

En la física existen teorías cerradas excepto el formalismo que se considera una teoría abierta. Una teoría cerrada es aquella cuyas predicciones no dependen de datos empíricos ni de hipótesis aditivas. La teoría cerrada es una teoría completa en el sentido de que sus predicciones no dependen de datos empíricos ni de hipótesis aditivas. La teoría cerrada es una teoría completa en el sentido de que sus predicciones no dependen de datos empíricos ni de hipótesis aditivas. La teoría cerrada es una teoría completa en el sentido de que sus predicciones no dependen de datos empíricos ni de hipótesis aditivas.

En un coloquio celebrado hace algún tiempo en el Instituto Max Planck para la investigación de las condiciones de vida del mundo científico-técnico, cuyo tema eran aquellos fundamentos filosóficos de la teoría cuántica a cuya comprensión tanto había contribuido v. Weizsäcker, planteó éste la pregunta de cuál era el origen del poder de convicción de las teorías cerradas en física; de qué criterios justificaban la suposición de que esas teorías no admitían ya mejoras, siquiera pequeñas, y que por tanto eran, en cierto sentido, definitivas.

Antes de intentar responder a la pregunta, recordemos brevemente el concepto de teoría cerrada. Por esa expresión entendemos un sistema de axiomas, definiciones y leyes que permite describir correctamente y sin contradicciones —o lo que es lo mismo, representar matemáticamente— un extenso ámbito de fenómenos. El término «sin contradicciones» remite aquí a la consistencia y completud matemáticas del formalismo construido sobre los supuestos básicos, mientras que la palabra «correctamente» se refiere a la empiría y significa

que los experimentos deben confirmar las predicciones derivadas del formalismo. La mecánica newtoniana, por ejemplo, es en ese sentido el prototipo de una teoría cerrada. Otros ejemplos más recientes son la teoría estadística del calor —sobre todo en la versión de Gibbs—, la teoría de la relatividad especial (con inclusión de la electrodinámica) y finalmente la mecánica cuántica y ondulatoria, sobre todo su axiomatización matemática por von Neumann. Cada una de estas teorías posee un campo de aplicación acotado, cuyas fronteras vienen dadas, en lo esencial, por los conceptos empleados en la teoría. Fuera de este terreno no puede representar la teoría los fenómenos naturales, porque sus conceptos no son capaces de aprehenderlos.

¿De dónde viene entonces la convicción de que una teoría es definitivamente correcta? ¿Por qué creemos que las teorías no pueden admitir pequeñas modificaciones que las mejoren? En primer lugar, cabe argumentar históricamente y señalar que ni siquiera la más antigua de las teorías cerradas, la mecánica newtoniana, ha sido jamás mejorada mediante pequeños retoques. Allí donde es lícito emplear sin reservas los conceptos de «masa», «fuerza» y «aceleración», sigue valiendo hoy la ley «masa × aceleración = fuerza», sin ningún tipo de restricciones. Y si objetáramos que la mecánica cuántica puede contemplarse como una versión mejorada de la mecánica newtoniana, habría que advertir que aquello no fue una pequeña mejora, sino una transformación radical de las bases conceptuales. El comportamiento de los electrones en el átomo, pongamos por caso, es ininteligible con los instrumentos conceptuales de la mecánica newtoniana, pero no con el aparato de la mecánica cuántica, que pertenece a una especie completamente diferente.

Un segundo argumento, quizás aún más fuerte, que aboga por el carácter definitivo de las teorías cerradas es su compacidad y su múltiple confirmación experimental. De una serie de supuestos fundamentales, relativamente pocos y sencillos, emanan una plétora infinita de solucio-

