicos —de las «respuestas» que da la naturaleza— se solicita, pues, con la diversidad de las preguntas que nosotros mismos planteamos. Pero no hay razón para asumir que esta diversidad de «preguntas» y «respuestas» se traslada a la realidad, a la naturaleza misma. En contraste, por tanto, con lo que hemos denominado el universo físico, la naturaleza de la que hablamos no se ha de concebir como un dominio o ensamblado constituido por objetos físicos. Sin duda, los objetos físicos existen; la cuestión, no obstante, es que tales objetos participan en cierto modo de lo relativo, y no han de verse como entidades independientes, sino como manifestaciones diversas de una sola realidad indivisa.

Habría de señalarse, además, que esta posición ontológica no es simplemente materia de especulación filosófica, sino que prácticamente nos la imponen los descubrimientos de la física, y más especialmente los resultados de la teoría cuántica —en tanto que, claro está, nos adhiramos a una postura realista—. Como señaló David Bohm, «Se nos lleva a una nueva noción de totalidad indivisa que niega la idea clásica de analizabilidad del mundo en partes separadas con existencia independiente»<sup>[3]</sup>. Pero claramente, la «totalidad indivisa» a la que Bohm alude equivale a la «naturaleza» de

Heisenberg: a la realidad trascendente, se podría decir, que se manifiesta o revela parcialmente en forma de objetos físicos. Estos últimos, por lo tanto, no existen «por sí mismos», sino en virtud de la realidad de la que constituyen expresiones parciales. Y mientras que estas manifestaciones son «separadas» y múltiples, la realidad misma permanece «indivisa».

A la luz de estas consideraciones parece ahora que el llamado universo físico —del que nos hemos ocupado en los capítulos II y III— no se mantiene por sí solo, sino que señala más allá de sí mismo, por decirlo así, a un nivel de realidad más profundo (que hemos designado tentativamente con el término «naturaleza»). En el transcurso de nuestras reflexiones previas hemos sido llevados a distinguir entre los planos físico y el corpóreo; y ahora, por lo visto, llega a verse un tercer estrato ontológico —que de hecho parece ser más fundamental, más básico, que los dos planos antes mencionados—. Así pues, ¿cuál es la naturaleza de este tercer dominio?

\* \* \*

Hemos hablado de la realidad profunda como «totalidad indivisa»; pero ¿qué significa esto exactamente? ¿Cómo se concibe un reino externo que no esté de hecho constituido por «partes separadas con existencia independiente»? Para empezar, nos corresponde considerar si la realidad en cuestión aún está sujeta a la condición espaciotemporal. Es evidente que nos sería difícil concebir una naturaleza que *no* esté extendida en el espacio y en el tiempo; pero, entonces, ¿no es esto, quizá, lo que exige la noción de totalidad indivisa?

Examinemos la cuestión. En los días de Newton, como sabemos, se pensaba que el espacio y el tiempo «existían» independientemente de las entidades materiales. En concreto, el espacio se concebía como una especie de receptáculo absoluto en el que, de algún modo, se podían introducir pedazos de materia, y en el que, así colocados, podían moverse libremente. Con la llegada de la relatividad einsteiniana, no obstante, la imagen cambió. Según la teoría general, el continuo espacio-tiempo conlleva una estructura geométrica que a la vez afecta y resulta afectada por la distribución de materia que se dice que contiene. El espacio y el tiempo, por tanto, demuestran estar inextricablemente conectados con las entidades materiales y acontecimientos que constituyen el universo físico; en suma, el contenido y el continente han perdido su estatus independiente, y ahora parece que el espacio, el tiempo y la materia —lejos de ser principios independientes— no hacen sino constituir aspectos diferenciables de una misma realidad. Se desprende, además, que la realidad como tal no es espacio, tiempo ni tampoco materia, ni de hecho puede contenerse en el espacio ni en el tiempo; pues es, finalmente, la misma realidad la que en cierto sentido «contiene» el espacio-tiempo —como puede decirse que una causa «contiene» sus efectos—.

Ahora bien, es cierto que la física como tal es forzosamente incapaz de reconocer sus propios objetos idóneos como efectos o manifestaciones de una realidad que, en principio, se encuentra más allá de su alcance. O en otras palabras: nada en el plano técnico mueve al físico a postular tal realidad. Y con todo se puede decir que los hallazgos genuinos de la física apuntan en esa dirección. Como expresó Henry Stapp, «Todo lo que sabemos de la naturaleza concuerda con la idea de que los procesos fundamentales de la naturaleza se hallan fuera del espacio-tiempo... pero generan acontecimientos que se pueden localizar en el espacio-tiempo»<sup>[4]</sup>.

¿Cuáles son, entonces, algunos de los hallazgos que señalan más allá del continuo espacio-tiempo? Puede bastar con mencionar solo uno, el más sorprendente de todos, según creo, el teorema de interconexión de Bell. Digamos que los fotones A y B viajan en direcciones opuestas —a la velocidad de la luz— y, aun así, una observación realizada en el fotón A parece afectar instantáneamente B. ¿Qué hacemos con esto? Bien, según la ontología clásica de «partes separadas con existencia independiente», se está obligado a postular algún tipo de transmisión supralumínica de influencia desde A hasta B. Este problemático postulado, sin embargo, se hace superfluo en cuanto reconocemos a los fotones A y B como manifestaciones de una sola realidad subyacente; pues, de hecho, donde hay unidad o «totalidad indivisa», no hay necesidad de comunicar, de transmitir una influencia a través del espacio y el tiempo. El verdadero sentido del teorema de Bell, pues, o de los fenómenos EPR en general, parece ser que las partículas gemelas que implican estos fenómenos no son, de hecho, «partes separadas con existencia independiente».

Sin duda, *están* «separadas» en la medida en que se contienen en diferentes regiones del espacio-tiempo; y ciertamente, en la medida en que podemos observar cada partícula, están así contenidas. Pero todo señala al hecho de que una partícula no se puede conocer completamente por medios empíricos; y si fuera cierto —como se tiene todo el derecho a suponer— que «ahora conocemos en parte», entonces se hace lisa y llanamente concebible que una partícula pueda trascender el emplazamiento de su manifestación y, así, también su identidad fenoménica. En suma, puede haber en la partícula más de lo que se presenta a la visión científica —y por la misma razón, más de lo que se puede hacer encajar en un continuo de cuatro dimensiones—. Debería estar claro, no obstante, que aquí no se trata de la dimensionalidad de la multiplicidad que contiene, sino de la absolutidad o relatividad de la contención misma. Lo que quiero decir, pues, no es que la partícula «se proyecte a otra dimensión», sino que además de su aspecto empírico tiene una naturaleza que no está sujeta a ningún tipo de «contención» en absoluto.

Se reduce a esto: la naturaleza, aunque no es de por sí espaciotemporal, se presenta como si lo fuera cuando la observamos. Sin embargo, esto no ha de

comprenderse en un sentido kantiano, sino realista. La cuestión no es que las condiciones espaciotemporales estén sobreimpuestas sobre una realidad noumenal por el observador humano, sino que las cosas y relaciones que observamos —«materia, espacio y tiempo», por decirlo así— manifiestan o actualizan cierta potencialidad preexistente, un potencial que pertenece a la naturaleza como tal. Una vez más, es el físico quien «plantea la cuestión», pero es la naturaleza misma la que da la respuesta. Y tal respuesta —entiéndase claramente— no solo es indicativa de nuestra constitución humana, o de la disposición de nuestros instrumentos, sino ante todo de la realidad misma. A fin de cuentas, lo que se nos presenta mediante categorías de espacio y tiempo no es sino la realidad que, por derecho propio, no está sujeta a tales categorías. Y permítaseme reiterar, para máxima claridad, que las condiciones de espacio y tiempo no se imponen simplemente, al estilo kantiano, desde fuera, sino que están potencialmente contenidas en la realidad como tal —como los puntos y las líneas están potencialmente contenidas en el plano euclidiano—.

¿Qué es, entonces, un objeto físico? Ni más ni menos, se está ahora forzado a admitir, que una manifestación particular de la realidad total. Como objeto físico, sin duda, existe en el espacio y el tiempo, y muestra cierta identidad fenoménica; y aun así, en sí mismo, trasciende tales marcos, y esa identidad aparente. La noción de multiplicidad particulada se aplica, pues, «cerca de la superficie» —en respuesta a las diferentes «preguntas» que planteamos, o somos capaces de plantear— mientras que la «totalidad indivisa» reina en las profundidades insondables.

Evidentemente, siempre es posible aferrarse a la extendida creencia de que la realidad coincide con el continuo espacio-tiempo y sus múltiples contenidos; pero parece que esta corriente reducción de lo real a lo manifestado se está haciendo cada vez más forzada y precaria a la luz de los continuados desarrollos científicos. La física hoy milita contra tal *Weltanschauung* constrictiva; «Todo lo que sabemos de la naturaleza», dice Stapp, «está de acuerdo con la idea de que los procesos fundamentales de la naturaleza se hallan fuera del espacio-tiempo...». Y añadamos que, ciertamente, ningún resultado concreto sugiere más esta nueva idea que el teorema de interconexión de Bell. De hecho, bien podría decirse que el teorema de Bell puede ser lo más cerca que puede llegar la física de reconocer formalmente la ontología revisada que he tratado de delinear: es decir, la perspectiva de que no solo hay un continuo de espacio-tiempo que contiene varias entidades, sino también —en un nivel más fundamental— una potencialidad todavía indiferenciada, que no está ni en el espacio ni en el tiempo, y acerca de la cual no se puede afirmar nada específico. «La realidad es no local»; quizá eso sea lo más que nos podemos acercar.

Pero aunque no haya nada en la naturaleza —en otras palabras, ninguna cosa — que podamos conocer, el hecho sigue siendo que podemos conocer y conocemos la naturaleza por medio del universo espaciotemporal. Y eso, después de todo, es de lo que trata la física: el físico quiere conocer «la estructura de la naturaleza»; lo que ocurre es que estamos obligados a ver tal «estructura» indirectamente, es decir, mediante sus manifestaciones físicas.

Pero entonces, se ha de señalar que incluso las estructuras más familiares de tipo geométrico solo pueden conocerse, similarmente, por medios indirectos. ¿Cómo, por ejemplo, se describe, o axiomatiza, la estructura del plano euclidiano? Todo matemático sabe que esto se puede hacer de diversas maneras: a la de Euclides, por ejemplo, en términos de las propiedades de ciertas figuras construidas hechas de puntos, líneas y círculos; o a la de Felix Klein, en términos de los invariantes de un grupo de transformación continua. No obstante, la misma circunstancia de que estas diversas caracterizaciones sean sorprendentemente dispares ya atestigua el hecho de que nos acercamos a la estructura del plano euclidiano mediante un constructo auxiliar, una estructura secundaria de algún tipo, presumiblemente más concreta y accesible. La estructura primaria se revela a través de la secundaria, cabría decir. En el enfoque clásico, por ejemplo, se miran las figuras construidas, mas no directamente al plano euclidiano. Pues en efecto, no hay nada que ver en el plano como tal.

Sustituyamos ahora la naturaleza por el plano euclidiano, y los sistemas físicos por las figuras de la geometría clásica —y podremos captar un atisbo de lo que trata la física—. Por medio de la geometría analítica se puede comprender cómo la estructura de la naturaleza —por oculta que sea— puede manifestarse en las leyes fundamentales de la física: es decir, en las leyes que se aplican siempre y en todas partes a los sistemas físicos a los que se refieren. Un ejemplo magnífico serían las ecuaciones de Maxwell, que se aplican a todo campo electromagnético —como el teorema de Pitágoras, digamos, se aplica a todo triángulo recto—. La principal diferencia, no obstante, entre la geometría euclidiana y la física en su estado actual es que esta última no dispone aún de un único conjunto coherente de principios que cubra todo el terreno. Es como si el físico tuviera un conjunto de leyes para «triángulos», y otro para «círculos» —pero ninguna ley única que se aplique tanto a «círculos» como a «triángulos», y en principio, al menos, a todas las demás figuras construibles—. Cabría decir que la física, en su estado actual, está familiarizada con «teoremas» pero aún no ha descubierto un conjunto único de axiomas de los que todo el resto pueda derivarse en principio. Y esto es, claro está, el objeto último de la búsqueda del físico: busca la única ley básica —presumiblemente, en forma de una teoría de campo cuántico



relativista unificada de algún tipo— que describa correctamente todos los sistemas físicos concebibles. Y parece que puede estar, en efecto, aproximándose al logro de este objetivo. Semejante descubrimiento, en cualquier caso, lograría para la física lo que la axiomatización del plano euclidiano logró para la geometría clásica: podría decirse que nos daría una fidedigna representación de la estructura primaria.

Se puede objetar que las leyes de la física tienen que ver, no con la naturaleza como tal, sino con «nuestras relaciones con la naturaleza», según dijo Heisenberg. La cuestión, no obstante, es que tienen que ver con ambas — como el teorema de Pitágoras, por ejemplo, tiene que ver no solo con cierta clase de figuras construidas, sino también con la estructura del plano euclidiano—. ¿Por qué habría una de excluir a la otra? Ciertamente, Eddington afirmó que las leyes fundamentales de la física —incluyendo aun las constantes adimensionales de la naturaleza— se pueden deducir *a priori* del *modus operandi* por el que las leyes en cuestión pueden ponerse a prueba. Desde un examen de la red del pescador, dijo Eddington, se pueden sacar ciertas conclusiones sobre la naturaleza del pez que se pesca con tal red; el pez ha de ser mayor, por ejemplo, de cierta longitud, y así. Pero, por fascinante que pueda ser esta filosofía de la física, resulta que nadie ha tenido éxito todavía en tal empresa kantiana, y pocos físicos hoy, si es que alguno, seguirían las afirmaciones radicalmente subjetivas de Eddington. Al fin y al cabo, parece que las leyes de la física no solo nos hablan de «nuestras relaciones con la naturaleza», sino finalmente también de la naturaleza como tal.

\* \* \*

Esa naturaleza sin embargo resulta sumamente recóndita y, de hecho, metafísica. Ahora bien, sin duda no es fácil concebir realidades metafísicas, y por supuesto es imposible dibujar o imaginar cosas de esa clase. No obstante, como bien saben los físicos, podemos de hecho concebir cosas inimaginables, y podemos hacerlo, además, con la máxima claridad y exactitud. Por tanto, de ningún modo es que el conocimiento humano esté restringido al orden sensorial, como han afirmado ciertos escépticos. Y si fuera posible concebir lo físico (que, como hemos visto, cae fuera del dominio sensorial), entonces ¿por qué no también lo metafísico: el dominio de las cosas que trascienden los confines del espacio y el tiempo? Así, pese a los reparos de los filósofos occidentales, comenzando por Locke, Hume y Kant, al parecer la metafísica, así entendida, no es, después de todo, una empresa vana o inviable.

Como siempre, no obstante, precisamos el apoyo de imágenes sensoriales, de metáforas apropiadas (<*metapherein*, «transportar») o paradigmas corpóreos.

Preguntémonos pues, ¿qué metáfora es apropiada para el concepto de naturaleza al que hemos llegado? En efecto, ¿qué paradigma nos ha estado rondando por la cabeza todo el tiempo? Decimos que no es otro que el hilemórfico o escultórico, sobre el cual, en cierto sentido, se basa la metafísica de Aristóteles. Esto puede ser obvio o no, pero en todo caso merece explicarse con bastante cuidado.

Pensemos en un pedazo de madera (*hyle* en griego) o mármol que recibe la forma (*morphe*) de Apolo o Sócrates. La cosa concreta —la estatua— en cierto sentido, pues, se compone de dos factores: *hyle* más *morphe*. Sin embargo, es evidente que *morphe* no tiene existencia concreta de por sí, aparte de la madera o el mármol en el que se ha tallado. Pero ¿qué hay de *hyle*? En tanto que tomamos el término en el sentido literal, claramente tiene existencia, debido al hecho de que el pedazo de madera original tiene su propia *morphe*. En sentido aristotélico, *hyle*, por otra parte, es simplemente el recipiente de *morphe* y nada más. La *hyle* aristotélica, por consiguiente, se concibe como un sustrato puro que se sitúa, hablando figurativamente, bajo el nivel de la existencia concreta. Así pues, es literalmente una no entidad; y pese a todo, como el cero de las matemáticas, esta «nada» —por extraño que pueda parecer— juega un papel crucial. Es en virtud de tal papel, además, que podemos concebir la *hyle* aristotélica en primer lugar; pues de por sí, como he dicho, no es «nada». Entonces, ¿qué hace *hyle*? Si cabe plantearlo así. Recibe *morphe*, recibe el contenido —recibe el ser, de hecho; y puede hacerlo precisamente porque, de por sí, es amorfa, vacía y, de hecho, inexistente.

Por su parte, *morphe* tampoco tiene existencia concreta, como hemos indicado antes; existe, por así decirlo, en conjunción con *hyle* —como la forma de Apolo existe en conjunción con su soporte marmóreo—. *Morphe*, no obstante, no es simplemente «forma, contorno o figura» en el sentido más o menos visual de estos términos —no hemos de llevar la metáfora escultórica demasiado lejos—. La cuestión es que la *morphe* de una entidad existente es precisamente su aspecto cognoscible. En suma, una cosa es inteligible en virtud de su *morphe* —pero existente debido a *hyle*—. No digo «su *hyle*», además, porque *hyle*, estrictamente hablando, no pertenece a la cosa —no más de lo que se podría decir que el océano pertenece a una ola particular—. De otra parte, *morphe* pertenece a la cosa: pues la *morphe* de una entidad es verdaderamente su esencia (<esse, «ser»<sup>[5]</sup>). Es lo que conocemos y podemos conocer; y así, es el «qué» o *quididad* de la cosa. Hemos de tener en mente, no obstante, que la entidad existente no coincide simplemente con su *quididad*: tiene también un aspecto hílico, que permanece ininteligible —lo que, ciertamente, es un hecho totalmente significativo—.

Cabe indicar que con el resurgimiento de la filosofía aristotélica durante la era escolástica el término griego «*morphe*» se reemplazó de manera natural con el latino «forma», e *hyle* pasó a ser *materia*. Y mediante cierta evolución,

además, la «materia» escolástica llegó a transformarse en la «materia» de los físicos newtonianos —cuyo significado, sin embargo, está lejos de ser claro—. Ontológicamente hablando, este remanente de la era newtoniana constituye, en cualquier caso, un híbrido confuso de *materia* y *forma* en el auténtico sentido. Y, a diferencia de la «masa» —con la que algunas veces se confunde— no tiene, en realidad, ningún papel riguroso que desempeñar en la economía del pensamiento científico.

Lo más cerca de la auténtica *materia* que la «materia» newtoniana estuvo destinada a alcanzar, fue sin duda el desdichado éter, cuya pretendida función era ser el soporte del campo electromagnético. Pese a su perfecta homogeneidad, atenuación extrema y otras características «etéreas», no obstante, tal éter aún se concibió como «substancia» en el sentido contemporáneo. De otra parte, la auténtica *materia* es una cosa muy diferente. Antes de nada, se ha de entender que la *materia* no ocupa espacio —como resulta evidente nada más recordar que el espacio tiene que ver con relaciones geométricas entre entidades existentes—. Ontológicamente hablando, por lo tanto, el espacio es posterior a la *materia*; y, dicho sea de paso, lo mismo se aplica al tiempo. Y aun así, se podría decir también que el espacio, concebido como receptáculo vacío o continente universal, constituye un tipo de símbolo natural o imagen cósmica del sustrato material. La auténtica *materia*, pues, lejos de estar caracterizada por la extensión, como la «materia» newtoniana, por el contrario, es aliada del continente, del puro receptáculo.

Aquí pueden venir al caso unas pocas palabras sobre la antaño ilustre filosofía conocida como materialismo, que pretende explicar todas las cosas simplemente en términos de la «materia» newtoniana. Pues bien, en primer lugar es evidente, a la luz de lo que hemos dicho antes, que la existencia corpórea entraña necesariamente *dos* principios: digamos que «hacen falta dos para existir». Sin embargo, si se pretende reducir las cosas corpóreas a un único principio, la «materia» newtoniana resulta ser una elección especialmente mala. Ya que, aparte de la inherente vaguedad de esta noción y de su inutilidad en el plano estrictamente científico, el concepto se sitúa, con todo, predominantemente del lado de la *materia*. Representa la existencia desnudada, por decirlo así, de la mayor parte de su contenido formal, y constituye, así, una especie de cuasimateria o cuasisustancia. Por tanto, los materialistas dirigen la mirada hacia la *materia* en busca de un único principio en términos del cual pueda comprenderse todo —lo que es una elección desafortunada, puesto que la *materia* no solo es cien por cien ininteligible por derecho propio, sino que presta a todas las cosas su aspecto de ininteligibilidad, si se nos permite decirlo así—. De tal manera, el cambio desde la interpretación materialista de la física a la estructuralista, que tuvo lugar con el descubrimiento de la relatividad einsteiniana, representa sin duda

un giro en la dirección correcta: desde la *materia* hacia el aspecto inteligible de la realidad.

No obstante, el hecho de que las cosas sean inteligibles en virtud de su aspecto formal no implica que puedan concebirse adecuadamente pura y simplemente como formas, ni como estructuras en el sentido de los físicos. Así, si el materialismo resulta insostenible, también pasa lo mismo con el estructuralismo; pues de hecho, a fin de cuentas, mantengo que no puede haber ninguna ontología viable que de un modo u otro no invoque el paradigma hilemórfico. Se puede decir que la misma idea de existencia corpórea exige dos principios complementarios, que no pueden sino responder al doble concepto de *materia* y *forma*. Y esto explica por qué las nociones correspondientes se encuentran en las principales ontologías, desde China e India, hasta Grecia y la antigua Palestina<sup>[6]</sup>.

\* \* \*

Para percibir la necesidad de la concepción hilemórfica no hace falta más que reflexionar en el enigma epistemológico que es el problema del conocimiento. Hemos mantenido que el dominio corpóreo se conoce por medio de la percepción sensorial y el físico mediante el *modus operandi* de la observación científica; pero ¿qué significa «conocer»? He indicado que el proceso de conocer culmina invariablemente en el acto intelectual, pero ¿cuál es la naturaleza de este acto? ¿En qué consiste?

Según indicó Aristóteles hace mucho, el acto de conocer consiste en cierta unión del intelecto con su objeto. Pero ¿cómo puede el intelecto unirse a la cosa externa? Semejante unión, claramente, solo se puede concebir en términos de una tercera entidad o elemento común, que tanto objeto como sujeto pueden poseer, cada uno en su propio modo apropiado; y precisamente este *tertium quid* ha de ser lo que hace que el objeto sea cognoscible.

Pero solo en parte. Porque después de todo, el objeto externo no es —en su totalidad— lo que «pasa al sujeto», sino solo lo que he denominado *tertium quid*. Además, este «tercer factor» responde a la pregunta «¿qué?»: es lo que conocemos. Y aun así no coincide simplemente con el objeto como tal, pues como acabamos de indicar, este último es forzosamente «más» que el *tertium quid*.

Ahora bien, el *tertium quid* ciertamente no es sino la *morphe* aristotélica, la forma o *quididad* de la cosa existente. Pero en tanto que la cosa no coincide con su *morphe*, se precisa postular un segundo principio —si se quiere, una X— que diferencie ambos, o compense la diferencia, por decirlo así. Y esta X —que forzosamente es incognoscible y carece de *quididad*— evidentemente es comparable a la *materia*. Se llega así, por medio de consideraciones

epistemológicas bastante sencillas, a las nociones básicas del paradigma hilemórfico.

