

## HACIA UNA FILOSOFÍA DE LA EXPERIMENTACIÓN\*

JOSÉ FERREIRÓS

Departamento de Filosofía y Lógica  
Universidad de Sevilla  
josef@us.es

JAVIER ORDÓÑEZ

Departamento de Lógica y Lingüística  
Universidad Autónoma de Madrid  
Javier.Ordonnez@uam.es

RESUMEN: El artículo intenta promover una recepción más amplia de los trabajos recientes sobre filosofía de la actividad científica experimental. Primero se comentarán los orígenes y las características de la *tradición teoreticista* predominante, criticando sus presupuestos y sus “miserias”. Se analizará luego la función de los instrumentos, proponiendo una tipología de la actividad experimental, aunque elemental —esperamos— útil. Tras analizar la *estructura* del experimento, empleando contribuciones de Pickering y otros, discutiremos la *dinámica* de la experimentación: los procesos de formación de datos. Ésta es, obviamente, la cuestión más crucial y debatida, de la que depende la especificidad y fiabilidad de los métodos científicos.

PALABRAS CLAVE: nuevo experimentalismo, teoreticismo, estructura y dinámica de experimentos

SUMMARY: This paper attempts to promote a more widespread reception of recent work on the philosophy of experimental scientific activity. First, we comment on the origins and character of the predominant *theoreticist tradition*, offering critical remarks on its assumptions and “poverty”. Then we analyze the function of instruments, proposing a coarse but hopefully useful typology of experimental activity. After analyzing the *structure* of experiment, drawing on work by Pickering and others, we discuss the *dynamics* of experimentation —the processes of data formation. This is obviously the most crucial and disputed issue, on which the specificity and reliability of scientific methods depends.

KEY WORDS: new experimentalism, theoreticism, structure and dynamics of experiment

\*Agradecemos a Sergio Martínez y a un árbitro anónimo sus comentarios y críticas a una versión anterior de este trabajo.

En las imágenes proyectadas por la filosofía de la ciencia popperiana y pospopperiana, el experimento ha quedado *cautivo* de la teoría: la teoría es lo primero y primordial, lo que antecede y acompaña al experimento, y por supuesto lo que resulta de él. Sin embargo, teniendo en cuenta que el reo ha mostrado muy buena conducta, y que en opinión popular la ciencia moderna le debe tanto, en este trabajo solicitaremos formalmente su libertad condicional: esto es, el reconocimiento de la *autonomía relativa* de la experimentación. Teorización y experimentación deben ser reconocidos como pares entre los que no hay un primero: la teoría no es el rey.

Desde luego, “autonomía relativa” es una expresión ambigua, pero parece lo mejor que podemos lograr, al menos de momento. Lo que se quiere decir es que, en la actividad científica, la fase experimental y la fase teórica están situadas cuando menos en el mismo plano: que la primera goza de al menos tanta autonomía como pueda tener la segunda.

Con vistas a defender dicho planteamiento, ante todo será necesario despejar el camino. Dada la preponderancia en filosofía de la ciencia de lo que llamamos la *tradición teoreticista*, nos ha parecido imprescindible comenzar con algunos comentarios y críticas al respecto. Tras ello, analizaremos la función de los instrumentos en la ciencia y propondremos una tipología —elemental pero, creemos, eficaz— de las formas que adopta la actividad experimental. Por último, haremos una incursión en el estudio de los elementos estructurales que conforman la actividad experimental, y abordaremos la verdadera cruz de la filosofía de la experimentación: el análisis de su dinámica.

### 1. *La tradición teoreticista y sus miserias*

Como venimos comentando, la base experimental de la ciencia se ha trivializado en los análisis clásicos de la filosofía de la ciencia. Era una *base* que quedaba hundida para sostener la fronda lingüística que formaba parte de las teorías —único aspecto que permanecía visible—, fronda cuyos niveles inferiores

se constituían en *lo dado*.<sup>1</sup> De esta manera se ocultaron los problemas y las virtudes que pudiera haber en las dimensiones referentes a la base empírica y en las instancias experimentales que la nutrían.

Con el término *teoreticismo* nos referimos a la tendencia —clásica en filosofía de la ciencia— a privilegiar los aspectos teóricos del conocimiento sobre cualquier otro de sus rasgos, de modo que toda la actividad científica es interpretada desde el punto de vista de la elaboración conceptual y la teorización. De esa tendencia se deriva la inclinación a reformular cualquier cuestión o problema de la filosofía de la ciencia en términos exclusivamente conceptuales o teóricos. Correlativamente, lo empírico tiende a ser considerado como algo situado en los márgenes,<sup>2</sup> los resultados experimentales son objeto de una simplificación y estilización sistemática, y los procesos propios de la actividad experimental desaparecen de la reflexión metodológica.

Esa tendencia resultó fortalecida al adoptar complementariamente varios tipos de filosofías. Primero, la prestigiosa filosofía crítica kantiana, en la que lo dado era lo fenoménico que podría identificarse con la base empírica, idea elemental que inspiró parte de las representaciones de lo que se considera la “concepción heredada”. Segundo, la filosofía de tradición empirista, cuya concepción eminentemente estilizada y simplificada de lo empírico (reducido a “lo fenoménico” o “lo observacional”) estimuló de manera paradójica el énfasis en lo teórico. Pero el remate de la relegación de los problemas conectados con la base empírica puede verse precisamente en la alternativa a ese empirismo lógico. La concepción popperiana destacó la importancia de las teorías y explicó en sus términos la dinámica de la ciencia. Las teorías eran imágenes de la realidad, mientras que lo empírico estaba situado en algo que se podría denominar “los márgenes del significado”. Andando el tiempo, los concep-

<sup>1</sup> O, en la negativa imagen de Popper (1935, p. 106), era una “ciénaga” pantanosa sobre la que se levantarían los “pilotes” de las teorías.

<sup>2</sup> Piénsese, por ejemplo, en la célebre imagen quineana de la ciencia como un campo de fuerzas lógico-lingüístico cuya frontera es lo empírico.

tos básicos de las teorías llegaron a dividirse en “teóricos” y “no-teóricos”: lo relacionado con las afueras de las teorías se denominaba de forma negativa y nutría las proposiciones situadas en las esquinas de la actividad científica, sólo relevantes de manera negativa en los procesos de refutación.

Para entender los orígenes del teoreticismo, es imprescindible tener en cuenta de qué forma los físicos —o parte de ellos, los más “filosóficos”— han facilitado y fomentado esta forma simplificada de concebir la ciencia. Esto ocurre tanto hoy como en el pasado, si bien la física sólo ha cultivado esa tendencia teoreticista de una forma decidida precisamente desde que es una ciencia hegemónica.

### 1.1. El teoreticismo, de Clausius a Kuhn

El teoreticismo fue una tendencia que se fraguó cuando los físicos del siglo XIX se preocuparon por cuestiones metodológicas y metacientíficas. Fue un enfoque promovido por científicos como Mach, Boltzmann o Einstein, algunos de ellos grandes experimentadores, pero que hurtaron cualquier discusión sobre las peculiaridades metodológicas y epistemológicas de la actividad experimental. Ello fue posible porque a mediados del siglo XIX se desarrolló la física teórica como subdisciplina autónoma dentro de la comunidad física, especialmente en las universidades alemanas y británicas. Fue así como surgió una fuerte tendencia teoreticista entre los mismos físicos.<sup>3</sup> Hasta ese momento, los físicos que desarrollaban teorías —los Newton, Ohm, Ampère, Weber— siempre habían sido a la vez, y en íntima unión, experimentalistas. A la nueva línea pertenecen científicos tan relevantes como Clausius o —con matices— Maxwell, e incluso cabría mencionar la figura de un matemático-físico como Henri Poincaré. Con el fortalecimiento de la física como disciplina científica dominante, surgió una especie de aristocracia de los teóricos dentro de la noble estirpe de los físicos.

Los grandes tratados de física de la segunda mitad del siglo XIX fueron los modelos en los cuales se fijaron los primeros

<sup>3</sup> Sobre esta cuestión, la referencia más común es el volumen de C. Jungnickel y R. McCormach, *Intellectual Mastery of Nature* (1986).

filósofos-físicos, la pareja Mach-Boltzmann. Las reformulaciones de estos tratados de la física clásica estaban elaboradas de la forma más deductiva y formal posible; ofrecían sistemas axiomatizados que prepararon el camino a la formalización lógica posterior. Si se buscaban presentaciones más intuitivas, se acudía no a los resultados experimentales, sino a cambiar el aparato matemático.<sup>4</sup> Pero el entramado de resultados experimentales en que se basaba la teoría en cuestión era objeto de una simplificación y estilización sistemática, hasta casi desaparecer en los márgenes del juego de principios teóricos.

Esto puede advertirse en el caso de Ludwig Boltzmann, quien se vio a sí mismo como un físico teórico y a la vez como un filósofo. Era un admirador y seguidor de Maxwell, debido sobre todo a su interés por las síntesis teóricas, y contribuyó decisivamente a que las ideas de este último se introdujeran en Alemania. El mayor favor que Boltzmann hizo a Maxwell y sus seguidores fue escribir un manual, reelaboración de sus teorías electromagnéticas, donde la base experimental quedaba reducida a una estilización abstracta. Los experimentos de Faraday, la genuina base experimental de todas estas teorías, aparecían como teorías provisionales casi desnudas de cualquier interés empírico.

