

La teoría física y el experimento*

Pierre Duhem

Traducción de Chantal Melis
Revisión de A.R. Pérez Ransanz y Damián Bravo

1. La prueba experimental de una teoría no tiene la misma simplicidad lógica en física que en fisiología.

La teoría física tiene por objetivo único proporcionar una representación y una clasificación de las leyes experimentales; la única prueba que nos permite juzgar una teoría física y declararla buena o mala es la comparación entre las consecuencias de dicha teoría y las leyes experimentales que ella debe representar y ordenar. Ahora que hemos analizado minuciosamente las características de un experimento físico y de una ley física, podemos determinar los principios que deben regir la comparación entre el experimento y la teoría, podemos decir cómo se reconocerá si una teoría es confirmada o debilitada por los hechos.

Muchos filósofos, cuando hablan de ciencias experimentales, tienen en mente las ciencias que todavía están cerca de sus orígenes, tales como la fisiología o algunas ramas de la química, donde el investigador razona directamente sobre los hechos, conforme a un método que sólo es una utilización más cuidadosa del sentido común, y donde la teoría matemática todavía no ha introducido sus representaciones simbólicas. En semejantes ciencias, la comparación entre las deducciones de una teoría y los hechos experimentales está sujeta a reglas muy simples; estas reglas han sido formuladas de una manera particularmente poderosa por Claude Bernard, quien las condensó en este principio:

“El experimentador debe dudar, huir de las ideas fijas y siempre mantener su libertad de pensamiento.

”El primer requisito que debe satisfacer un científico que se dedica a la investigación de los fenómenos naturales es mantener una completa libertad de pensamiento, basada en la duda filosófica.”¹

Si la teoría sugiere experimentos por realizar, tanto mejor; “podemos seguir los dictados de nuestro juicio y de nuestro pensamiento, dar rienda suelta a nuestra imaginación, siempre y cuando todas nuestras ideas sirvan exclusivamente de pretextos para diseñar experimentos nuevos que

Pierre Duhem, *La théorie physique: son objet et son structure*, Chevalier et Rivière, París, 1906 (traducción del Capítulo VI)

¹ Bernard, Claude, *Introduction à la Médecine expérimentale*, Paris, 1865. p. 63.

puedan proporcionarnos hechos probatorios o inesperados y fructíferos”². Una vez que el experimento ha sido realizado y los resultados claramente establecidos, si la teoría los toma con el fin de generalizarlos, coordinarlos y extraer de ellos nuevos problemas para la experimentación, tanto mejor; “si se está imbuido de los principios del método experimental, no hay nada que temer; pues mientras la idea sea correcta, continuará desarrollándose; cuando se trate de una idea incorrecta, ahí está el experimento para rectificarla”³. Pero mientras dure el experimento, la teoría debería permanecer en espera, con la consigna estricta de quedarse fuera del laboratorio, debería guardar silencio y no perturbar al científico mientras éste enfrenta directamente los hechos. Estos últimos deben ser examinados sin ninguna idea preconcebida y reunidos, todos ellos, con escrupulosa imparcialidad, independientemente de que confirmen o refuten las predicciones de la teoría; el informe que nos presente el observador sobre su experimento tiene que ser una reproducción fiel y escrupulosamente exacta de los fenómenos, que ni siquiera permita adivinar en cuál sistema confía o desconfía el científico.

“Los hombres que tienen una fe excesiva en sus teorías o en sus ideas no solamente están mal dispuestos para hacer descubrimientos, sino también hacen pésimas observaciones. Estos hombres observan necesariamente con una idea preconcebida y, después de realizado el experimento, no quieren ver en los resultados de éste más que la confirmación de su teoría. Así pues, distorsionan la observación y frecuentemente ignoran hechos muy importantes porque estos no concurren hacia cierto objetivo. Esto es lo que nos hizo decir, en otro trabajo, que nunca deberíamos hacer experimentos para confirmar nuestras ideas, sino sencillamente para ponerlas a prueba... Pero ocurre naturalmente que los que creen demasiado en sus teorías no creen suficientemente en las teorías de los demás. Entonces la idea predominante de estos despreciadores de los demás es encontrar las fallas de las teorías ajenas e intentar refutarlas. El inconveniente para la ciencia es el mismo. Ellos hacen experimentos sólo con el fin de destruir una teoría en vez de hacerlos para buscar la verdad. Además, hacen malas observaciones, porque toman de los resultados de sus experimentos sólo lo que se ajusta a su propósito, ignorando lo que no está relacionado con él y evitando cuidadosamente todo indicio que pudiera ir en el sentido de la idea que quieren combatir. Tenemos así dos caminos que conducen al mismo resultado, es decir, a refutar la ciencia y los hechos.

² *Ibid.* p. 64.

³ *Ibid.* p. 70.

”La conclusión de todo esto es que, al enfrentar las decisiones del experimento, es necesario despojarse tanto de la opinión propia como de la de los demás; ... que se deben aceptar los resultados del experimento tal como se presentan, con todo lo imprevisto y accidental que contengan.”⁴

He aquí, por ejemplo, un fisiólogo que considera que las raíces anteriores de la médula espinal contienen las fibras nerviosas motoras, y las raíces posteriores las fibras sensoras; la teoría que él acepta le conduce a imaginar un experimento: si él corta una cierta raíz anterior, debe suprimirse la movilidad de cierta parte del cuerpo sin destruir su sensibilidad; después de haber seccionado la raíz, cuando observa las consecuencias de su operación y presenta un informe sobre ellas, tiene que prescindir de todas sus ideas concernientes a la fisiología de la médula espinal; su informe debe ser una cruda descripción de los hechos; no le está permitido pasar por alto ningún movimiento o estremecimiento que sea contrario a sus predicciones ni tampoco atribuirlo a una causa secundaria, a menos que algún experimento especial haya evidenciado esa causa; debe, si no quiere que lo acusen de mala fe científica, establecer una separación absoluta, un mamparo estanco, entre las consecuencias de sus deducciones teóricas y el establecimiento de los hechos puestos de manifiesto por sus experimentos.

Tal regla no es, de ninguna manera, fácil de seguir; exige del científico un total desapego de sus propias ideas y una completa ausencia de animosidad al confrontar las opiniones ajenas; ni la vanidad ni la envidia deberían aflorar en él; como dijo Bacon: “nunca debería tener los ojos empañados por las pasiones humanas”. La libertad de pensamiento que constituye, según Claude Bernard, el único principio del método experimental, no depende solamente de condiciones intelectuales sino también de condiciones morales que hacen su práctica más rara y meritoria.