Vale la pena señalar que la *morphe* o *tertium quid* necesita similarmente existenciarse de manera subjetiva, es decir, en el plano mental. Requiere, digamos, vestirse de imágenes mentales y así, por decirlo de cierta manera, «incorporarse». El proceso humano de conocer es complejo, como hemos tenido amplia ocasión de señalar. Pero se consume con un solo acto intelectual que es perfectamente simple —y por esta misma razón elude el análisis—. Y es aquí, en este enigmático acto, donde tiene lugar la unión cognitiva en la que sujeto y objeto se unen.

\* \* \*

Al inicio de este interludio filosófico mencioné que la idea de la naturaleza a la que antes llegamos tiene que ver con el paradigma hilemórfico. Obviamente se querría concebir la naturaleza como *materia*; pero al estar dotada, como hemos visto, con una forma propia, no es la *materia* en un sentido absoluto, no es *materia prima* en el sentido escolástico. No obstante, evidentemente constituye una *materia secunda* con relación al mundo espaciotemporal precisamente en el mismo sentido en que se puede llamar al plano euclidiano *materia secunda* con relación al universo de las figuras construidas. Así, como *materia*, se sitúa «debajo» del dominio espaciotemporal en sentido ontológico, es decir, como soporte o receptáculo de su contenido formal. Y con todo, dispone de una forma propia que transmite al universo en general como ley universal o principio de orden; como mínimo denominador común, por así decirlo, de la suma total de las formas manifestadas. Por tanto, la naturaleza resulta ser una *materia quantitate signata* (una *materia* «marcada por la cantidad»), si se nos permite adoptar esta excelente frase tomista<sup>[7]</sup>.

Por último, hay que señalar que el paradigma euclidiano o geométrico — en términos del cual antes he tratado de explicar el planteamiento de la física — es en efecto comparable al hilemórfico. Constituye, de hecho, la forma o versión del paradigma hilemórfico que más directamente se relaciona con el *modus operandi* de la física. Y como tal, resulta indispensable<sup>[8]</sup>.

\* \* \*

A la luz de estas consideraciones será interesante reflexionar sobre la consagrada distinción entre «cantidades» y «cualidades» según se conciben en relación con el dominio corporal. ¿Cuál es la diferencia ontológica (si la hay) de esta presunta complementariedad? Señalemos en primer lugar que en tanto

que las cantidades en cuestión pertenecen al nivel corpóreo, de algún modo han de ser perceptibles. O dicho más precisamente: ha de ser posible observar o averiguar estas cantidades sin el empleo de instrumentos científicos. Ahora bien, resulta que hay dos modos de cantidad: el «número» en sentido de cardinalidad, y la «extensión». Claramente, el primero se averigua contando, o en el caso de conjuntos lo bastante pequeños, parecería que mediante una especie de percepción directa. De otra parte, la extensión tiene que ver con «grande» y «pequeño», «recto» y «curvo», y multitud de otros atributos geométricos al alcance de la percepción humana. Además, las dos clases de cantidades están íntimamente conectadas y es ciertamente la razón por la que una sola ciencia —a saber, la matemática— puede tratar efectivamente con ambas.

Por otro lado, las cualidades se podrían caracterizar precisamente por el hecho de que *no* se prestan a descripción matemática. Y esta es sin duda la razón por la que Galileo y Descartes se sintieron impelidos a desterrar estos pretendidos atributos «secundarios» del mundo externo: las cualidades hubieron de desaparecer porque no se las podía hacer encajar en un universo mecánico, un universo que se pudiera entender en términos puramente matemáticos. No obstante, según hemos mostrado ampliamente, las cualidades sin embargo existen; el rojo de una manzana, por ejemplo, existe y pertenece al objeto externo tan auténticamente como su silueta. Se reduce a esto: una entidad vacía de cualidades es *ipso facto* imperceptible; pues en efecto, las cosas se perciben en virtud de su contenido cualitativo —como los países en un mapa, por ejemplo, son visibles no (estrictamente hablando) por sus fronteras matemáticas, sino por sus respectivos colores—. Y así, encontramos que el mundo corpóreo abarca, después de todo, tanto «cantidades» como «cualidades», como la mayoría de la gente siempre pensó.

Pero en tanto que las cualidades son, por decirlo así, ubicuas en el plano corpóreo, no se halla ni una sola en el físico; pues el dominio físico consiste, como hemos visto, en cosas que se pueden describir, sin residuo, en términos matemáticos. Consiste, pues, en estructuras matemáticas, o en «formas matemáticas existenciadas», como he dicho en algunas ocasiones. No obstante, hemos de recordar que los objetos físicos resultan ser, finalmente, ni más ni menos que ciertas «potencialidades» con relación al mundo corporal. Por tanto, de ninguna manera es irrazonable deducir que la existencia, propiamente dicha, «comienza» en el plano corpóreo. Se podría objetar, claro está, que esto es una cuestión semántica, y que el epíteto «existencia» se puede en efecto aplicar al nivel físico también; pero entonces, por la misma lógica, también estamos en nuestro derecho de adoptar la postura anterior, que es lo que propongo hacer —de acuerdo con la idea de que «por debajo» del plano corpóreo se hallan potencialidades de varios tipos, y nada más—.

Pues bien, los planos subexistentiales —es decir, el físico y la *materia secunda*, subfísica— están constituidos, como ya se ha señalado, por formas matemáticas. Bajo el nivel de la existencia no queda más que la cantidad pura. Cuando, de otra parte, llegamos al plano corpóreo, aparecen las cualidades: atributos que no se pueden comprender ni explicar en términos cuantitativos. Es cierto que los objetos corpóreos también admiten atributos cuantitativos. Conllevan de hecho cierta estructura matemática que deriva del objeto físico asociado y se puede comprender totalmente en términos físicos<sup>[9]</sup>. Y tal es, evidentemente, la razón por la que la física es posible en primer lugar, y por la que los físicos se han visto tentados a exorcizar las cualidades y a identificar el dominio corpóreo con el físico. Dejando fuera las cualidades, no queda más que un solo dominio ontológico, constituido por la estructura matemática.

Pero, como sabemos, las cualidades se resisten a ser exorcizadas. Además, el hecho de que abunden en el dominio corpóreo, pero no se las encuentre en ninguna parte de los planos subexistentiales, solo puede significar una cosa: las cualidades indican esencia (<esse, «ser»); a saber, la esencia de la entidad corpórea. Y tal esencia, entiéndasenos claramente, no es una estructura matemática: el mismo hecho de que los objetos corpóreos admitan atributos cualitativos basta para excluir esa posibilidad.

El dominio corpóreo está constituido, pues, por esencias «no matemáticas», por chocante que eso pueda sonar en nuestros días<sup>[10]</sup>.

Pero sigamos. Habiendo discernido que las cualidades indican esencia, hemos ahora de preguntarnos: ¿cuál es, en ese caso, el significado de las cantidades, y más generalmente, de las formas matemáticas? No obstante, la respuesta a esta pregunta se ha conocido por mucho tiempo; como decían los escolásticos: *numerus stat ex parte materiae*<sup>[11]</sup>. En otras palabras, la cantidad y la estructura matemática se refieren a la *materia*, o más precisamente, al aspecto material de las cosas. El objeto concreto está hecho, como hemos visto, de materia y forma; y esta polaridad ontológica se refleja en el plano de la manifestación. El objeto existente atestigua, por decirlo así, los principios de los que está constituido; es decir, tanto el principio paternal como el maternal. Y esta es la razón, por último, de que haya tanto cualidades como cantidades en el dominio corpóreo: unas indican la esencia, y las otras el substrato material.

\* \* \*

A la luz de estas consideraciones podemos, al fin, percibir toda la magnitud de la desviación cartesiana. Pues parece que, con el rechazo de las cualidades o los llamados atributos «secundarios» Galileo y Descartes expulsaron lo que de hecho es principal: la esencia misma de las cosas corpóreas<sup>[12]</sup>.

Ahora bien, ciertamente la física trata los aspectos cuantitativos de la manifestación cósmica; y esto es, obviamente, hasta cierto punto legítimo e informativo. Pero no hay que esperar demasiado. Aun con toda su afamada capacidad, hay límites a lo que la física puede comprender o explicar, y estas limitaciones resultan más estrictas de lo que se tiende a suponer. Como observó el metafísico francés René Guénon:

Se puede decir que la cantidad, al constituir propiamente el lado substancial de nuestro mundo, es por así decir su condición «básica» o fundamental; pero es menester guardarse bien de darle por ello una importancia de otro orden que la que tiene realmente, y sobre todo querer extraer de ella la explicación de este mundo, del mismo modo que es menester guardarse de confundir el fundamento de un edificio con su cima: mientras no hay más que el fundamento, no hay todavía edificio, aunque este fundamento le sea indispensable, e igualmente, mientras no hay más que la cantidad, no hay todavía manifestación sensible, aunque esta tenga en ella su raíz misma. La cantidad, reducida a sí misma, no es más que una «presuposición» necesaria, pero que no explica nada; es efectivamente una base, pero no es nada más, y no debe olvidarse que la base, por definición misma, es lo que se sitúa en el nivel más inferior...<sup>[13]</sup>

Aunque la frase «no explica nada» puede ser excesiva, sirve bien como contrapeso de las afirmaciones no menos exorbitantes que sostienen quienes quieren «extraer la explicación de este mundo» de los datos de la física.

Estrictamente hablando, lo único de un objeto corpóreo que se puede comprender en términos de física son sus atributos cuantitativos; y ello se puede hacer, además, debido a que los atributos en cuestión, por decirlo así, los hereda del objeto físico asociado. Más allá de esto, la física no tiene nada que decir. Solo tiene «ojos» para lo físico: no percibe más que SX, y eso es todo lo que aparece en sus gráficas. Y esa es, sin duda, la razón por la que los físicos han podido convencerse a sí mismos (¡y al resto del mundo educado!) de que los objetos corpóreos, como tales, no existen; o por decirlo al revés: que X «no es nada salvo» SX. Esta es la razón por la que se piensa que las entidades corpóreas están «hechas de» átomos o partículas subatómicas, y por la que se sostiene que las cualidades son «meramente subjetivas».

Por último, hay que tener en cuenta que esta supuesta reducción de lo corpóreo a lo físico tiene el efecto de hacer que lo físico mismo sea ontológicamente incomprensible. Naturalmente, se pueden calcular y hacer predicciones cuantitativas, pero eso es todo. Se puede, en efecto, responder a la pregunta «¿cuánto?» con increíble precisión; pero cualquier intento de



responder a la pregunta «¿qué?» forzosamente lleva a la contradicción y a la absurdidad. Esta *Weltanschauung* (que en realidad no es una *Weltanschauung*) no admite ninguna ontología. Y ¿no es esta, precisamente, la conclusión que ha de sacarse del interminable debate sobre la «realidad cuántica»? Además, es incluso imposible dar una explicación no falsada de la metodología científica en el marco de la posición reduccionista, ya que en ausencia de cualidades no puede haber percepción alguna, y por lo tanto tampoco medición. Estrictamente hablando, no se conoce ni lo corpóreo ni lo físico, ni se tiene ninguna idea clara de qué trata la física. ¿Sorprende, pues, que los físicos, como dice Nick Herbert, hayan «perdido el contacto con la realidad»?<sup>[14]</sup>.

## V

### SOBRE SI «DIOS JUEGA A LOS DADOS»

Se sabe que los sistemas mecánico cuánticos son indeterminados. En lo que concierne a sus predicciones, la mecánica cuántica es por tanto una teoría inherentemente probabilística o estadística —hasta aquí está claro—. Lo que no lo está tanto, de otra parte, es si la teoría está completa, es decir, si es fundamental. Es concebible que la mecánica cuántica pueda tratar con ciertos epifenómenos estocásticos generados por sistemas subyacentes de tipo determinista. Esto es más o menos lo que pensó Einstein y lo que quienes creen en «variables ocultas» piensan hasta hoy, desafiando la ortodoxia copenhaguenista. Y así, el famoso debate entre Einstein y Bohr continúa, y presumiblemente lo hará hasta que se haya resuelto el problema central: a saber, la pregunta de si el universo es determinista o no.

Para empezar, quisiera señalar que el asunto no se puede resolver en un plano estrictamente científico o «técnico». Lo prolongado del verdadero intercambio entre Bohr y Einstein lo sugiere; pues si fuera simplemente cuestión de física, se pensaría que los dos principales físicos del siglo podrían haber zanjado la cuestión entre ellos dentro de algún plazo razonable de tiempo. Pero no la zanjaron; y Bohr, por su parte, parece que siguió cavilando sobre el problema hasta el día de su muerte<sup>[1]</sup>. Lo que es aún más relevante, no obstante, y que prácticamente lo remacha, es el hecho de que existen teorías deterministas estrictas que conducen exactamente a las mismas predicciones que la física cuántica. Son las llamadas teorías de variables ocultas, originalmente conjeturadas por de Broglie y construidas por vez primera por David Bohm en 1952. Ciertamente, permanece la indeterminación empírica: solo que ahora surge, supuestamente, no porque el mismo universo sea determinista, sino porque el experimentador en principio es incapaz de preparar un sistema físico en el que las «variables ocultas» estén sujetas a condiciones prescritas iniciales. Desde el punto de vista estrictamente científico, por lo tanto, parece que se tiene elección en el asunto. Se puede optar por una perspectiva de la realidad determinista o indeterminista, por un modelo neoclásico<sup>[2]</sup> o cuántico —parece, más o

menos, cuestión de gusto—. Y los gustos difieren. Hay científicos de primera categoría que no ven nada incongruente en la noción de una acausalidad fundamental —una perspectiva ejemplificada por John von Neumann con las palabras: «Por el momento no hay ocasión ni motivo para hablar de causalidad en la naturaleza»—,<sup>[3]</sup> y luego hay otros, comenzando por Einstein, que encontraron impensable que «Dios jugase a los dados».

¿Qué hemos de decir, pues? Si la cuestión no puede zanjarse sobre una base científica, ¿por qué medios —aparte del «gusto»— puede resolverse?

El universo, o es determinista, o no lo es: esa es la cuestión. No puede haber duda, claro está, de que en el plano empírico prevalece cierto determinismo. Estamos rodeados, a fin de cuentas, de fenómenos —desde el movimiento de planetas hasta el funcionamiento de incontables aparatos hechos por el hombre— que se pueden describir y predecir tan precisamente como se quiera con los métodos de la física clásica. E incluso en el dominio cuántico, como sabemos, resulta que la evolución de los sistemas físicos está rigurosamente gobernada por la ecuación de Schrödinger —justo hasta el decisivo momento del colapso del vector de estado—. En este punto, no obstante, parece venirse abajo el determinismo (o equivalentemente, la causalidad). Y, aun así, incluso este derrumbe (verdadero o aparente, sea como sea) no tiene en general ningún efecto mensurable en el nivel corpóreo, donde se trata forzosamente con medias estadísticas, extendidas sobre ensamblados atómicos de tamaños increíbles. Así, en realidad, es la llamada ley de los números grandes la que da cuenta del determinismo clásico. Y por esto von Neumann pudo decir que «por ahora no hay ocasión ni motivo para hablar de causalidad en la naturaleza». Desde esta perspectiva el determinismo clásico se reduce a un mero epifenómeno, mientras que, a nivel fundamental, tal como se concibe a día de hoy, la causalidad se derrumba.

Sin embargo, es preciso recordar que también existen fenómenos corpóreos (que implican ensamblados subcorpóreos tan «macroscópicos» como se quiera) en los que los efectos de la indeterminación cuántica no están enmascarados por fenómenos estadísticos, sino que aparecen, por así decirlo, a simple vista —lo que es, después de todo, la razón por la que estos efectos pueden detectarse en primer lugar—. Eso es lo que ocurre, por ejemplo, cuando se coloca un contador Geiger cerca de una fuente radiactiva. La descomposición de los núcleos —que, según la mecánica cuántica constituye un proceso indeterminado— activa una secuencia correspondiente de sucesos en el nivel corpóreo. Por supuesto, aún es concebible que pueda haber un «mecanismo escondido» dentro de los núcleos que determine el momento de la desintegración —y por tanto la secuencia empírica— de acuerdo con alguna ley matemática, y esto es, en efecto, lo que mantiene la teoría de variables ocultas. No obstante, la verdadera cuestión es si se está obligado, sobre una base *a priori*, a suponer que tal mecanismo deba existir.

Una observación más para aclarar el problema: el concepto de determinismo de ningún modo coincide con la noción de predictibilidad. Incluso el más acérrimo defensor del determinismo, a fin de cuentas, seguramente debe admitir que no todo en el mundo se puede predecir, de hecho. El propio Laplace —paragón de los deterministas— solo mantuvo que el futuro del universo se podía calcular en principio, con tan solo saber la posición exacta y el impulso de cada partícula; pero no hace falta decir que ningún científico jamás ha estado tan loco como para suponer que se pueda obtener tal conocimiento de las «condiciones iniciales» por medios científicos, o que el cálculo requerido se pudiera realmente llevar a cabo una vez se hubieran recabado los datos. Sin duda es cierto que un fenómeno solo es predecible en la medida en que está determinado; pero el fenómeno muy bien puede estar determinado sin ser predecible en un sentido pragmático o empírico —después de todo, hay límites a lo que los humanos podemos hacer—.

«¿Juega Dios a los dados?». Parece que esa es la cuestión. Y al parecer Einstein lo dijo bien; pues la misma formulación sugiere lo que, llegados aquí, se ha hecho bien evidente: a saber, que el asunto no es, de hecho, científico, sino incorregiblemente metafísico.

\* \* \*

Así pues, el problema solo puede resolverse metafísicamente. Nos corresponde, por lo tanto, reflexionar de nuevo sobre los principios metacósmicos de materia y forma, y tener en mente que estos principios parejos se reflejan de diversas maneras en todo plano de manifestación o dominio empírico. En todos sus aspectos, como cuestión de hecho, la naturaleza nos habla, por decirlo así, de la dualidad hilemórfica. Hemos encontrado que un buen ejemplo es la distinción entre cantidades y cualidades; pues, como hemos visto, las cantidades pertenecen a la materia en tanto que las cualidades indican la esencia, y por tanto la forma. O, para dar un segundo ejemplo de especial interés: puede mostrarse que el espacio corresponde al aspecto material y el tiempo al aspecto formal de lo que se llama continuo espacio-tiempo. O, nuevamente: la complementariedad biológica de hembra y macho (¡si es que en estos días nos podemos atrever a decirlo!). Evidentemente no podemos entrar a exponer extensamente todos estos ejemplos; baste decir que el mundo está repleto de polaridades «hilemórficas», ninguna de las cuales, además, puede comprenderse en profundidad sin referencia a su prototipo ontológico.

Será adecuado, en este punto, recordar el llamado *yin-yang*, conocido emblema de los taoístas, que se podría decir que es el icono de la dualidad hilemórfica. Como es sabido, consiste en un círculo que abarca un campo

blanco y otro negro, que coinciden en una «S» inscrita. Dentro del campo blanco, además, hay un pequeño círculo negro, y dentro del negro un círculo blanco. Según la interpretación tradicional, la figura representa la complementariedad de *yin* y *yang*, los dos principios gemelos correspondientes al substrato material y a la esencia (o materia y forma), respectivamente. Se acostumbra, no obstante, a considerar la polaridad *yin/yang* no metacósmicamente, sino en términos de esta o aquella manifestación cósmica; lo que es decir que el *yin-yang* se presta a innumerables aplicaciones. Representa una ley universal de complementariedad, no diferente del «principio de complementariedad» general que concibió Niels Bohr en sus últimos años<sup>[4]</sup>.

Sin embargo, el *yin* siempre está del lado de la materia, y así representa el aspecto oscuro o ininteligible de la cosa o fenómeno en cuestión —lo que es, por supuesto, la razón por la que se representa en el *yin-yang* con el color negro—. El *yang*, por su parte, significa la forma y así, se refiere al aspecto inteligible; por tanto, se representa con el color blanco.

Pero, concretamente, ¿qué significa el círculo negro dentro del campo blanco y el círculo blanco en el negro? Claramente, de lo que aquí se trata ha de ser más que una complementariedad en el sentido habitual: ha de ser una compenetración mutua, o *pericóresis*, cabría decir. Y como vamos a ver, aquí se encuentra la clave al problema del determinismo.

Volvamos a la física. Esta se ocupa, obviamente, de ciertas determinaciones matemáticas, que como tales se emplazan claramente del lado del *yang*. Pero entonces, en este contexto, ¿qué significa el *yin*? Qué otra cosa podría ser, sino cierta indeterminación correspondiente. A la luz del *yin-yang* se puede por tanto concluir que «en medio» de la determinación, la indeterminación debe aparecer de algún modo. Pero ¿cómo? Antes de 1925, ¿quién habría imaginado semejante eventualidad? Sin embargo, esto es precisamente lo que ha llegado a ocurrir. Las teorías físicas más precisas que ha concebido el hombre han dado lugar a un llamado principio de incertidumbre —¡nada menos que como teorema matemático!—. Dentro del campo blanco ha aparecido, inesperadamente, un círculo negro. Es muy pequeño; por así decirlo, su radio es del orden de la constante de Planck.

Se ha hecho evidente a qué me refiero: la interacción de determinación e indeterminación según la concibe la teoría cuántica, lejos de ser en modo alguno irrazonable, resulta ser exactamente lo que exige la doctrina del *yin-yang*. La indeterminación cuántica, lejos de ser una aberración inexplicable, resulta estar bien sencillamente en la cara *yin* de la moneda. Contrariamente a nuestras expectativas clásicas, parece así que la determinación y la indeterminación no se oponen en realidad, ni se excluyen mutuamente, sino que parecen de hecho implicarse mutuamente en cierto sentido elevado y maravilloso. La noción de un universo perfectamente determinista resulta, así,

quimérica; lo que es decir que Dios, en cierto sentido, «juega a los dados» — por desagradable que este *līlā*<sup>[5]</sup> pueda ser para los racionalistas cartesianos —.<sup>[6]</sup>

\* \* \*

Alguien ha dicho que «el universo es un tejido de necesidad y libertad, de rigor matemático y juego musical; todo fenómeno participa de estos dos principios».

Parece, no obstante que, de estos dos principios, el segundo se olvidó rotundamente durante la era newtoniana. Con el declinar del Medievo parece que empezó a manifestarse un pronunciado prejuicio a favor de la «ley». No solo las personas llegaron a creer más agudamente en la existencia de leyes universales, sino que comenzaron a imaginar que todo movimiento y transformación perteneciente al dominio corpóreo se podía explicar rigurosamente solo con la ley. Y esta ley que supuestamente lo abarca todo muy pronto llegó a concebirse en términos estrictamente matemáticos y de hecho mecanicistas, de acuerdo con lo que se puede llamar el paradigma de relojería. Se ha discutido mucho sobre las causas de semejante evolución intelectual, que puede haber ido desde una escolástica decadente que salió mal hasta la construcción práctica de relojes mecánicos<sup>[7]</sup>, pero lo que nos toca especialmente es el hecho de que el movimiento culminó en la filosofía cartesiana. Fue Descartes, a fin de cuentas, quien formuló la doctrina del determinismo mecanicista en su formato completo, sentando así las bases teóricas sobre las que pasó a apoyarse el edificio de la física newtoniana; y así, fue mediante la herencia cartesiana que con el tiempo se impuso a la civilización occidental el espectro de un universo de relojería. En retrospectiva, se puede decir que, desde la llamada Ilustración hasta la época de Max Planck, esa *Weltanschauung* ha tenido un dominio absoluto; e incluso hoy, frente a la indeterminación cuántica, sigue con nosotros como una influencia enorme. A fin de cuentas, ¿de qué trata la controversia Bohr-Einstein si no de cierto cartesianismo residual? ¿Por qué si no un físico se opondría tan vehementemente a la idea de que «Dios juega a los dados»? Hay quienes ciertamente querrían justificar su oposición a la idea de indeterminismo con un argumento u otro y, por ejemplo, Stanley Jaki fue tan lejos como para percibir «una inconsistencia radical» en la postura copenhaguenista, que supuestamente resultaba de «el rechazo radical por parte de esa filosofía de cualquier cuestión sobre el ser»<sup>[8]</sup>. Pero aun si puede ser cierto que los físicos suscritos a la escuela de pensamiento de Copenhague por regla hayan prestado escasa atención a la ontología, sostengo que solo una ontología sesgada —una que conciba el mundo como hecho solamente de

*yang*— podría llevar a sus adherentes a creer en un determinismo de estilo cartesiano, o a percibir una «inconsistencia radical» en su negación.