Boltzmann sostenía —pensando tanto en la física como en la biología— que teorizar significaba dar una *visión o imagen* general, sintetizadora, unificadora; la ciencia era una imagen, un modelo de alguna realidad. Se constituía así una forma de construcción presentada como una reconstrucción que reformulaba todos los elementos de la explicación. La actividad más relevante de los científicos era “fabricar teorías”, y a esa elaboración debía subordinarse cualquier otra actividad. Tanto, que relatar dicha actividad casi se podía reducir, en buena ley, a los procesos de elaboración y reelaboración de teorías que aparecían como síntesis perfectas. Que se describieran comportamientos de supuestas

<sup>4</sup> Como fue el caso del electromagnetismo: Maxwell presentó su síntesis por medio del álgebra de cuaterniones, mientras que Heaviside introdujo el cálculo vectorial que permitía representaciones más geométrico-visuales y, por lo tanto, menos abstractas del campo electromagnético.

entidades ocultas, como los átomos, o que sólo se diera cuenta instrumentalmente de los fenómenos observados y se renunciara a considerarlos como causados por esas entidades, fue un asunto no tan importante como se ha querido ver. Lo importante es que el resultado de ambas posiciones filosóficas era la preeminencia de las teorías completas. Aquellos que sostienen el teoreticismo pueden ser tanto los más consumados realistas como los más rabiosos fenomenistas; en este punto de vista se hermanan, al menos epistémicamente hablando.

Popper fue el receptor perfecto de la influencia de Boltzmann y de todas estas ideas teoreticistas, aunque no fuera el único. Aquí pondremos énfasis en él sencillamente porque se lo considera como un gran renovador dentro de la filosofía de la ciencia. Pero su renovación no afectó en nada la espinosa cuestión de cuál es la función de los experimentos en la elaboración de la ciencia, o de si la ciencia se puede reducir a la elaboración de teorías sin dejar ningún tipo de residuo.

Las tendencias teoretizantes que emanaban de la aristocracia de los físicos se sumaron a las filosóficas propias de quienes se inspiraron en la lógica matemática y el giro lingüístico para analizar la ciencia. Conviene tener en cuenta que estas dos tendencias sumaron sus efectos hasta conseguir una representación que apartaba la filosofía de la ciencia de la forma en que procede la construcción efectiva de la ciencia. Paradójicamente, la gran perjudicada fue la propia filosofía de la física, ya que no se fomentó en realidad un fisicismo pleno, sino un fisicismo teoreticista.<sup>5</sup>

Todavía más llamativo, quizá, resulta considerar que el propio Thomas S. Kuhn, el genial *enfant terrible* de los años 1960, no hizo mucho más que seguir la línea Boltzmann-Popper en lo relativo al teoreticismo. Ciertamente es que su famosa obra de 1962 contiene indicaciones sugerentes respecto al modo en que la experimentación participa en el proceso de ciencia normal.<sup>6</sup> Pero

<sup>5</sup> De manera intencionada evitamos aquí el barbarismo usual: “fiscalismo”, en favor de una voz derivada de “físico”: “fiscismo”.

<sup>6</sup> Especialmente interesante es el artículo Kuhn 1961, donde se encuentran reflexiones muy valiosas sobre las diferencias entre experiencia, experimenta-

tanto esta obra, con su énfasis demasiado unilateral —cuando menos a los ojos de lectores no tan sofisticados como el propio autor— en los elementos conceptuales de los paradigmas y la carga teórica de la observación, como los trabajos posteriores, que abandonan ya cualquier reflexión explícita acerca del experimento, tuvieron en conjunto el efecto de ahondar en el teoreticismo imperante.<sup>7</sup> Estas características de su obra pueden entenderse, quizá, como un reflejo de la formación inicial de Kuhn como físico. Recordemos que su tesis doctoral de 1949 se realizó a las órdenes de un físico teórico, John van Vleck, ganador del Premio Nobel en 1977 por sus contribuciones al magnetismo y la teoría de sistemas desordenados y su estructura electrónica. La influencia que sobre Kuhn tuvo la filosofía de la ciencia clásica, y su dedicación a una disciplina como la historia de la ciencia, seguidora del tradicional énfasis en lo teórico, no pudieron hacer sino reafirmar esas tendencias.

### 1.2. Consideraciones críticas: la miseria del teoreticismo

Hacking dijo, provocativamente, que la filosofía debía empezar a reflexionar sobre lo que comenzó allá por el siglo XVII. La aventura que entonces se inició, y que puso por base la experimentación, fue llamada “filosofía experimental”. En efecto, la ciencia moderna puede verse como un híbrido de filosofía (lógica, teorización, argumentación) y experimento (técnica, manipulación, observación). En realidad, si se quiere ir más al fondo de la cuestión, la ciencia es un híbrido de filosofía y técnica, una *filosofía técnica*. Considerada la cuestión desde este punto de vista, la miseria del teoreticismo estriba en reducir la riqueza y la complejidad del proceder científico a un asunto de mera elaboración conceptual.

A fin de aclarar este punto, permítasenos una consideración acerca de la visión pública de la ciencia. Para representar la idea que tenemos de la ciencia, se podría sugerir la imagen

ción y medición, e indicaciones dispersas que de haber sido desarrolladas podrían haber acelerado el advenimiento de la “era experimental” en filosofía de la ciencia.

<sup>7</sup> Véase la reveladora anécdota que refiere Hacking 1983, pp. 179–180.

siguiente. Podemos considerar la filosofía como una actividad que nos relacionaría con lo *natural*, mientras que la técnica nos relacionaría con lo *fabricado*. Si para avivar el seso se representara esto por medio de un segmento, uno de cuyos extremos fuera la filosofía natural y el otro la técnica, la ciencia caería en un punto intermedio entre ambos. Según se considerara la ciencia como una actividad más teórica se acercaría a la filosofía, pero si se la considerara una actividad más empírica o instrumental estaría cercana a la técnica. Ahora podemos hacer un experimento mental. Algunos de los que hayan leído lo anterior se habrán representado el segmento de forma horizontal y otros de forma vertical. Los primeros habrán tenido en cuenta una cierta equivalencia de rango entre la filosofía y la técnica. Los segundos, quienes hayan situado el segmento de forma vertical en su imaginación, sin duda habrán situado la filosofía arriba y la técnica abajo: la ciencia en sus diferentes manifestaciones representa una *caída* de lo más sublime hacia lo aplicado. La buena ciencia sería la que estaría situada lo más próximo posible al punto superior del segmento, es decir, aquella ciencia que se confundiera con la filosofía. El resto no importa tanto porque es decadencia cognoscitiva. Las teorías científicas puras serían la manifestación más refinada de lo sublime en ese mundo unidimensional.

La imagen que acabamos de sugerir está muy enraizada en la filosofía clásica, en la división entre lo *natural* y lo *fabricado* como dos categorías completamente dispares. Por ello, la metáfora del segmento adolece de un problema básico: alguno pensará que no hay camino posible entre lo natural y lo fabricado, pues pertenecen a dos órdenes de realidad completamente diferentes. Por lo tanto sería una imagen que sólo sirve para desorientar la discusión definitivamente.

Aquí se defenderá que es necesario ver el segmento de manera horizontal, que existe un tránsito entre ambos extremos —es decir, el segmento es continuo—, que no hay mundos separados, y que para tener una idea suficientemente cabal de la ciencia es necesario recorrer todos los puntos del segmento. La ciencia experimental y también la observacional —de manera creciente



desde el telescopio de Galileo— se nutre tanto de la filosofía como de la técnica.

Pero abandonemos ya la imagen ingenua del segmento. Un ejemplo extremo de la tendencia reformuladora del teoreticismo lo dio el mismo Popper en su *Objective Knowledge* de 1972, y ya en su conferencia de 1957. Abundando en la idea de que todo está impregnado de teorías, conjeturas e hipótesis, llegó a defender que nuestra propia constitución biológica puede verse como un inmenso conjunto de hipótesis acumuladas y seleccionadas en el transcurso de la evolución. Esta metáfora tiene obviamente sus virtudes, pero si se emplea para defender la tesis de que todo está preñado de teorías, se cometen abusos evidentes. Naturalmente, a un autor tan agudo como Popper no se le escapaba el enorme abuso lingüístico y conceptual que supone llamar “teoría” a cierta predisposición biológica, producto quizá de la interacción entre una cadena de ADN y múltiples factores físico-químico-biológicos de su entorno.

Así, resulta claro que una crítica que debe hacerse al teoreticismo es la de caer en un uso inflacionario y abusivo del término “teoría” o, alternativamente, sacar demasiado partido de las ambigüedades en el uso corriente de la palabra “hipótesis”. No se gana demasiado al partir de la confusión entre una entidad lingüística (o, si se quiere, modelística o representacional) y un patrón de conducta. Aquí puede ser interesante elaborar un ejemplo del propio Popper, al que volveremos también más adelante. Entre las hipótesis o “expectativas” innatas básicas, según Popper, una de las más importantes es la propensión a buscar regularidades. Esta especie de “ley de causalidad” ínsita es, nos dice, psicológica o genéticamente *a priori*, pero además lógicamente *a priori*, dado que toda observación es selectiva y presupone un punto de vista, un patrón de semejanzas; y que el reconocimiento de semejanzas presupone la expectativa de regularidades.<sup>8</sup>

<sup>8</sup> Popper 1957, pp. 72–74. Cuando se habla de “expectativa”, habitualmente se quiere decir consciente o al menos mental; esto, obviamente, no es a lo que Popper se refiere. Nótese que, al tener en cuenta la equívocidad en el

Al considerar la propensión a percibir regularidades como un correlato (siquiera impreciso) del principio de regularidad o legalidad, se está introduciendo precisamente un sesgo teoreticista, una lectura de la cuestión que obviamente privilegia aspectos teóricos. Resulta difícil atribuirle a un ratón de laboratorio, sometido por ejemplo a una prueba de aprendizaje en una caja de Skinner, la posesión de algún tipo de teoría o hipótesis. Sin embargo, ya en su conducta se encuentran regularidades múltiples, y estas regularidades sólo pueden explicarse como resultado de la percepción de regularidades en el entorno. Obviamente, todas esas regularidades pueden traducirse a términos lingüísticos, pero esto no significa que estén presentes en el animal bajo forma de principios lingüísticos o teóricos. Aquí vendría acordarse del dicho italiano: *traduttore traditore*.