Pero si el método experimental, tal como lo acabamos de describir, es difícil de practicar, su análisis lógico es muy simple. Ese ya no es el caso cuando la teoría que se trata de someter a prueba contra los hechos no es una teoría fisiológica sino una teoría física. En este caso, efectivamente, ya no se puede dejar fuera del laboratorio la teoría que se quiere poner a prueba, pues sin teoría resulta imposible regular un solo instrumento o interpretar una sola medición; hemos visto que en la mente del físico están presentes constantemente dos clases de aparatos; uno es el aparato concreto, de vidrio, de metal, que él manipula; el otro es el aparato esquemático y abstracto, con el cual la teoría sustituye al aparato concreto, y sobre el cual el científico razona; estas dos ideas están indisolublemente ligadas en su inteligencia, cada una requiere necesariamente de la otra; el físico no

⁴ *Ibid.*, p. 67.

puede concebir el aparato concreto sin asociarlo con la noción del aparato esquemático, de la misma forma en que un francés no puede concebir una idea sin asociarla con la palabra francesa que la expresa. Esta imposibilidad radical, que impide disociar las teorías físicas de los procedimientos experimentales apropiados para poner a prueba estas teorías, complica de modo singular dicha prueba y nos obliga a examinar cuidadosamente su sentido lógico.

Desde luego, el físico no es el único que recurre a teorías en el momento mismo en que está experimentando o presentando un informe sobre el resultado de sus experimentos; tanto el químico como el fisiólogo, cuando usan los instrumentos físicos, tales como el termómetro, el manómetro, el calorímetro, el galvanómetro, el sacarímetro, admiten de manera implícita la exactitud de las teorías que justifican el uso de estos aparatos, así como la exactitud de las teorías que dan sentido a los conceptos abstractos de temperatura, presión, cantidad de calor, intensidad de corriente, luz polarizada, por medio de los cuales se traducen las indicaciones concretas de esos instrumentos. Pero las teorías que usan, así como los instrumentos que emplean, pertenecen al campo de la física; al aceptar, junto con los instrumentos, las teorías sin las cuales sus indicaciones carecerían de sentido, el químico y el fisiólogo ponen su confianza en el físico, al cual suponen infalible. El físico, al contrario, se ve obligado a confiar en sus propias ideas teóricas o en las de sus colegas físicos. Desde el punto de vista de la lógica, la diferencia es de menor importancia; para el fisiólogo y el químico, al igual que para el físico, el establecimiento del resultado de un experimento implica generalmente un acto de fe en todo un conjunto de teorías.

2. Que un experimento en física jamás puede condenar una hipótesis aislada, sino solamente todo un conjunto teórico.

El físico que hace un experimento o da cuenta de uno reconoce de manera implícita la adecuación de todo un conjunto de teorías. Admitamos este principio y veamos cuáles son las consecuencias que se pueden deducir cuando se trata de evaluar el papel y la importancia lógica de un experimento físico.

Con el fin de evitar cualquier confusión, distinguiremos dos tipos de experimentos: los experimentos de *aplicación*, que mencionaremos primero, y los experimentos de *prueba*, de los que nos ocuparemos principalmente.

Se enfrenta uno con un problema en física que exige una solución práctica; a fin de producir cierto efecto, se requiere utilizar los conocimientos adquiridos por los físicos; se quiere, por ejemplo, encender una lámpara eléctrica incandescente; las teorías aceptadas indican los medios para resolver

el problema; pero para hacer uso de estos medios, es necesario conseguir algunos datos; se debe, supongo, determinar la fuerza electromotriz de la batería de acumuladores de que se dispone; se mide esa fuerza electromotriz: he aquí un *experimento de aplicación*. Este experimento no pretende reconocer si las teorías aceptadas son o no son correctas; se propone simplemente aplicar estas teorías. Para efectuar esto, se usan experimentos que las mismas teorías legitiman; en este procedimiento no hay nada que contradiga a la lógica.

Sin embargo, los experimentos de aplicación no son los únicos que el físico tiene que realizar; sólo con su auxilio la ciencia puede ayudar a la práctica, pero no es mediante ellos que la ciencia se genera y se desarrolla; además de los experimentos de aplicación, existen los *experimentos de prueba*.

Un físico discute cierta ley, pone en tela de juicio cierta cuestión teórica. ¿Cómo justificará sus dudas?, ¿cómo demostrará la incorrección de la ley? De la proposición bajo escrutinio, él derivará la predicción de un hecho experimental; creará las condiciones en que este hecho debería producirse; si el hecho predicho no se produce, la proposición que sirvió de base a la predicción será irremediablemente condenada.

* * *

Tal modo de demostración parece tan convincente y tan irrefutable como la reducción al absurdo a la cuál suelen recurrir los geómetras; más aún, esta demostración se inspira en el modelo de la reducción al absurdo, jugando la contradicción experimental en ella el papel que la contradicción lógica juega en dicho modelo.

En realidad, el valor demostrativo del método experimental está muy lejos de ser tan riguroso o absoluto; las condiciones en las que funciona son mucho más complejas de lo que se supone en lo que acabamos de decir; la evaluación de los resultados es mucho más delicada y sujeta a medidas de precaución.

Un físico se propone demostrar lo inadecuado de una proposición; para deducir de esta proposición la predicción de un fenómeno y diseñar el experimento que debe mostrar si este fenómeno se produce o no, para interpretar los resultados de este experimento y comprobar que el fenómeno esperado no ocurrió, el físico no se limita a hacer uso de la proposición en litigio; se vale también de todo un conjunto de teorías que acepta indiscutiblemente; la predicción del fenómeno, cuya no producción debe resolver el debate, no se deriva de la proposición en cuestión considerada aisladamente, sino de ella en conjunción con aquél conjunto de teorías; si el fenómeno predicho no

se produce, no es sólo responsabilidad de la proposición en cuestión, sino de todo el andamiaje teórico utilizado por el físico; la única cosa que nos enseña el experimento es que entre todas las proposiciones que sirvieron para predecir ese fenómeno y establecer si se produjo o no, hay al menos un error; pero dónde está el error, eso es lo que el experimento no nos dice. ¿Afirma el físico que el error se halla precisamente en la proposición que él quería refutar, y no en alguna otra? Si lo sostiene, entonces admite implícitamente la adecuación de todas las otras proposiciones que él utilizó; su conclusión vale tanto como valga su confianza.