nes, de entre las cuales se elige en cada caso una determinada, según las condiciones externas del proceso en cuestión. Los experimentos han confirmado hasta ahora la teoría en todos y cada uno de los casos, y son ya muchos los que se han realizado. Pero con eso no queda aún rigurosamente demostrada la teoría, porque podría ser que un experimento ulterior la refutara. Con ello cree Popper fundamentar su afirmación de que una teoría puede ser falsada, pero nunca verificada; a lo cual cabría replicar, siguiendo a von Weizsäcker, que en cualquier experimento que aparentemente contradiga a la teoría se contienen también supuestos que, quizás injustificadamente, se dieron por sentados, con lo cual lo que se falsa no es en realidad la teoría, sino uno de esos supuestos. La decisión acerca de lo correcto de una teoría es por tanto un proceso histórico que dura largo tiempo y que, si bien no posee la fuerza demostrativa de una conclusión matemática, tiene, eso sí, el poder de convicción de un hecho histórico. Y una teoría cerrada tampoco es nunca representación exacta de la naturaleza en un campo determinado, sino idealización de la experiencia, realizada felizmente con ayuda de las bases conceptuales de la teoría.

La mencionada compacidad de la teoría y la idealización de la realidad, emprendida a través de aquélla, podrían llevar a la conclusión de que la sencillez y belleza matemáticas —un criterio estético, a fin de cuentas— quizás ejerzan influencia decisiva en el poder de convicción de las teorías cerradas. Mas no conviene valorar en exceso este influjo. Porque si miramos bien las teorías cerradas que hoy son, comprobamos que sus fundamentos conceptuales sí son sencillos, pero no los matemáticos. La mecánica newtoniana, pongamos por caso, se reduce normalmente a un sistema de ecuaciones diferenciales no lineales acopladas que no son ni mucho menos sencillas en su estructura matemática; basta con recordar el problema de muchos cuerpos de la astronomía. La termodinámica estadística de Gibbs coloca en

lugar central el concepto de distribución canónica, que permite aprovechar el sencillo comportamiento matemático de la función exponencial; pero fuera de eso no cabe hablar para nada de sencillez matemática. En la mecánica cuántica es donde quizás mejor quepa hablar de una estructura matemática sencilla, basándose como se basa en la bien elaborada teoría de las transformaciones lineales. Pero los problemas relacionados con la función delta de Dirac marcan también aquí los límites de la simplicidad matemática. Así pues, la compacidad de las teorías cerradas es más de índole lógica y conceptual que matemático-formal. Lo cual seguramente es también el motivo de que en la historia genética de las teorías cerradas, el esclarecimiento físico-conceptual suela preceder a la plena comprensión de la estructura matemática.

El correlato empírico de la compacidad es la relación interna entre multitud de experimentos, o dicho de otra manera, el hecho de que una divergencia entre experiencia y teoría en *un* experimento debe por fuerza entrañar divergencias, en muchos otros. Apresurémonos a decir que este hallazgo es de nuestros tiempos; para el pensamiento antiguo o medieval no existía relación entre la caída de la manzana y el movimiento de la luna alrededor de la tierra, por ejemplo. Fue Newton el primero en ver que la manzana también se podía arrojar, que entre la caída y el tiro no debía haber por tanto diferencia fundamental, que la manzana era sustituible por otros cuerpos más pesados, y que la luna, por último, también puede verse como un cuerpo arrojado. La nave espacial de nuestros tiempos es, por así decirlo, la materialización práctica de ese eslabón intermedio entre manzana y luna. Así pues, cuando las relaciones internas entre los numerosos fenómenos expresados en una teoría cerrada han quedado confirmadas en múltiples experimentos, no podemos ya dudar de que están formuladas de manera «definitivamente correcta» —enunciado que está sujeto a una limitación ya mencionada, y es que se trata de una

idealización que arranca de un sistema conceptual determinado.