Ciertamente, un suceso es inteligible en tanto que ejemplifica una ley, un principio formal de alguna clase; y por la misma lógica, lo que no entre bajo el dominio de la ley es *ipso facto* ininteligible. Pero nada dice que lo ininteligible no pueda tener lugar, por angustiosa que la idea pueda ser para los racionalistas. No se tiene ninguna base *a priori* para suponer, por ejemplo, que la desintegración de los núcleos radiactivos haya de estar sujeta en principio a una ley determinista —independientemente de lo que la teoría cuántica pueda tener que decir sobre el asunto—.

Volviendo a Descartes, es interesante señalar que, junto con el postulado de bifurcación y la desafortunada *res extensae*, el sabio francés introdujo una tercera noción de gran importancia: a saber, su llamada geometría analítica. La idea básica —conocida por todo estudiante de matemáticas— consiste en suponer que el continuo matemático, ya sea una línea, plano o espacio de más alta dimensión, se puede «coordinar» y percibirse, así, efectivamente como un conjunto de puntos infinitos. Se sabe hoy que este paso no está tan exento de problemas como se había creído, y algunos reputados matemáticos contemporáneos han ido tan lejos como para rechazar la idea de conjuntos infinitos. Lo que sin embargo se falla en ver, generalmente, es que la llamada coordinación del continuo destruyó —o, mejor dicho, oscureció— la distinción entre «potencia» y «acto» en el dominio matemático. De acuerdo con la concepción precartesiana, como hemos indicado antes, ni en la línea ni en el plano hay puntos —o sea, hasta que tales puntos de alguna manera se han construido—. En otras palabras, los puntos representan determinaciones, mientras que el continuo como tal constituye una especie de sustrato material o «potencialidad» —lo que es la razón, recordemos, por la que el ejemplo de la geometría se podía emplear como metáfora ontológica—. Se puede decir que el continuo representa el principio material en el dominio cuantitativo, por así decir, la mitad negra del círculo. Pero esto es precisamente lo que el racionalista francés estaba decidido a extirpar, ya fuera en el universo externo o en el dominio de su representación matemática. En cualquier reino el «negro» tenía que desaparecer. La obra de Descartes se completa con la introducción de lo que hasta nuestros días se llama sistema de coordenadas cartesianas.

\* \* \*

Pero de todas maneras el «negro» sigue ahí. E incluso, lo que es más, en virtud de la maravillosa *pericóresis* de la que nos habla el *yin-yang*, realmente se combina con el «blanco». En el corazón de todas las cosas se halla cierta *coincidentia oppositorum*; y ahí, como he dicho, se encuentra la clave de

nuestro problema, que es el enigma del indeterminismo. El asombroso hecho es que la libertad y la necesidad pueden coexistir; una no excluye o cancela la otra, como comúnmente se cree. Así, en medio de la necesidad, la libertad puede existir; y no simplemente como elemento extraño —en realidad, no como un punto negro en un campo blanco— sino como algo íntimamente vinculado a la necesidad, como su contrapartida. En suma, existe cierta unión de libertad y necesidad, que además se presenta de incontables maneras. Todo arte, por ejemplo, se basa en tal síntesis. Así, en una composición musical, la tonalidad y la métrica se ponen del lado de la «necesidad»; la composición está obligada a desplegarse dentro de este marco, de esta «ley». Lo que se despliega, por otra parte —el contenido melódico, por decirlo así—, de ningún modo se determina o necesita por parte de esa tonalidad y métrica. Como sabemos, una auténtica obra de arte muestra siempre una maravillosa libertad, que de hecho se ve realizada por lo estricto de la forma prescrita. Es precisamente *dentro* de una ley o canon prescrito que se puede lograr una genuina libertad o expresión artística. Como dijo Goethe: «*In der Beschränkung zeigt der Meister*» (El artista se muestra en la delimitación).

Habiendo hablado de «libertad» en el contexto del arte, no he de dejar de señalar que este término de ningún modo indica lo arbitrario o accidental. La libertad de expresión evidentemente presupone cierta «indeterminación» o flexibilidad en los contornos prescritos; pero el paso de la potencia al acto no se efectúa en realidad tirando un dado. Lo lleva a cabo, evidentemente, el artista, el agente inteligente que se expresa o revela a sí mismo *in der Beschränkung*, es decir, en la sujeción a ciertos límites.

Tratemos de comprender esta interacción —esta «dialéctica de libertad y necesidad»— tan claramente como podamos; pues resulta que es mucho lo que depende de esta cuestión. Afirmo que el acto creativo consiste en la libre imposición de cierto marco, de cierta determinación. No obstante, esa nueva determinación es algo muy diferente de los marcos originales o preasignados. Se precisa, pues, distinguir claramente entre límites que vienen «de abajo», que de alguna manera están dados, y límites que vienen «de arriba», libremente impuestos. Es de señalar, además, que los segundos se *pueden* imponer en efecto precisamente porque a los primeros les queda cierta flexibilidad o «indeterminación». Es en virtud de tal indeterminación que la tonalidad y la métrica, por ejemplo, pueden servir de canon para la composición musical.

Pero hay más que decir. Resulta que hay cierta armonía o afinidad entre dos clases de marcos; pues el artista no solo tiene cuidado de no transgredir el canon prescrito, sino que, como se sabe, cuidadosamente escoge su «restricción» en vistas a la idea artística que desea expresar.



Antes de dejar el tema del arte, nos corresponde observar que el arte en general nos alerta de un hecho metafísico de la mayor importancia. Pues el ejemplo del arte nos obliga a reconocer que el paradigma hilemórfico, según lo hemos concebido hasta aquí, es incompleto e insuficiente. Hemos estado todo el tiempo mirando solo a la mitad del cuadro: la mitad inferior, como de hecho se podría decir.

Volvamos pues a nuestro punto de partida hilemórfico y preguntémosnos: ¿cómo adquiere un pedazo de mármol en bruto la forma de Sócrates? Lo primero es señalar que la respuesta a esta pregunta no se puede plantear solo en términos de *materia* y *forma*; es decir, se requiere, nuevamente, un *tertium quid* que ahora, no obstante, debe responder a la idea de agente o principio activo: es decir, el artista o escultor es quien otorga la forma. Y esa forma, además, de algún modo debe preexistir como arquetipo, o como «el arte en el artista», por usar otra frase escolástica. Se ve, así, que el paradigma hilemórfico, en su forma completa, ha de entrañar no dos, sino cuatro ingredientes, que corresponden precisamente a las llamadas «causas» material, formal, eficiente y paradigmática de Aristóteles.

De otra parte, no es necesariamente inadmisibles descuidar la distinción entre la causa eficiente y la paradigmática o final —entre el «artista» y «el arte y en el artista»—, y por tanto combinar ambas en un solo principio activo. Lo que, sin embargo, de ningún modo se puede dejar de tener en cuenta es la idea de agente o principio activo como tal. Necesitamos, pues, recobrar la distinción entre *natura naturata* y *natura naturans*: lo «naturado» y lo «naturante», por decirlo, una vez más, en términos escolásticos.

Pero, como sabemos, la idea de agente metacósmico —o de *natura naturans*— no goza de aprobación académica; y así, también, la palabra «naturaleza» ha perdido su connotación más elevada, llegando a referirse exclusivamente a este u aquel aspecto de la *natura naturata*. Después de todo, habiendo expulsado la noción de las «formas», no hay necesidad adicional de un agente «otorgador de formas». Corre la voz de que la «evolución» se ocupa del problema de la génesis: desde el universo en general hasta las especies de microbios, todo simplemente «evoluciona». Ahora bien, las cosas sin duda evolucionan; pero solo después de que existan, después de que hayan recibido una forma o naturaleza que *pueda* «extenderse o desplegarse». Y así, a fin de cuentas, queda el hecho de que la *natura naturata* presupone la *natura naturans*: lo natural presupone lo sobrenatural —por desagradable que esta verdad pueda ser para algunos—. Y en cuanto al término escolástico «*natura naturans*», constituye por supuesto un *nomen Dei*: se refiere a Dios, concebido como «dador de formas».

\* \* \*

Al fin estamos en posición de considerar «la unión de libertad y necesidad» en el contexto de la física, lo que después de todo es nuestra cuestión principal. En primer lugar, ¿dónde tiene lugar tal unión? Afirmando que tiene lugar en el fenómeno de indeterminación cuántica. Pongamos que  $S$  es un sistema físico y  $X$  un observable de  $S$ , y supongamos que  $S$  no está en un estado propio de  $X$ . El valor obtenido en una medición de  $X$  es, entonces, indeterminado. La medición puede dar en principio cualquier valor perteneciente al espectro de  $X$ ; sostengo que no hay ley alguna que determine cuál será el desenlace. De otra parte, el vector de estado de  $S$  de todas maneras determina la distribución de probabilidad asociada, lo que significa que la transición del sistema al desenlace empírico no está, después de todo, indeterminada en un sentido rotundo; pues si el proceso se concibiera, digamos, en términos de lanzar un dado, este último debería estar en efecto «cargado» de acuerdo con una ley prescrita.

Ciertamente, la distribución de probabilidad mecánico cuántica asociada con el observable dado no determina el resultado de una medición. Pero, aun así, ha de tener mucho que ver con ese resultado en tanto que los pesos de un dado trucado impactan en el desenlace de una tirada; pues en efecto, a nivel estadístico los dos casos son indistinguibles. Sin embargo, la pregunta es esta: en el caso de un dado real, la influencia de los pesos se efectúa por medio de un proceso temporal que además es estrictamente determinista. El movimiento de un dado, después de todo, se determina con ecuaciones de la mecánica clásica, lo que es decir que la indeterminación entra en juego debido a nuestra incapacidad de controlar las condiciones iniciales con la suficiente precisión. Por consiguiente, el caso es análogo al de las variables ocultas. Pero ¿puede concebirse la indeterminación cuántica en estas líneas? De hecho, ¿es legítimo suponer que el desenlace de una medición es en realidad el resultado de algún proceso temporal, *sea o no determinista*?

A la luz de la teoría cuántica, parece que esta pregunta se responde negativamente. Pues el colapso del vector de estado asociado con la determinación de  $X$  se presenta como discontinuidad y, por tanto, como un suceso instantáneo, si se nos permite la expresión. Y, a diferencia de las discontinuidades que se encuentran en el dominio clásico, esta discontinuidad mecánico cuántica no surge de una continuidad subyacente por aproximación, sino que resulta, en principio, irreductible a ningún proceso temporal continuo. Ahora bien, ciertamente, *Natura non facit saltus*: la naturaleza no «salta»; pero es necesario comprender que esta máxima se aplica a la «naturaleza» en el sentido ordinario: a la *natura naturata* como diferente de la *natura naturans*. Mientras que, extrañamente, de hecho, la característica de la *natura naturans* es actuar, no mediante un proceso temporal, sino

«instantáneamente», por así decirlo. Cabe afirmar que la continuidad indica el sustrato material, en tanto que la discontinuidad es de hecho la señal del acto creativo.

Ahora se evidencia aquello a lo que me refiero: el significado de la discontinuidad mecánico cuántica —el significado del colapso del vector de estado— está en el hecho de que indica el actuar de la *natura naturans*. Hay cierta transición de lo potencial a la manifestación —del plano físico al corpóreo— y tal transición solo la puede efectuar el principio creativo u «otorgador de formas», que es la *natura naturans*. Pero ya que la acción de la *natura naturans* es forzosamente «instantánea» (cuestión a la que volveré en el siguiente capítulo), resulta que no hay en realidad ningún proceso temporal —ninguna auténtica «tirada de un dado»— que determine o escoja el valor medido de X de la gama de desenlaces posibles. Esta determinación deriva, por decirlo así, «de lo alto», e interrumpe el curso normal de los sucesos, es decir, la evolución de Schrödinger del sistema físico dado.

Podemos comprender ahora el fenómeno de indeterminación cuántica por analogía con el fenómeno de la producción artística<sup>[9]</sup>. Una vez más, hay dos clases de marcos: en primer lugar, los que vienen «de abajo», que consisten en los pesos probabilísticos del vector de estado; y los marcos que proceden «desde arriba», es decir, los valores medidos del observable dado, como revela el estado final del instrumento corpóreo. Y, obviamente, estos dos tipos de límites son bien diferentes: tanto que pertenecen, de hecho, a dos planos ontológicos distintos<sup>[10]</sup>. Además, es obvio que la aparente libertad en la imposición de las determinaciones finales presupone, una vez más, la indeterminación correspondiente de parte de los marcos preasignados.

Lo que nos desconcierta enormemente, de otra parte, es el hecho de que los resultados de las mediciones cumplan (por sus frecuencias relativas) las exigencias de los pesos probabilísticos preasignados —como de milagro— en una especie de «danza» espontánea que desafía el análisis causal. El significado metafísico de este enigma, no obstante, ha quedado claro. El fenómeno se puede entender por analogía con el arte; de lo que aquí se trata es de una genuina unión de libertad y necesidad, de «rigor matemático y juego musical».

## VI

### CAUSALIDAD VERTICAL

Las reflexiones del capítulo anterior han sacado a la luz una importante verdad: contrariamente a las presuposiciones del pensamiento científico moderno, el universo observable no termina siendo inteligible sobre la base de la causalidad natural; por decirlo en términos aristotélicos: la *natura naturata* presupone la *natura naturans*. El mundo natural o «naturado» presupone una agencia creativa u «otorgadora de formas» no simplemente en el sentido de una primera causa que hizo existir al mundo, sino como un principio trascendente de causalidad que opera aquí y ahora. Esta es la conclusión a la que hemos llegado movidos por el fenómeno del colapso del vector de estado; lejos de constituir un mero acertijo de teoría cuántica, el significado de ese «colapso» resulta ser metafísico en primer lugar. Se trata de la validez del naturalismo, de la postulada hegemonía de la causación natural. Resulta que el universo observable no responde, después de todo, a la concepción de un sistema cerrado; no solo hay un metacosmos, sino que finalmente se ha de concluir forzosamente que el universo espaciotemporal ni existe ni funciona por sí mismo.

Se ha dicho, a menudo, que la mecánica cuántica ha invalidado el postulado del determinismo, la noción de que el universo en cualquier momento inicial del tiempo determina sus estados futuros. En lugar de un rígido determinismo, la nueva física supuestamente ha llegado a la concepción de un universo parcialmente aleatorio, en el que hay lugar para lo que, por defecto de legalidad inteligible, se denomina «azar». Se nos dice que la predictibilidad del universo newtoniano es inherentemente estadística, y que se aplica a ensamblados macroscópicos que involucran enormes cantidades de partículas fundamentales, en tanto que al nivel de las mismas partículas el elemento de azar entra en juego, y tales leyes, tal como aún se aplican, no bastan para determinar el desenlace de los procesos naturales. Pero, aunque sin duda es cierto que el determinismo clásico ha sido demolido, resulta engañoso hablar de «azar» con respecto al mundo microscópico. Como he señalado antes, el colapso del vector de estado —que señala un

estado propio particular de entre un ensamblado de ellos<sup>[1]</sup>— no se puede realmente comparar a la tirada de un dado; pues en tanto que esto último constituye un proceso temporal, por indeterminado que pueda ser, el colapso de un vector de estado no se puede concebir de tal modo. Digamos apodícticamente que el colapso del vector de estado no resulta de un proceso temporal, ya sea determinista, aleatorio o estocástico<sup>[2]</sup>. Entra en escena un modo de causalidad más elevado, que ha de distinguirse categóricamente de la causalidad temporal en cualquiera de sus modalidades; resulta que el «colapso» del vector de estado ya no puede atribuirse más al azar que al determinismo, sino que realmente entraña un tipo de causalidad que, extraño es decirlo, no es «de este mundo».

\* \* \*

La ciencia moderna, por la naturaleza de su *modus operandi*, es incapaz de captar esa clase de causalidad; en efecto es incluso incapaz de reconocer que no puede tratar el fenómeno del colapso del vector de estado con los medios de que dispone —lo que explica los interminables esfuerzos por parte de los físicos en hacer exactamente eso—. No importa si el tiempo se concibe según Newton como un continuo lineal o, en términos einsteinianos, como implícito en el continuo espacio-tiempo: en ningún caso cabe concebir una causalidad que trascienda el dominio temporal. Sin embargo, la postura de la metafísica tradicional es que la causación primaria de hecho trasciende los confines del tiempo. Para comprender qué entraña esto, en primer lugar, hemos de abandonar la noción de que el universo «existe en el tiempo» —como si el propio tiempo pudiera trascender el universo—. Es quimérico suponer que el tiempo —al menos, según comprendemos el término— tenga alguna realidad separado de los movimientos y transformaciones del mundo natural. De acuerdo con la antigua creencia, el tiempo llegó a existir con los cuerpos celestiales que miden su flujo con revoluciones prescritas; la conexión, pues, entre el tiempo y el reloj celestial que mide o asigna las duraciones es tal, que hace que ambos sean inseparables.

Si se admite, por tanto, que el universo no se origina a sí mismo, se sigue que el acto creativo por el que fue llevado a existir fue, de hecho, supratemporal; como dijo San Agustín: «Más allá de toda duda, el mundo no se hizo *en* el tiempo, sino *con* el tiempo<sup>[3]</sup>». Pero aun así, tendemos a pensar en el acto creativo como algo que tuvo lugar hace mucho, lo cual es decir que igualmente pensamos en ello como si fuera un suceso temporal. Parece que nuestra mente está más o menos determinada para pensar en términos espaciotemporales incluso cuando el objeto intencional excluye tales marcos. Por citar un buen ejemplo, todo matemático sabe que hasta sus reflexiones

más abstractas y sofisticadas se acompañan de imágenes espaciotemporales, y de hecho aprende el arte de emplearlas como medios de «ver» los objetos matemáticos en cuestión. El hecho es que las imágenes pueden verse como signos que apuntan más allá de sí mismos al objeto o realidad trascendente que de alguna manera representan. La misma posibilidad del pensamiento metafísico, concretamente, depende de este principio; lo que se requiere son representaciones simbólicas de verdades metafísicas: iconos metafísicos, por decirlo así, que nuestras facultades mentales pueden recibir y nuestro intelecto captar. Contrariamente a un error muy difundido, el intelecto humano no funciona por razonamiento, sino precisamente por un acto de visión mediado por una imagen, por alguna clase de representación icónica.

Volviendo a la descabellada idea de que el universo fue creado «hace mucho», surge la pregunta de si se puede hallar un simbolismo adecuado en cuyos términos queda comprenderse la naturaleza supratemporal de la creación. Propongo afrontar esta pregunta paso por paso en los términos de tres observaciones; esta es la primera: la forma natural de representar un metacosmos iconográficamente es mediante una dimensión más elevada. Ciñéndonos a representaciones en el plano, esto implica que el espacio-tiempo de cuatro dimensiones tendrá que ser representado con una figura de una dimensión, y así, por una línea o curva. Si pensamos en las tres dimensiones suprimidas como espaciales, la línea o curva resultante entonces representará el universo empírico como proceso temporal o, si se quiere, como el tiempo mismo. Y esto nos lleva a la segunda observación: puesto que todo punto imaginado en el tiempo tiene un antes y un después, hemos de escoger entre una línea abierta en ambos extremos o una simple curva cerrada. Ahora bien, la primera posibilidad es iconográficamente inaceptable porque en realidad no se puede construir; esto nos deja el círculo —la curva limitada más sencilla— como candidato principal<sup>[4]</sup>. El tercer punto pertenece al propio Acto creativo, que ahora se concibe allende el tiempo y, así, metacósmicamente. Lo que es necesario reconocer es que este Acto es perfectamente simple: es indiviso, y de hecho indivisible. Iconográficamente, por tanto, se ha de representar como un punto. Tal punto, no obstante, ha de ser único, puesto aparte de todos los demás puntos por algún rasgo de distinción, de preeminencia. Sin embargo, con esta tercera estipulación se hacen ver los elementos definitorios de una representación iconográfica: el icono ha de consistir en un círculo junto con su centro. Mencionaré de pasada que esta representación no solo se aplica al universo como un todo —el macrocosmos— sino igualmente a todo ser auténtico contenido en ese universo y, por encima de todo, al hombre, microcosmos por excelencia. Hay que añadir que el icono que hemos caracterizado, por decirlo así, en su simplicidad arquetípica, admite incontables elaboraciones, cada una adaptada

a una aplicación o dominio concreto, y todas las civilizaciones tradicionales lo conocieron en una u otra forma.

A modo de contraste, es de destacar que el Occidente moderno constituye, de hecho, la primera civilización que *no* percibe el cosmos, por así decir, con la lente de este icono. Claramente, a nuestra ciencia de nada le sirve un metacosmos, ya que está comprometida a considerar el universo empírico como si fuera un sistema cerrado que se puede comprender, en principio y sin residuo, en términos de causalidad natural. Nos hemos deshecho de la noción de trascendencia y hemos reducido la idea de causalidad al nivel de los procesos temporales. Se podría decir, algo hiperbólicamente, que el Tiempo se ha convertido en el nuevo dios y la Evolución en la nueva religión.

Pero volvamos a nuestro icono, que implica una *Weltanschauung* muy diferente. Lo primero a observar es que el Acto creativo pierde su estatus de «hace mucho»: pues no solo está el centro fuera del círculo del tiempo, sino que de hecho es equidistante a todos los puntos de la periferia. Todo «aquí» y «ahora» participa igualmente en tal Acto trascendental, que por propio derecho es uno e indivisible. Se puede así comprender que incluso aunque ese centro no esté en ningún lugar del espacio o del tiempo, en cierto sentido sigue siendo ubicuo: en palabras de Dante, se trata de «donde convergen todo lugar y tiempo»<sup>[5]</sup>. Similarmente, se desprende que la creación no es realmente secuencial; según leemos en el Eclesiastés: «Él, que vive en la eternidad, creó todas las cosas a la vez» (Eclesiastés 18:1). «Se termina, pues», dice Filón de Alejandría, «la idea de que el universo fue hecho “en seis días”»; y el maestro Eckhart lo expresa aún con mayor claridad: «Dios hace el mundo y todas las cosas en este *ahora* presente», dice el maestro alemán. Resulta que la multiplicidad no es propia del Acto creativo, sino del orden creado: en términos de nuestro icono, no pertenece al centro sino a la circunferencia.