En el caso de un humano, la confusión resulta menos evidente: si por inadvertencia pongo la mano en un quemador caliente, inmediatamente se dispara un acto reflejo y separo la mano. Pero no está justificado —*pace* Descartes y Hume— suponer que mi acto reflejo involucra la consideración de alguna “idea”, ni tampoco —*pace* Fodor— decir que el procesamiento mental involucrado se da en algún formato lingüístico, proposicional.

Otra cuestión que conviene tener en cuenta, pero a la vez diferenciar cuidadosamente, es que en el desarrollo de las teorías científicas se hace cada vez más importante formular en abstracto las presuposiciones de los planteamientos anteriores, con vistas a criticarlas y en su caso superarlas. Esto es precisamente lo que ha sucedido, en el desarrollo de la física, con el principio de causalidad: lo que inicialmente pudo haber sido un esquema implícito, propio de nuestras pautas de percepción y actuación, acabó convirtiéndose en una hipótesis explícita y muy básica, que bien pudiera ser errónea. Que se dé tal proceso de explicitación teórica no implica, en absoluto, que aquella presuposición estuviera presente *ab initio* en la forma de una hipótesis abstracta de alto nivel. Los esquemas causales pueden haber sido una guía de la observación y la experimenta-

empleo de términos como “hipótesis” o “expectativa”, la fuerza del argumento se disuelve, aunque no es éste el aspecto en el que queremos centrarnos.

ción, sin que esto quiera decir que la ciencia ha dependido del *postulado metafísico* de un principio universal de causalidad. Adviértase cómo la tendencia teoreticista ha sido una gran aliada de quienes han resaltado los presupuestos metafísicos de la ciencia.

Independientemente de que nuestras críticas al teoreticismo sean o no aceptadas por el lector, creemos que es imprescindible promover una mayor conciencia de los efectos que tienen sesgos de interpretación como el que venimos señalando. Así, sugeriríamos la conveniencia de realizar el ejercicio de saltar entre formulaciones teoreticistas y formulaciones “desteoretizadas” de una misma situación. En general, ante un proceso cualquiera se trataría de formularlo primero en los términos más abstractos y teóricos que sea posible, y a continuación en los términos más experimentales o instrumentales, esto es, más próximos a la manipulación efectiva de objetos. En el caso de la causalidad, podemos concebirla en términos de un principio universal que rigió en un tiempo la elaboración de hipótesis y teorías, o bien como un esquema o conjunto de esquemas neurales que guían la actuación y la percepción. Del principio de causalidad como hipótesis para la teorización científica, pasamos a los esquemas causales como patrones biológicos en la actividad científica.

El teoreticismo no sólo ha resultado un aliado natural de la lectura metafísica de los presupuestos de la ciencia, sino también —junto al formalismo exagerado— un aliado *malgré lui* de los planteamientos relativistas. Los extremos se tocan, y es sobre todo en este nivel donde cabe hablar de la *miseria* del teoreticismo. No es éste el lugar para desarrollar la cuestión en detalle, de modo que nos reservaremos el tema para mejor ocasión, pero conviene dar al menos alguna indicación. Es bien conocido el empleo que se ha hecho, entre las filas relativistas, de la tesis de la carga teórica de la observación (una tesis que suele plantearse con tanto mayor convicción cuanto más débiles o inexistentes son los argumentos elaborados a su favor). La complicidad entre dicha tesis y los planteamientos de un Popper, pero más aún de su discípulo Lakatos, es evidente; y la tendencia teoreticista

no era menos clara en autores como Hanson o Kuhn, padres de algunas de las versiones fuertes de la tesis de la carga teórica.<sup>9</sup>

Esperamos que los anteriores comentarios, aun siendo muy fragmentarios, hayan servido para que el lector se haga consciente de una serie de presupuestos, tanto de las aproximaciones usuales en filosofía de la ciencia, como de la que se encontrará a continuación. Ello debería bastar para preparar el terreno convenientemente, previniendo diversas objeciones a lo que se dirá luego. Si es así, la presente sección, con todas sus limitaciones y su necesidad de desarrollo, habrá cumplido su objetivo.

## 2. *La función de los instrumentos*

La reducción operada por el teoreticismo tuvo el efecto adicional de establecer la célebre díada teoría/observación como marco general de análisis. Miles de veces se ha dicho que el destino de la ciencia se juega en proposiciones que manifiestan observaciones. Observar la posición de una estrella o el movimiento de la aguja de un aparato de medición. Las elaboraciones teóricas que constituyen el núcleo de la ciencia se juzgarían —ya sea inductiva o deductivamente— a la luz de observaciones (alternativamente, proposiciones básicas). Y mil veces se ha recordado un *dictum* lleno de sentido: el que señala la carga teórica de la observación; pero olvidando otro no menos importante: el que asigna *siempre* una carga experimental a la teoría.

Con ello se olvidaba que —al menos en casos centrales como los de la física, la química y la biología contemporánea— la empresa científica es vacua si se prescinde de su dimensión experimental. Efectivamente, todas esas teorías físicas que fueron el origen tanto del fisicismo como del teoreticismo estuvieron cargadas de experimentación. Desde Gilbert y Galileo en adelante, lo obvio es que la base empírica de la física está formada por resultados experimentales. Para construir esas teorías no hubo que observar sino que experimentar. Releer esos desarrollos en

<sup>9</sup> En cambio, nótese las críticas planteadas por Hacking (1983, cap. 10), críticas que —curiosamente— suelen desatender los que por otros motivos mencionan su libro con admiración.

términos de “hechos de observación” no constituye una interpretación simple del proceso, sino compleja y —precisamente— sesgada por ciertas visiones filosóficas.

Siempre se señala la diferencia entre ambas actividades, observar y experimentar, pero después se olvida en el discurso de la filosofía de la ciencia. Parece que basta decir que son dos actividades diferentes, para después pasar a confundirlas o simplemente abandonar cualquier diferencia y quedarse con lo que el lego entiende mejor: que el científico es un gran observador y que la teoría se juega su destino en una buena observación realizada desde una teoría.

Siguiendo esta línea de crítica, cabe hablar de una *fenomenotecnía* (la expresión es de Bachelard) como base de las ciencias físicas, y no tanto de una fenomenología, como suelen decir los físicos. La diferencia no es meramente lingüística: afecta la idea que se tenga de lo que hay detrás de los fenómenos. En general se juega con dos presuposiciones muy discutibles. La primera: que los fenómenos nos ofrecen una imagen primitiva —en el sentido de primera, de inmediata— de algún aspecto de la naturaleza. La segunda: que esa imagen primitiva es simple y, por lo tanto, aprovechable para la construcción de una “teoría científica”. Pero hay innumerables casos en la historia de la formación de la ciencia que desmienten estas presuposiciones. En primer lugar no es cierto que lo más inmediato, primitivo en el orden de la percepción, sea el elemento más simple que permita la construcción de una explicación. El ejemplo más elocuente de esto sería la dificultad que tuvieron los filósofos experimentales para entender algo tan inmediato como el calor. Las descripciones ilustradas, debidas a Amontons por ejemplo, de un hecho aparentemente tan sencillo como el proceso de calentamiento de una barra de metal a la que se aplica una fuente de calor por uno de sus extremos muestran la dificultad para conceptualizar el calor.

En este caso, lo más inmediato no era lo más simple. Efectivamente, el calor es uno de esos tipos de fenómenos que se entendió mejor, o simplemente se entendió, cuando no se consideró desde un punto de vista “natural”, sino desde una perspec-

tiva “fabricada o tecnológica”. Mientras se pretendió entender el calor desde un punto de vista puramente descriptivo, pareció someterse con facilidad a las diferentes especies de calórico que inventaron los ilustrados para dar cuenta de sus diferentes cualidades. Cuando se intentó entender el calor como “causa” del movimiento, como ocurría en el funcionamiento de las máquinas de vapor estacionarias, los fluidos calóricos naufragaron. En su obra de 1824, el análisis de Sadi Carnot partía del interés por los fenómenos de transformación calor/trabajo, pero centraba su atención en el funcionamiento de las máquinas de vapor y no en los fenómenos de transformación que se pueden encontrar en la naturaleza, como los fenómenos meteorológicos o telúricos.

En este caso, el trabajo de Carnot no partía de un fenomenología, sino de una fenomenotecnia. La base empírica no consistía en un conjunto de situaciones naturales, sino fabricadas. Se ha puesto este ejemplo porque es especialmente elocuente y tal vez porque la máquina de vapor fue un icono de la revolución industrial construido para obtener trabajo a partir del fuego y no para servir de banco de pruebas experimentales. En este caso, lo simple era algo tecnológico y no algo inmediato. Para entender un fenómeno tan natural como un ciclón era necesario estudiar algo tan artificial como una máquina de vapor.