Todos los criterios hasta aquí mencionados dejan sin embargo incontestada una parte importante del problema planteado por von Weizsäcker: ¿Cómo es que una teoría cerrada y correcta posee, desde el momento en que aparece (sobre todo para quien primero la ve), un enorme poder de convicción, mucho antes de que se clarifiquen por entero las bases conceptuales o incluso las matemáticas y mucho antes de que pueda decirse que está confirmada por numerosos experimentos? Newton, por ejemplo, no disponía de la teoría matemática de ecuaciones diferenciales no lineales acopladas, y en cuanto a datos empíricos apenas tenía otra cosa que las leyes de caída de Galileo y las de Kepler sobre el movimiento de los planetas; y aun así escribió sus *Principia*. A comienzos de siglo se descubrió la famosa transformación de Lorentz y Poincaré y no se le escatimó crédito alguno... mucho antes de que la revolución conceptual de la teoría de la relatividad permitiera comprenderla plenamente y pese a que apenas había otros datos empíricos que el experimento de Michelson. Y lo mismo ocurrió con la mecánica cuántica y ondulatoria. ¿De dónde viene, pues, ese inmediato poder de convicción?

La hipótesis decisiva tal vez sea ésta: los físicos que se han ocupado intensamente del campo en cuestión intuyen, por una parte, que los diversos fenómenos de ese campo guardan estrecha relación entre sí y no pueden ser entendidos cada uno por su lado; pero, por otra parte, que esa relación no puede ser interpretada en el marco de viejos conceptos. El intento de emprender, así y todo, tal interpretación ha llevado una y otra vez a los físicos a supuestos plagados de contradicciones, a embrolladas distinciones de casos, o a una selva impenetrable de fórmulas semiempíricas que se echa de ver no pueden ser correctas. Piénsese, por ejemplo, en los intentos de limitar la mecánica newtoniana mediante las condiciones

cuánticas de Bohr-Sommerfeld, en los enunciados —sólo cualitativamente útiles— del principio de correspondencia de Bohr, o en la compleja fórmula para la masa en reposo del electrón en movimiento, que parecía deducirse de la antigua electrodinámica. Cuando luego, en la búsqueda intensiva de nuevas posibilidades conceptuales o formales, surge la propuesta correcta para una teoría cerrada, tiene de entrada un enorme poder de convicción, precisamente porque no puede ser refutada de inmediato. El investigador que se haya ya ocupado a fondo del campo en cuestión estará probablemente convencido, y con razón, de que es capaz de rebatir inmediatamente cualquier propuesta incorrecta de cara a una teoría definitiva. Si la nueva propuesta surge como una posibilidad legítima que evita las anteriores dificultades, es decir si no choca de entrada con contradicciones irresolubles, entonces tiene que ser la propuesta correcta. Porque los sistemas conceptuales que entran en consideración forman una variedad discreta, no continua. Puede que en el estadio inicial del desarrollo de la teoría se deslicen todavía errores que más tarde haya que erradicar, pero en esencia no hay ya duda de que el planteamiento es correcto.

Para justificar la afirmación de que es fácil rebatir una propuesta falsa —y echar de paso una mirada retrospectiva en el marco de este escrito conmemorativo— narraré una anécdota que se remonta a la época del seminario de Leipzig, allá por los años 1930 a 1932, en el cual participaban v. Weizsäcker y muchos de los hoy famosos físicos atómicos, pero también matemáticos como van der Waerden. A la hora del té, después del seminario, era costumbre hablar también de cuestiones más generales que no pertenecían al campo estricto de la física atómica. En cierta ocasión el tema se centró en el famoso teorema de Fermat de la teoría de números, que dice que es imposible encontrar enteros  $a$ ,  $b$  y  $c$  que cumplan la ecuación  $a^n + b^n = c^n$  para  $n$  entero y mayor que 2. Pregunté yo entonces si no podría ocurrir que un mate-

mático, afirmando haber refutado el teorema, diera un caso en que la ecuación se cumpliese, pero con la particularidad de que los números  $a$ ,  $b$ ,  $c$  y, sobre todo,  $n$  elegidos fuesen tan grandes, que nadie pudiese calcular las potencias indicadas ni, por tanto, demostrar que la ecuación no se cumplía. Van der Waerden me replicó en seguida enérgicamente y me hizo una apuesta: que pensara yo cualquier ejemplo numérico que quisiera y él me demostraría en menos de siete minutos que la ecuación no se cumplía. Si no lo lograba, ganaba yo la apuesta. Hasta el siguiente seminario tenía yo un plazo de una semana, y a lo largo de ella me estrujé los sesos para hallar un ejemplo que resistiese todos los criterios que yo conocía: por ejemplo, que los restos frente a todos los números primos hasta 13 cumpliesen la ecuación, etc. Pese a todo logró van der Waerden refutar el ejemplo en tres minutos y medio, ganando así la apuesta. Y es que había estudiado el tema tan a fondo, que disponía de muchos más criterios que cualquier físico.