Se precisa señalar, además, que nuestro icono no abarca dos sino tres elementos básicos: junto con un centro y una circunferencia, entraña radios que conectan el centro con puntos de la circunferencia. Esto también tiene su significado metafísico, su interpretación ontológica; como sucintamente dijo Shabistari, el sufí persa: «Del punto viene la línea, luego el círculo». Los radios representan lo que puede llamarse la dirección «vertical», que tiene que ver, no con lo espaciotemporal, sino con relaciones ontológicas. Todo lo que está dentro del espacio y del tiempo existe en virtud de esa dimensión vertical; como dijo Shabistari, la línea precede al círculo —no temporalmente, claro está, sino ontológicamente—. Que las cosas existen por sí mismas, o debido a otras «cosas», es una superstición moderna: el eclipse de la verticalidad, que va desde omitirla hasta realmente negarla, constituye en efecto el paso decisivo que nos mete en el mundo moderno. Entretanto sigue siendo cierto, ahora igual que antes, que la mente humana tiene acceso a la

dimensión vertical, y de hecho estamos al tanto de esa dimensión oficialmente «inexistente» no solo en nuestras sensibilidades morales, estéticas y religiosas, sino en nuestra misma vida diaria. Incluso el más sencillo acto de percepción sensorial lo consume el intelecto, y así trasciende los límites del espacio y el tiempo<sup>[6]</sup>. Además, también los objetos externos trascienden su emplazamiento espaciotemporal en virtud de sus formas substanciales, en cuya ausencia no se podrían conocer. Se ve que, en un universo carente de verticalidad, el conocimiento objetivo se hace impensable; de hecho, tras siglos de esfuerzos fútiles para explicar cómo podemos conocer el mundo externo, los filósofos occidentales por lo visto se han persuadido de que de hecho *no* conocemos. Como he explicado en otro lugar<sup>[7]</sup>, el mundo moderno lleva en sí las semillas del posmodernismo; una vez se olvida que el círculo proviene del centro por medio de la línea, la suerte está echada.

\* \* \*

Se evidencia que existe una causalidad primaria que actúa, no en algún pasado lejano, sino en todo *aquí* y *ahora*, sin excepción. Todas las cosas existentes en el espacio y en el tiempo no solo son llevadas al ser, sino que son sostenidas en la existencia por esta causación primaria que deriva del Acto único e indivisible. A diferencia de los tipos de causalidad de los que se ocupa la ciencia moderna —que puede llamarse causación temporal o natural— esta causalidad primaria no actúa desde el pasado hacia el futuro mediante un proceso temporal, sino directamente, sin mediación de sucesos temporales. Surge ahora la pregunta de si este modo de acción «temporalmente inmediato» —que designaremos con el adjetivo «vertical»— es prerrogativa exclusiva de la causación primaria o si quizá existen modos secundarios de causalidad vertical. En respuesta a esta pregunta se puede decir que la causación efectuada por un agente inteligente es, por fuerza, vertical<sup>[8]</sup>. Tómese por ejemplo el caso del arte en el sentido primitivo del hacer humano: todo el proceso depende de hecho sobre tal acto vertical. De lo que se trata en el verdadero arte es de una auténtica *imitatio Dei*: el artista humano «participa» en algún grado de los procesos creativos de la Primera Causa: «Todas las cosas fueron hechas por Él, y sin Él nada se hizo» (Juan 1:3). Pero ¿significa esto que toda producción —incluso el artefacto más burdo— ha de adscribirse a Dios mismo? Claro que no. En conexión con esto es de interés señalar que, según la forma de puntuación generalmente aceptada tras la Edad Media, Juan 1:3 realmente dice: «Todas las cosas fueron hechas por Él, y sin Él nada se hizo *que fuera hecho*». Podemos tomarlo en el sentido de que *quod factum est* se refiere a lo que está *verdaderamente* hecho, y por tanto a lo que realmente *es*. La diferencia, hablando escolásticamente, está en la ausencia o



presencia de la *forma*: la forma es el elemento trascendental que otorga el ser. Ahora bien, otorgar forma es, se mire como se mire, un acto vertical de causación.

No obstante, hay una diferencia crucial entre las formas otorgadas por la causación primordial y las impuestas por actos secundarios de causalidad vertical. Es prerrogativa del Primer Artífice otorgar las formas *substanciales*: las formas que traen a la existencia las sustancias primarias que constituyen el dominio corpóreo y sobre las que todos los modos secundarios de producción están obligados a operar, como por ejemplo el mármol sobre el que actúa el escultor. Las formas impuestas por el arte humano son de clase diferente: otorgan ser, pero no a la sustancia sino al artefacto. Se ve que pese a la realidad de la «participación», la *imitatio* todavía se encuentra a mundos de distancia del propio Acto primario. Y pese a ello, el hecho sigue siendo que el otorgamiento de formas —ya sean «substanciales» o no— depende de un acto vertical, como he dicho.

Habiendo indicado la ubicuidad de la causación primaria, y después de señalar que existen también modos secundarios de causalidad, es necesario afirmar que, incluso así, existen además modos temporales de causalidad y tienen un papel que desempeñar. La acción primaria no cancela los modos temporales: al contrario, trae a la existencia los modos secundarios de causalidad y los hace operativos. La causación temporal, sin embargo, tiene un alcance limitado; puede decirse que es capaz de efectuar cambios y transformaciones de varios tipos, pero no puede originar algo nuevo: el auténtico «hacer», como hemos visto, es prerrogativa de la causalidad vertical. Para ser precisos: una causa verdaderamente productiva es, ya sea la misma causación primaria, o si no, el acto libre de un agente inteligente que «participa» en ella; de otra parte, nada se «hace» auténticamente por causas naturales.

Deberíamos señalar que estas reflexiones se relacionan estrechamente con un teorema matemático, descubierto por William Dembski, que forma la base para lo que actualmente se conoce como teoría DI (las iniciales para «diseño inteligente»)<sup>[9]</sup>. Lo que Dembski ha mostrado es que se puede reconocer DI mediante un criterio, una firma que las causas naturales no pueden duplicar. La teoría se puede formular en términos de la teoría de la información y depende del concepto de información compleja especificada («complex specified information» o CSI). El crucial resultado es una ley de conservación de CSI que afirma que la cantidad de ella en un sistema cerrado no puede incrementarse por ningún proceso natural, ya sea determinista, aleatorio o estocástico<sup>[10]</sup>. Esto significa, según nuestro análisis, que solo la causación vertical es capaz de generar CSI. Mencionaré de pasada que este resultado plantea una dificultad formidable para la biología darwinista, ya que demuestra que el mecanicismo darwinista —que, de hecho, constituye un

proceso estocástico— no podría haber generado las inmensas cantidades de CSI que ejemplifican los organismos vivos. Pero lo que nos ocupa ahora es algo mucho más general: de ser el caso que «hacer» sea producir CSI y, si es cierto que «hacer» es producir CSI, y si es además verdad que toda causalidad vertical deriva de la Primera Causa —ya sea directamente o por «participación»—, entonces se desprende, incluso con base rigurosamente matemática, que «Todas las cosas fueron hechas por Él».

Habiendo distinguido entre modos de causalidad verticales y temporales (que igualmente bien podrían llamarse «horizontales») nos corresponde señalar que los dos tipos de causación coexisten sin ninguna confusión de efectos: tal como la causación horizontal no puede producir los efectos de la causalidad vertical, similarmente se puede decir que la causación vertical no produce efectos propios de la causalidad horizontal. Considero extraordinario que esto también pueda entenderse en términos de nuestro simbolismo geométrico: como bien sabe todo estudiante de mecánica, un vector de fuerza vertical no efectuará una aceleración horizontal, ni una fuerza horizontal producirá una aceleración vertical. Ahora bien, puede parecer que esta aparente incapacidad de parte de la causación vertical para producir efectos «horizontales» sea incompatible con el postulado de primacía; pero de hecho, no es así. Lo que quiero decir es que la causación vertical efectúa cambios *ontológicos* que a su vez pueden afectar el curso temporal de acontecimientos sin alterar el funcionamiento de la causalidad horizontal: cuando una cosa se cambia interiormente, su comportamiento exterior cambiará de acuerdo con ello. Los mismos principios de causalidad temporal están en funcionamiento antes y después de la alteración ontológica, y aun así el proceso resultante muestra un cambio correspondiente. Entretanto, ni la alteración ontológica ni la «trayectorial» resultante es efecto del proceso temporal, lo cual es decir que ambos se presentan como discontinuidad irreductible. Por tanto, pese al hecho de que la causación vertical no efectúa cambios temporales directamente, puede alterar el curso de acontecimientos sin suspender en nada la causalidad temporal.

\* \* \*

Volviendo a la física cuántica, ahora nos corresponde considerar de nuevo la distinción categórica entre el objeto corpóreo X y su objeto físico asociado SX. Habiendo entrado en juego la noción escolástica de la forma substancial, hemos de señalar, antes de nada, que lo que normalmente asumimos como objetos corpóreos en el dominio inorgánico raramente se definen por una sola forma substancial. De lo que se trata en estos casos no es de una única substancia, sino de un agregado consistente de muchas, lo que los escolásticos llamaron mezcla. Sin embargo, por básica que pueda ser esta distinción, se ve

que no tiene ninguna relevancia concreta en lo que nos ocupa, lo que es decir que podemos suponer, sin ninguna verdadera pérdida de generalidad, que X es una substancia.

Así pues, ¿cuál es la relación entre X y SX? Podemos decirlo de la siguiente manera: lo que se presenta a la vista del físico como agregado SX de partículas es, de hecho, un objeto corpóreo X en virtud de una forma substancial, y lo que da cuenta de la diferencia es, en efecto, un acto de causación primaria. Las partículas que constituyen SX existen como objetos intencionales de la física, mas no como componentes de X: como partes de X, tales partículas putativas ya no son físicas y, estrictamente hablando, ya no pueden concebirse como partículas. Como parte de una entidad corpórea, participan en el ser de esa entidad, es decir, en su forma substancial. En el capítulo IV hemos concluido que las partículas físicas carecen de esencia y por lo tanto no tienen ser: esto es por lo que Heisenberg situó estas sedicentes partículas «justo en medio de lo posible y lo real»; esta es la razón por la que Erwin Schrödinger concluyó que

Se nos ha llevado a desechar la idea de que tal partícula sea una entidad individual que, en principio, retiene su «mismidad» por siempre. Muy al contrario, ahora estamos obligados a afirmar que los constituyentes últimos de la materia no tienen «mismidad» en absoluto<sup>[11]</sup>.

Añadamos que no tienen «mismidad» porque no tienen esencia, carecen de *quididad*, no tienen forma substancial propia. Según se ha explicado suficientemente en los capítulos anteriores, en realidad no son «cosas», sino que pertenecen a la categoría ontológica de potencialidad. Ahora bien, sostengo que el acto para el cual son potenciales no es otro que la incorporación en entidades corpóreas. Se desprende que, una vez incorporadas, ya no son potencialidades, y por tanto dejan de ser partículas cuánticas. Pero es necesario comprender que siguen existiendo como objetos intencionales de la física y que la representación mecánico-cuántica de SX retiene su validez desde el punto de vista físico, aunque con la siguiente condición: es preciso suponer que la gama de superposiciones en SX está limitada por la naturaleza corpórea de X. Recordemos que esto es precisamente el «principio de des superposición» que resuelve la paradoja de Schrödinger: es la razón por la que las bolas de cricket no se bilocan, y por la que los gatos no pueden estar tanto vivos como muertos. Al parecer, el estatus subcorpóreo de SX tiene implicaciones mecánico-cuánticas, lo que ahora puede verse como efecto de la causalidad vertical.

De estas consideraciones se sigue que las entidades corpóreas no están, en efecto, «hechas de partículas», como casi todo el mundo cree firmemente. No

importa si concebimos tales «partículas constituyentes» clásica o mecánico-cuánticamente: la noción resulta quimérica en ambos casos; pues como se ha señalado, una vez se han incorporado, estas partículas putativas dejan de ser partículas. Habiendo entrado en la composición de un ser corpóreo, de alguna manera se metamorfosean en algo que ya no responde a la noción de partícula: pasan a ser partes genuinas de una totalidad ontológica. Como tales, no existen independientemente, sino que derivan su existencia de la totalidad de la cual son parte. Contrariamente a la creencia actual, no son las partículas constituyentes las que confieren existencia a las entidades corpóreas, sino que son estas últimas, más bien, las que confieren existencia a sus partículas constituyentes al elevarlas desde su estado de potencialidades al de partes reales.

Debería señalarse que estas reflexiones arrojan luz sobre el fenómeno de la indeterminación, que los físicos ven, no pocas veces, como una especie de anomalía o defecto. Como si no fuera suficiente que Dios «juegue a los dados», los hechos cuánticos impiden, además, que las partículas fundamentales, sobre las que los físicos habían puesto su esperanza, puedan siquiera reunir los requisitos para ser «cosas». Lo que la comunidad de física hasta ahora no ha llegado a comprender es que tales deficiencias aparentes son, de hecho, precisamente lo que se requiere para que las partículas en cuestión puedan entrar en la constitución de entidades corpóreas. En resumidas cuentas: si las partículas cuánticas no participasen de la indeterminación, no podrían recibir determinación como partes genuinas de una totalidad corpórea. Los físicos lo plantean al revés: en realidad, la función de las partículas no es *conferir* ser a los agregados, sino más bien *recibirlo* de una forma substancial.

\* \* \*

Ahora estamos en posición de comprender el fenómeno del colapso del vector de estado desde la metafísica tradicional. Al comienzo de este libro se aclara que la distinción categórica entre los dominios corpóreo y físico resuelve la aparente paradoja; pero aunque la distinción entre el instrumento corpóreo I y el instrumento físico asociado SI hace que se pueda concebir el vector de estado, en realidad no nos dice cómo hacerlo. Así que esta es la cuestión que queda por tratar.

Consideremos qué sucede en el proceso de la medición: una partícula, o conjunto de partículas que emana del objeto, entra en el instrumento corpóreo y pasa a ser en efecto parte de él. Se debe a esta incorporación que el instrumento registra el resultado de la medición. Ello es, por consiguiente, resultado de un acto vertical que puede concebirse como un acto de causación

primaria mediado por una forma<sup>[12]</sup>. Ahora bien, el problema es comprender cómo este acto afecta al sistema mecánico-cuántico compuesto por el objeto físico O más el instrumento físico SI. Pues aquí es, de hecho, donde reside el puzle: según la teoría cuántica, O+SI constituye un sistema físico que debería evolucionar de acuerdo con la ecuación de Schrödinger, como normalmente hacen los sistemas físicos; ¿por qué no sucede esto? En parte ya hemos dado una respuesta: lo que diferencia O+SI es el hecho de que SI es subcorpóreo; pero ¿qué efecto tiene esto en el estado del sistema compuesto? Tiene el siguiente: ciertas partículas que originalmente pertenecen a O después pertenecen a SI, lo que entraña —por el «principio de des superposición»— la restricción de sus estados admisibles. El sistema compuesto O+SI, y por lo tanto su vector de estado, experimenta así una discontinuidad en el momento de medirlo, y esto no es sino el colapso del vector de estado.

Entretanto, se ha hecho evidente que este colapso no abroga la evolución de Schrödinger del sistema, sino que meramente «reinicializa» la ecuación de Schrödinger. En otras palabras, el cambio de trayectoria no resulta de romper la causalidad temporal, sino de un cambio instantáneo en el sistema mismo; como siempre, la causación vertical no impide modos de causalidad horizontales. Por tanto, es erróneo hablar de «azar» con referencia al mundo microscópico; lo que el colapso del vector de estado indica no es aleatoriedad, no es la tirada de un dado, sino simplemente el hecho de que el universo espaciotemporal no constituye un sistema cerrado. Lo extraordinario del fenómeno es que muestra un efecto de causación vertical que desafía el naturalismo imperante.

\* \* \*

Parece que basta un solo «principio de des superposición» para resolver los principales enigmas de la física cuántica<sup>[13]</sup>. El hecho de que un objeto corpóreo X «actúe sobre» SX para restringir la gama de superposiciones permitidas explica de una vez por todas el fenómeno del colapso del vector de estado, así como la paradoja de Schrödinger. Mas no se trata realmente de que X actúe sobre SX, sino más bien del acto vertical por el que el propio X se mantiene en la existencia. A fin de cuentas, se trata nada menos que de la ubicuidad del Acto cosmogénico. Esto es lo que me gustaría explicar ahora.

A tal fin, recordemos que todas las cosmogonías tradicionales presentan una procesión del cosmos que parte de un substrato material primordial, al que se alude de varias maneras simbólicas en las literaturas sagradas de la humanidad, y que después se designa con varios términos técnicos, desde la *Prakriti* del Vedanta hasta la *materia prima* escolástica. Entre todas estas designaciones del sustrato material, la que en cierto modo es más

directamente pertinente a la indagación que nos ocupa es el término griego *caos*; como leemos en la *teogonía* de Hesíodo: «Verdaderamente en el comienzo, llegó a ser el *caos*». Lo que primero «llegó a ser» puede, así, concebirse como una multitud de posibilidades enfrentadas: «enfrentadas» debido a que en el plano de la manifestación son mutuamente incompatibles. Un bloque de mármol contiene potencialmente innumerables formas, pero el arte del escultor solo puede actualizar una de ellas. La actualización de una forma, por lo visto, requiere un acto determinativo, la imposición de un límite sobre lo ilimitado de acuerdo con el verso bíblico: «Colocó su compás sobre la faz del abismo» (Proverbios 9:27). El Acto cosmogénico puede, así, concebirse como un acto de medición en el antiguo sentido que es común a las tradiciones griega e hindú; Ananda Coomaraswamy explica:

El concepto platónico y neoplatónico de medida concuerda con el concepto indio: lo «no medido» es lo que aún no ha sido definido; lo «medido» es el contenido definido o finito del «cosmos», es decir, del universo «ordenado»; lo «no mensurable» es lo infinito, origen a la vez de lo indefinido y de lo finito, y permanece ajeno a la definición de lo que es definible<sup>[14]</sup>.

A la luz de estos conceptos tradicionales volvemos a ver que el mundo cuántico ocupa una posición intermedia entre lo «medido» y lo «no medido»: pues aunque los sistemas cuánticos están evidentemente sujetos a ciertas determinaciones —sin lo cual no se podrían concebir mecánico-cuánticamente— siguen estando insuficientemente determinados como para calificarse de «contenidos definidos o finitos del universo». Según hemos indicado antes, en realidad no son «cosas», lo que es decir que carecen de *quiddidad*, carecen de esencia.

Ahora bien, es precisamente tal falta de esencia la que se manifiesta físicamente como indeterminación cuántica: sostengo que es aquí donde se encuentra el significado metafísico de la indeterminación. Lo que ha desconcertado enormemente a los físicos no es más que una marca de lo «no medido». Tal marca, no obstante, demuestra ser característica de todo el mundo cuántico: el principio de incertidumbre de Heisenberg lo garantiza. Se desprende que el dominio cuántico entero constituye un substrato material con relación a «lo medido», es decir, el mundo corpóreo. Sin duda, se pueden en efecto actualizar sistemas cuánticos mediante lo que hemos llamado presentación o midiendo, en sentido científico, pero hay que señalar que la actualización inevitablemente nos *saca* del mundo cuántico situándonos en el corpóreo, mientras que el sistema mismo permanece inmanifestado y, de

hecho, inmanifestable. Se haga lo que se haga, el substrato nunca deja de ser substrato.

Según estas consideraciones parece que la física cuántica descubre un nivel ontológico que se acerca a las «aguas» primordiales, que siguen ahí incluso después de que el espíritu de Dios haya «soplado sobre ellas» para hacer surgir nuestro mundo. Sostengo que la indeterminación cuántica —el caos parcial de la superposición cuántica— puede en efecto verse como reflejo del *caos* primordial, o incluso más concretamente como un resto del «desorden» subyacente.

En cuanto a la actualización de un sistema cuántico por medición, hemos visto que depende de un acto de causación vertical que finalmente ha de referirse a la causalidad primaria. Se puede decir, por consiguiente, que toda medición de un sistema cuántico constituye un acto cosmogénico que «participa» en el Acto único de la creación. Independientemente de si los físicos se dan cuenta o no, en el fenómeno del colapso del vector de estado «retoman» el Acto cosmogénico, no hipotéticamente, en alguna explosión estipulada que se supone que ocurrió hace muchos miles de millones de años, sino realmente, *aquí y ahora*.

\* \* \*

Se ve que SX representa el substrato material de X, su envés ontológico, por así decirlo. Constituye, por decirlo así, el círculo negro en el campo blanco, el potencial residual que no se deja exorcizar. Lo que nos trae de vuelta a lo que he indicado en el capítulo V: que la indeterminación representa «la cara *yin* de la moneda». Mencionaré de pasada que esta cara *yin*, por «inexistente» que sea, juega un papel crucial en las operaciones del universo, desde el comportamiento de objetos inanimados hasta el de organismos vivientes e, incluso, al parecer el de las civilizaciones. Se debe a este «campo negro» que en el mundo existen el crecimiento, la espontaneidad y cierta libertad; aunque, al mismo tiempo, el propio substrato material se manifiesta también como propensión universal hacia la decadencia, la tendencia, digámoslo así, a retornar al caos primordial. En las esferas morales y sociales esta tendencia resulta, evidentemente, conocida por todos<sup>[15]</sup>, mientras que desde el punto de vista científico, esa misma tendencia universal se manifiesta de lo más directamente en la segunda ley de la termodinámica<sup>[16]</sup>.

Aunque nunca se puso en duda la existencia del substrato material —o «caos subexistencial»—, encuentro verdaderamente admirable que, en cierta manera, se halla encontrado el modo de representar físicamente tal substrato y de que se pueda tratar con él con precisión matemática y eficacia empírica. Cabe decir que nadie pudo prever semejante desarrollo científico; y de hecho,

incluso después de ello parece que hoy día son muy pocos los que captan su auténtico significado.

Resulta que la búsqueda de los físicos en pos de la «materia» —su esfuerzo durante siglos por averiguar la base material de la existencia corpórea— finalmente se ha coronado con el éxito; lo que sucede es que hasta ahora no han sabido reconocerlo. Confundidos por sus premisas cartesianas, estuvieron buscando la *res extensae*, es decir, los átomos de Demócrito; y cuando, en las primeras décadas del siglo veinte, parecía que el éxito por fin estaba al alcance, en el momento decisivo del descubrimiento encontraron que su presa les había eludido misteriosamente. En lugar de la *res extensae* aparecieron las elusivas partículas cuánticas y se vieron obligados a admitir, para su consternación, que tales «partículas de nombre» no son de hecho verdaderas entidades, no son realmente «cosas». Mas sigue siendo cierto que el *modus operandi* científico de su indagación era firme, y que el largo y arduo camino de los descubrimientos realmente ha conducido al substrato material de las cosas corpóreas, pese a espurias apariencias filosóficas de lo contrario. Desde el punto de vista tradicional, resulta evidente que SX representa el substrato de X, y que de hecho apenas cabría concebir una representación de ese «caos subyacente» más asombrosa; pero desafortunadamente el descubrimiento parece haberse pasado por alto en la comunidad de física general, que todavía gusta de imaginar que la ciencia moderna ha descalificado la sabiduría de las edades.