La historia inicial de muchas ramas de la física no fue tanto un asunto de teoría como del control de técnicas experimentales relativas a la fabricación y utilización de instrumentos, como las botellas de Leyden y los pararrayos, de dispositivos tales como la pila, de los aparatos que permitían lograr efectos de conversión entre “fuerzas” físicas diversas, etc. La ciencia del siglo XIX abunda en fenomenotecnias, en casos como el del electromagnetismo, el tratamiento de los gases enrarecidos, la físico-química, y lo mismo sucede en muchas otras disciplinas. Lo tecnológico fue base general de trabajo que alejó al trabajo científico de lo natural, al menos en el punto de partida. Los “objetos” de la ciencia no tuvieron que ver con aspectos inmediatos del mundo natural, sino con sofisticadas construcciones técnicas.

## 2.1. Una tipología de experimentos

En el siglo XVIII, los comerciantes de instrumentos científicos ofrecían instrumentos de tres clases: “matemáticos”, ópticos y “filosóficos”. Esta clasificación no deja de resultarnos exótica por estar muy alejada en el tiempo, y tiene algo de oportunista,<sup>10</sup> pero a pesar de todo sugiere ideas importantes. Yendo directamente al grano, los instrumentos matemáticos son los que permiten registrar mediciones cuantitativas precisas, prolongando de este modo la tradición de los viejos instrumentos astronómicos (cuadrantes, astrolabios, etc.). Los instrumentos “filosóficos” deben su nombre a que eran los que colocaban la “filosofía natural” ante fenómenos novedosos, ante efectos cualitativamente nuevos: el barómetro, la bomba de vacío, etc. Es fundamental recordar que, durante muchas décadas, los instrumentos filosóficos no sirvieron para realizar mediciones precisas. El telescopio mismo sólo pasó a desempeñar una función “matemática” clara y sistemática tras quince décadas, en la segunda mitad del siglo XVIII.

No hay nada intrínseco en el diseño de un instrumento que lo determine a ser “filosófico” y le impida ser “matemático”. Habitualmente —y esto caracteriza a toda la ciencia moderna y contemporánea— la historia del instrumento lo lleva de ser un productor de nuevos efectos, al estadio de medidor preciso. Los barómetros y los termómetros tuvieron que ser objeto de estudio cualitativo durante un largo periodo, hasta que se obtuvo una comprensión razonablemente adecuada de los fenómenos que registraban, de sus características como instrumentos y de sus posibles usos. Sólo entonces fue posible emplearlos para la medición y transformarlos en artefactos cada vez más precisos. Si tenemos esto en cuenta, la distinción se debe trazar entre experimentos más que entre instrumentos. A fin de cuentas, los

<sup>10</sup> La segunda clase se diferencia de las otras sólo por la importancia que de hecho tenía en el tráfico comercial de aquella época; por lo demás, instrumentos ópticos como el telescopio y el microscopio, los más importantes del momento, eran “filosóficos”. Sobre la clasificación y su origen, véase el trabajo de Bennett en Gooding, Pinch y Schaffer 1989.

comerciantes del siglo XVIII nos sugieren la conveniencia de distinguir entre *experimentos cualitativos y cuantitativos*.

¿Qué tiene esto de novedoso? No mucho, pero lo cierto es que corrige un notable malentendido promovido por varias generaciones de científicos y filósofos, en la estela del positivismo decimonónico. Las versiones simplificadas del método científico que entonces comenzaron a circular (ya fueran inductivistas o deductivistas) sugerían que todo el proceso de elaboración de teorías científicas comienza con *mediciones y datos cuantitativos* precisos. Esta imagen simplista de la metodología borraba del mapa la experimentación cualitativa, hasta el punto de que, hace cuarenta años, Kuhn sintió la necesidad de dedicar un largo artículo a revisar y cuestionar la idea recibida del papel de la medición en la ciencia.<sup>11</sup> Piénsese en lo mucho que esta vieja idea ha determinado la evolución de ciencias humanas y sociales, como la psicología y la sociología, que a menudo han buscado en la “magia de los números” su legitimidad como ciencia; daba igual que no se supiera qué era lo que se estaba midiendo.

Tal como lo defendió Kuhn, pocas veces las mediciones precisas desempeñan un papel crucial en el descubrimiento de leyes científicas o incluso en la contrastación de teorías. Es frecuente que adopten este papel sólo *a posteriori*, a results de un cambio revolucionario: un caso ejemplar de ello es el experimento de Michelson-Morley y la relatividad especial.<sup>12</sup> Pero, en su artículo, Kuhn apenas hablaba de los experimentos cualitativos. Desde nuestro punto de vista, el haberlos ignorado ha tenido un profundo efecto en la filosofía de la ciencia, solidario de la negativa influencia del teoreticismo. Y es que, al menos en el caso de la física, los experimentos cualitativos han sido una parte fundamental de los *procesos de formación de conceptos* (parte indispensable de los procesos de formación de datos).

El tema tiene la suficiente importancia como para reclamar un análisis detallado, y por desgracia no tenemos aquí lugar pa-

<sup>11</sup> Kuhn 1961. Véase también otro importante capítulo de *La tensión esencial*, el III sobre “La tradición matemática y la tradición experimental en el desarrollo de la física”.

<sup>12</sup> Véase Hacking 1983, pp. 282–289.



ra ello. Reservándonos una discusión pausada para otra ocasión, mencionaremos sólo algunos ejemplos tomados de dos importantes ramas de la física. La distinción entre calor y temperatura, como también la distinción entre calor latente y calor específico, no fueron el producto de ninguna elaboración de hipótesis en el vacío. Por el contrario, fueron ante todo el resultado de largas y delicadas series de experimentos cualitativos. Sólo después de haber establecido distinciones como éstas fue posible tener una comprensión inicial de lo que hacía un termómetro, a partir de la cual fue convertido en instrumento de precisión. Sólo después de haber acuñado esos conceptos fue posible elaborar hipótesis teóricas en el campo de la teoría del calor y proceder a la matematización de esta rama de la física. Estamos en el mundo de la *carga experimental* de los conceptos teóricos.

El otro ejemplo es todavía más llamativo, porque tiene que ver directamente con el nacimiento de la física de campos contemporánea. Los experimentos cualitativos en electromagnetismo desempeñaron, desde el primer resultado de Oersted en 1820, un papel fundamental en la elaboración de nociones como las de línea de fuerza y campo. Aquí las hipótesis atrevidas —vistas retrospectivamente— resultaron ser más bien un estorbo que una ayuda: Ampère y Weber intentaban ofrecer una teoría ortodoxa, laplaciano-newtoniana, de estos fenómenos, recurriendo a fuerzas centrales de acción a distancia. Mientras tanto, quienes dieron la pista del camino que llevaría a la física de campos fueron individuos como el propio Oersted y sobre todo Faraday, científicos que trabajaron de una manera más intuitiva y directa, modelando sus concepciones según algunos rasgos fenomenológicos (o fenomenotécnicos) que sugerían directamente los experimentos que realizaron. (Naturalmente, no queremos decir con esto que la noción de campo maxwelliana fuera un producto directo de los resultados experimentales, sino sólo que algunos rasgos característicos suyos fueron sugeridos por los experimentos. En particular, buena parte de los rasgos geométricos de la noción de campo resultaron de la experiencia, aunque el concepto final vino

codeterminado por hipótesis matemáticas y propiamente físicas.)<sup>13</sup>

Hay otra distinción fundamental que puede trazarse a propósito de una tipología de experimentos. La imagen tradicional, que se encuentra en autores como Popper (1935, pp. 101–103) y todavía en van Fraassen (1980, pp. 98–100), es la de que sólo cabe realizar experimentos a la luz de las preguntas y los conceptos determinados por una teoría. Frente a esto, Hacking y Franklin<sup>14</sup> han resaltado una y otra vez que la experimentación puede tener una vida propia, independiente de la teoría. El tema vuelve a encontrarse, tematizado muy explícitamente, en los trabajos de Steinle sobre las prácticas experimentales de Ampère y Faraday.<sup>15</sup> En una palabra, se debe diferenciar entre experimentación *exploratoria* y *guiada* (por una o más teorías). Si la tradición filosófica sólo tuvo en cuenta la experimentación guiada, se debió en buena medida a su tendencia a reflexionar sobre ramas de la ciencia completamente desarrolladas. Y es que la experimentación exploratoria se encuentra principalmente en las primeras fases de desarrollo de una ciencia, cuando se está muy lejos de conceptos y principios teóricos bien desarrollados y adecuados. Pero esto no quiere decir que semejante experimentación sea poco importante desde el punto de vista epistemológico: antes al contrario.

Siempre que se encuentra un nuevo dispositivo experimental, y más aún cuando se inventa algún nuevo instrumento, tiene lugar una intensa actividad de carácter exploratorio. Se trata simplemente de *probar* lo que puede hacerse con el nuevo experimento o dispositivo, de variar las circunstancias imaginativamente y ver qué pasa. Un ejemplo simple nos lo daría el estudio primitivo de la electricidad: una vez comprendido el fenómeno de la conducción eléctrica, quienes se interesaron por él realizaron múltiples pruebas con todo tipo de materiales

<sup>13</sup> El caso de la introducción de las líneas de fuerza por parte de Faraday resulta más claro por ser más elemental: no hay en él una combinación tan compleja de elementos experimentales, hipotéticos y matemáticos. Véase, por ejemplo, el trabajo de Gooding en Gooding, Pinch y Schaffer 1989.

<sup>14</sup> Véanse Franklin 2002, y Hacking 1983, cap. 9.