Las propuestas incorrectas de cara a una teoría cerrada dentro de un amplio complejo físico no siempre podrán rebatirse en tres minutos y medio; pero cualquiera que esté realmente familiarizado con el campo desenmascarará muy pronto los fallos. El efecto de sorpresa de la propuesta correcta, el descubrimiento de que «esto realmente puede ser verdad», le confiere desde el principio un gran poder de convicción.

### Reflexiones en torno al «Viaje del arte al interior»

El desarrollo espiritual que Erich Heller describe en su libro *Viaje del arte al interior* es manifiesto en numerosos campos —pintura, música, poesía, filosofía—; no es de extrañar que en la ciencia se dé un proceso análogo, que acaso quepa llamar el viaje de la ciencia a la abstracción. Sobre la raíz común de ambas ramas de la evolución cultural llamó ya Goethe indirectamente la atención, al temerlas por igual y advertir insistentemente de sus graves consecuencias.

Dando por buena la consanguinidad de ambos procesos, lo inmediato es replantear —esta vez en relación con la ciencia— las cuestiones que han quedado incontestadas en el viaje del arte al interior, por ver si de la comparación emerge alguna luz. La cuestión más importante es de seguro la siguiente: ¿A dónde conduce este viaje? ¿No es posible definir la meta con un poco más de precisión que la que ofrecen las palabras «el interior» y «la abstracción»? Y ¿qué ocurrirá una vez alcanzada la meta? ¿Dónde estaremos?

Antes de entrar en las respuestas que la ciencia da al

respecto conviene retener que este proceso, o al menos sus consecuencias en el arte y en la ciencia, encontró muy pronto fuertes resistencias que no pocas veces hallaron expresión en la ira y la exasperación de sus opositores, los cuales, sin embargo, no lograron detener el viaje ya iniciado. Citamos antes la amonestación de Goethe. Erich Heller, por un lado, recuerda las opiniones de Rilke, cargadas de enojo y horror, ante la pintura de un Matisse, un Picasso o un Braque. Y no sería difícil encontrar otros muchos juicios análogos contra el arte moderno. Procesos parecidos en el ámbito de las ciencias exactas tampoco son desconocidos. Me refiero a los ataques, algunos desaforados, contra la teoría de la relatividad de Einstein; y en tiempos más recientes también contra la teoría cuántica y contra la de partículas elementales, desarrollada en terreno cada vez más abstracto. Tanto aquí como allí figuran entre los agresores representantes sumamente significados de su disciplina, lo cual hace tanto más sorprendente que su crítica se haya visto tan poco correspondida por el éxito. Y con eso tiene seguramente que ver el hecho de que en el bando de los detractores se hayan despertado fuertes emociones que a veces se tornan en odio, increpaciones personales y traslado de la lucha al terreno político. Si es cierto que el odio nace de la impotencia, entonces es lícito concluir que los críticos no poseían una auténtica alternativa a la marcha del viaje. Ahí está el meollo del problema: los peligros de la meta nos asustan, pero no vemos ninguna posibilidad de apearnos del viaje y buscar otros destinos. Tanto más importante es por eso calibrar la magnitud real de los peligros.