* * *

Es sabido que Newton imaginó una teoría de emisión para los fenómenos ópticos. Esta teoría supone que la luz está formada por proyectiles sumamente finos que son emitidos con gran velocidad por el Sol y otras fuentes luminosas; estos proyectiles penetran todos los cuerpos transparentes; dependiendo de las diversas partes de los medios en los cuales ellos se mueven, sufren acciones de atracción o repulsión. Estas acciones son muy poderosas cuando la distancia que separa a las partículas activas es muy pequeña, y se desvanecen cuando las masas entre las cuales se ejercen están significativamente apartadas. Estas hipótesis esenciales, junto con varias otras que pasamos por alto, conducen a formular una teoría completa de la reflexión y de la refracción de la luz; en particular, ellas implican la consecuencia siguiente: el índice de refracción de la luz al pasar de un medio a otro, es igual a la velocidad del proyectil luminoso en el medio en el cual penetra, dividida por la velocidad del mismo proyectil en el medio que deja atrás.

Ésta es la consecuencia que Arago escogió para mostrar que la teoría de la emisión está en contradicción con los hechos. De esta proposición, efectivamente, se deriva esta otra: la luz viaja más rápidamente en el agua que en el aire. Ahora bien, Arago había señalado un procedimiento que permitiera comparar la velocidad de la luz en el aire con la velocidad de la luz en el agua; el procedimiento, es cierto, era inaplicable; pero Foucault modificó el experimento de tal manera que se pudiera llevar a cabo; descubrió que la luz se propagaba menos rápidamente en el agua que en el aire; de eso se puede concluir, con Foucault, que el sistema de la emisión es incompatible con los hechos.

Digo el *sistema* de la emisión y no la *hipótesis* de la emisión; efectivamente, aquello que el experimento muestra como contaminado con error es todo el conjunto de las proposiciones aceptadas por Newton y, después de él, por Laplace y Biot; esto es, toda la teoría de la cual se deduce la relación entre el índice de refracción y la velocidad de la luz en los distintos medios; pero

al condenar el sistema como un todo y declararlo contaminado con error, el experimento no nos dice dónde está el error. ¿Está en la hipótesis fundamental de que la luz consiste en proyectiles despedidos con gran velocidad por los cuerpos luminosos? ¿Está en alguna otra suposición acerca de las acciones que sufren los corpúsculos luminosos debidas a los medios en los cuales se mueven? No lo sabemos. Sería temerario creer, como parece que Arago pensó, que el experimento de Foucault condena en definitiva la hipótesis misma de la emisión, o sea, la asimilación de un rayo de luz a una ráfaga de proyectiles; si los físicos hubieran dado algún valor a esta tarea, probablemente hubieran logrado fundar sobre esta suposición un sistema óptico que coincidiera con el experimento de Foucault.

En resumen, el físico jamás puede someter a prueba experimental una hipótesis aislada, sino sólo todo un conjunto de hipótesis; cuando el experimento está en desacuerdo con sus predicciones, él sabe que al menos una de las hipótesis que constituyen ese conjunto es inaceptable y debe ser modificada; pero el experimento no le indica cuál debe ser modificada.

Ahora estamos muy lejos del método experimental tal como lo conciben arbitrariamente las personas que desconocen su funcionamiento. Se cree generalmente que cada una de las hipótesis que usa la física puede ser tomada en forma aislada, sometida a comprobación experimental, y luego, cuando variadas y múltiples pruebas han establecido su validez, ser colocada de manera definitiva dentro del sistema de la física. En realidad, no es así. La física no es una máquina que se deje desmontar; no se puede probar cada pieza aisladamente y esperar, para ajustarla, hasta que su solidez haya sido comprobada minuciosamente; la ciencia física es un sistema que uno debe tomar en su totalidad; es un organismo en el cual no se puede hacer funcionar una parte sin que las partes más alejadas de ella entren en juego, algunas más que otras, pero todas en cierto grado. Si algún malestar se manifiesta en el funcionamiento del organismo, el físico tendrá que adivinar, por medio del efecto producido sobre el sistema entero, cuál es el órgano que necesita ser curado o modificado, sin que le sea posible aislar el órgano y examinarlo aparte. El relojero a quien se le da un reloj que no funciona separa todo el mecanismo de engranes y los examina uno por uno hasta que encuentra el que está defectuoso o roto; el médico a quien se le presenta un paciente no lo puede disectar a fin de establecer su diagnóstico; debe adivinar el foco y la causa del malestar por la sola inspección de los trastornos que afectan al cuerpo entero. Es al médico y no al relojero que se parece el físico encargado de corregir una teoría defectuosa.

3. El “experimentum crucis” es imposible en física.

Insistamos en este punto todavía más, ya que estamos tocando uno de los rasgos esenciales del método experimental tal como se usa en física.

La reducción al absurdo, que sólo parece ser un medio de refutación, puede convertirse en un método de demostración; para demostrar la verdad de una proposición, basta arrinconar a quien admitiera lo opuesto a la proposición, llevándole a una consecuencia absurda; se sabe hasta qué punto los geómetras griegos utilizaron este modo de demostración.

Quienes asimilan la contradicción experimental a la reducción al absurdo piensan que en física se puede usar un argumento parecido al que Euclides empleó con tanta frecuencia en geometría. ¿Se quiere obtener de un grupo de fenómenos una cierta e indiscutible explicación teórica? Se enumeran todas las hipótesis plausibles para dar cuenta de este grupo de fenómenos; luego, por medio de la contradicción experimental, se eliminan todas menos una; esta última dejará de ser una hipótesis para convertirse en una certeza.

Supongamos, por ejemplo, que sólo dos hipótesis estén presentes; busquemos condiciones experimentales tales que una de las hipótesis anuncie la producción de un fenómeno y la otra la producción de un fenómeno muy distinto; realicemos esas condiciones y observemos qué pasa; según observemos el primero de los fenómenos previstos o el segundo, condenaremos la segunda hipótesis o la primera; la hipótesis no condenada será de ahora en adelante indiscutible; el debate habrá quedado resuelto y la ciencia habrá adquirido una nueva verdad. Esta es la prueba experimental que el autor del *Novum Organum* llamó “*hecho de la cruz*, tomando esta expresión de los señalamientos en forma de cruz que en las intersecciones indican los diversos caminos”.