<sup>15</sup> Véase Steinle 2002.

a mano; un resultado inevitable de este juego exploratorio fue la distinción entre materiales conductores y no conductores.<sup>16</sup> En diversos trabajos, Steinle ha analizado los desarrollos exploratorios que diversos científicos dieron al descubrimiento por parte de Oersted del fenómeno electromagnético. Su dispositivo experimental sumamente simple —una aguja imantada, una batería y un hilo conductor— fue transformado y variado de cien maneras. Pero lo verdaderamente importante es la contribución que la exploración experimental realiza al desarrollo de nuevos conceptos. Sin ir más lejos, la simple variación del lugar de la aguja con respecto al hilo hizo patente que el efecto electromagnético parecía distribuirse circularmente en torno al hilo, lo cual planteaba graves dificultades al enfoque Newton-Laplace de fuerzas centrales, y en cambio conectaba directamente con ciertos aspectos geométricos de los conceptos de línea de fuerza y campo. Nótese, además, que para este resultado no es necesaria una cuantificación y medición precisa.

Frente a ello, la experimentación guiada emplea diseños experimentales cuidadosamente previstos en función de las teorías relevantes. Experimentos como los de Foucault en el siglo XIX son ejemplos característicos de este modo de proceder, y en general los experimentos que implican mediciones de alta precisión —que a menudo son tomados (sesgadamente) como prototipo de la experimentación en general—, son fruto de la experimentación guiada. Pero hay que introducir dos precisiones: en primer lugar, las relaciones entre teoría y experimento son de múltiples tipos, lo que conlleva que la categoría de “experimentación guiada” —pese a su utilidad— resulte todavía demasiado burda; en segundo, y se trata de un matiz importante, habitualmente toda investigación experimental (nos referimos a una *serie* de experimentos ligados) incluye una buena dosis de trabajo exploratorio, es decir, probablemente convendría considerar lo exploratorio y lo guiado como dos fases interactivas de la investigación experimental.

<sup>16</sup> El trabajo clásico sobre las etapas iniciales de los estudios eléctricos es Heilbron 1979.

Las dos distinciones que hemos planteado conducen, al cruzarlas, a una clasificación cuatripartita de los tipos de experimentos. De hecho, es posible encontrar ejemplos de cada uno de los cuatro tipos. Experimentos hacia los que llamó la atención Hacking, como los de Davy con el gas emitido por algas subacuáticas y los realizados por Bartholin con espato de Islandia, son buenos ejemplos de experimentación cualitativa exploratoria.<sup>17</sup> El célebre experimento de Oersted, en el que estableció el efecto electromagnético, nos da un ejemplo de experimentación cualitativa guiada —y de hecho guiada por una teoría atípica, una doctrina dinámica de las fuerzas físicas inspirada en Kant y Schelling.<sup>18</sup> Para ejemplos de experimentación cuantitativa exploratoria, véanse los casos estudiados por Steinle 2002, o la enorme cantidad de ejemplos ofrecidos por el desarrollo de las investigaciones espectroscópicas en la segunda mitad del siglo XIX, investigaciones que produjeron una inmensa cantidad de datos precisos, inexplicables entonces.<sup>19</sup> Por fin, el caso de la experimentación cuantitativa guiada es casi el único sobre el que han reflexionado tradicionalmente los filósofos de la ciencia, y aquí se encuentran ejemplos tan conocidos como los experimentos de Millikan sobre la carga del electrón, o las expediciones francesas del siglo XVIII para medir la constante  $G$  newtoniana.

<sup>17</sup> Véase Hacking 1983, pp. 180–184. Bartholin advirtió en 1669 que los cristales de espato (calcita) traídos de Islandia producían una doble refracción: un texto se veía doble al observarlo a través del cristal. (Nótese que los experimentos cualitativos pueden conducir naturalmente a experimentación cuantitativa.)

<sup>18</sup> Si hemos de creer a Oersted, su descubrimiento no fue en absoluto un caso de serendipia, como a menudo se lo presenta. Véase Snelders 1990 y los artículos correspondientes en Oersted 1998.

<sup>19</sup> McGucken 1969. Cabría considerar además el caso de Galileo con sus planos inclinados, pero aquí lo que tenemos más bien son experimentos cuantitativos guiados por una teoría absolutamente errónea, y las dificultades subsiguientes para reconcebir los fenómenos de modo acorde con los datos. Hay una presentación elemental en Drake 1980, pp. 58–63, y debe verse también Galileo 1638, jornada tercera.

### 3. *La estructura del experimento*

En la forma de hablar tradicional acerca de los datos y los resultados experimentales, éstos aparecen como elementos listos para su uso que surgen de algún tipo de caja negra.<sup>20</sup> Las posibles complejidades estructurales y dinámicas del *modus operandi* de esa caja negra, lo que hemos llamado los “procesos de formación de datos”, no entran en consideración. Sin embargo, es de todos sabido que los sociólogos de la ciencia se han dedicado con pasión —y no sin ciertos sesgos— a abrir y diseccionar las cajas negras de la ciencia. Comenzaremos aquí con lo que Pickering (1989) entiende que son generalidades incontrovertidas acerca de los elementos estructurales que están presentes en la práctica experimental.

De acuerdo con Pickering, en la producción de cualquier resultado experimental entran en juego tres elementos: un procedimiento material, un modelo instrumental, y un modelo fenoménico. El *procedimiento material* es el complejo de acciones realizadas en el mundo material: disponer los aparatos y hacerlos funcionar adecuadamente (esto es, ponerlos en marcha y controlar su funcionamiento). El *modelo instrumental* expresa la comprensión conceptual del funcionamiento del aparato por parte del experimentador; suele ser central para el diseño, la realización y la interpretación del experimento. El tercer elemento o *modelo fenoménico* cifra la comprensión conceptual de los aspectos del mundo fenoménico que están siendo estudiados por parte del experimentador; sin él, los resultados carecerían de sentido y significación, y no podrían ser interpretados.<sup>21</sup>

Por poner un ejemplo, en los famosos experimentos de Newton sobre la composición de la luz empleando prismas, los tres elementos anteriores tomarían la forma que sigue. El procedimiento material incluye los prismas (de cristal de un tipo u

<sup>20</sup> Naturalmente, la idea más tradicional es que se trataba de una “caja blanca”, un proceso transparente de recepción de impresiones o una disposición automática a formular proposiciones básicas.

<sup>21</sup> Pickering 1989, pp. 276–277. El autor advierte que los modelos fenoménicos no tienen por qué ser identificados con teorías de alto nivel; cabría recordar aquí las “taxonomías” de la obra tardía de Kuhn.

otro, o rellenos de agua), las pantallas empleadas, procedimientos para modificar la luz incidente que van desde los simples agujeros (de varios tipos) en un postigo a las lentes utilizadas para modificar la luz incidente colimándola, etc. El modelo fenoménico se expresaría en términos de conceptos antecedentes que provienen de la anterior generación de teorías sobre la luz —la óptica geométrica—, y concretamente se trata de la noción de rayo de luz y su comportamiento al sufrir reflexiones o refracciones (el modelo asume además las idealizaciones propias de la óptica geométrica, como es desprestigiar el hecho de que las sombras tienen bordes difusos). El modelo instrumental se edifica principalmente sobre una interpretación del procedimiento material en términos de óptica geométrica, pero incluye —y esto fue muy importante históricamente— suposiciones sustantivas sobre el modo en que operan diversos tipos de prismas.

Volviendo a Pickering, en su opinión, lo más importante es que la actividad experimental comienza de tal modo que *no hay* ninguna relación aparente entre los tres elementos mencionados: “la incoherencia y la incertidumbre son los sellos distintivos del experimento, tal como se hace notar en los estudios etnográficos de la vida en el laboratorio”. Al final del proceso, se obtiene una coherencia entre los tres elementos, una estabilización: “los procedimientos materiales, [...] al ser interpretados merced a un modelo instrumental, producen hechos dentro del marco de un modelo fenoménico”.<sup>22</sup> Mas, según Pickering, semejante resultado no es trivial en absoluto. El análisis de los procesos de estabilización interactiva entre los tres elementos constituye lo que, en la perspectiva de Pickering, se correspondería con nuestra *dinámica de la experimentación* (véase, más adelante, la sección 4). Cualquier conclusión que extraigamos acerca de la actividad experimental —por ejemplo, y en su caso, acerca de su relevancia epistemológica, o acerca de su dependencia de factores contextuales— dependerá obviamente de las características atribuidas a los tres ingredientes estructurales, tanto en lo relativo a las propiedades de cada uno de ellos como en lo que respecta a sus relaciones.

<sup>22</sup> Pickering 1989, pp. 277–278.

La imagen más habitual acerca de la experimentación es que el procedimiento material y el modelo instrumental permanecen fijos a través del proceso experimental: sus rasgos serían fijos y relativamente naturales, incontrovertidos para los miembros de la comunidad científica y, por tanto, no alterables. Frente a ello, el modelo fenoménico sería más plástico, como puede advertirse en el caso típico de la determinación experimental de algún parámetro teórico previamente desconocido (por ejemplo, una constante física): como resultado del experimento, el modelo fenoménico es refinado, acomodado y especificado con mayor precisión. En abierto contraste con esta imagen, Pickering estudia el caso de lo que él llama “la caza del quark”, concretamente a través de los experimentos realizados por el italiano Morpurgo durante más de quince años. Morpurgo basó su actividad, precisamente, en una clara falta de flexibilidad con respecto a los modelos fenoménicos: sólo admitía dos en particular. Entre tanto, en el desarrollo de sus investigaciones trató al procedimiento material y el modelo instrumental como *recursos plásticos* que, lejos de estar fijados y determinados de antemano, era posible moldear a voluntad hasta lograr un resultado final de coherencia.<sup>23</sup> Pickering concluye que los tres ingredientes estructurales son igualmente plásticos, y defiende que la misma conclusión se desprende de otros estudios de caso detallados, como los de Collins sobre la búsqueda de ondas gravitacionales.<sup>24</sup>

En este punto conviene insertar una apreciación histórica que no debería tratarse a la ligera. Se trata simplemente de que lo válido para las ciencias de laboratorio de hoy no necesariamente se aplica a la experimentación de hace 150 o de hace 300 años. Si extendemos por principio unos resultados a otros casos, se deberá a la creencia en una “esencia atemporal” de la experimentación, que haría que los experimentos ópticos de Newton hace 300 años, los electromagnéticos de Ampère o Faraday hace más de 150, y los de Morpurgo hace veinte fueran, automá-

<sup>23</sup> Sobre la caza del quark, puede verse también el cap. 3 del reciente tratado de Pickering 1995.