Esta historia tiene una moraleja con la que puede ser adecuado concluir esta monografía. La ciencia dura, como he señalado en otro lugar<sup>[17]</sup>, al final es autocorrectiva, y en cierto modo más sabia que los científicos que la cultivan; mientras tengamos «ojos para ver», finalmente puede llevarnos a la verdad. Pero la ciencia misma no puede otorgarnos tal visión: la ciencia como tal no puede interpretar sus propios hallazgos; y añadiría que tampoco puede hacerlo la filosofía moderna. Sostengo que lo que se requiere es una base en las doctrinas metafísicas tradicionales de la humanidad: los mismos principios que se han desacreditado desde la Ilustración como primitivos, precientíficos y pueriles. Por extraño que pueda parecer a las mentes modernas, estas enseñanzas —como la causalidad vertical que hemos considerado en este capítulo— provienen en última instancia «de arriba»: por así decirlo, del centro del círculo. Formuladas originalmente en lenguaje mítico, han servido como catalizadores de la visión metafísica a lo largo de todas las edades; ni Platón, ni Aristóteles, ni Aquino inventaron sus propias doctrinas: todos ellos bebieron de este manantial —excepto, claro está, los expertos de la modernidad, que han rechazado tal herencia—. Aquí llegados, sin duda se sabe muy bien a qué destino conduce la modernidad: después de todo, hemos entrado en la era desilusionada y escéptica del posmodernismo. El argumento contra la sabiduría tradicional ya ha corrido su curso, y vuelve a abrirse el

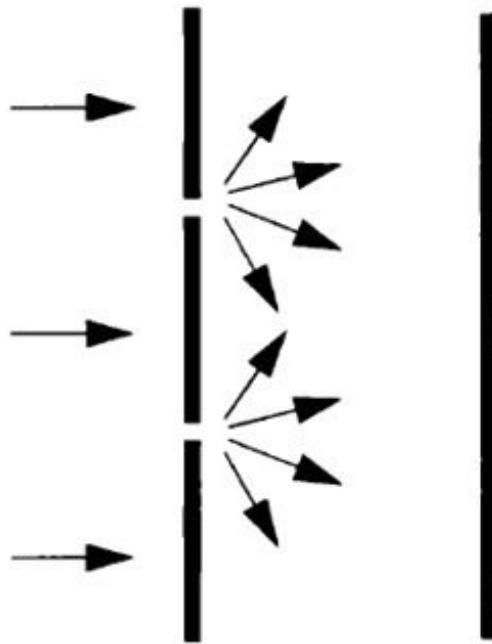


camino a los manantiales perennes. Es el momento de una nueva reinterpretación de los hallazgos científicos basada en principios precartesianos; lo que se requiere es un cambio radical de mentalidad, una auténtica *metanoia*. Que las doctrinas de la ciencia conduzcan al progreso humano o a la ruina de nuestro intelecto pende en la balanza.

## Apéndice

### BREVE INTRODUCCIÓN A LA TEORÍA CUÁNTICA

La mejor manera de abordar el tema de la teoría cuántica es reflexionando en los resultados del llamado experimento de la doble rendija, cuya idea es en efecto muy sencilla. Se hace pasar luz, o algún otro tipo de radiación, por dos rendijas en la pantalla S hasta una segunda pantalla R, donde la intensidad de la radiación entrante se registra u observa de algún modo. Por ejemplo, se puede emplear luz del sol, y observar por medios visuales la intensidad de la distribución resultante en R; y como cuestión de hecho histórico, el descubrimiento de la doble rendija lo realizó de esta manera en 1803 el científico inglés Thomas Young. Pues bien, como cabría esperar, cuando una rendija se encuentra abierta y la otra cerrada, se obtiene una sola línea brillante en R, situada detrás de la rendija abierta<sup>[1]</sup>.



Cuando ambas rendijas están abiertas, de otra parte, no se obtienen simplemente dos líneas brillantes (correspondiendo a ambas rendijas abiertas), sino un patrón de bandas brillantes y oscuras cuya intensidad disminuye gradualmente según nos alejamos de las rendijas en cualquier dirección. Este es el primer resultado experimental; y se puede explicar fácilmente en términos del modelo ondulatorio para la luz. Consideremos una posición  $P$  en la pantalla  $R$ , y que  $A$  y  $B$  denoten las posiciones de ambas rendijas<sup>[2]</sup>. Claramente, si los trenes de onda de  $A$  y  $B$  que llegan a  $P$  están «en fase», se reforzarán entre sí, y si están «fuera de fase» se disminuirán o cancelarán. Ahora bien, que los dos trenes de onda estén en fase o fuera de fase en  $P$ , depende de las distancias  $AP$  y  $BP$ ; y no es difícil ver, además, que las posiciones «en fase» y «fuera de fase» se alternarán según  $P$  se desplaza por la pantalla  $R$  en dirección perpendicular a las rendijas. Esto resulta en una secuencia de bandas brillantes y oscuras, el mismo patrón obtenido en el experimento de la doble rendija.

Hay que señalar que este efecto no tiene nada que ver especialmente con la luz, sino que se aplica a toda clase de propagación ondulatoria. Así, el experimento de la doble rendija se podría realizar igual de bien con ondas de agua, por ejemplo, que una vez más se reforzarán entre sí cuando sus crestas coincidan, y se cancelarán al cruzarse. En lugar de bandas brillantes en  $R$ , encontraríamos posiciones en las que el agua se levanta y cae notablemente, y en vez de bandas oscuras tendríamos posiciones de calma relativa. Mientras haya ondas de cualquier clase, habrá estos llamados fenómenos de difracción o interferencia que resultan de que los trenes de onda en intersección se refuercen o cancelen entre sí, dependiendo de su fase.

No obstante, hay que considerar un segundo hallazgo experimental. Supongamos que fuéramos a afinar el procedimiento del experimento de Young a fin de detectar la luz en  $R$  con mayor precisión de lo que suele ser posible con medios visuales; se podría entonces ver que la luz no se recibe continuamente (como exige el modelo ondulatorio), sino en unidades discretas. De tal modo, lo que se «ve» mediante instrumentos suficientemente sensibles son minúsculos destellos de luz, distribuidos aleatoriamente en la pantalla  $R$ , pero concentrados en las regiones que, para el ojo humano, aparecen como bandas brillantes. De tal modo, la imagen que obtenemos al afinar nuestros instrumentos de detección sugiere mucho más una corriente de partículas, de pequeños «disparos de luz» que una onda distribuida continuamente.

Entretanto, se ha encontrado que las llamadas partículas con las cuales se hacen átomos y moléculas (como electrones y protones) similarmente dan lugar a efectos de interferencia. De hecho, es posible llevar a cabo el experimento de la doble rendija con cualquiera de estas supuestas partículas, y en cada caso se encuentra que la densidad de los impactos de partículas en

R muestra el conocido patrón de difracción de una onda. Parece que las entidades con las que estamos tratando se comportan en ciertos aspectos como partículas, y en otros como ondas.

¿Qué es, entonces, un electrón, por ejemplo? ¿Realmente es una partícula, o en realidad es una onda? Obviamente no puede ser ambas cosas; pues es evidentemente imposible que una cosa esté situada en un volumen diminuto y al mismo tiempo se encuentre esparcida en una vasta región del espacio. Ahora bien, la idea de que el electrón sea sencillamente una onda se puede descartar de inmediato. Porque si de hecho fuera onda, es obvio que afectaría la pantalla R, no solo en un punto P concreto (o su vecindad inmediata), sino en todos los puntos en los que las amplitudes de trenes de onda en fusión que emanan de A y B no se cancelen. Pero, como hemos visto, el electrón impacta la pantalla R en un lugar concreto, en cuyo punto abandona de golpe todo su impulso (o energía cinética).

Por tanto, claramente el electrón no es onda. Pero, aunque dé lugar a efectos de difracción, ¿podría no ser partícula tampoco? Consideremos la cuestión. Para simplificar (y en previsión de la suposición concebible de que el fenómeno de difracción podría ser un «efecto de multitud») vamos a asumir que el rayo de electrones se ha enrarecido hasta el punto en que solo pasa un electrón por la pantalla S cada vez (condición que se puede lograr de hecho experimentalmente). Pues bien, si la rendija A está abierta y B cerrada, cada electrón que pasa por A impactará la pantalla R dentro de una banda estrecha detrás de A; y el caso será similar si B está abierto y A cerrado<sup>[3]</sup>. Si ambas rendijas están abiertas, de otra parte, volvemos a encontrar que aparecen las bandas de interferencia. Entretanto, carece de importancia si tales electrones pasan por S como corriente densa (digamos,  $10^{24}$  electrones por segundo) o uno cada vez (digamos, uno por hora), como hemos supuesto.

Obviamente está teniendo lugar algo muy extraño. Pues si un electrón es de hecho una partícula, ha de pasar ya sea por A o por B; y si pasa por A, debería impactar dentro de la banda dada detrás de A, y si pasa a través de B, dentro de la banda detrás de B. La distribución de impactos de electrones cuando ambas rendijas están abiertas debería ser, por tanto, la suma de las distribuciones respectivas con cualquiera de las dos rendijas cerradas, lo que equivale a decir que debería consistir en las dos bandas antedichas. Esto es lo que sucedería, obviamente, si estuviéramos disparando balas ordinarias en lugar de electrones. Pero de hecho, no es así<sup>[4]</sup>... En lugar del esperado par de bandas, encontramos una secuencia indefinida de líneas que se extiende en todas las direcciones desde las rendijas. Parece, pues, que aun si el electrón pasa, presumiblemente, ya sea por A o por B (¡pero no por ambas!), su comportamiento resulta afectado por el estado de la otra rendija: de si está

abierta o cerrada. Pero ¿cómo «sabe» el electrón si la otra rendija está abierta o no? ¿Por qué medios sondea el espacio que le rodea?

Se ha hecho evidente que un electrón no puede ser simplemente una partícula ordinaria o «clásica». Como mucho, podría ser tal partícula «más» algo diferente, algo que *no* está localizado. Entonces, ¿podría ser una partícula más una onda? De hecho, la idea se ha propuesto e investigado con algún éxito; y sin embargo resulta que la hipótesis de la «onda piloto» ha aportado poco, si es que algo, a nuestra comprensión. Además, debido a las extrañas propiedades que habría de tener tal supuesta onda, la imagen resultante, en cualquier caso, está lejos de ser «clásica».

Al fin y al cabo, encontramos que la «extrañeza cuántica» no puede explicarse —o justificarse— con ninguna proeza clásica. Hasta los sencillos resultados de nuestro humilde experimento de doble rendija ya desafían esta clase de explicaciones. De ello resulta el descubrimiento de que las partículas fundamentales de la naturaleza no son, de hecho, ni partículas ni ondas en sentido estricto, ni tampoco se trata de entidades de un tipo más complejo que aún pudiera concebirse en términos de la física clásica. Lo que se precisa es una reformulación de las bases mismas de la física: un nuevo formalismo que rompa radicalmente con el anterior. Para ser precisos, ha de ser un formalismo que diferencie categóricamente entre la entidad o sistema cuántico como tal (un electrón, por ejemplo) y sus diversos observables (como posición, impulso, y demás). Se podría decir que el problema con la física clásica es que concibe las entidades físicas en términos de sus observables, haciendo así «concreto» lo que en la naturaleza todavía no lo es. Asume, por ejemplo, que un electrón ha de tener en todo momento posiciones e impulsos bien definidos, independientemente de si tal posición o impulso ha sido averiguado por la medición o no. Pero ¿cómo sabemos eso? Además, ¿es necesario asumir que la naturaleza está así de restringida en todas sus operaciones?

Ahora bien, lo destacable no es tanto el hecho de que haya que abandonar las descripciones «concretas» o «clásicas» de la realidad física, sino que estas *puedan* tener lugar —sin poner fin a la indagación física—. En otras palabras, lo asombroso es poder hacer física en términos de un formalismo que diferencie categóricamente, como he dicho, entre el sistema físico como tal y sus observables: se podría decir que es un formalismo basado en una concepción «abstracta» de la realidad física.

Indiquemos que el paso decisivo lo dio Werner Heisenberg en 1925, por entonces con 24 años, cuando descubrió un modo completamente nuevo de representar sistemas físicos. En lo que solo cabe considerar como un golpe de genialidad, el joven Heisenberg concibió la idea de representar los sistemas cuánticos mediante un elemento o vector en lo que los matemáticos suelen denominar espacio de Hilbert: se trata de una estructura matemática que

evolució al estudiar ciertas clases de ecuaciones y que para entonces se comprendía bastante bien. Se podría añadir que Heisenberg, en el momento de su decisivo descubrimiento, ignoraba totalmente tal desarrollo matemático; así que esencialmente reinventó la noción de espacio de Hilbert. Sin embargo, la teoría matemática existente enseguida fue puesta al servicio de la mecánica cuántica; y así, la nueva física obtuvo una base matemática sólida y coherente.

Lo que propongo hacer en esta «breve introducción» es, antes de nada, explicar al lector general qué clase de cosa es el espacio de Hilbert, para entonces indicar cómo tales espacios se emplean en la teoría cuántica. Para que la exposición sea lo menos técnica posible, apenas voy a entrar en los espacios de dimensión finita. Trataré de transmitir únicamente los hechos básicos de la forma más sencilla posible, mientras relego al trasfondo todo lo que podría oscurecer las principales ideas de esta introducción, este primer atisbo.

## 1. Espacios de Hilbert de dimensión finita

Vamos a tomar como punto de partida el conocido plano euclidiano: es decir, el plano en el que se definen las nociones de distancia y ángulo. Escogeremos un punto  $O$  en tal plano; y tras ello, nos referiremos a puntos en el plano como vectores. ¿Cuál es, entonces, la diferencia entre un vector y simplemente un punto? A primera vista ¡parece como si ambos fueran exactamente lo mismo! La diferencia, no obstante, es la siguiente: habiendo escogido un punto de referencia o un llamado origen  $O$ , se pueden definir tres operaciones algebraicas que dependan de tal elección. La primera se llama suma de vectores: se pueden sumar dos puntos (ahora llamados «vectores») para producir un tercer vector. La siguiente operación se llama multiplicación escalar: se puede «multiplicar» un vector por un número ordinario, también llamado número real<sup>[5]</sup>, para producir un segundo vector. Y la última operación se llama «producto escalar»: dos vectores pueden, así, «multiplicarse» para producir un número (real). El conjunto dado de vectores, dotado de las dos primeras operaciones, constituye un ejemplo de lo que se llama espacio vectorial. Con las tres, de otra parte, es más que solo un espacio vectorial: ahora es un (pequeñísimo) espacio de Hilbert.

Indiquemos, antes de nada, cómo se define la suma de vectores (dado un punto de referencia  $O$ ). Si  $P$  es un punto del plano, ahora convendrá designar

el vector correspondiente con la notación  $\overrightarrow{OP}$ , que sin duda conocerán muchos lectores. ¿Cómo se define entonces la suma de dos vectores, digamos  $\overrightarrow{OP}$  y  $\overrightarrow{OQ}$ ? Se nos dan tres puntos (a saber, O, P y Q), y ahora hemos de buscar un cuarto punto R que de algún modo esté determinado por los tres dados. Ahora bien, sería natural escoger el punto R para el cual OPRQ constituye un paralelogramo; pues de hecho, en virtud de la estructura geométrica del plano (la noción de paralelismo, en este ejemplo) el punto R se determina únicamente por O, P y Q<sup>[6]</sup>. Habiendo determinado R, además, se da una suma de vectores con la fórmula

$$\overrightarrow{OP} + \overrightarrow{OQ} = \overrightarrow{OR}$$

Y de esta manera se define la suma de vectores con la llamada regla del paralelogramo.

A continuación, viene la multiplicación escalar. ¿Cómo se define esto? Aquí vuelve a entrar en juego una noción geométrica, esta vez el concepto de distancia. Dados dos puntos P y Q, denotaremos la distancia entre ellos con la notación  $|\overrightarrow{PQ}|$ . Ahora consideremos que  $\overrightarrow{OP}$  sea un vector arbitrario y  $\alpha$  un número real. Supondremos, primero de todo, que  $\alpha$  es positivo. Querriamos que la multiplicación escalar de  $\alpha$  por  $\overrightarrow{OP}$  multiplicase por  $\alpha$  la distancia  $|\overrightarrow{OP}|$  manteniendo la dirección de la recta OP. Para ello, observamos que existe un único punto R en la línea OP tal que

$$\alpha|\overrightarrow{OP}| = |\overrightarrow{OR}|,$$

y tal que O, además, no cae entre R y P. Para valores positivos de  $\alpha$  tenemos, por consiguiente, la libertad de definir la multiplicación escalar con la fórmula

$$\alpha\overrightarrow{OP} = \overrightarrow{OR}.$$

Cuando  $\alpha$  es negativo, de otra parte, podemos multiplicar primero  $\overrightarrow{OP}$  por  $-\alpha$  (operación que ya hemos definido), y entonces invertir la dirección del vector resultante  $\overrightarrow{OR}$  (que ahora pone O entre los puntos P y R). Y, por último, cuando  $\alpha$  sea cero, pondremos que R sea O. Ahora está definida la multiplicación escalar.

La definición de la tercera operación algebraica (el producto escalar) depende de la noción geométrica de ángulo y a los lectores puede parecerles

algo más forzada. Baste decir que este producto será designado con la notación  $\langle \vec{OP}, \vec{OQ} \rangle$  y definido por la fórmula

$$\langle \vec{OP}, \vec{OQ} \rangle = |\vec{OP}| |\vec{OQ}| \cos \phi$$

en la que  $\phi$  denota el ángulo entre las líneas OP y OQ. El lector advertirá que el lado derecho de esta fórmula representa un número real determinado por los vectores  $\vec{OP}$  y  $\vec{OQ}$ , como debe ser.

Ahora ya están especificadas las tres operaciones algebraicas, y como cabría esperar, resulta que satisfacen una serie de reglas algebraicas más bien sencillas (las mismas reglas, de hecho, en cuyos términos se define axiomáticamente la estructura del espacio de Hilbert<sup>[7]</sup>). Por ejemplo, la suma de vectores es conmutativa, lo que es decir que el orden en el que se suman dos vectores es irrelevante. Esta propiedad algebraica, dicho sea de paso, es obvia por la regla del paralelogramo. Menos obvio, de otra parte, es el hecho de que la suma de vectores sea asociativa: que si añadimos tres vectores, no importa cuáles dos se sumen primero. Otra buena propiedad (y nada obvia) es que la multiplicación escalar es distributiva con respecto a la suma de vectores, lo que es decir que la siguiente fórmula se mantiene en todos los casos:

$$\alpha(\vec{OP} + \vec{OQ}) = \alpha\vec{OP} + \alpha\vec{OQ}$$

Así, para no dejar el producto escalar completamente fuera de consideración, mencionaremos, finalmente, que este último es bilineal. Lo que significa que

$$\langle \alpha\vec{OP}, \vec{OQ} \rangle = \alpha \langle \vec{OP}, \vec{OQ} \rangle$$

$$\langle \vec{OP} + \vec{OQ}, \vec{OR} \rangle = \langle \vec{OP}, \vec{OR} \rangle + \langle \vec{OQ}, \vec{OR} \rangle$$

junto con dos propiedades similares con la derecha e izquierda intercambiadas.

Ahora se precisan dos observaciones. Primero, se puede calcular (o, si se quiere, definir) la «longitud» del vector en términos del producto escalar con la fórmula

$$|\vec{OP}| = \sqrt{[\langle \vec{OP}, \vec{OP} \rangle]}$$



Y, en segundo lugar, tiene sentido decir que dos vectores son perpendiculares (u «ortogonales», como prefieren decir los matemáticos) si su producto escalar es cero. El lector advertirá que los dos vectores distintos de cero  $\vec{OP}$  y  $\vec{OQ}$  son ortogonales (en este sentido) únicamente si las rectas OP y OQ son perpendiculares.

Estamos ahora en posición de mostrar una fórmula que desempeña un importante papel en la teoría cuántica. Hacemos que  $\vec{OX}_1$  y  $\vec{OX}_2$  denoten vectores mutuamente ortogonales de longitud la unidad, y ponemos que  $\vec{OP}$  sea un vector arbitrario. Aplicando las leyes algebraicas a las que he aludido, y empleando una propiedad elemental del plano, no es difícil mostrar que

$$(1) \quad \vec{OP} = \alpha_1 \vec{OX}_1 + \alpha_2 \vec{OX}_2$$

donde  $\alpha_1 = \langle \vec{OP}, \vec{OX}_1 \rangle$  y  $\alpha_2 = \langle \vec{OP}, \vec{OX}_2 \rangle$ . El significado geométrico de esta fórmula, además, se hace evidente con solo reconocer que los dos términos del lado derecho de la ecuación (1) corresponden a las proyecciones perpendiculares del punto P en las líneas  $OX_1$  y  $OX_2$ , respectivamente. O, dicho de otra manera: representan dos lados de un paralelogramo (de hecho, un rectángulo), del cual  $\vec{OP}$  es una diagonal.

Los dos vectores unitarios mutuamente ortogonales  $\vec{OX}_1$  y  $\vec{OX}_2$  se dice que constituyen una base ortonormal para nuestro espacio de Hilbert. Ahora se ha de observar que, si no hubiéramos comenzado con el plano euclidiano, sino con el espacio euclidiano tridimensional completo, podríamos haber definido cada una de las tres operaciones algebraicas exactamente como antes, y estas operaciones de hecho satisfarían las mismas reglas algebraicas. Sin embargo, ya no se mantendría la fórmula (1). En lugar de dos vectores unitarios ortogonales, se presentarían tres (lo que, de nuevo, se llama base ortonormal). Se obtiene así

$$(2) \quad \vec{OP} = \alpha_1 \vec{OX}_1 + \alpha_2 \vec{OX}_2 + \alpha_3 \vec{OX}_3$$

donde para  $\alpha_i = \langle \vec{OP}, \vec{OX}_i \rangle$  para  $i = 1, 2, 3$ .

Se ve de los dos ejemplos que una base ortonormal no solo se caracteriza por la condición de que los vectores dados sean mutuamente ortogonales y de longitud la unidad, sino también porque el conjunto sea «máximo» en el sentido de que no se pueda añadir otro vector unitario al conjunto que sea ortogonal a cada uno de los vectores dados. Con esta comprensión se puede, pues, mostrar que dos bases ortonormales cualesquiera de un espacio de

Hilbert han de contener el mismo número de vectores; y ese número define la *dimensión* del espacio de Hilbert.

Lo que he mostrado hasta aquí son espacios Hilbert de 2 y 3 dimensiones, respectivamente. He de señalar a continuación que se pueden construir fácilmente espacios de Hilbert de dimensión  $n$  para cada entero positivo  $n$ . Es cierto, claro está, que para  $n > 3$  ya no se pueden visualizar estos espacios vectoriales de maneras geométricas concretas; pero aun así, siguen aplicándose todas las reglas conocidas, y en realidad es fácil trabajar con estos espacios de dimensiones mayores, como en nuestros ejemplos de 2 y 3 dimensiones. Apenas es necesario señalar que en la dimensión  $n$  las ecuaciones (1) y (2) asumen la forma

$$(3) \quad \overrightarrow{OP} = \alpha_1 \overrightarrow{OX}_1 + \alpha_2 \overrightarrow{OX}_2 + \dots + \alpha_n \overrightarrow{OX}_n$$

donde  $\alpha_i = \langle \overrightarrow{OP}, \overrightarrow{OX}_i \rangle$  para  $i = 1, 2, \dots, n$ .

No obstante, sin importar cuán grande hagamos al entero  $n$ , resulta que estos espacios de Hilbert  $n$ -dimensionales siguen siendo demasiado pequeños para la mayor parte de aplicaciones de la teoría cuántica. Lo que se precisa, pues, son espacios de Hilbert de «dimensión infinita»; y ciertamente, estos no se pueden describir en términos que puedan esperar comprender los lectores sin formación matemática. Pero tampoco es necesario; pues resulta que las principales ideas de la teoría cuántica se pueden explicar muy bien en entornos de dimensión finita. El hecho de que en dimensiones infinitas la historia se haga mucho más compleja no altera en nada la imagen básica que ejemplifica el caso de dimensión finita. Al revés, lo que las complejidades de la teoría del espacio de Hilbert (por ejemplo, el bien celebrado teorema de descomposición para operadores hermitianos) nos dice es, precisamente, que la imagen elemental se mantiene, esencialmente, en el caso de dimensión infinita.