Dos hipótesis han sido formuladas con respecto a la naturaleza de la luz; para Newton, Laplace o Biot, la luz consiste en proyectiles lanzados con extrema velocidad; para Huygens, Young o Fresnel, la luz consiste en vibraciones cuyas ondas se propagan dentro de un éter; éstas son las únicas dos hipótesis vistas como posibles; o bien el movimiento es llevado por el cuerpo al que anima y se queda ligado a él, o bien pasa de un cuerpo a otro. Sigamos la primera hipótesis; enuncia que la luz viaja más rápidamente en el agua que en el aire. Sigamos la segunda; señala que la luz viaja más rápidamente en el aire que en el agua. Montemos el aparato de Foucault; pongamos en marcha el espejo giratorio; frente a nuestros ojos, dos manchas luminosas van a formarse, una incolora, la otra verdosa. ¿Está la banda verdosa a la izquierda de la banda incolora? Eso significa que la luz viaja más rápidamente en el agua que en el aire, y que la hipótesis de las ondas vibratorias es falsa. Si por

el contrario, la banda verdosa está a la derecha de la incolora, eso significa que la luz viaja más rápido en el aire que en el agua, y que la hipótesis de las emisiones está condenada. Examinamos las manchas luminosas con una lupa y observamos que la mancha verdosa está a la derecha de la mancha incolora; el debate se resolvió; la luz no es un cuerpo sino un movimiento vibratorio ondular propagado por el éter; la hipótesis de la emisión se ha descartado; la hipótesis ondulatoria está fuera de toda duda y el experimento crucial la convirtió en un nuevo artículo del *Credo* científico.

Lo que hemos dicho en la sección anterior muestra cuánto se equivocaría uno atribuyendo al experimento de Foucault una significación tan simple y una importancia tan decisiva; pues no es a dos hipótesis –la hipótesis de la emisión y la hipótesis ondulatoria- que juzga el experimento de Foucault, sino a dos conjuntos teóricos, cada uno de los cuales debe ser tomado como una totalidad; es decir, a dos sistemas completos que son la óptica de Newton y la óptica de Huygens.

Pero admitamos por un momento que en cada uno de estos sistemas todo está determinado por necesidad lógica, salvo una hipótesis; admitamos, por lo tanto, que los hechos, al condenar uno de los dos sistemas, condenan con toda seguridad la única suposición dudosa que contiene. ¿Resulta de ello que podemos encontrar en el *experimentum crucis* un procedimiento irrefutable para convertir una de las dos hipótesis presentes en una verdad demostrada, al igual que la reducción al absurdo de una proposición geométrica confiere certeza a la proposición opuesta? Entre dos teoremas de geometría contradictorios no queda lugar para un tercer juicio; si uno es falso, el otro es necesariamente verdadero. ¿Dos hipótesis en física constituyen alguna vez un dilema tan riguroso? ¿Nos atreveremos a afirmar que ninguna otra hipótesis es imaginable? La luz puede ser una ráfaga de proyectiles; puede ser un movimiento vibratorio cuyas ondas se propagan en un medio elástico; ¿le está prohibido ser cualquier otra cosa? Indudablemente así pensaba Arago cuando formuló esta incisiva alternativa: ¿La luz se mueve más rápidamente en el agua que en el aire? “La luz es un cuerpo. ¿Sucede lo contrario? La luz es una onda.” Pero nos resultaría difícil asumir una posición tan decisiva. De hecho, Maxwell ha mostrado que también podríamos atribuir la luz a una periódica perturbación eléctrica que se propagara dentro de un medio dieléctrico.

A diferencia de la reducción al absurdo que emplean los geómetras, la contradicción experimental no tiene el poder de convertir una hipótesis física en una verdad indiscutible; para conferirle este poder, sería necesario enumerar por completo las diversas hipótesis que podrían explicar un grupo determinado de fenómenos; ahora bien, el físico nunca está seguro de haber agotado todas las suposiciones imaginables; la verdad de una teoría física no se decide a cara o cruz.

4. Crítica del método newtoniano. Primer ejemplo: la mecánica celeste.

Es ilusorio tratar de construir por medio de la contradicción experimental una argumentación que imite a la reducción al absurdo; pero la geometría conoce, para llegar a la certeza, otros medios además del procedimiento *per absurdum*; la demostración directa, en la cual la verdad de una proposición se establece por sí misma y no por la refutación de la proposición contradictoria, le parece ser el más perfecto de los razonamientos. Tal vez la teoría física sería más afortunada en sus intentos si tratara de imitar la demostración directa. Las hipótesis a partir de las cuales ella inferiría sus conclusiones se probarían entonces una por una; ninguna de ellas se aceptaría a no ser que presentara toda la certeza que el método experimental puede conferir a una proposición abstracta y general; es decir, cada hipótesis sería necesariamente o bien una ley derivada de la observación por el solo uso de las dos operaciones intelectuales que se llaman inducción y generalización, o bien un corolario deducido matemáticamente de tales leyes. Una teoría basada en hipótesis de esta índole ya no presentaría nada de arbitrario o dudoso; sería digna de toda la confianza que merecen las facultades que nos sirven para formular las leyes naturales.

En semejante teoría física pensaba Newton cuando en el *Scholium Generale* que corona a sus *Principios* rechazó tan enérgicamente, como ajena a la Filosofía Natural, toda hipótesis que la inducción no hubiera extraído del experimento; cuando afirmó que en una física correcta era preciso que toda proposición fuera extraída de los fenómenos y generalizada por inducción.

Parece justo, entonces, que al método ideal que acabamos de describir se le llame método newtoniano. Además, ¿no fue éste el método que Newton siguió cuando estableció el sistema de la atracción universal, añadiendo así a sus preceptos el más grandioso de los ejemplos? ¿No es cierto que su teoría de la gravitación se deriva totalmente de las leyes que la observación reveló a Kepler, leyes que el razonamiento problemático transforma y cuyas consecuencias la inducción generaliza?

La primera ley de Kepler: “El radio vector que va del Sol a un planeta barre un área proporcional al tiempo durante el cual se observa el movimiento del planeta”, enseñó, de hecho, a Newton que cada planeta está constantemente sujeto a una fuerza dirigida hacia el Sol.

La segunda ley de Kepler: “La órbita de cada planeta es una elipse que tiene al Sol en uno de sus focos”, le indicó que la fuerza que atrae a un planeta determinado varía con la distancia entre el planeta y el sol, y está en razón inversa al cuadrado de esta distancia.