Empecemos por la biología. El viaje comienza más o menos allí donde el poeta Goethe, en el intento de comprender la multiplicidad de formas vegetales, vislumbra con los ojos de la mente la planta primigenia, que en cierto modo encarna y hace directamente visible el principio por el cual están construidas las plantas. Sus mismos sucesores se preguntan ya por el papel de los

diversos órganos, hoja, raíz, flor, fruto, por su estructura celular, prosiguiendo luego el camino hacia la estructura de la célula, la estructura atómica de sus componentes y los procesos de la división celular. Cuando el viaje llega a su destino, los biólogos ven que han topado con un paquete de informaciones escritas químicamente sobre la doble cadena del ácido nucleico (igual que la cinta perforada de una calculadora electrónica) y en la cual se contiene el plan de construcción del organismo. En esta colección de informaciones, o en sus distintos correlatos químicos, cabría ver una especie de ser primigenio. Mas no hay que olvidar que en este extremo inferior se borra toda frontera entre materia viviente e inerte y que por tanto sólo cabría hablar de una molécula muy compleja. A efectos de compararlo con los procesos artísticos quizás no sean tan importantes estos hallazgos concretos como otras dos constataciones. El camino de la biología hacia el interior, es decir a la abstracción, no ha sido infinito, ha encontrado un fin claro y natural en el punto antes señalado. Ciento que a lo largo del paisaje recorrido quedan aún infinitas cosas por investigar, pero eso no pone en tela de juicio el punto final. Lo segundo: al llegar a la meta se plantea la vieja cuestión platónica de lo real. Ese paquete de informaciones ¿es realmente el ser viviente o es sólo su forma, mientras que las moléculas químicas constituyen la cosa realmente viviente? La totalidad de las informaciones es en cierto modo la idea platónica del ser viviente. Y con eso volvemos al antiquísimo problema de si la idea es o no más real que su realización material, lo cual suscita la duda de si acaso no se trata sólo de averiguar o definir lo que significa la palabra «real».

Muy parecido ha sido el camino hacia el interior en el caso de la investigación física y química. Goethe el geólogo reunía y examinaba minerales; las generaciones siguientes se interesaron por la composición química de los cristales; la molécula, como elemento mínimo de un compuesto químico, fue imaginada como unión de áto-

mos; los átomos, a su vez, eran las partes más pequeñas en que se puede descomponer un elemento químico sin modificar su naturaleza. Pero a partir de ahí el camino conduce de lleno a lo abstracto. El átomo consiste —dice la teoría de Bohr— en un núcleo pesado y los electrones que lo rodean. Ahí ya no se sabe con exactitud lo que significa la palabra «rodear» en este contexto. El ámbito de aplicación de los gráficos conceptos de la antigua física —lugar, velocidad, energía— está ya muy recortado al hablar de electrones. Sin esa restricción no se podría comprender la estabilidad de los átomos. Podemos representar mediante fórmulas matemáticas los posibles avatares del electrón en un determinado experimento, pero lo que no podemos es objetivizar ese enunciado en tanto que enunciado sobre el electrón solamente. La pregunta de en qué consisten los electrones o las demás partículas elementales, como protones y neutrones, es un paso más en el terreno poco visualizable de la abstracción. Estos entes ¿es posible seguir dividiéndolos en elementos aún más pequeños, o son por el contrario auténticos sillares básicos e indivisibles en el sentido de la filosofía atómica de Demócrito? La respuesta la han dado en los últimos veinte años los grandes aceleradores: cuando chocan dos partículas elementales de alta energía, puede que en el proceso de destrucción se generen múltiples partes, pero esas partes no son necesariamente más pequeñas que lo dividido. En realidad se trata de la creación de nuevas partículas elementales a partir de la energía cinética de las partes concurrentes. El concepto de división ha perdido, por tanto, su significado, y lo mismo ocurre con el concepto de partícula mínima. Cuando la energía se convierte en materia —posibilidad contemplada ya antes en la teoría de la relatividad—, la primera adopta la forma de partículas elementales. Esta forma aparece en la descripción matemática como representación de un grupo de transformaciones, digamos que de las rotaciones en el espacio o de la transformación de Lorentz, por ejemplo; la partícula elemental viene tam-

bién caracterizada por sus propiedades de simetría bajo las transformaciones del grupo. Enunciados como los anteriores son ya, por desgracia, muy poco gráficos y apenas comprensibles para el lector carente de formación matemática. Pero, eso sí, vuelven a poner de manifiesto, primero, que el camino a la abstracción no prosigue indefinidamente, sino que tiene un fin natural bien claro, y segundo, que al llegar a la meta se replantea la cuestión platónica de la realidad, aquí aproximadamente en la siguiente forma: estos entes mínimos, ¿son realmente los ladrillos de la materia o sólo las representaciones matemáticas de grupos de simetría de acuerdo con los cuales está construida aquélla?