<sup>24</sup> Para una discusión y cuestionamiento de detalles de los estudios de caso aportados por Collins y Pickering, véase el trabajo de Franklin 2002.

ticamente, casos de “lo mismo”. Esto equivaldría a desatender, por una decisión de principio, la posible —y, recalcaríamos, más que probable— *diversidad* de las actividades experimentales. Naturalmente, esta diversidad no excluiría la posible existencia de elementos comunes relevantes.

Entre los tres casos recién mencionados hay diferencias muy notables. El célebre *experimentum crucis* de Newton sobre la composición de la luz y la refracción diferencial de los colores fue objeto de contestación a lo largo de unos cincuenta años, principalmente —aunque no sólo— por la dificultad de reproducir sus resultados derivada del empleo de prismas de diversos tipos de cristal.<sup>25</sup> Una lectura rápida, pero quizá apresurada, del proceso sugiere que los prismas de “buen” cristal eran los que daban —como decía Newton— rayos “simples”, esto es, los que permitían obtener los resultados de Newton en el experimento. Esto constituye una ilustración clara de lo que Collins llama el “regreso del experimentador”, y que en buena lógica cabría llamar el *círculo vicioso* experimental: el resultado correcto sólo se obtiene empleando un aparato que funcione apropiadamente, y el aparato funciona apropiadamente sólo si da los resultados correctos.

El caso de Newton nos sitúa frente a las complejidades propias de una fase muy incipiente de la tradición experimental, en la que ésta se basaba en procesos artesanales. Nos recuerda, además, y se trata de un fenómeno habitual, que los conocimientos técnicos requeridos para obtener ciertos resultados experimentales no siempre están asentados con anterioridad al proceso de formación de los datos, esto es, a la investigación experimental en la que se elaboran dichos resultados.

Los experimentos de Ampère y de Faraday, pese a todas las diferencias que guardan entre sí, comparten una cantidad importante de características. Por un lado, nos encontramos relativamente cerca de Newton, en la medida en que se trata de experimentos *de sobremesa*, muy alejados de los procesos experimentales de enorme componente tecnológica que caracteriza-

<sup>25</sup> Véase el trabajo de Schaffer, “Glass Works” (1989).



ron a la ciencia del siglo XX.<sup>26</sup> Por otro, la situación es diferente en la medida en que los propios fenómenos analizados por el electromagnetismo —no sólo los instrumentos de laboratorio— no se encuentran como tales en nuestro medio ambiente natural. Pero hay otra diferencia, especialmente importante aquí, y es que los procesos técnicos en que se basaron los iniciadores del electromagnetismo son bien distintos de los newtonianos, ya que ahora estamos en el contexto de la primera revolución industrial, y disponemos de procedimientos mecanizados y fácilmente reproducibles que permiten lograr una *estandarización* en todos los niveles de la práctica experimental. Quizá fue ésta la época en la cual los resultados experimentales de la física gozaron de una mayor fiabilidad, lo que sugiere la intrigante pregunta de si la misma sofisticación inherente a actividades experimentales como las de la física de altas energías, las de Morpurgo, etc., no entraña quizá peligros del tipo señalado por Pickering y otros. Para concretar esta idea, pensemos en un aspecto particular de lo que hemos señalado. El experimentador electromagnético del tiempo de Faraday tiene fácil acceso a toda la gama de fenómenos de diversos tipos que son producto de sus actividades en el laboratorio; en cambio, el acceso del físico de partículas a los *eventos* que le interesan es necesariamente indirecto, ya que está mediatizado por los aparatos de registro controlados por programas de ordenador diseñados por el propio grupo científico.<sup>27</sup>

Para apreciar y estar en situación de analizar todas estas sutilezas de las prácticas experimentales, su nivel de complejidad y su evolución, puede ser necesario utilizar un patrón de análisis de la estructura del experimento más detallado que el que hemos ofrecido aquí. Hacking (1992) realizó una labor interesante a este respecto, indicando hasta quince elementos diferenciables que pueden integrar la estructura de un experimento, a los cuales agrupaba en tres categorías: “ideas”, “cosas” y “marcas o

<sup>26</sup> Éste es un aspecto que se enfatiza en la compilación de Buchwald 1995, y también en el artículo Buchwald 2002.

<sup>27</sup> Véase Velasco 2002.

inscripciones”. Remitimos al lector a su artículo, ya que a los efectos de este trabajo resulta suficiente con lo expuesto.

#### 4. *Dinámica de la experimentación*

En este punto se juegan las conclusiones clave respecto a la fiabilidad de los resultados experimentales, y por tanto la fiabilidad de toda la empresa científica. Se debe notar que el tema en disputa no es ya la “construcción social” de los resultados, idea que parece superada, con menor o mayor claridad, incluso por una parte importante de los partidarios radicales de los enfoques sociales. Los temas debatidos hoy son, sobre todo, el ya mencionado de la plasticidad —uniforme o no— de todos los elementos estructurales (Pickering 1995), que viene a ser equivalente a la tesis de la autojustificación de las ciencias de laboratorio;<sup>28</sup> y la cuestión de la fiabilidad epistémica de los resultados experimentales, frente a su posible carácter circular (Collins 1975; 1992).

La discusión que ofrecemos aquí, pese a nuestros esfuerzos, no puede considerarse completa. Esto resulta natural teniendo en cuenta que se trata, como ya hemos dicho, del principal problema abierto. Faltan todavía muchos elementos de juicio, muchos estudios de caso y muchas clarificaciones. A este respecto, es llamativo que, cuando se revisa la bibliografía histórica y filosófica, hay una notable ausencia de información acerca de los aspectos de la investigación científica que interesan a los efectos de un estudio como el presente. En cuanto a los estudios de caso realizados por sociólogos, hay que decir que gran parte de ellos son incompletos, y que buena parte están además sesgados.

Como decíamos al comienzo, al defender la idea de la relativa autonomía de la fase experimental nos movemos contra tendencias propias de la filosofía de la ciencia tradicional. Y conviene tener en cuenta que los resabios de dichas tendencias pueden persistir, aun en el caso de que comience a trabajarse en la línea de una filosofía de la experimentación. A este respecto, nos

<sup>28</sup> Presentado por Hacking 1992 como una “tesis de Duhem” expandida.

gustaría matizar un detalle importante en el trabajo de Franklin (2002). En él se dice que un resultado experimental “es válido” cuando “se ha argumentado” a su favor en formas correctas, empleando al menos alguna de las nueve estrategias discutidas en su artículo. Esto puede ser una descripción neutra correcta de lo que a fin de cuentas sucede, pero fácilmente conduce a un malentendido. Al decir que la validez depende de argumentos, parece abonar el terreno para una reducción de la experimentación a algo dependiente de la argumentación. Frente a esto, interesa, y mucho, resaltar que buena parte de los criterios de validez experimental son *intrínsecos* a la experimentación, y en este sentido son autónomos.

Estamos otra vez ante una variante de lo ya señalado cuando discutíamos el teoreticismo: todo se puede expresar lingüísticamente (a veces con grandes dificultades y limitaciones),<sup>29</sup> pero esto no significa que todo sea lingüístico; de todo se puede argumentar, pero no todo es de naturaleza argumentativa. En una palabra, la dinámica de la fase experimental está determinada (parcialmente) por restricciones peculiares. Éste es un aspecto que ya en 1983 resaltó Hacking con una radicalidad que probablemente mejora lo que encontramos en muchos otros trabajos. Entre las restricciones más importantes están las siguientes:

1. La convergencia entre resultados o representaciones de tipos —esto es, orígenes instrumentales y procedimentales— diversos;
2. la coherencia entre la intervención planificada y las representaciones resultantes;
3. lo que en lenguaje ingenuo llamaríamos “rasgos objetivos” de los resultados: regularidades en movimientos observados, indicios de entidades con propiedades constantes, etcétera.