En esta introducción proponemos presentar la estructura matemática de la teoría cuántica en un entorno de dimensión finita, de manera simplificada.

## 2. Números complejos

Los espacios de Hilbert que hemos considerado hasta aquí han sido espacios de Hilbert reales, lo que significa que los «números», llamados escalares,

implicados en la multiplicación escalar y en el producto escalar son números reales. Resulta, no obstante, que la teoría cuántica exige espacios de Hilbert complejos, en los que los escalares sean números complejos. Formalmente, todo sigue igual. De nuevo se tienen las tres operaciones algebraicas, y estas satisfacen exactamente las mismas reglas que antes. Lo que ocurre es que el concepto subyacente de número se ha agrandado desde el campo real hasta el complejo, que es como se llama esta clase de estructura algebraica.

Paul Dirac (uno de los fundadores de la teoría cuántica) una vez señaló que «Dios empleó hermosas matemáticas para crear el mundo». Esto, en cualquier caso, explicaría que aparezcan los números complejos en la física; pues, como todo matemático sabe, el análisis matemático alcanza la perfección en el dominio complejo.

Por lo tanto, ¿qué es un número complejo? En ciertos libros de texto se aprende que son números con la forma  $x + iy$ , donde  $x$  e  $y$  son números reales, y se dice que  $i$  es «la raíz cuadrada de  $-1$ ». Pero entonces, ¿cómo se sabe que  $-1$  tiene raíz cuadrada, y que además este «número imaginario  $i$ » se puede multiplicar por un número real  $y$ , y al resultado añadirse otro número real  $x$ ? Claramente, la expresión  $x + iy$  no es una definición, sino solamente una notación. Como tal, no obstante, es útil; pues la notación misma sugiere que estos «números» deberían añadirse y multiplicarse según las reglas

$$(4) \quad (x + iy) + (x' + iy') = (x + x') + i(y + y')$$

$$(5) \quad (x + iy)(x' + iy') = (xx' - yy') + i(xy + yx')$$

Se puede ahora verificar bastante fácilmente que esta suma y multiplicación satisfacen todas las propiedades habituales, lo que implica que estos «números» (¡si es que existen!) constituyen un cuerpo. En tanto que todo número real  $x$  es también un número complejo (uno para el que  $y = 0$ ), se ve además que este campo «extiende» el de los números reales.

Pero queda la pregunta: ¿qué es un número complejo? Pues bien, la respuesta más sencilla y natural es que un número complejo es un par ordenado  $(x, y)$  de números reales, a condición de que la suma y la multiplicación se definan con fórmulas análogas a (4) y (5), a saber,

$$(x + y) + (x' + y') = (x + x', y + y')$$

$$(x + y)(x' + y') = (xx' - yy', xy' + yx')$$

Quiero señalar, primeramente, que los números reales pueden verse una vez más como un caso especial de números complejos [«identificando»  $x$  con el par  $(x, 0)$ ], y que la presente definición de números complejos resuelve de inmediato el enigma de  $i$ , la raíz cuadrada «imaginaria» de  $-1$ . Pues la regla dada de multiplicación nos dice inmediatamente que

$$(0,1)(0,1) = (-1,0),$$

lo que muestra que  $i$  no es sino el número complejo  $(0,1)$ . Se ve, además, que es bien engañoso hablar de números «reales» e «imaginarios», pues es obvio que el par  $(0,1)$  no es más «imaginario» ni menos «real» que  $(1,0)$ .

Menciono de pasada que los números complejos pueden representarse fácilmente con vectores en un espacio bidimensional, lo que es decir que se puede pensar en números complejos como si fueran puntos en un plano (el llamado plano complejo). Para referencias futuras, todo número complejo tiene un llamado valor absoluto (su distancia al origen en el plano complejo), dado por la fórmula  $x^2 + y^2$

$$|(x, y)| = \sqrt{[x^2 + y^2]}.$$

Los números complejos de valor absoluto 1 constituyen, pues, un círculo en el plano complejo. Estos números se pueden expresar mediante coordenadas geométricas con un ángulo: el ángulo  $\theta$ , digamos, trazado en sentido contrario a las agujas del reloj, desde la semirrecta que contiene los números reales positivos. Y señalo (otra vez, para referencia posterior) que el número complejo en la circunferencia goniométrica, correspondiente al ángulo  $\theta$  (que no tomaremos en grados, sino en los llamados radianes) es dado por la notación  $e^{i\theta}$ . No hemos de preocuparnos de que  $e^{i\theta}$  sea el número real  $e$  (llamado base de los logaritmos naturales) elevado a la potencia «imaginaria»  $i\theta$ .

### 3. Vectores de estado y observables

A todo sistema físico, mecánico-cuánticamente concebido, se le asocia un espacio de Hilbert complejo, cuyos vectores diferentes de cero corresponden a estados del sistema físico. A estos vectores se les llama vectores de estado y,

siguiendo a Dirac, generalmente se indican con una letra griega, con una línea vertical a la izquierda y un corchete a la derecha. Así, el producto escalar de  $|\psi\rangle$  y  $|\chi\rangle$  se escribirá como  $\langle\psi, \chi\rangle$ .

Ahora hacemos que  $|\psi\rangle$  y  $|\chi\rangle$  sean vectores de estado, y que  $\alpha$  y  $\beta$  indiquen números complejos. La suma ponderada  $\alpha|\psi\rangle + \beta|\chi\rangle$  es, entonces, otro vector en el espacio de Hilbert. Pero recordemos que los vectores diferentes de cero de nuestro espacio de Hilbert corresponden a estados del sistema físico. La suma ponderada compleja  $\alpha|\psi\rangle + \beta|\chi\rangle$  tiene, así, un significado físico (mientras no sea cero): representa un estado posible del sistema. Este hecho extraordinario, sin comparación en la física clásica, se conoce como principio de superposición.

Habría de mencionarse a continuación que la multiplicación de un vector de estado por un número complejo que no sea cero no cambia el estado correspondiente, lo que es decir que los estados físicos corresponden, no a vectores de estado individuales, sino a lo que se podría llamar la línea compleja a través del origen del espacio vectorial.

Consideremos ahora un observable del sistema físico: es decir, alguna cantidad que se pueda averiguar, en principio, con un acto de medición. El desenlace de una medición, claro está, depende del estado del sistema. Se precisa, sin embargo, distinguir entre dos casos. En primer lugar, hay estados para los que el desenlace se determina con certeza, llamados estados propios del observable dado. En general, no obstante, el valor del observable no se determinará con certeza; lo que es decir que cuando el sistema no esté en un estado propio, la medición podrá, en principio, dar cualquiera de una serie de valores posibles. Tales valores posibles del observable, además, se denominan valores propios; y, por último, los vectores de estado correspondientes al estado propio se llaman vectores propios.

Llegamos ahora a un hecho crucial: los vectores propios que corresponden a diferentes valores propios son ortogonales. Esto implica, en concreto, que si el observable puede asumir  $n$  valores distintos, y si cada uno de ellos tiene un estado propio, entonces el espacio de Hilbert ha de ser, al menos,  $n$ -dimensional. Y por la misma lógica, si el número de valores propios distintos es infinito, y cada uno tiene un estado propio, entonces el espacio de Hilbert ha de ser de dimensión infinita.

Por simplicidad, asumimos de aquí en adelante que el espacio de Hilbert es de dimensión finita, digamos un espacio de dimensión  $n$ . Se sigue, pues, con el rigor de un teorema matemático, que todo observable admite una base ortonormal de vectores propios. Escogemos ahora un observable, y hacemos que  $|\psi_1\rangle, |\psi_2\rangle, \dots, |\psi_n\rangle$  indiquen tal base ortonormal. Cada vector de estado  $|\chi\rangle$

se puede entonces representar como una suma ponderada compleja de los vectores propios dados. Para ser precisos, la ecuación (3) da

$$|\chi\rangle = \alpha_1 |\psi_1\rangle + \alpha_2 |\psi_2\rangle + \dots + \alpha_n |\psi_n\rangle$$

donde  $\alpha_i = \langle \chi, \psi_i \rangle$  para  $i = 1, 2, \dots, n$ . Aquí surge la pregunta de si los coeficientes  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$  (que describen la posición del vector de estado con relación a los vectores propios dados) conllevan alguna clase de información física. Puesto que el vector de estado  $|\chi\rangle$ , no obstante, puede multiplicarse por un número complejo que no sea cero sin alterar el estado correspondiente, se ve que los  $\alpha_i$  están definidos solo hasta un múltiplo diferente de cero. Para remediar esta falta de determinación, se puede «normalizar» el vector de estado  $|\chi\rangle$  dividiéndolo por su longitud. Los  $\alpha_i$  resultantes están, entonces, únicamente determinados, excepto para los múltiplos complejos de valor absoluto 1, y además satisfarán la condición

$$(6) \quad |\alpha_1|^2 + |\alpha_2|^2 + \dots + |\alpha_n|^2 = 1.$$

Así pues, ¿cuál es su significado físico? El siguiente: la raíz cuadrada del valor absoluto de  $\alpha_i$  (que ahora está únicamente determinada) es precisamente la probabilidad de que la medición del observable dado en el estado dado dé el valor propio  $\lambda_i$  correspondiente al vector propio<sup>[8]</sup>. La probabilidad  $p_i$  de obtener el valor  $\lambda_i$  se da, consiguientemente, con la fórmula

$$P_i = \frac{|\langle \chi, \psi_i \rangle|^2}{\langle \chi, \chi \rangle}$$

Hay que señalar, antes de nada, que en virtud de la ecuación (6) la suma de estas probabilidades es igual a 1, como debe. Supongamos ahora que  $|\chi\rangle$  es vector propio del observable. Para ser concretos, supongamos que es  $|\psi_1\rangle$ . Se sigue ahora que  $\alpha_1 = 1$ , y todos los  $\alpha_i$  que quedan son cero. Pero esto significa que medir el observable dado dará el valor propio  $\lambda_i$  con probabilidad 1, es decir, con certeza. Se recupera, así, lo antedicho sobre el desenlace de las mediciones cuando el sistema está en un estado propio.

Sin embargo, en general el sistema estará en superposición de estados propios, en cuyo caso el estado no determina el desenlace real de una medición, sino solo las probabilidades asociadas a desenlaces posibles. Desde 1925 se ha debatido si esta «indeterminación» se debe a las limitaciones de la

teoría cuántica, o a si de hecho «Dios juega a los dados», por decirlo con las famosas palabras de Einstein.

#### 4. El principio de incertidumbre de Heisenberg

Habría que decir algunas palabras sobre el famoso principio de incertidumbre de Heisenberg. Dados dos observables P y Q, surge la pregunta de si los valores de ambos se pueden determinar con certeza. A la luz de lo que hemos dicho antes, se ve que para que este sea el caso, el sistema habría de estar en un estado propio tanto de P como de Q. En general, sin embargo, un vector propio  $|\chi\rangle$  de Q será una suma ponderada de vectores propios  $|\psi_1\rangle, \dots, |\psi_n\rangle$  pertenecientes a P, cuyos coeficientes serán, simplemente, los productos escalares  $\langle\chi, \psi_i\rangle$ . Y esto significa que si nuestro sistema resulta estar en un estado propio correspondiente al vector propio  $|\chi\rangle$ , la medición de P puede en principio dar un valor propio  $\lambda_i$  de P, solo en tanto que el producto escalar  $\langle\chi, \psi_i\rangle$  correspondiente no sea cero. El mismo hecho de que el valor de Q esté determinado con certeza puede implicar, bajo estos auspicios, que el valor de P es indeterminado.

En general, está claro que el sistema estará en un estado que no es un estado propio ya sea de P o Q, lo que es decir que los valores de ambos observables serán indeterminados. Existe, no obstante, una medida matemática de indeterminación (denominada desviación típica) en cuyos términos se puede afirmar una relación entre estas dos «incertidumbres». Esta relación tiene la forma

$$(7) \quad \Delta P \Delta Q \geq \{P, Q\},$$

donde  $\Delta P$  y  $\Delta Q$  indican las desviaciones estándar de P y Q, respectivamente, y  $\{P, Q\}$  indica cierto número no negativo determinado por P y Q. La fórmula (7) expresa la llamada relación generalizada de incertidumbre. Afirma que sin importar en qué estado se halle el sistema, el producto de ambas «incertidumbres» no puede ser menor que  $\{P, Q\}$ .<sup>[9]</sup> Ahora bien, el principio de incertidumbre de Heisenberg, propiamente dicho, corresponde al caso especial en el que Q representa una posición y P el impulso correspondiente a

la partícula, o más generalmente, el caso en el que Q y P son los llamados observables conjugados, en cuyo caso (7) se reduce a

$$\Delta p \Delta q \geq h/2\pi$$

donde  $h$  es la constante de Planck.

Todo esto, sin embargo, tiene poco interés inmediato para nosotros. Lo que importa, para esta somera introducción, es la sencilla constatación de que un sistema cuántico no puede estar en un estado para el que los valores de todos sus observables estén determinados con certeza. Y este hecho lo implica la estructura misma de la teoría cuántica, es decir, los mismos principios que hemos enunciado en la sección anterior.

## 5. La ecuación de Schrödinger

Es obvio que el estado de un sistema físico está sujeto al cambio. Los vectores de estado, por lo tanto, han de depender en general de la coordenada temporal  $t$ , y cuando sea necesario, indicaremos esta dependencia funcional con la notación  $|\psi(t)\rangle$ . Surge aquí la pregunta de si se pueden predecir los valores futuros  $|\psi(t)\rangle$  de un vector de estado, dado un valor inicial  $|\psi(t_0)\rangle$ . Para que así sea, claro está, es preciso hacer asunciones apropiadas sobre la acción de fuerzas externas en el sistema físico dado. En jerga técnica, se asume que estas fuerzas son conservadoras, es decir, que derivan de lo que se llama un potencial; y de aquí en adelante asumiremos que se satisface esta condición. Así pues, ¿existe una ecuación que nos permita calcular los valores futuros de un vector de estado dado?

La ecuación que buscamos la descubrió en 1926 el físico austríaco Erwin Schrödinger. Afirma, en primer lugar, que los vectores de estado evolucionan linealmente. Esto significa que si una relación

$$|\chi\rangle = \alpha_1 |\psi_1\rangle + \alpha_2 |\psi_2\rangle$$

(con los coeficientes complejos dados  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$ ) entre vectores de estado se mantiene en algún momento  $t_0$ , seguirá haciéndolo durante todo  $t > t_0$ .



Supongamos, una vez más, que estamos en un espacio de Hilbert de dimensión  $n$ , y hacemos que  $|\psi_1\rangle, \dots, |\psi_n\rangle$ , sea un conjunto de vectores de estado que, en un tiempo  $t = t_0$ , constituyen una base ortonormal. En un tiempo  $t = t_0$  se puede expresar, pues, un vector de estado arbitrario  $|\chi\rangle$  con la fórmula

$$|\chi(t_0)\rangle = \alpha_1|\psi_1(t_0)\rangle + \alpha_2|\psi_2(t_0)\rangle + \dots + \alpha_n |\psi_n(t_0)\rangle.$$

Sin embargo, con la linealidad de la evolución de Schrödinger, esto implica que

$$(8) \quad |\chi(t)\rangle = \alpha_1 |\psi_1(t)\rangle + \alpha_2 |\psi_2(t)\rangle + \dots + \alpha_n |\psi_n(t)\rangle$$

para todo  $t \geq t_0$ .

Pero la ecuación de Schrödinger nos permite calcular la evolución de un vector de estado arbitrario  $|\chi\rangle$ , ¡una vez se conoce la evolución de Schrödinger de la base dada! Y es evidente que esto lleva a la pregunta: ¿podemos hallar una base especial para la que la evolución de Schrödinger asuma una forma especialmente sencilla, una forma que pueda averiguarse fácilmente?

Lo crucial es que los estados propios de la energía total (que siempre es un observable del sistema) resultan ser estados estáticos, que no cambian en absoluto. El hecho de que los estados propios de energía sean estáticos, no obstante, no implica que los vectores propios de energía sean constantes; pues de lo contrario, se seguiría por la ecuación (8) que todos los demás vectores de estado también serían constantes... La cuestión es que los vectores de estado se pueden multiplicar por un número complejo diferente de cero sin alterar el estado correspondiente. La evolución de Schrödinger de un vector propio de energía debe darse, consiguientemente, con un factor complejo, cierta función compleja de tiempo. ¿Cuál es, entonces, esa función? Es la siguiente

$$(9) \quad e^{-2\pi i E t / h}$$

donde  $E$  es el valor propio de energía dada y  $h$  la constante de Planck. Esto representa un vector unitario en el plano complejo, que además rota en el sentido de las agujas del reloj, con frecuencia  $E/h$ . Los vectores propios de energía, pues, rotan, incesantemente, con una frecuencia proporcional a la energía correspondiente.

Ahora asumimos que nuestra base ortonormal consiste, de hecho, en vectores propios de energía. La evolución de Schrödinger de esa base se da,

entonces, por las ecuaciones

$$(10) \quad |\psi_j(t)\rangle = e^{-2\pi i E_j t / h} |\psi_j(t_0)\rangle$$

para  $j = 1, 2, \dots, n$ , donde  $E_j$  indica el valor propio de energía correspondiente al vector propio  $|\psi_j(t)\rangle$ . Si sustituimos estas expresiones con la ecuación (8), obtenemos una fórmula para la evolución de Schrödinger de  $|\chi\rangle$ .

Esta ecuación muestra  $|\chi\rangle$  como superposición de oscilaciones simples, muy similarmente a como un tono cualquiera se puede representar como superposición de tonos puros. Se ha de señalar, no obstante, que la «vibración» o «movimiento ondulatorio» descrito por la ecuación (10) necesariamente pertenece a un nivel subempírico (si es que, de hecho, constituye un proceso real); pues los vectores de estado constituyentes  $|\psi_j(t)\rangle$  pertenecen al mismo estado físico y, por tanto, no se pueden distinguir por medios empíricos. Pero aunque el factor (9) no se puede observar, sin embargo determina la evolución de Schrödinger de todo vector de estado en el espacio de Hilbert. Además, todos los efectos de interferencia de la teoría cuántica dependen de esta misteriosa oscilación compleja, este llamado factor de fase. Lo controla todo, pero elude el escrutinio.

## 6. La evolución de Schrödinger y el colapso del vector de estado

Uno de los hechos básicos de la física clásica es que el estado inicial de un sistema físico determina sus estados futuros, mientras se conozcan por adelantado las fuerzas externas que actúan sobre él<sup>[10]</sup>. Un universo gobernado por las leyes de la física clásica sería, por tanto, determinista: el curso de toda su evolución, hasta los más ínfimos detalles, estaría únicamente determinado desde el primer momento de su existencia. No obstante, no hemos de sorprendernos demasiado al encontrar que las cosas no son tan sencillas en el caso de la teoría cuántica.

En primer lugar, existe la ecuación de Schrödinger, que permite predecir los estados futuros de un sistema cuántico desde su estado inicial, y se podría añadir que Schrödinger llegó a esta ecuación mediante la física clásica, firmemente convencido de que el determinismo acostumbrado se transportaría al dominio cuántico. Y casi lo hace. En su mayor parte los vectores de estado trazan una trayectoria continua en el espacio de Hilbert, de acuerdo con las

exigencias de la ecuación de Schrödinger<sup>[11]</sup>. Resulta, sin embargo, que esta evolución continua y predecible se interrumpe ocasionalmente con ciertos sucesos especiales que pueden hacer que el vector de estado cambie abrupta e impredeciblemente, haciéndolo «saltar», como se dice. Entonces, ¿qué provoca estos saltos súbitos? No es sino el acto de la medición, la determinación experimental en acto de algún observable dado. Por lo visto, lo que hace saltar al sistema físico es la intervención del proceso experimental, haciéndolo cambiar instantáneamente de un estado a otro, sin pasar por una gama continua de estados intermedios (de acuerdo con la ecuación Schrödinger).

Pongamos que se da un sistema físico y un observable de tal sistema. Por sencillez, consideremos solo lo que se llaman experimentos de la primera clase, que son aquellos para los que el observable en cuestión asume su valor medido al término de la medición<sup>[12]</sup>. Pues bien, si una medición da el valor propio  $\lambda$  (mediante un experimento de la primera clase), entonces sabemos que el observable tiene el valor  $\lambda$  al terminar la medición, lo que es decir que el sistema está, en ese momento, en un estado propio correspondiente al valor propio  $\lambda$ . De otra parte, antes de la medición, el sistema en general habrá estado en alguna superposición de estados propios. Se desprende que el vector de estado ha pasado por un cambio discontinuo: lo que se llama colapso. El acto de medirlo lo ha arrojado, por así decirlo, a un estado propio del observable dado. No puede decirse por adelantado, además, qué estado propio será, pues como hemos visto, la teoría cuántica solo da probabilidades a ese respecto. En general, por tanto, el acto de medición da lugar a una discontinuidad impredecible que interrumpe la evolución determinista de Schrödinger del vector de estado.

Nadie parece comprender por qué las interacciones concretas que llamamos mediciones tienen este efecto extraordinario. ¿Qué es exactamente lo que diferencia una medición de cualquier otro tipo de interacción? O por decirlo con más sencillez: ¿por qué colapsan los vectores de estado? Y, aún más importante, ¿indica el llamado colapso una indeterminación efectiva en las operaciones de la naturaleza? Como se sabe, estas preguntas se han sopesado y combatido vigorosamente desde que la teoría cuántica vio la luz del día; pero por ahora, al menos, no parece que se hayan encontrado respuestas claras. La mayoría de los físicos, entretanto, parecen contentarse considerando la dualidad de la evolución de Schrödinger y el colapso del vector de estado simplemente como un hecho científico de la vida; es algo que, por fuerza de necesidad, los físicos operativos aprenden a aceptar sin hacer demasiadas preguntas.

## 7. La función de onda de una partícula

Asumamos de nuevo que estamos en un espacio de Hilbert de dimensión  $n$  y hacemos que  $|\psi_1\rangle, |\psi_2\rangle, \dots, |\psi_n\rangle$  indiquen una base ortonormal de vectores propios pertenecientes a algún observable del sistema físico. Puesto que un vector de estado cualquiera  $|\chi\rangle$  se puede ahora escribir como suma ponderada de los vectores propios dados, con coeficientes  $\alpha_i = \langle\chi, \psi_i\rangle$ , se ve que  $|\chi\rangle$  puede representarse con el complejo  $n$ -upla  $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ . Para cada observable hay consiguientemente un modo correspondiente de representar vectores de estado por complejos  $n$ -uplas. Supongamos ahora que nuestro sistema consiste en una sola partícula, que tiene libertad para asumir  $n$  posiciones, de coordenadas los números reales  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ . Los  $x_i$ , pues, son los valores propios de un observable particular. Ahora pongamos que  $|\chi\rangle$  es un vector de estado y  $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$  la representación  $n$ -upla de  $|\chi\rangle$  correspondiente a este observable. Se puede ahora definir una función de valor complejo  $\psi$  en el conjunto de valores propios de posición con la fórmula  $\psi(x_i) = \alpha_i$ , para  $i = 1, 2, \dots, n$ . Y esta función  $\psi$  se llama función de onda de la partícula dada.