De entrada dijimos que este viaje a la abstracción ha encontrado grandes resistencias en su camino, pero que al parecer no podía sugerirse otra vía de comprensión. No deja de ser característico que los decididos adversarios del viaje, antes que prescindir del carácter intuitivo de las representaciones, se hayan refugiado en las anécdotas del infinito, comentadas ya por Kant y señaladoras de la frontera del conocimiento. Hubo un tiempo, por ejemplo, en que en relación con el problema de la herencia se lanzó la idea ingenua de que en el núcleo de la manzana se contiene un pequeño manzano invisible; que en los frutos de este árbol, una vez florecido y madurado, existían a su vez multitud de manzanos aún más pequeños, etc., *ad infinitum*. Ideas no menos ingenuas son las que defienden todavía hoy algunos especialistas en física de partículas: por ejemplo, la de que los protones constan de entes aún más pequeños, los así llamados quarks, que los quarks se componen de partículas aún más pequeñas, para las cuales se ha sugerido el nombre de partones, etc., *ad infinitum*. Diriase que nuestro espíritu se defiende con todas sus fuerzas contra la idea de que el camino de la comprensión se aleja de lo intuitivo y visualizable, para al cabo de un número finito de pasos, conducir a la meta. Y junto a ese rechazo quizás vibre el temor de que alcanzada la meta se termine

también la ciencia. Craso error. Porque clausurar sólo se pueden sectores aislados de la ciencia —citemos la mecánica, la electricidad, la teoría del calor—, pero nunca la ciencia entera. Cuando hablábamos de «lo visualizable» en las anteriores reflexiones nos referíamos a ese mundo de representaciones que nos impone la experiencia cotidiana y que desde la infancia constituye el presupuesto de que nos podamos mover con soltura en el mundo. No es extraño que nos resistamos con fuerza a sacrificar esa cualidad. Exagerando un poco las cosas quizá quepa decir que en la meta del viaje no habrá mundo ni habrá ya vida, pero sí comprensión y claridad acerca de las ideas con las cuales está construido el mundo.

Mas como quiera que de toda comprensión viva entra siempre a formar parte la cualidad de lo intuitivo y visualizable, llegados a la meta del viaje surge una claridad implacable acerca de las fronteras que limitan la comprensión racional —una aporía que conoce perfectamente la psicología moderna. Sobre la penuria y soledad de la meta nos habla Erich Heller en las últimas páginas de su libro, cerrando con una cita de las reflexiones filosóficas de Wittgenstein que suena a grito de desesperación: «¿Cuál es tu meta en la filosofía? Mostrar a la mosca la salida de la botella.» Y Erich Heller añade: «Aquí no hay salida.» Quizá sea bueno oponer a esta cita unas palabras del físico y filósofo Niels Bohr, en las que los claros y los oscuros se reparten equitativamente: «El sentido de la vida estriba en que no tiene ningún sentido decir que la vida no tiene sentido.» También aquí se formulán las fronteras del pensamiento racional con precisión implacable, pero al mismo tiempo vibra la idea de que cualquier fin es a la vez principio. La circunstancia de que en la ciencia natural se pueda alcanzar la meta tras un número finito de pasos deja abierta la esperanza de que a partir de ahí nazca una clase nueva de pensamiento, una clase que por el momento sólo cabe intuir, pero no describir.

I  
nur  
con  
ocu  
sob  
teo  
esq  
Pre  
Ma  
div  
EN  
OT  
mo  
bás  
Ali  
“L  
(A  
y E  
Ta  
cie  
fís

E