La presencia de estos rasgos en los resultados de una serie de experimentos sugiere la fiabilidad de los mismos; es decir, se

<sup>29</sup> No debe olvidarse la cuestión del conocimiento tácito, inarticulado, que enfatiza Buchwald 2002.

trata de criterios experimentales, operacionales, de validez. Así, la presencia de rasgos como los indicados en (3) tiene el efecto de promover una interpretación de los resultados como algo no artificial. En la subsección siguiente veremos un ejemplo clásico de la aparición de (1) y (2), pero tenemos que renunciar aquí a una discusión más detallada de esas restricciones.<sup>30</sup>

#### 4.1. Del *círculo* del experimentador, a la *hélice* de la investigación experimental

Ya hemos mencionado el célebre “regreso” del experimentador, un tipo de *círculo vicioso* del que habló Collins. Su formulación se resume en lo siguiente: resultado válido es el producido por instrumental que funciona adecuadamente; instrumental que funciona adecuadamente es el que produce resultados válidos. Collins pone como arquetipo el caso de los experimentos de J. Weber sobre ondas gravitacionales,<sup>31</sup> y afirma que “no existen criterios formales” que puedan aplicarse para decidir si el instrumental está funcionando adecuadamente. Esta afirmación merece que nos detengamos un poco. ¿No está Collins planteando la cuestión directamente en el plano de lo argumentativo, y además restringida a argumentos formales? Téngase en cuenta que si la experimentación goza de una relativa autonomía frente a la teorización (vale decir, lo argumentativo), entonces *ipso facto* entran en juego factores que no pueden reducirse a criterios formales, no sin arbitrariedad y sin que se produzca un empobrecimiento en nuestra imagen del proceso. En una palabra, Collins está sacando muy buen partido de los postulados teoreticistas habituales, con el fin de argumentar a favor de un punto de vista que se sitúa en el extremo opuesto.<sup>32</sup>

Naturalmente, la respuesta que acabamos de dar podría resultar paradójica para muchos lectores. La imagen heredada del

<sup>30</sup> Para ello puede verse la discusión de Franklin 2002 sobre estrategias experimentales.

<sup>31</sup> Véase Collins 1975, Collins 1992 y Franklin 2002.

<sup>32</sup> Algo parecido sucede en muchas otras contribuciones de la sociología de la ciencia. Un trabajo clásico que cabe citar a este respecto es el de Barnes y Bloor 1982.

conocimiento y de su racionalidad parece exigir la existencia de criterios de verdad o de corrección del conocimiento, en el sentido de criterios formales. Nosotros no estamos negando la existencia de criterios formales para la corrección de los argumentos empleados por los científicos, sino sólo previniendo que dichos criterios no alcanzan a determinar todos los ámbitos relevantes para el conocimiento científico. Aún así, nuestra propuesta parecerá a algunos una llamada al irracionalismo. Y, sin embargo, se da la paradoja de que el “irracionalismo” que proponemos parece más admisible —si hacemos abstracción de colocarle etiquetas— que el sociologismo a que nos conduce la adhesión de Collins al “racionalismo” tradicional.

Al lector informado en filosofía, en cambio, lo que proponemos le resultará algo familiar: a fin de cuentas, los esfuerzos por replantear aquella imagen heredada del conocimiento fueron reiterados en la filosofía del siglo XX, y en filosofía de la ciencia resultan habituales al menos desde los tiempos de Kuhn. Pero estas contribuciones filosóficas son poco conocidas fuera (¡y a veces aún dentro!) de las fronteras de los epistemólogos profesionales. No podemos entrar aquí en una discusión sobre el problema de fondo, pero sí es posible decir brevemente que para ciertas corrientes filosóficas —en particular el pragmatismo clásico— la misma dualidad “racionalismo / irracionalismo” está mal planteada. En todo caso, debe quedar claro que aquí se está planteando un problema filosófico de fondo, un problema que está claramente abierto. Nuestras consideraciones sobre la experimentación no deberían supeditarse a preconcepciones y prejuicios transmitidos. Sería una hipoteca demasiado gravosa, cuando parece mucho más prometedor el planteamiento inverso: la apuesta por los estudios sobre el conocimiento científico como vía para lograr clarificaciones respecto a la naturaleza del conocimiento.

Volvamos, pues, al círculo vicioso que señaló Collins. Veremos, discutiendo un caso particular, cómo —para emplear una metáfora geométrica— es posible romper un círculo para convertirlo en hélice. Observado con prisas y desde cierto ángulo, un helicoide puede parecernos un círculo; pero mientras que los

círculos son fundamentalmente retrógrados, porque nos devuelven una y otra vez al punto de partida, las hélices progresan al ascender de un plano a otro.<sup>33</sup> En lugar de considerar un sofisticado ejemplo del siglo XX, nos fijaremos una vez más en la polémica en torno a los experimentos con prismas de Newton, que se prolongó durante unos cincuenta años y que parece un candidato absolutamente natural a ilustrar el “regreso” de Collins.<sup>34</sup>

En buena medida, la polémica que se suscitó en torno al *experimentum crucis* de Newton fue causada por él mismo, por lo que podríamos llamar un “error de juventud” en su estrategia argumentativa, motivado por su inexperiencia en física y su experiencia con las matemáticas. Al redactar su primer artículo de filosofía natural, Newton creyó que la cuestión podía resolverse con brevedad y total precisión escribiendo en un estilo bastante matemático. Una sucinta y bien planeada sucesión de “demostraciones” experimentales, acompañada de una serie de definiciones y proposiciones, debía bastar para convencer a los lectores. A consecuencia de ello, el famoso experimento de los dos prismas llegó a ser denominado “experimento crucial” y a soportar la carga de la prueba (en contra de la teoría de la modificación de la luz blanca por el prisma, y a favor de la doctrina de la composición de la luz blanca por rayos de diferentes refrangibilidades y colores). Es notable, sin embargo, que las investigaciones de Newton abarcaron una larga serie de experimentos de una amplia variedad y cuidadosamente diseñados.<sup>35</sup> También la comunidad científica de su tiempo necesitó una amplia variedad de experimentos, y no uno único —por muy crucial que se le antojara a Newton— para aceptar su conclusión principal.

<sup>33</sup> Esta imagen de la investigación científica presenta connotaciones progresivas y acumulativas, pero téngase en cuenta que nuestras consideraciones son de nivel local: no prejuzgan lo que pueda suceder en el desarrollo global de una disciplina científica.

<sup>34</sup> Como tal es presentado por Schaffer 1989.

<sup>35</sup> Un resumen breve y preciso puede encontrarse en la obra de Westall 1980, pp. 156–175, 211–222, 237–252.

El propio Newton aprendió bien la lección a través de las polémicas de los años 1670, que subjetivamente le resultaron tan desagradables. De ahí que la *Opticks* se pareciera mucho más a sus lecciones universitarias de 1670–1672 que a su célebre y polémico artículo, en lo relativo a la cantidad y variedad de experimentos reportados. Nótese que mientras que en el artículo de 1672 la proposición clave —que la luz solar consta de rayos de diferente refrangibilidad— se basa sólo en dos experimentos, en la *Óptica* de 1704 se funda sobre diez experimentos.<sup>36</sup> Los experimentos de 1672 eran aquel simplísimo experimento de la imagen oblonga, respecto al cual Newton ofrece toda una serie de variaciones, y el *experimentum crucis*, del que da una versión única y que se pretende definitiva.

Los dos experimentos que dio a conocer en 1672 resultaron difíciles de reproducir. Como es bien sabido, el motivo principal de ello estaba en que los prismas empleados diferían mucho (por su composición cristalina) de unos lugares y experimentadores a otros. La imagen oblonga que Newton obtenía en Cambridge se alargaba en un factor de 5, mientras la obtenida por Anthony Lucas en Lieja se alargaba sólo en un factor de 3. Newton se tomó muy a pecho esta discrepancia, que a su entender suponía una afrenta a su honestidad de caballero y a su fiabilidad como informante de fenómenos físicos. No sólo se trataba de esto, sino de que la discrepancia era importante en el contexto de descartar explicaciones alternativas del resultado, empleando para ello la ley de refracción de Snell. Por eso Newton sintió la imperiosa necesidad de atacar a su adversario hasta anularlo, sin darse cuenta, en su obcecación, de que estaba ante un problema real.

Otro motivo de dificultades estaba en lo que podemos llamar —siguiendo a Hempel— los “principios puente” necesarios para la teoría de Newton: en la distancia que separa el rayo simple del que habla la teoría de la óptica geométrica, del haz concreto que el experimentador podía aislar. Hacia 1680, Edme Mariotte reproducía el supuesto *experimentum crucis* y encontraba resultados que le parecían contradecir e incluso refutar a Newton:

<sup>36</sup> Compárese la exposición en Newton 1672 con la que se encuentra en 1704, pp. 32–62.

el haz violeta que lograba aislar arrojaba, tras la segunda refracción, una imagen en la que se mezclaban los colores rojo y amarillo.<sup>37</sup> Lo que el inglés consideraba una comprensible imperfección de la disposición experimental, al empírico francés le parecía un clarísimo resultado en contra y una vindicación de la vieja teoría de la modificación. Era “evidente” que en el experimento se había modificado el color de un rayo “simple”. Dada la gran reputación de Mariotte como experimentador, esto supuso un largo retraso —casi cuarenta años— para la aceptación de la teoría de Newton en Francia y otros lugares.

Estos incidentes muestran las dificultades que encontraba la investigación científica en su infancia, y nos hacen preguntarnos cómo fue posible que —con todas esas dificultades materiales y técnicas, con esa falta de protocolos experimentales y de preparación de los *savants*— se diera un avance claro. Y, sin duda, quien busque en los artículos y cartas encontrará todo tipo de elementos retóricos, que pueden utilizarse en favor de la conclusión de que la disputa era imposible de cerrar, de que el círculo vicioso de Collins estaba en acción, y de que sólo las operaciones político-diplomáticas del viejo Newton (hacia 1715) permitieron el cierre de la controversia. Un caso claro de negociación y construcción social, al parecer.

¿Es esto así? ¿Existían elementos que permitieran *romper* el círculo vicioso? Creemos que sí, que esos elementos fueron elaborados por el propio Newton ya en sus investigaciones originales del periodo 1666–1670, y que fueron puestos a disposición del público sobre todo en la *Óptica*. Es esencial tener en cuenta que los procesos de formación de datos no son automáticos ni instantáneos. Se trata de procesos de investigación integrados por *series* de experimentos.