Nos interesa especialmente, claro está, el caso de una partícula con libertad para asumir todas las posiciones en alguna región  $V$  del espacio tridimensional. Ahora bien, la descripción mecánico cuántica de tal partícula evidentemente requiere un espacio de Hilbert de dimensión infinita, y resulta que en este caso no existe una base ortonormal de valores propios de posición. Nuestra construcción anterior de una función de onda, por lo tanto, ya no se aplica. No obstante, se puede continuar por otros medios, y encontramos que los vectores de estado pueden volver a representarse con una función de onda que ahora es una función continua  $\psi$  de valores complejos sobre  $V$ .

En general, se dice que una función de onda está normalizada si el vector de estado correspondiente está normalizado, es decir, si tiene longitud la unidad. El lector reparará en que para una función de onda en el caso de dimensión finita,  $|\psi(x)|^2$  es precisamente la probabilidad de hallar la partícula dada en  $x_i$ . De otra parte, la cantidad correspondiente  $|\psi(x)|^2$  en el caso de dimensión infinita, estrictamente hablando no es una probabilidad, sino lo que se llama una densidad de probabilidad. Nos dice que la probabilidad de hallar la partícula dentro de un intervalo «pequeño»  $\Delta V$  en torno a  $x$  se da con  $|\psi(x)|^2 \Delta V$ .

Una observación adicional sobre funciones de onda: no es difícil ver que la función de onda que corresponde a una suma ponderada de vectores de estado no es sino la correspondiente suma ponderada de funciones de onda. Y esto implica que la suma ponderada de funciones de onda es, una vez más, una función de onda<sup>[13]</sup>.

## 8. El experimento de la doble rendija reconsiderado

Volvamos ahora al notable experimento que hemos considerado con alguna extensión al comienzo. Se dispara una partícula (digamos, un electrón) a través de una pantalla S con dos rendijas, e impacta en una segunda pantalla R. Nuestro sistema físico consiste ahora en un solo electrón, sujeto a las condiciones prescritas. Si abrimos la rendija A y cerramos B, sabemos que el electrón pasa por A. Su función de onda  $\psi_A$  en ese momento, por lo tanto, se concentrará o alcanzará su «pico» en la rendija A, lo que es decir que las amplitudes  $\psi_A(x)$  serán cero para las posiciones  $x$  alejadas de la rendija. Similarmente, si abrimos B y cerramos A, la función de onda correspondiente  $\psi_B$  alcanzará su punto máximo en B en el instante que el electrón pase por esa rendija.

Formemos ahora la suma ponderada

$$\psi = \alpha\psi_A + \beta\psi_B$$

de estas dos funciones de onda, con coeficientes complejos distintos de cero  $\alpha$  y  $\beta$ . Según lo dicho antes,  $\psi$  vuelve a ser una función de onda que describe el caso en el que ambas rendijas están abiertas. Ahora el electrón está en «estado de superposición», la clase de estado que muestra los efectos de interferencia previamente considerados (que, como hemos visto, resultan inexplicables en términos clásicos).

Podemos asumir, sin pérdida de generalidad, que las funciones de onda  $\psi_A$ ,  $\psi_B$  y  $\psi$  están todas normalizadas, de manera que los cuadrados absolutos de sus amplitudes en realidad son densidades de probabilidad. El hecho de que  $\psi_A$  alcanzara su pico en A nos dice, pues, que el electrón pasa a través de A; y el caso es obviamente similar para  $\psi_B$ . El significado probabilístico de  $\psi$ , además, está similarmente claro: el hecho de que sea de doble pico implica

que hay una probabilidad positiva de que el electrón pase por la rendija A, y otra probabilidad positiva de que lo haga por la rendija B.

Supongamos ahora que la función de onda  $\psi$  se conoce en el momento inicial, el instante en el que el electrón pasa a través de S. Mediante la ecuación de Schrödinger se puede, pues, calcular  $\psi(t)$  para todos los valores subsiguientes de la coordenada tiempo, justo hasta el momento en que el electrón impacta en la pantalla R. Y como cabría esperar, la densidad de probabilidad resultante de los impactos de partículas en R de hecho muestra las conocidas bandas de interferencias. En el nivel de vectores de estado, después de todo, se trata en efecto de superposición de ondas; lo que es decir que, desde el punto de vista matemático, las bandas dadas de hecho constituyen un fenómeno de difracción en el sentido clásico.

El hecho es que la teoría cuántica explica perfectamente los hallazgos experimentales. Y lo hace, como acabamos de ver, mediante amplitudes complejas, repletas con sus factores de fase oscilatorios. Lo que siempre se observa, de otra parte, son los cuadrados de los valores absolutos: a saber, las probabilidades y densidades de probabilidad tal como se manifiestan, por ejemplo, por densidad de puntos en una placa fotográfica expuesta. Surge la pregunta, por tanto, de si las amplitudes complejas como tales indican una realidad física. Algunos físicos lo dudan. Pero entonces, bajo tales auspicios, se estaría en apuros para entender cómo un cálculo, basado en amplitudes ficticias, podría dar invariablemente resultados correctos. Para decirlo concretamente: si el doble pico inicial de la función de onda de superposición no es real en algún sentido, ¿cómo explicamos entonces que aparezcan efectos de interferencia? Si fuera cierto que un efecto ha de tener su causa, entonces se justifica que consideremos la función de onda como algo más que una ficción. Y así, por la misma lógica, se nos obliga a concluir que el electrón, previamente al momento en el que realmente se observa, de algún modo está extendido en el espacio. Y si resulta, además, que su función de onda tiene inicialmente doble pico, similarmente se nos obliga a concluir que en cierto sentido pasa a través de ambas rendijas, por extraño que pueda parecer.

Entretanto, la teoría cuántica como tal no tiene nada que decir sobre el estatus ontológico de sus amplitudes complejas; simplemente nos dice cómo calcular probabilidades mecánico cuánticas, y en cuanto al resto, nos deja que pensemos como nos parezca.

## Glosario

### *Objeto físico asociado:*

todo objeto corpóreo (es decir, perceptible) se puede someter a mediciones y concebirse en términos físicos. El objeto corpóreo  $X$  determina así un objeto físico  $SX$  que se llama objeto físico asociado.

### *Bifurcación:*

el principio cartesiano que afirma que el objeto perceptual es privado o meramente subjetivo. La idea de bifurcación va de la mano con la asunción de que el mundo externo está caracterizado exclusivamente por cantidades y estructuras matemáticas. Según esta perspectiva todas las cualidades (como el color) existen únicamente en la mente del perceptor.

### *Objeto corpóreo:*

un objeto corpóreo es simplemente una cosa que se puede percibir.

### *Mundo corpóreo:*

el mundo que nos resulta familiar (o «precientífico»), que conocemos directamente por medio de la percepción sensorial.

### *Visualización:*

modo de observación física que termina, no en un valor numérico o cantidad, sino en algún tipo de presentación gráfica.

### *Estado propio:*

estado de un sistema físico en el que el valor de un observable dado puede predecirse con certidumbre.

### *Vector propio:*

en el formalismo de la teoría cuántica, el estado de un sistema físico se representa con un llamado vector de estado. Un vector de estado es invocado por un vector propio (con respecto a algún observable  $X$ ) si el

valor de X puede predecirse con certidumbre siempre que el sistema físico esté en un estado correspondiente al vector de estado dado.

*Esencia:*

la esencia es lo que responde a la pregunta «¿qué?»; así pues, es la «queidad» o *quididad* de la cosa.

*Forma:*

el equivalente escolástico de *morphe* en el sentido aristotélico. La «forma» es lo que hace que una cosa sea inteligible.

*Hyle:*

término empleado por Aristóteles para referirse al recipiente preexistencial de la forma o inteligibilidad. La palabra griega significa «madera», y la metáfora es escultórica: así como un pedazo de madera puede recibir la forma de Apolo o Sócrates, también *hyle* puede recibir *morphe* o «forma» en un sentido general.

*Materia:*

equivalente escolástico de la *hyle* aristotélica. La materia es pues el recipiente preexistencial de la «forma» en el sentido de contenido inteligible.

*Materia secunda:*

recipiente parcialmente determinado de forma o determinación.

*Materia quantitate signata:*

estos términos se emplean con referencia a un recipiente de forma o determinación que en sí mismo está sujeto a forma o estructura matemática.

*Morphe:*

aspecto formal o inteligible de una entidad existente. El término fue empleado por Aristóteles junto con la palabra *hyle* (el recipiente de *morphe*).

*Natura naturata:*

término escolástico que significa «naturaleza» en el sentido de algo que se ha producido, creado o «naturado».

*Natura naturans:*

la naturaleza concebida como principio activo, creativo o «naturante». El término es, en realidad, un *nomen Dei*, «un nombre de Dios».



*Naturaleza:*

empleo este término provisionalmente, inspirado por la observación de Heisenberg de que la física moderna no trata con la naturaleza como tal, sino con «nuestras relaciones con la naturaleza». La noción se hace subsiguientemente más precisa con la ayuda de conceptos aristotélicos y escolásticos.

*Objeto físico:*

algo que se puede conocer con el *modus operandi* de la física.

*Sistema físico:*

objeto físico tal como se concibe en términos de una representación dada.

*Universo físico:*

lugar o dominio de los objetos físicos, y así, en cierto modo, el mundo tal como lo concibe el físico.

*Potencia:*

término aristotélico que significa que algo existe «potencialmente» con relación a alguna otra cosa. Heisenberg aplicó el término a entidades cuánticas tales como partículas fundamentales como diferentes de «las cosas y hechos» de la experiencia ordinaria.

*Presentación:*

si  $SX$  es el objeto físico asociado (ver) del objeto corpóreo  $X$ , entonces se dice que  $X$  es la presentación de  $SX$ .

*Prima materia:*

la materia concebida como desprovista de toda determinación formal.

*Cosificación:*

acto por el que revestimos entidades físicas o matemáticas de formas imaginarias y por tanto, en cierto modo, «corporizamos» tales entidades.

*Especificación:*

proceso empírico por el que se define o determina una entidad física hasta cierto punto.

*Vector de estado:*

entidad matemática que representa el estado de un sistema físico en el formalismo de la teoría cuántica.

*Colapso del vector de estado:*

cambio discontinuo o instantáneo en la representación mecánico-cuántica de un sistema físico resultante de una medición real. El término también se emplea con frecuencia al correspondiente cambio instantáneo en el mismo sistema físico.

*Subcorpóreo:*

objeto físico que es el objeto asociado (ver) SX de un objeto corpóreo X. Así pues, los objetos subcorpóreos no son sino entidades físicas que se identifican con objetos perceptibles de acuerdo con la interpretación corriente de la física.

*SX:*

el objeto físico asociado (ver) de un objeto corpóreo X.

*Transcorpóreo:*

entidad física que no es subcorpórea (ver). Las partículas fundamentales, así como los «pequeños» agregados atómicos, son transcorpóreos.

*Causalidad vertical:*

modo de causación que no actúa desde el pasado hacia el futuro por medio de un proceso temporal, sino que actúa directa o «instantáneamente».

*Yang:*

el aspecto formal o esencial de una cosa.

*Yin:*

el aspecto material de una cosa. Como las nociones aristotélicas de materia y forma, o de potencia y acto, los términos «yin» y «yang» han de comprenderse en esta conjunción.

*Yin-yang:*

la conocida figura taoísta que representa la interpenetración de un campo negro y otro blanco. Se podría decir que el *yin-yang* es el icono por excelencia de complementariedad en su sentido más universal y profundo.

## *Índice onomástico*

Aristóteles, 39, 107, 111, 130, 153  
Bell, John, 102, 104, 120, 121, 148  
Berkeley, Obispo, 24  
Bohm, David, 100, 120  
Bolton, Robert, 138, 151  
Boltzmann, Ludwig, 62  
Broglie, Loius de, 120, 158, 159  
Burt, Edwin A., 33  
Coomaraswamy, Ananda, 149  
Dampier, William, 66  
Dante, 140  
Dehmelt, Hans, 73, 91  
Dembski, William, 143  
Demócrito de Abdera, 33-35, 152  
Descartes, René, 18, 21, 22, 24, 33, 35, 38, 39, 43, 44, 53, 86, 113, 116, 126,  
127  
Diels, Hermann, 33  
Dirac, Paul A. M., 84, 87, 167, 169  
Eckhart, Meister, 110, 140  
Eddington, Arthur, 106  
Einstein, Albert, 9, 18, 35, 44, 60-63, 67, 93, 119-122, 126, 172, 180  
Faraday, Michael, 67  
Filón de Alejandría, 140  
Galileo, 18, 34, 113, 116  
Goethe, J. W. von, 128  
Guénon, René, 117, 150  
Hartmann, Nicolai, 35  
Heisenberg, Werner, 18, 35, 44, 78-80, 82, 84, 85, 93-100, 106, 145, 150,  
160, 172, 173, 179, 180, 184, 185  
Helmholtz, Hermann L. F., 66  
Herbert, Nick, 118

Hesíodo, 149  
Hume, David, 107  
Huygens, Christian, 66  
Jaki, Stanley L., 126  
Joule, James P., 66  
Kant, Immanuel, 24, 39, 107  
Klein, Felix, 105  
Laplace, Pierre-Simon, 122  
Locke, John, 24, 107  
Maxwell, James C., 67, 105  
Penfield, Wilder, 40  
Planck, Max, 79, 124, 126, 158, 173, 175  
Platón, 34, 93, 113, 153  
San Juan Evangelista, 142  
Schrödinger, Erwin, 51, 80, 83, 88, 89, 97, 98, 121, 132, 145, 146, 148, 149,  
173-181  
Schumacher, Ernst F., 40  
Shabistari, Mahmud, 140  
Sherrington, Charles, 42  
Smith, Wolfgang, 10, 11  
Stapp, Henry, 102, 104  
Varghese, Roy, 36, 126  
Voegelin, Eric, 118  
Voltaire, 66  
Whitehead, Alfred N., 35, 44, 89  
White, Lynn, 126  
Wigner, Eugene, 147  
Young, Thomas, 155, 157

## Notas

[1] Se han publicado doce estudios de esta clase en mi reciente libro, *Ancient Wisdom and Modern Misconceptions* (Kettering, OH: Angelico Press/Sophia Perennis, 2015). <<

[2] Los procesos estocásticos entrañan tanto azar como necesidad; un ejemplo de ello es el movimiento browniano. Para una breve exposición de la teoría DI y su conexión con la causalidad vertical, remito al capítulo 9 de *Ancient Wisdom and Modern Misconceptions*. <<

[3] Hay que señalar que, desde un punto de vista lógico, y de hecho simbolista, la conexión entre dicha singularidad inicial y la causación vertical tal como se explica en la versión original del capítulo 6 sigue siendo válida, independientemente de si la cosmología del Big Bang resulta ser cierta o no.  
<<



[1] *Nota de traducción:* alemán para «cosmovisión». <<

[2] La nueva física nació durante los años 1925 y 1926. Para cuando los físicos se reunieron en Como en 1927 en la Conferencia Internacional de Física, los cimientos de la teoría cuántica no relativista estaban colocados. Fue después, a lo largo del mismo año, cuando los físicos se reunieron por primera vez en Bruselas para la Quinta Conferencia Solvay, que el debate cuántico erupcionó a fuerza completa, por decirlo así, con la forma de la celebrada discusión entre Bohr y Einstein. <<

[3] La única excepción parecer ser el caso de Werner Heisenberg. Sin embargo, aunque en ocasiones cuestionó la premisa ilícita, y fue tan lejos como hasta para sugerir que podía ser la causa de incomprensión entre los físicos, su propia interpretación de la teoría cuántica, como veremos, sigue presuponiendo tal premisa. <<

[1] He analizado las filosofías de Descartes, Berkeley y Kant a propósito de la bifurcación en *Cosmos and Transcendence* (San Rafael, CA: Sophia Perennis, 2008), capítulo 2. <<

[2] Aristóteles fue sabio, después de todo, al postular «cantidad» y «cualidad» como categorías separadas e irreductibles. <<

[3] Véase especialmente E. A. Burtt, *The Metaphysical Foundations of Modern Physical Science* (Nueva York: Humanities Press, 1951). <<

[4] Hermann Diels, *Die Fragmente der Vorsokratiker* (Dublin: Weidmann, 1969), vol. II, pág. 168. <<

[5] *Principia Philosophiae*, en *Oeuvre* (París, 1824), IV, 198; citado en E. A. Burtt, *op. cit.*, pág. 112. <<



[6] *Encounters with Einstein* (Princeton, NJ: Princeton Univ. Press, 1983),  
pág. 81. <<

[7] *Op. cit.*, pág. 82. <<

[8] Por consiguiente, se cree en la bifurcación por la misma razón que se cree en la evolución darwinista: pues en efecto, mientras se insista en que todos los fenómenos de la naturaleza pueden comprenderse en principio únicamente mediante los métodos de la física, ambos dogmas serán indispensables. Mis perspectivas sobre esta cuestión se detallan en *Cosmos and Transcendence*, capítulo 4; *Theistic Evolution: The Teilhardian Heresy* (Angelico Press, 2012), capítulo 1; y *Cosmos, Bios, Theos*, editado por Henry Margenau y Roy A. Varghese (Chicago: Open Court, 1992). <<

[9] De tal manera, percibimos el objeto como tridimensional incluso cuando la imagen es plana. La objeción concebible de que la visión estereoscópica se debe al hecho de que hay dos imágenes no viene al caso por dos razones: primero, porque en realidad no vemos dos imágenes, sino una; y segundo, porque incluso cuando miramos un objeto corriente con un solo ojo, seguimos percibiéndolo tridimensionalmente. <<

[10] Wilder Penfield, *The Mystery of the Mind* (Princeton, NJ: Princeton University Press, 1975); citado por E. F. Schumacher en *A Guide for the Perplexed* (Nueva York: Harper & Row, 1977), pág. 76. <<

[11] *Man on His Nature* (Cambridge: Cambridge University Press, 1951),  
pág. 256. <<

[12] *Nature and Life* (Nueva York: Greenwood, 1968), pág. 6. <<

[13] *Physics and Philosophy* (Nueva York: Harper & Row, 1958), pág. 81. <<



[1] Emplearé el término «sistema físico» para denotar un objeto físico tal como se concibe en términos de una representación teórica dada. Diferentes representaciones de un mismo objeto físico dan, así, lugar a diferentes sistemas físicos. <<

[2] A riesgo de machacar en hierro frío, eso se puede argüir de la siguiente manera: una esfera rígida de densidad constante se caracteriza completamente por dos constantes numéricas: su radio  $R$  y su densidad  $\delta$ . Sin embargo, ni  $R$  ni  $\delta$  pueden percibirse (tales cantidades, claro está, se pueden medir, pero como dije antes, medir no es lo mismo que percibir). Aunque como las cantidades en base a las cuales se define la esfera rígida son imperceptibles, igualmente lo es la esfera rígida. O, una vez más: nadie jamás ha percibido (en sentido visual) un objeto carente de todo color. Pero la esfera rígida no tiene color (se caracteriza por  $R$  y  $\delta$ , como he dicho). Por lo tanto, es imperceptible. <<

[3] Cabría mencionar que visualización y medición corresponden precisamente a los dos llamados modos de la cantidad: la extensión y el número, que hasta la época moderna se concebían como irreducibles. Fue Descartes quien emborronó la distinción con el invento de lo que ha pasado a conocerse como geometría analítica. Pero, en cualquier caso, persiste la distinción entre la extensión y el número, y pese al hecho de que simplemente todo en nuestros días se puede «digitalizar», aún sigue con nosotros la necesidad de las visualizaciones pictóricas. <<

[4] Para propósitos médicos interesa averiguar no solo  $\delta^*(x, y)$ , sino  $\delta(x, y, z)$ ; lo que se necesita, después de todo, es que  $\delta$  señale un tumor o un objeto extraño minúsculo. Añadamos que este es el tema de una disciplina matemática llamada tomografía, que subyace a la tecnología de «escaneos».

<<

[5] El hecho de que X y SX ocupen la misma región del espacio en modo alguno es paradójico. Antes de nada, no contradice nuestra experiencia sensorial, porque la percepción pertenece solo a X. Desde un punto de vista teórico, además, no hay nada contradictorio en la noción de que dos entidades ocupen el mismo espacio; esto sucede, por ejemplo, en el caso de campos. Un campo eléctrico, por ejemplo, puede coexistir con otro magnético o gravitacional. Una vez más, lo que se ve depende del modo en que se mira.  
<<

[6] Existe también, por supuesto, una «continuidad temporal» entre X y SX. Esto significa, en primer lugar, que un objeto corpóreo X, considerado en un instante específico del tiempo, constituye una presentación de SX *en ese mismo instante*; y, en segundo lugar, que la noción de «distancia temporal» o duración, tal como la miden los relojes corpóreos, se transporta al reino subcorpóreo. <<

[7] A. Einstein y L. Infield, *The Evolution of Physics* (Nueva York: Simon and Schuster, 1954), pág. 33. <<

[8] Acerca de esto se podría señalar que el idioma —y, así, el pensamiento— tiene obviamente su soporte sensorial, aunque sea audible. No obstante, cuando se trata de comprender estructuras matemáticas, sin duda los símbolos visuales desempeñan el papel principal. <<



[9] Véase W. C. Dampier, *A History of Science* (Cambridge: Cambridge University Press, 1948), pág. 167. <<

[10] No solo Newton reconoció la fuerza gravitacional y electromagnética, sino que parece que también anticipó las fuerzas nucleares, como cabe deducir de la siguiente declaración en la Cuestión n.º 31 de su *Óptica*: «Las atracciones de la gravedad, del magnetismo y de la electricidad alcanzan distancias claramente perceptibles, por lo que han sido observadas por ojos vulgares; sin embargo, puede haber otras que alcancen distancias lo suficientemente pequeñas como para haber escapado hasta ahora a la observación». <<

[11] Es necesario, claro está, tener en cuenta la dependencia temporal del campo. Esto puede hacerse, por ejemplo, mediante una visualización gráfica animada. <<

[1] Aunque esto no necesariamente significa que un objeto físico específico no existiera antes de especificarse. No sugiero, por ejemplo, que el planeta Júpiter se materializara de algún modo justo al observarse por vez primera. Lo que digo es que primeramente se necesita especificar un objeto antes de poder preguntar, entre otras cosas si tal objeto existió, digamos, hace mil años. Y en el caso de Júpiter, claro está, la respuesta a esta pregunta es afirmativa. Hay otras clases de objetos, como ahora veremos, donde esto no es así. <<

[2] Estrictamente hablando, lo que cuenta a este respecto no es solamente, digamos, el número de átomos, sino también cómo estén dispuestos. En el caso de los supuestos arreglos aperiódicos, por ejemplo, los efectos cuánticos pueden entrar en juego incluso para conjuntos macroscópicos. <<

[3] Es razonable deducir que este «paso al límite clásico» puede no ser legítimo hasta en el caso de los organismos vivos más sencillos. Como algunos han conjeturado, no es improbable que la indeterminación cuántica juegue un papel vital en los fenómenos de la biosfera. <<

[4] Se ha de dar cuenta, claro está, del determinismo clásico; pero el problema se resuelve rápidamente en base a que las leyes clásicas que permiten predecir la evolución de los sistemas físicos son inherentemente probabilísticas, y solo se aplican a lo macroscópico. <<

[5] Asumimos que la medición se lleva a cabo con un experimento «de la primera clase». También hay experimentos «de la segunda clase» que no dejan al sistema en un estado propio correspondiente. <<



[6] Habría que decir que un vector de estado se puede multiplicar por un número complejo y que la multiplicación por un factor diferente de cero no altera el estado físico correspondiente. <<

[7] Los pesos o coeficientes en estas sumas ponderadas son en general números complejos, y este hecho es vital para la teoría cuántica. Si no tuviéramos números complejos a nuestra disposición (números que conllevan la raíz cuadrada «imaginaria» de  $-1$ ), seríamos incapaces de comprender el mundo microscópico. <<