La tercera ley de Kepler: “Los cuadrados de los períodos de revolución de los diversos planetas son proporcionales a los cubos de los ejes mayores de sus órbitas”, le mostró que diferentes planetas,

llevados a una misma distancia del Sol, sufrirían de parte del astro atracciones proporcionales a sus respectivas masas.

Las leyes experimentales, establecidas por Kepler y transformadas por el razonamiento geométrico, proporcionan todos los caracteres de la acción que ejerce el Sol sobre el planeta; por inducción, Newton generaliza el resultado obtenido; admite que este resultado expresa la ley según la cual cualquier porción de materia actúa sobre cualquier otra porción, y formula este gran principio: “Dos cuerpos cualesquiera se atraen mutuamente con una fuerza proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa.” El principio de la gravitación universal ha sido descubierto, y se ha obtenido, sin que se recurriera a ninguna hipótesis ficticia, por el método inductivo que trazó Newton.

Volvamos a examinar más de cerca esa aplicación del método newtoniano; veamos si un análisis lógico estricto dejará subsistir la apariencia de rigor y simplicidad que esta breve exposición le atribuye.

Con el fin de asegurar para nuestra discusión toda la claridad necesaria, empecemos por recordar el principio que es familiar para todos aquellos que trabajan en mecánica: No se puede hablar de la fuerza que atrae a un cuerpo en determinadas circunstancias, antes de que se haya designado el término, supuestamente fijo, al que se refiere el movimiento de todos los cuerpos; cuando se cambia este punto de referencia, la fuerza que representa el efecto que sobre el cuerpo en observación producen los otros cuerpos que le rodean, cambia de dirección y de tamaño de acuerdo con reglas formuladas con precisión por la mecánica.

Sentado esto, sigamos los razonamientos de Newton.

Primero, Newton toma al Sol como término fijo de referencia; examina los movimientos que animan a los diversos planetas en relación con este término; admite que las leyes de Kepler rigen estos movimientos y deriva entonces la siguiente proposición: Si el Sol es el término de referencia en relación con el cual se comparan todas las fuerzas, cada planeta está sujeto a una fuerza dirigida hacia el Sol, proporcional a la masa del planeta e inversamente proporcional al cuadrado de su distancia al Sol. Este último, por ser tomado como término de referencia, no está sometido a ninguna fuerza.

De modo análogo, Newton estudia el movimiento de los satélites y para cada uno de ellos escoge como término fijo de comparación el planeta al que acompaña el satélite: la Tierra si se trata de estudiar el movimiento de la Luna, Júpiter en el caso de las masas que se mueven a su alrededor.

Leyes similares a las de Kepler se toman como las reglas de estos movimientos, de lo cual resulta que se puede formular esta nueva proposición: Si se toma como término fijo de comparación el planeta al que acompaña un satélite, el satélite está sujeto a una fuerza dirigida hacia el planeta y en razón inversa al cuadrado de su distancia al planeta. Si, como sucede en el caso de Júpiter, un mismo planeta posee varios satélites, estos satélites, puestos a igual distancia del planeta, sufrirán de su parte, fuerzas proporcionales a sus masas respectivas. En cuanto al planeta, no sufre ninguna acción por parte del satélite.

Tales son, en forma muy precisa, las proposiciones que las leyes de Kepler, referentes a los movimientos de los planetas y la extensión de estas leyes a los movimientos de los satélites, nos autorizan a formular. Estas proposiciones Newton las sustituye por otra que se puede expresar así: Dos cuerpos celestes cualesquiera ejercen el uno sobre el otro una fuerza de atracción en la dirección de la recta que los une, proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa; el enunciado supone que todos los movimientos y todas las fuerzas están relacionadas con un mismo término de comparación; éste término es un punto de referencia ideal, que el geómetra puede muy bien concebir, pero cuya posición en la bóveda celeste no está demarcada por ningún cuerpo.

¿Es este principio de la gravitación universal una mera generalización de dos enunciados resultantes de las leyes de Kepler y de su extensión a los movimientos de los satélites? ¿Se puede derivar por inducción partiendo de estos dos enunciados? De ninguna manera. En realidad, el principio no solamente es más general que esos dos enunciados y heterogéneo con respecto a ellos, sino que los contradice. El mecánico que admite el principio de la atracción universal puede calcular el tamaño y la dirección de las fuerzas entre los diversos planetas y el Sol cuando éste se toma como término de comparación, y encuentra que esas fuerzas no son como lo exigiría el primer enunciado. Puede determinar la magnitud y la dirección de cada una de las fuerzas entre Júpiter y sus satélites cuando se relacionan todos los movimientos con el planeta, supuestamente inmóvil, y observa que esas fuerzas no son como lo exigiría el segundo enunciado.

Entonces el principio de gravitación universal, lejos de poder derivarse por medio de la generalización y la inducción de las leyes de observación formuladas por Kepler, contradice estas leyes formalmente. Si la teoría de Newton es correcta, las leyes de Kepler son necesariamente falsas.

Por lo tanto, las leyes de Kepler basadas en la observación de los movimientos celestes no transfieren su inmediata certeza experimental al principio de la gravitación universal, ya que, al contrario, si se admitiera la exactitud absoluta de las leyes de Kepler, habría que rechazar la proposición en la cual Newton basa su mecánica celeste. Lejos de valerse de las leyes de Kepler, el físico que pretende justificar la teoría de la gravitación universal tiene que resolver, en primer lugar, una dificultad en estas leyes; tiene que probar que su teoría, incompatible con la exactitud de las leyes de Kepler, somete los movimientos de los planetas y satélites a otras leyes, tan poco diferentes de las primeras como para que Tycho Brahe, Kepler y sus contemporáneos pudieran discernir las desviaciones que distinguen las órbitas keplerianas de las órbitas newtonianas; esta prueba se desprende de las circunstancias de que la masa del Sol es muy grande en relación con las masas de los diversos planetas y de que la masa de un planeta es muy grande en relación con las masas de sus satélites.