[8] La superposición de los estados mecánico-cuánticos se puede comprender por analogía con la superposición de ondas sonoras. Consideremos un tono producido por un instrumento musical: un violín, un oboe, un órgano... Cada uno de estos tonos tiene su propia característica, su propio timbre, como se llama, y por ello podemos reconocer al instrumento a partir de su tono. No obstante, cada tono puede representarse como una superposición de los llamados tonos puros: a saber, los tonos cuya onda sonora es una sinusoidal simple. Y eso es lo que hace un sintetizador electrónico: produce, por ejemplo, el sonido de una flauta mezclando varios tonos puros en proporciones adecuadas. Otro ejemplo de superposición lo da el hecho de que se puede obtener cualquier matiz cromático como superposición de colores primarios. O, de nuevo: la luz blanca, al pasar por un prisma, se descompone en luz de varios colores (un proceso que, una vez más, puede revertirse). Hay que señalar, no obstante, que en todos estos ejemplos de superposición tratamos ostensiblemente con movimiento ondulatorio de una u otra clase. Ahora bien, en tanto que la superposición es fundamental para la mecánica cuántica y parece ser un fenómeno ondulatorio, se nos lleva a deducir que las entidades cuánticas pueden ser, de hecho, ondas; y muchos físicos han considerado esta idea seriamente, comenzando con Erwin Schrödinger (uno de los fundadores de la teoría cuántica). El lector podrá recordar que el término «mecánica ondulatoria» se ha empleado a menudo como sinónimo de mecánica cuántica. No obstante, ha de comprenderse que si las entidades cuánticas son de hecho «ondas», necesariamente se tratará de ondas «subempíricas»: ondas que, en principio, no se pueden observar. Pues, tal como sabemos, la teoría cuántica insiste en que el sistema físico es una cosa, y sus observables otra diferente. No está claro, por tanto, que realmente se gane algo hablando de sistemas cuánticos en el sentido de «ondas». A fin de cuentas, parece que el principio de superposición nos dice todo lo que puede decirse y se ha de decir sobre la cuestión. Afirma, por decirlo así, que las entidades cuánticas pueden superponerse «como si fueran una especie de ondas». Y añadimos, para lectores con cierta experiencia con las matemáticas de la teoría cuántica, que el ubicuo factor de fase  $\exp(-2\pi iEt/h)$  en el nivel de vectores de estado atestigua en efecto la «naturaleza ondulatoria» de los estados cuánticos. Puede decirse que la teoría cuántica ha resuelto, efectivamente, el dilema onda-partícula relegando ambos conceptos mutuamente contradictorios a diferentes planos ontológicos: las ondas al plano físico, y las partículas al corpóreo. Eso, en cualquier caso, es lo que la separación mecánico cuántica del sistema y sus observables efectúa por

derecho, aun si las personas, de hecho, siguen confundiendo el asunto al no diferenciar el dominio físico del corpóreo. <<

[9] En lugar de valores propios, se ha de emplear lo que Dirac llama «eigenbras». Y, en vez de sumas finitas o infinitas, se requiere el tipo adecuado de integrales. <<

[10] Asumiendo que la suma de los valores cuadrados absolutos de los pesos iguale 1 (condición que siempre se puede lograr multiplicando el vector de estado por un factor adecuado distinto de cero) y que no haya múltiples valores propios, la probabilidad de que una medición realice la posibilidad correspondiente a un vector propio concreto se da con el valor cuadrado absoluto del peso correspondiente. <<

[11] Al hablar de un vector de estado como «conjunto de posibilidades», identifico en efecto el vector de estado con el estado físico correspondiente. Estrictamente hablando, es por supuesto el sistema físico en un estado dado (y no su representación matemática...) lo que es «un conjunto o síntesis de posibilidades empíricamente realizables». <<

[12] *Nota de traducción:* de aquí en adelante el significado de *actual* es el aristotélico, en el contexto «de la potencia al acto». <<



[13] Volveremos a esta cuestión en los capítulos V y VI. <<

[<sup>14</sup>] *The Principles of Quantum Mechanics* (Oxford: Oxford University Press, 1958), pág. 14. <<

[15] Según la teoría cuántica, la probabilidad de que una medición colapse un vector de estado (normalizado) para un vector propio dado iguala el valor cuadrado absoluto del coeficiente correspondiente. Se llega, pues, a las probabilidades .36 y .64, que corresponden a los vectores propios  $|\psi_1\rangle$  y  $|\psi_2\rangle$  respectivamente. <<

[16] Hans Dehmelt, «A single atomic particle forever floating at rest in free space», *Physica Scripta*, T22 (1988), pág. 102. <<

[17] *QED: The Strange Theory of Light and Matter* (Princeton: Princeton University Press, 1988), pág. 7. <<

[18] Aun así, nadie parece satisfecho con este punto de vista. Como he indicado antes, los físicos no se ocupan principalmente de juegos positivistas sino de conocer las entidades trascendentes que se revelan en términos de efectos mensurables. En suma, son «realistas» de corazón. Lo que sucede es que frecuentemente gravitan hacia premisas nominalistas que entran en conflicto con sus intuiciones realistas. Aquí también, quizá, se puede hablar de «buena física» que inconscientemente se estropea por la «mala filosofía».

<<

[19] *Physics and Philosophy* (Nueva York: Harper & Row, 1962). En otra parte, Heisenberg tuvo esto que decir: «Si queremos comparar los hallazgos de la física de partículas contemporánea con cualquier otra filosofía, no podría ser más que la de Platón; pues las partículas de nuestros días son representaciones de grupos de simetría, tal como nos dice la teoría cuántica, y en esa medida recuerdan a los cuerpos simétricos de la perspectiva platónica». Véase *Encounters with Einstein* (Princeton: Princeton University Press, 1989), pág. 83. <<

[20] Ibid., pág. 186. <<



[21] Ibid., pág. 41. <<

[22] Ibid., pág. 53. <<

[23] Ibid., pág. 55. <<

[24] Ibid., pág. 145. <<

[25] Ibid., pág. 55. <<

[26] Ibid., pág. 105. <<

[27] Ibid., pág. 84. <<

[1] *Das Naturbild der heutigen Physik* (Hamburg: Rowohlt, 1955), pág. 21. <<



[2] Término que resulta algo engañoso, como enseguida vamos a ver. <<

[3] D. Bohm y B. Hiley, «On the Intuitive Understanding of Nonlocality as Implied by Quantum Theory», *Foundations of Physics*, vol. 5 (1975), pág. 96.  
<<

[4] «Are Superluminal Connections Necessary?», *Nuevo Cimento*, vol. 408 (1977), pág. 191. <<

[5] La distinción tomista entre esencia y forma no tiene importancia en lo que estamos considerando, por lo que podemos omitirla. <<

[6] Sin duda esto es mucho más evidente en el caso de China, India y Grecia que en el de «la antigua Palestina». Y aun así no puede negarse que la concepción hilemórfica también es bíblica. El maestro Eckhart, por ejemplo, nos informa de este hecho: «Es preciso, antes de nada, saber que la materia y la forma no son dos clases de entidades existentes, sino dos principios de los seres creados. Ese es el significado de las palabras: “En el principio Dios creó cielo y tierra”, es decir, forma y materia, dos principios de las cosas». Véase *Liber parabolarum Genesis*, I. 28. El lector interesado puede hallar este texto en la espléndida edición Kohlhammer de las obras del maestro Eckhart, que ofrece el texto en latín junto con la traducción en alemán. Véase *Meister Eckhart: Die lateinischen Werke*, vol. 1 (Stuttgart: Kohlhammer, 1937-65). <<

[7] Está claro que no afirmo que la connotación tomista original de esta frase coincide con el significado que le asigno. Obviamente el Doctor Angélico no pensaba en la teoría de campo cuántico... Y, de hecho, parece que la noción de estructura matemática es inherentemente platónica y algo extraña a la mentalidad escolástica. En cualquier caso, el sentido tomista de la frase puede hallarse en *De ente et essentia*, capítulo 2. <<

[8] Recuerda a la famosa advertencia que se dice estaba inscrita en el portal de la academia de Platón: «Que nadie ignorante de la geometría entre aquí». Sin duda no es por accidente que la geometría haya ocupado un lugar central de honor en las tradiciones pitagórica y platónica. Cabe suponer que, en su forma antigua o euclidiana, esta ciencia constituye de hecho una de las principales claves de la «cosmología», en sentido genuino. El sentido de la inscripción de Platón parece ser que nadie ignorante de la geometría *puede* «entrar aquí». <<

[9] Se puede decir, de hecho, que hay un isomorfismo inducido por presentación entre cantidades corpóreas y subcorpóreas. <<



[10] Unas pocas palabras sobre las antiguas ciencias, las que supuestamente constituyen «supersticiones primitivas». Lo que generalmente se falla en advertir es que las auténticas ciencias tradicionales se ocupan principalmente de «esencias»: aquello mismo que hemos excluido sistemáticamente de nuestra *Weltanschauung*. Por ejemplo, sin duda están los llamados cinco elementos de las antiguas cosmologías, que los intérpretes modernos se han apresurado en identificar con «tierra», «agua» y el resto, en el sentido literal de estos términos. Pues es completamente posible que estos elementos no sean de hecho sustancias en el sentido moderno, sino «esencias» de las que la tierra, el agua y los demás constituyen, por así decirlo, ejemplificaciones. No es por tanto casualidad que uno de estos elementos en tiempos medievales se conociera como *quinta essentia* o «quinta esencia» (de donde viene, obviamente, la palabra «quintaesencia»). Y aún más pertinente es que, no obstante, la doctrina hindú asocie los llamados cinco *bhutas* y sus contrapartidas sutiles (los *tanmatras*) con sus cinco cualidades sensoriales; lo que es decir que un objeto corpóreo es audible en virtud de *akasa*, visible en virtud de *tejas*, palpable por *vayu*, se puede saborear por *ap*, y oler por *prithivi*. En suma, los llamados cinco elementos son lo que hacen a las cosas perceptibles de acuerdo con los cinco modos sensoriales; y añadamos que, una vez comprendido que las cosas no son, de hecho, perceptibles, simplemente en virtud de sus presuntas «constituciones atómicas», queda claro que ha de haber, en efecto, «elementos» de esta clase. <<

[11] Esta máxima parece haberse interpretado de la siguiente manera: el número se origina por ejemplificación, de acuerdo con el hecho de que hay muchos caballos, por ejemplo, pero solo una única forma inteligible, es decir, la forma, idea o «especie» del caballo. En otras palabras, el único ejemplar en cierto sentido se replica o multiplica por medio del sustrato material, mientras que la forma como tal permanece una e indivisible, como cada individuo (*individuus*) o miembro de la especie. Parece, así, que el «número» no deriva de la forma como tal sino, de hecho, *ex parte materiae*. <<

[12] Expresado en términos escolásticos: expulsaron precisamente las formas substanciales. En ausencia de las formas substanciales, no obstante, el mundo corpóreo deja de existir. <<

[13] *El reino de la cantidad y los signos de los tiempos* (Barcelona: Paidós Ibérica, 1997), capítulo 2. <<

[14] Los lectores de Eric Voegelin recordarán su impresionante tesis de que, por el dominio de las «segundas realidades» en tiempos modernos, «el terreno común de la existencia en realidad ha desaparecido», y que, como resultado, «el universo del discurso racional se ha derrumbado». (Véase «On Debate and Existence», reimpresso en *A Public Philosophy Reader* [New Rochelle, NY: Arlington House, 1978]). Parece haber mucha verdad en esta afirmación. No obstante, Voegelin pensaba en «segundas realidades» de tipo cultural e ideológico; al parecer no se le ocurrió que la principal «segunda realidad» — la que parece subyacer a todas las demás y ha envenenado simplemente a todos— no es otra que el universo físico, según se concibe por lo general—. En cuanto se olvida que este pretendido universo no constituye más que un dominio subexistencial —una mera potencialidad con relación a lo corpóreo— se crea un monstruo. Pues, de hecho, el dominio físico, así «hipostasiado», a partir de ahí se convierte en el principal usurpador de la realidad, en la gran ilusión de la que brotan multitud de errores terribles. ¡No es poca cosa, ni inocua, «perder el contacto con la realidad»! <<

[1] La noche antes de morir, Bohr dibujó una figura en su pizarra. Representaba la preparación experimental del «contraejemplo» más desconcertante de Einstein. <<

[2] Lo que, no obstante, se ha de abandonar es la noción clásica de localidad; esto es lo que John Stuart Bell estableció como teorema de la mecánica cuántica en 1964, y que desde entonces se ha verificado con ciertos experimentos delicados. Sobre esta cuestión básica la física moderna ha arrojado un veredicto definitivo. A diferencia del determinismo riguroso, el principio clásico de localidad ya no constituye una opción viable. Y cabe añadir que sobre esta cuestión Einstein no solo se enfrentó a Bohr, sino que estaba lisa y llanamente equivocado. Sin embargo, fue el mismo Einstein quien trazó el camino que finalmente condujo a demostrar la no localidad. El artículo Einstein-Podolski-Rosen, en otras palabras, logró lo opuesto de lo que pretendía; en vez de demostrar lo incompleto de la teoría cuántica (asunto todavía abierto, por decir lo menos), condujo a refutar el principio de localidad, y con ello al derrumbe de la *Weltanschauung* clásica. Pues, en efecto, el modelo «neoclásico» del que hablamos (por ejemplo, la teoría de Broglie-Bohm) está a años luz de la imagen clásica, pese a su aspecto de determinismo. Y esto puede en efecto dar cuenta de la recepción más bien fría que Einstein prestó al trabajo de Bohm. <<

[3] A lo que von Neumann añadió: «... porque ningún experimento indica su presencia, ya que los macroscópicos son inapropiados en principio, y la única teoría conocida compatible con nuestras experiencias relativas a los procesos elementales, la mecánica cuántica, lo contradice» (*Mathematical Foundations of Quantum Mechanics* [Princeton: Princeton University Press, 1995], pág. 328). Se sabe hoy que, sobre lo último, von Neumann exageró muchísimo; sus deducciones matemáticas no descartan la posibilidad de una teoría de variables ocultas, como von Neumann había creído. Resulta que, de hecho, el famoso «teorema von Neumann», que por largo tiempo había dominado el pensamiento científico sobre esta cuestión, es un tanto irrelevante. Véase especialmente J. S. Bell, «On the Impossible Pilot Wave», *Foundations of Physics*, vol. 12 (1982), págs. 989-99. <<



[4] Sin duda fue por una profunda intuición que Bohr escogió el *yin-yang* como emblema heráldico. <<

[5] *Nota de traducción:* *līlā* es el término sánscrito con que el hinduismo se refiere al universo como juego divino. <<

[6] Sin embargo, en tanto que Dios no actúa «en el tiempo», se puede también decir que Dios no «juega a los dados». Volveré a este aspecto del asunto en el siguiente capítulo. <<

[7] Ya en el siglo catorce se encuentra una marcada predilección por ciertas clases de relojes astronómicos que sin duda sugerían con fuerza el paradigma de relojería. Un historiador lo describió así: «Ninguna comunidad europea se sentía capaz de mantener alta la cabeza si dentro de ella los planetas no se movían en ciclos y epiciclos, mientras los ángeles hacían sonar las trompetas, los gallos cantaban y los apóstoles, reyes y profetas marchaban y contramarchaban al ruidoso son de las horas». (Lynn White, *Tecnología medieval y cambio social* [Barcelona: Paidós, 1990], capítulo 3.2). <<

[8] «From Scientific Cosmology to a Creative Universe», en *The Intellectuals Speak Out About God*, editado por Roy A. Varghese (Chicago: Regnery Gateway, 1984), página 71. <<

[9] El escenario de la mecánica cuántica resulta, así, rigurosamente análogo al ejemplo del arte. Además, la razón para esta analogía se sugiere con la máxima escolástica: «El arte imita la naturaleza» —es decir, la naturaleza en el sentido de *natura naturans*—. <<

[10] A la luz de lo que hemos tratado en el capítulo IV, parece que las determinaciones por las que las potencialidades se actualizan en el plano corpóreo han de entrañar marcos cualitativos, así como cuantitativos. Las solas cantidades, como he señalado varias veces, siguen sin constituir entidades corpóreas. <<

[1] En el caso general, en el que el espacio de Hilbert subyacente es de dimensión finita, esta manera de plantear la cuestión no es precisa; no obstante, la diferencia no es relevante en lo que estamos tratando. <<



[2] En un proceso estocástico entran en juego tanto aleatoriedad como determinismo, como en el caso del movimiento browniano, en el que la trayectoria de una partícula clásica experimenta rupturas aleatorias por colisiones al azar con algún tipo de partículas cercanas. <<

[3] *De civita Dei*, II. 6. <<

[4] Sobre la perspectiva circular o «cíclica» del tiempo, remito a Robert Bolton, *The Order of the Ages* (Hillsdale, NY: Sophia Perennis, 2001), capítulo 5. <<

[5] *Paradiso*, 29.12. <<

[6] Sobre esta cuestión, remito a mi artículo «The Enigma of Visual Perception», *Sophia*, vol. 10, n.º 1 (2004), págs. 21-45. <<

[7] *Ancient Wisdom and Modern Misconceptions*, págs. 233-37. <<

[8] Ibid., págs. 195-201. <<

[9] Puede encontrarse un resumen de la teoría DI en *Ancient Wisdom and Modern Misconceptions*, capítulo 9. <<



[10] Estrictamente hablando, los procesos deterministas y aleatorios son los casos extremos de un proceso estocástico. <<

[11] *Science and Humanism* (Cambridge: Cambridge University Press, 1951),  
pág. 17. <<

[12] Eugene Wigner sugirió, como también otros teóricos cuánticos, que el colapso del vector de estado involucra la «conciencia» del observador humano. A mi modo de ver, se puede estar seguro de descartar esta hipótesis: se exageraría la capacidad de los físicos al suponer que pueden colapsar el vector de estado con la mente. Aún más, una vez se ha captado la ubicuidad de la causación vertical, desaparece la necesidad de tal hipótesis *ad hoc*. <<

[13] A excepción de la «no localidad», fenómeno tremendamente enigmático que menciono en las págs. 101-104. Trato esta cuestión desde el punto de vista tradicional en «The Ontology of Bell's Theorem», capítulo 7 de *Ancient Wisdom and Modern Misconceptions*. <<

[14] Citado en René Guénon, *El reino de la cantidad y los signos de los tiempos* (Barcelona: Paidós Ibérica, 1997), pág. 30. <<

[15] El libro antes citado de Robert Bolton, titulado *The Order of the Ages*, quizá sea la mejor introducción a este tema. Véanse especialmente los capítulos 9 y 10. <<

[16] Es evidente que la entropía, que de hecho es una forma de «desorden», difícilmente puede dejar de estar relacionada con el «desorden» primordial que la tradición denomina *caos*. <<

[17] *Ancient Wisdom and Modern Misconceptions*, capítulo 11. <<



[1] Este será el caso dado que la anchura de la rendija sea grande comparada con la longitud de onda de la luz, o mejor dicho, de las longitudes de onda que caen en la gama visible. <<

[2] Por sencillez asumiremos que la anchura de las rendijas, aunque grande en comparación con la longitud de onda de la luz, sigue siendo lo bastante pequeña como para omitirse en el cálculo de efectos de interferencia. <<

[3] Hemos de asumir que la anchura de las rendijas es grande comparada con la llamada longitud de onda de de Broglie, es decir, el radio  $h/p$ , en el que  $h$  es la constante de Planck y  $p$  el impulso del electrón. Si no, entrarían en juego los efectos de difracción de una sola rendija. <<

[4] De acuerdo con la teoría cuántica, los efectos de difracción correspondientes surgen incluso en el caso de objetos «grandes», como bates de béisbol y balas. Lo que ocurre es que para estos objetos los efectos en cuestión apenas son observables, porque la longitud de onda de de Broglie en tales casos es demasiado pequeña. <<

[5] Los números reales se pueden expresar con la habitual notación decimal. Por lo tanto son enteros (positivos, negativos o cero), más un número dado por una expresión de la forma  $x_1 x_2 x_3 \dots$ , donde los  $x_i$  son «dígitos» del conjunto  $0, 1, 2, \dots, 9$ . Tal expresión representa de hecho una serie infinita que converge en un número real entre 0 y 1. Además de los enteros y las fracciones enteras, los números reales incluyen los llamados números irracionales, como  $\sqrt{2}$  y  $\pi$ . <<

[6] Asumimos que los puntos O, P y Q no son colineales. El lector puede querer averiguar por sí mismo qué se hace en el caso colineal. <<

[7] Lo que hemos hecho ha sido traducir propiedades geométricas en algebraicas. La estructura algebraica de nuestro espacio de Hilbert «refleja» la estructura euclidiana del plano. <<

[8] Estamos asumiendo, por simplificar, que los valores propios  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  son todos distintos. Para un valor propio múltiple  $\lambda$ , la probabilidad resulta ser la suma de las probabilidades  $p_i$  asociadas con los valores propios  $|\psi_i\rangle$  que corresponden a  $\lambda$ . <<



[9] Hablando aproximadamente, cuanto más precisamente se conozca P, mayor será la incertidumbre de Q. <<

[10] Esto sigue siendo cierto en la representación hamiltoniana, que concibe los sistemas físicos como puntos en lo que se llama espacio fásico: un espacio coordinado por las posiciones e impulsos de todas las partículas constituyentes. El espacio fásico de un sistema consistente en  $n$  partículas es, por lo tanto, de seis dimensiones. <<

[11] En tanto que un solo vector distinto de cero en el espacio de Hilbert determina, pues, toda la trayectoria en la que se sitúa, se sigue que un estado inicial cualquiera determina la evolución de Schrödinger del sistema cuántico. Todo esto, claro está, a condición de que las fuerzas externas se determinen por adelantado. <<

[12] La cuestión es que hay experimentos («de la segunda clase») que alteran el valor del observable que se está midiendo. Por ejemplo, a menudo se determina el impulso de una partícula nuclear midiendo la transferencia de impulso colisionándola con alguna otra partícula. El impulso de la partícula en cuestión se cambia, por consiguiente, con la medición. Y así, si se hiciera una segunda medición inmediatamente tras la primera, daría un resultado diferente. <<

[13] Las funciones de onda, por tanto, cumplen su propio principio de superposición; de hecho, constituyen un espacio de Hilbert. Señalaré, en conexión con esto, que la mecánica cuántica se descubrió dos veces: primero por Heisenberg, quien basó su teoría en el espacio de Hilbert de vectores de estado, y poco después (e independientemente), por Schrödinger, quien basó su teoría en el espacio de Hilbert de funciones de onda. Además, fue Schrödinger quien demostró la equivalencia de ambas teorías al establecer un llamado isomorfismo entre los espacios de Hilbert respectivos (que de hecho se reduce, en el caso de dimensión finita, a la correspondencia entre vectores de estado y funciones de onda, como se da arriba). No obstante, como el formalismo de Schrödinger da preferencia a un observable concreto (por ejemplo, la posición en el espacio), es mucho menos abstracto que el formalismo de Heisenberg, tanto que se presta más fácilmente a la interpretación clásica, que no obstante resulta insostenible. Schrödinger mismo, curiosamente, veía la función de onda desde el punto de vista clásico. Y cuando Bohr le explicó, un día, la inevitabilidad del colapso de la función de onda, dio su famosa respuesta: «Si hubiera sabido lo de este maldito “saltar”, nunca me habría metido en esto para empezar». Como Einstein, Schrödinger nunca se conformó del todo con la teoría cuántica. <<