Por lo tanto, si la certeza de la teoría de Newton no emana de la certeza de las leyes de Kepler, ¿cómo probará esta teoría que es válida? Calculará, con toda la aproximación que los métodos algebraicos siempre perfeccionados permitan, las *perturbaciones* que en cada instante apartan a cada uno de los astros de la órbita que le fue asignada por las leyes de Kepler; luego comparará las perturbaciones calculadas con las perturbaciones que se han observado por medio de los más precisos instrumentos y los más escrupulosos métodos. Tal comparación no se referirá solamente a tal o cual parte del principio newtoniano, sino apelará a todas sus partes a la vez; con lo cual apelará también a todos los principios de la dinámica; además se auxiliará con todas las proposiciones de la óptica, de la estática de gases, de la teoría del calor, que sean necesarias para justificar las propiedades de los telescopios, construirlos, ajustarlos, corregirlos, y eliminar los errores causados por la aberración diurna o anual y por la refracción atmosférica. Ya no se trata de tomar una por una las leyes justificadas por la observación, y elevar cada una de ellas, mediante la inducción y la generalización, al rango de un principio; se trata de comparar los corolarios de todo un conjunto de hipótesis con todo un conjunto de hechos.

Ahora, si buscamos las causas que hicieron fracasar al método newtoniano en el caso para el cual había sido imaginado y que parecía ser su más perfecta aplicación, las encontraremos en el doble carácter de cada ley puesta en práctica por la física teórica: esta ley es simbólica y aproximada.

Indudablemente, las leyes de Kepler se refieren de modo muy directo a los objetos mismos de la observación astronómica; son tan poco simbólicas como es posible. Pero, en esta forma puramente

experimental, son inadecuadas para sugerir el principio de la gravitación universal; a fin de que adquirieran esta fecundidad, es preciso que se transformen y muestren las características de las fuerzas por medio de las cuales el Sol atrae a los diversos planetas.

Ahora bien, esta nueva forma de las leyes de Kepler es una forma simbólica; sólo la dinámica da un sentido a las palabras *fuerza* y *masa* que sirven para formularla; y sólo la dinámica permite sustituir las antiguas fórmulas realistas por las nuevas fórmulas simbólicas, sustituir las leyes referentes a las órbitas por los enunciados sobre las *fuerzas* y las *masas*. La legitimidad de tal sustitución implica una plena confianza en las leyes de la dinámica.

Y con el fin de justificar esta confianza, no vayamos a pretender que las leyes de la dinámica estaban fuera de duda en el momento en que Newton las usaba para traducir simbólicamente las leyes de Kepler, que habían recibido suficiente confirmación empírica como para ganarse el asentimiento de la razón. En realidad, las leyes de la dinámica habían sido sometidas hasta entonces a pruebas muy particulares y muy rudimentarias; incluso sus enunciaciones habían quedado muy vagas y muy disimuladas. Solamente en el libro de los *Principios* de Newton fueron por primera vez formuladas de una manera precisa; fue en el acuerdo de los hechos con la mecánica celeste, resultante de los trabajos de Newton, que ellas encontraron su primera verificación convincente.

Así, la traducción de las leyes de Kepler en leyes simbólicas, las únicas útiles para una teoría, suponía la previa adhesión del físico a todo un conjunto de hipótesis. Pero, además, puesto que las leyes de Kepler sólo eran leyes aproximadas, la dinámica permitía darles una infinidad de distintas traducciones simbólicas. Entre estas infinitas formas diversas hay una, y sólo una, que concuerda con el principio de Newton. Las observaciones de Tycho Brahe, tan exitosamente reducidas a leyes por Kepler, le permiten al teórico que escoja esa forma, pero no le obligan a hacerlo; le permitirían igualmente que escogiera una infinidad de otras formas.

Para justificar su selección, el teórico no puede contentarse entonces con invocar las leyes de Kepler. Si quiere probar que el principio que adoptó es realmente un principio de clasificación natural para los movimientos celestes, tiene que mostrar que las perturbaciones observadas concuerdan con las que se habían calculado con anticipación; tiene que deducir de la trayectoria de Urano la existencia y la posición de un nuevo planeta, y, en una determinada dirección, encontrar a Neptuno en la punta de su telescopio.

* * *

8. ¿Existen ciertos postulados de la teoría física que no pueden ser refutados por el experimento?

Se reconoce que un principio es correcto por la facilidad con la que desembrolla las complicadas dificultades a las que nos llevó el uso de principios erróneos.

Entonces, si la idea que hemos propuesto es correcta, o sea, si la comparación se establece necesariamente entre el *conjunto* de la teoría y el *conjunto* de los hechos experimentales, debemos, a la luz de este principio, ver desvanecerse las oscuridades en las que nos extraviaríamos pretendiendo someter aisladamente cada hipótesis teórica a la comprobación de los hechos.

Entre las principales afirmaciones cuya apariencia paradójica trataremos de disipar, colocaremos una que, en los últimos años, ha sido formulada y comentada frecuentemente. G. Milhaud⁵ la enunció primero en relación con los *cuerpos puros* de la química; fue amplia y poderosamente desarrollada por H. Poincaré⁶ con respecto a principios de la Mecánica, y fue formulada también con gran claridad por Edouard Le Roy⁷.

La afirmación es la siguiente: Algunas hipótesis fundamentales de la teoría física no pueden ser refutadas por ningún experimento porque en realidad constituyen *definiciones* y porque algunas expresiones que usa el físico adquieren su significado exclusivamente a través de ellas.

Tomemos uno de los ejemplos que menciona Le Roy: cuando un cuerpo cae libremente, la aceleración de su caída es constante. ¿Tal ley puede ser refutada por un experimento? No, pues ella constituye la definición misma de lo que se debe entender por *caída libre*. Si al estudiar la caída de un cuerpo encontráramos que este cuerpo no cae con un movimiento uniformemente acelerado, concluiríamos no que la ley enunciada es falsa, sino que el cuerpo no cae libremente, que alguna causa estorba su movimiento, y las desviaciones entre la ley enunciada y los hechos observados nos ayudarían a descubrir esa causa y a analizar sus efectos.

Por eso, concluye Le Roy, “la leyes son improbables tomando las cosas con todo rigor..., porque constituyen el criterio mismo según el cual se juzgan las apariencias, así como los métodos que habría que utilizar para someterlas a una investigación cuya precisión fuera capaz de sobrepasar todo límite asignable”.

⁵ Milhaud, G. “La Science rationelle”. *Revue de Métaphysique et de Morale*. Año IV. 1896. p. 280. *Le Rationel*, Paris. 1898. p. 45.

⁶ Poincaré, H. “Sur les Principes de la Mécanique”. *Bibliothèque du Congrès International de Philosophie. III Logique et Histoire des Sciences*, Paris. 1901. p. 457. “Sur la valeur objective des théories physiques”. *Revue de Métaphysique et de Morale*. Año X. 1902. p. 263. *La Science et l’Hypothèse*. p. 110.

⁷ Le Roy, Edouard. “Un positivisme nouveau”. *Revue de Métaphysique et de Morale*. Año IX. 1901. pp 143-144.

Volvamos a examinar con más detalle, a la luz de los principios anteriormente planteados, la comparación entre la ley de la caída de los cuerpos y el experimento.

A consecuencia de nuestras observaciones cotidianas conocemos toda una categoría de movimientos que hemos reunido bajo el nombre de movimientos de los cuerpos; entre estos movimientos se halla la caída de un cuerpo cuando no le estorba ningún obstáculo. Resulta que las palabras “caída libre de un cuerpo” tienen un sentido para el hombre que recurre sólo a los conocimientos del sentido común y no tiene ninguna noción de las teorías físicas.

Por otra parte, para clasificar las leyes de los movimientos en cuestión, el físico ha creado una teoría, la teoría de la gravedad, una aplicación importante de la Mecánica Racional; en esta teoría destinada a proporcionar una representación simbólica de la realidad, se trata igualmente de la “caída libre de un cuerpo”; a consecuencia de las hipótesis que sostienen a todo este esquema, una caída libre debe ser necesariamente una caída uniformemente acelerada.

Las palabras “caída libre de un cuerpo” tienen ahora dos significados distintos. Para el hombre que desconoce las teorías físicas tienen su significado *real*, y significan lo que el sentido común entiende al pronunciarlas; para el físico tienen un significado *simbólico*, y significan: “movimiento uniformemente acelerado”. La teoría no hubiera cumplido su propósito si el segundo significado no fuera signo del primero, si una caída, considerada como libre por el sentido común, no fuera igualmente una caída de aceleración uniforme, o *casi* uniforme, ya que las observaciones del sentido común son esencialmente, como lo hemos dicho, observaciones desprovistas de precisión.

Este acuerdo, sin el cual la teoría hubiera sido rechazada sin más investigación, se alcanza finalmente; una caída que el sentido común declara ser casi libre es también una caída cuya aceleración es casi constante. Pero el advertir este acuerdo, groseramente aproximado, no nos satisface; queremos seguir adelante y sobrepasar el grado de precisión que puede pretender el sentido común. Con la ayuda de la teoría que hemos imaginado conjuntamos aparatos que permitan reconocer con sensibilidad si la caída de un cuerpo es o no es uniformemente acelerada; estos aparatos nos enseñan que una cierta caída, considerada por el sentido común como una caída libre, tiene una aceleración ligeramente variable. La proposición que en nuestra teoría da un sentido simbólico a las palabras “caída libre” no representa con suficiente exactitud las propiedades de la caída real y concreta que hemos observado.

Se nos presentan entonces dos opciones. En primer lugar, podemos declarar que tuvimos razón en considerar la caída estudiada como una caída libre, y exigir que la definición teórica de estas

palabras concuerde con nuestras observaciones; en este caso, puesto que nuestra definición teórica no satisface esta exigencia, debe ser rechazada; tenemos que construir otra mecánica sobre nuevas hipótesis, una mecánica en la cual las palabras “caída libre” ya no significarán “caída uniformemente acelerada”, sino “caída cuya aceleración varía conforme a una cierta ley”.

En segundo lugar, podemos declarar que nos equivocamos al relacionar la caída concreta que observamos y la caída simbólica definida por nuestra teoría; que ésta era un esquema demasiado simplificado de aquélla; que para representar convenientemente la caída objeto de nuestro experimento, el teórico ya no debe imaginar un cuerpo cayendo libremente, sino uno al que le estorban algunos obstáculos, tales como la resistencia del aire; que representando la acción de estos obstáculos por medio de hipótesis apropiadas, compondrá un esquema más complicado que el peso libre, pero más apto para reproducir los detalles del experimento; en suma, de acuerdo con el lenguaje que fijamos anteriormente (capítulo IV. sección 3), podemos procurar eliminar, a través de correcciones oportunas, las *causas de error*, tales como la resistencia del aire, que influyeron en nuestro experimento.

Le Roy afirma que preferiremos la segunda opción a la primera, en lo que seguramente tiene razón. Las causas que dictan nuestra preferencia son fáciles de percibir. Al tomar la primera opción, nos veríamos obligados a destruir de arriba a abajo un sistema teórico muy vasto, que representa de la manera más satisfactoria un conjunto bastante extenso y complejo de leyes experimentales. La segunda opción, al contrario, no nos hace perder nada del terreno ya conquistado por la teoría física; además, ha tenido éxito en tantos casos que nos permite contar con un nuevo éxito. Pero en la confianza concedida a la ley de la caída de los cuerpos no vemos nada análogo a la certeza que la definición geométrica saca de su misma esencia, o sea, la certeza que convierte en un acto insensato el dudar de que los diversos puntos de una circunferencia sean todos equidistantes del centro.

No tenemos aquí nada más que una aplicación particular del principio planteado en la sección 2. Un desacuerdo entre los hechos concretos que integran un experimento y la representación simbólica con la que la teoría sustituye al experimento, demuestra que alguna parte de ese símbolo debe ser rechazada. Pero cuál parte, esto no nos lo dice el experimento, dejando a nuestra sagacidad la tarea de adivinarlo. Ahora, entre los elementos teóricos que entran en la composición de este símbolo, siempre hay un cierto número de ellos que los físicos de cierta época convienen en aceptar sin comprobación, considerándolos como indiscutibles. Por lo que el físico que desea modificar el

símbolo procurará seguramente que su modificación se apoye en elementos diferentes de los que acabamos de mencionar.

Por lo que impulsa al físico a actuar así, no es una necesidad lógica; podría ser inadecuado y mal inspirado para él actuar de otro modo; pero no por ello seguiría los pasos del geómetra suficientemente insensato como para refutar sus propias definiciones; no habría nada absurdo. Más aún, algún día quizás, actuando de otro modo, negándose a invocar causas de error y recurrir a correcciones para restablecer el acuerdo entre el esquema teórico y el hecho, y llevando resueltamente a cabo una reforma entre las proposiciones que un común acuerdo declara intocables, llegue a realizar una obra genial que abra para la teoría una nueva carrera.

Efectivamente, habría que evitar creer aseguradas para siempre esas hipótesis que se han vuelto convenciones universalmente aceptadas y cuya certeza parece vencer a la contradicción experimental, devolviendo esta última a suposiciones más dudosas. La historia de la física nos enseña que frecuentemente el espíritu humano ha sido conducido a demoler por completo semejantes principios, aún durante siglos considerados de común acuerdo como axiomas inviolables, y a volver a construir sus teorías físicas sobre nuevas hipótesis.

¿Hubo, por ejemplo, durante milenios, un principio más claro y más seguro que éste: En un medio homogéneo la luz se propaga en línea recta? Esta hipótesis no solamente fue la base de toda la óptica antigua, catóptrica y dióptrica, cuyas elegantes deducciones geométricas representaban, a voluntad, un inmenso número de hechos, sino también llegó a ser, por decirlo así, la definición física de la línea recta. A esta hipótesis debía acudir cualquiera que deseara trazar una línea recta, el carpintero al verificar la rectitud de un pedazo de madera, el agrimensor al alinear, el topógrafo geodésico que determina una dirección mediante las pínulas de su alidada, el astrónomo que define la orientación de las estrellas por el eje óptico de su telescopio. Sin embargo, llegó el día cuando los físicos se cansaron de atribuir a alguna causa de error los efectos de difracción observados por Grimaldi, y se decidieron a rechazar la ley de la propagación rectilínea de la luz dando a la óptica fundamentos completamente nuevos; y esta decisión audaz fue la señal de progresos notables para la teoría física.

* * *

10. El buen sentido es el juez de las hipótesis que deben ser abandonadas.

Cuando un experimento contradice ciertas consecuencias de una teoría, nos damos cuenta de que la teoría debe ser modificada. Sin embargo, el experimento no nos dice lo que tiene que cambiarse.

Deja a la sagacidad del físico la tarea de buscar el punto débil que hace caer a todo el sistema. Ningún principio absoluto dirige esta investigación, la cual físicos diferentes pueden conducir de maneras muy diversas, sin tener el derecho de acusarse recíprocamente de ser ilógicos. Por ejemplo, uno puede verse obligado a salvar ciertas hipótesis fundamentales mientras que se esfuerza por restablecer el acuerdo entre las consecuencias de la teoría y los hechos, complicando el esquema en el que las hipótesis se aplican, invocando varias causas de error y multiplicando las correcciones. Otro físico, desdeñando esas complicadas sutilezas, puede decidirse a cambiar alguna de las suposiciones esenciales en que descansa todo el sistema. El primer físico no tiene el derecho de condenar por anticipado la audacia del segundo, ni el segundo, de tratar como absurda la timidez del primero. Los métodos que siguen son justificables sólo por el experimento, y si ambos logran satisfacer los requisitos del experimento les está *lógicamente* permitido tanto al uno como al otro declararse contentos con el trabajo realizado.

Eso no quiere decir que no podamos con todo derecho preferir el trabajo de uno al trabajo del otro: la pura lógica no es la única regla para guiar nuestros juicios; ciertas opiniones, que no caen bajo el peso del principio de contradicción, son, no obstante, perfectamente razonables; estos motivos que no provienen de la lógica y, sin embargo, dirigen nuestras elecciones, esas “razones que la razón desconoce” y que hablan a la mente sutil y no a la mente geométrica, constituyen lo que se llama propiamente el *buen sentido*.

Ahora, es posible que el *buen sentido* nos permita decidir entre los dos físicos. Es posible que nos parezca poco razonable la precipitación con la que el segundo trastorna los principios de una teoría muy amplia y armoniosamente construida, mientras que una modificación de detalle, una ligera corrección, hubiera bastado para poner de acuerdo estas teorías con los hechos. Por otra parte, es posible que encontremos pueril e irrazonable el empeño del primer físico en conservar, cueste lo que cueste, a costa de reparos continuos y muchos puntales enredados, las columnas carcomidas de un edificio tambaleante, mientras que al derribar esas columnas se haría posible la construcción, sobre nuevas hipótesis, de un sistema simple, elegante y sólido.

Pero estas razones del buen sentido no se imponen con el mismo rigor implacable que las prescripciones de la lógica; tienen algo vago e incierto; no se manifiestan al mismo tiempo con la misma claridad a todas las mentes. De ahí la posibilidad de largas querellas entre los defensores de un sistema antiguo y los partidarios de una doctrina nueva, cada grupo pretendiendo poseer el buen sentido de su lado, cada partido encontrando inadecuadas las razones del adversario. De estas

querellas la historia de la física nos proporcionaría innumerables ejemplos, en todas las épocas y en todos los campos. Nos limitaremos a recordar la tenacidad y la ingeniosidad con las que Biot, por una continua aportación de correcciones e hipótesis accesorias, mantuvo la doctrina de la emisión en óptica, mientras que Fresnel constantemente oponía a esta doctrina nuevos experimentos que favorecían a la teoría ondulatoria.

Sin embargo, este estado de indecisión no dura para siempre. Llega el día en que el buen sentido se declara tan claramente en favor de uno de los dos partidos que el otro renuncia a la lucha, aunque la pura lógica no le impediría que continuara. Después de que el experimento de Foucault mostró que la luz viajaba más rápidamente en el aire que en el agua, Biot renunció a sostener la hipótesis de la emisión; en sentido estricto, la pura lógica no le hubiera obligado a abandonarla, pues el experimento de Foucault no era el *experimento crucis* que Arago creyó reconocer en él; pero el resistirse por más tiempo a la óptica ondulatoria, Biot hubiera *carecido de buen sentido*.

Ya que la lógica no determina con una precisión rigurosa el momento en que una hipótesis inadecuada debe dar paso a una suposición más fecunda, y puesto que le corresponde al buen sentido reconocer este momento, los físicos pueden acelerar este juicio y aumentar la rapidez del progreso científico, esforzándose por hacer a su propio buen sentido más lúcido y más vigilante. Ahora, nada contribuye más a enredar el buen sentido, a enturbiar su perspicacia que las pasiones y los intereses. Nada, como la vanidad, retrasará la decisión que, en una teoría física, debe determinar una reforma exitosa. La vanidad hace que el físico se vuelva indulgente hacia su propio sistema y demasiado severo hacia el sistema ajeno. Llegamos así a la conclusión que Claude Bernard expresó tan claramente: la sana crítica experimental de una hipótesis está subordinada a ciertas condiciones morales; para apreciar correctamente el acuerdo de una teoría física con los hechos no basta con ser un buen matemático y un hábil experimentador; hay que ser también un juez recto e imparcial.