El círculo se rompe principalmente de dos maneras. Primero, afianzando según criterios propiamente experimentales (no teóricos ni formales) la fiabilidad de los resultados experimentales obtenidos. Newton muestra que el prisma no modifica la

<sup>37</sup> Véase Guerlac 1981, pp. 98–99. El trabajo de Mariotte apareció como libro: *De la nature des couleurs* (París, 1681) y se encuentra también en sus *Œuvres*, vol. 1 (Leiden, 1717).



luz visible, sino sólo la descompone o analiza. Para ello, realiza experimentos como los siguientes:

1. Coloca dos prismas yuxtapuestos en sentidos contrarios, de manera que la refracción del rayo producida por uno compense la del otro. Obtiene un haz de luz blanca. Esto no es compatible con la teoría de modificación (ni con la posibilidad de que el espectro se deba a imperfecciones casuales de los cristales).
2. Emplea tres prismas que proyectan sus espectros sobre una misma pantalla y, haciendo que los espectros se mezclen sin coincidir exactamente, vuelve a obtener o sintetizar luz blanca.
3. Emplea un prisma y a continuación una lente que hace converger los rayos, y encuentra que de nuevo se sintetiza luz blanca. Basta situar una pantalla, y según dónde la vayamos colocando veremos un espectro (que va decreciendo al mover la pantalla), o un haz blanco, o de nuevo un espectro.

En la *serie* formada por estos experimentos que realizó hacia 1670 o antes, junto con los que mencionó Newton en el artículo de 1672, encontramos dos de las características clave señaladas por Hacking, dos criterios propiamente experimentales en acción: hay convergencia en los resultados obtenidos de tres maneras diferentes, y hay coherencia además entre las intervenciones practicadas y los resultados.

Nótese que los resultados de los tres experimentos que acabamos de citar, al ser cualitativos y no cuantitativos, se pueden reproducir sin problemas independientemente de que el poder dispersivo de los prismas empleados sea mayor o menor. Con todo, Newton recurrió también a prismas rellenos de agua para romper el círculo y tratar de reducir las dudas planteadas por las dificultades de reproducción.

Un segundo expediente para romper el círculo fue el siguiente: nuestro autor no se cansó de repetir una y otra vez que había que tener cuidado con la idea de rayo simple. No se

trataba aquí de que sólo los prismas de Cambridge produjeran rayos simples (como parece entender Schaffer 1989), sino de que no los producían ni éstos ni los de París. Era la diferencia entre el rayo simple de la teoría, una línea geométrica, y el haz del experimento, algo más o menos grosero. No hay duda de que Leibniz, experto geómetra y coinventor del cálculo, entendió este punto mucho mejor que Mariotte. En suma, el círculo ya no vuelve sobre sí mismo, sino que “regresa” en un plano ligeramente más elevado, formando una hélice.

#### 4.2. Más sobre la dinámica de la estabilización

Ya hemos indicado que, según Pickering (1989; 1995), los ingredientes estructurales del experimento —procedimiento material, modelo instrumental, modelo fenoménico—, partiendo de una situación de disparidad y desunión, evolucionan hacia la estabilidad y la compatibilidad. Ello sucede, en su interpretación, gracias a que *todos* ellos resultan ser *recursos eminentemente plásticos*. Una tesis esencialmente idéntica ha sido defendida, empleando un análisis algo más sofisticado, por Hacking (1992) bajo el rótulo de “autojustificación” de las ciencias de laboratorio (y restringida explícitamente a este tipo de ciencia experimental). Entre los factores que pueden condicionar el proceso de estabilización interactiva de aquellos recursos están (dice el propio Pickering) las “resistencias materiales” encontradas, pero también limitaciones de todo tipo —muchas de ellas arbitrarias— a que puede estar sometida la teorización, y sin duda los factores sociológicos que intervengan.

De ser correcta, la interpretación Pickering/Hacking tiene consecuencias notables. La noción de *verdad* resultaría inútil, parece, en el ámbito de la filosofía de las ciencias de laboratorio. Los resultados experimentales no tendrían por qué ofrecer una “imagen realista” —ni siquiera en parte— de los fenómenos que se pretende estudiar: no ya de fenómenos naturales que se den fuera del laboratorio, sino incluso de los fenómenos técnicos que son el objeto propio de aquellas ciencias (ya que éstos se suponen tan plásticos y moldeables como nuestros conceptos y teorías). Los resultados que surgen del proceso de estabilización

interactiva de recursos plásticos —o autojustificación— son el producto de una acomodación recíproca de las técnicas y las teorías, pero la evolución del proceso carece de dirección predefinida: en particular, no tiene por qué converger hacia algún tipo de “proceso natural”. Sería la confirmación definitiva de la “carga teórica” de los resultados, unida ciertamente a una correlativa “carga técnica”, pero abandonando como elusiva o nouménica —por abusar de la terminología kantiana— una posible o supuesta “carga natural”. El negocio de la ciencia tendría garantizada, quizá, su continuidad y la producción de efectos tecnológicos, pero desde el punto de vista epistemológico carecería de justificación especial.

Si se nos permite el comentario, el esquema resultante es demasiado filosófico. Parece que se estima en exceso la capacidad creativa y modificadora del ser humano, el margen de libertad abierto a nuestra elaboración de universos artificiales. Por decirlo en otras palabras, aquí está resurgiendo con una fuerza quizá excesiva el aristotelismo: la contraposición entre lo artificial, el mundo de los productos humanos, y lo natural. Pero con lo dicho sólo hemos expresado una sospecha; aún no hemos argumentado nada.

El difícil enigma planteado por Pickering y Hacking se resolvería, por supuesto, tan pronto como la plasticidad de los procedimientos materiales fuera menor que la de los otros dos ingredientes. O, mejor, tan pronto como la exploración de los procedimientos materiales y los fenómenos de laboratorio, a la que se entregan los experimentalistas, fuera sistemática y completa. De hecho, en casos como los ya mencionados de las investigaciones con prismas y de la indagación espectroscópica, no parece advertirse esa plasticidad que Pickering encontraba en las investigaciones de Morpurgo.

El imperativo de investigar sistemática y completamente los fenómenos es, obviamente, un imperativo baconiano. Verificar si dicho imperativo se lleva a la práctica, y hasta qué punto, es muy complejo. Exigiría una revisión sistemática y crítica, no sólo de los artículos que registran investigaciones experimentales, sino de todos los protocolos experimentales. Esto, obvia-

mente, sólo podría hacerse sometiendo a una revisión profunda —y guiada por la mencionada pregunta— los correspondientes materiales primarios; nunca sobre la simple base de bibliografía secundaria, ya sea histórica, filosófica o sociológica. En lo que sigue, nos limitaremos a hacer alguna reflexión al respecto.

A uno le gustaría, desde luego, vivir en un mundo óptimo en el que los recursos materiales y los efectos de laboratorio se explorasen siempre sistemáticamente. Pero no es posible afirmar que ello sucede de una manera muy general en todos los tiempos. Saliéndonos del ámbito del laboratorio, encontramos disciplinas como la zoología y la botánica en que se basó Darwin, o la anatomía y morfología comparadas, que son intrínsecamente enciclopédicas y sistemáticas. En otro extremo, hay disciplinas —como probablemente es el caso de la psicología— en las que el acceso observacional o experimental a los fenómenos pretendidos es sumamente problemático.

Además, la situación en una misma disciplina puede ser función del tiempo y de los criterios metodológicos promovidos. Veámoslo retornando al caso de la física. Contrastando con lo que a menudo fue su propia práctica, Newton escribió en 1676: “Pues no es el número de Exp[erimen]tos, sino su peso lo que ha de considerarse; y donde uno puede servir, ¿qué necesidad hay de muchos?”<sup>38</sup> Newton estaba discutiendo las objeciones planteadas por Lucas, y pretendía que su oponente dejara de ensayar nuevos diseños de su invención, restringiendo su atención única y exclusivamente al *experimentum crucis* de los dos prismas. La afición de Newton —quizá matematizante, y muy poco baconiana— por los experimentos simples y notables, cuidadosamente seleccionados como guía para la elaboración de la teoría, tuvo una larga historia y gran repercusión en épocas posteriores. Se encuentra todavía en el siglo XIX, en grandes nombres de la historia de la electrodinámica, como Ampère y W. Weber.

Quizá la situación de hoy en la física de partículas sea de este último tipo, porque la complejidad del diseño experimen-

<sup>38</sup> Citado en Guerlac 1981, p. 94.

tal y del registro de datos hacen que el imperativo baconiano —variar de forma sistemática y completa las circunstancias del experimento y los diseños experimentales, reteniendo cuidadosamente todos los resultados obtenidos— quede especialmente lejos. Pero los efectos de esta particularidad no deben extrapolarse de manera mecánica al pasado de la teoría física: estamos hablando de un problema específico de la *big science* y del registro de datos superabundantes recurriendo a su tratamiento computacional.

Por otro lado, y como en tantos otros casos, conviene considerar el efecto de introducir la dimensión real de la investigación científica, que es siempre comunitaria. El funcionamiento de una comunidad o grupo social muestra siempre un buen grado de variabilidad, y a menudo el buen desarrollo de las comunidades humanas depende de estos aspectos diferenciales. Los Newton se encontrarán casi siempre frente a los respectivos Lucas, los Ampère frente a los Faraday, los Weber frente a los Helmholtz, que pretendan introducir variantes y nuevos diseños. El imperativo baconiano siempre se manifiesta de forma más completa a nivel grupal.

En cualquier caso, una discusión sobre la completitud con que se exploran los efectos de laboratorio, por rápida que sea, nunca resultaría adecuada si no recordase el papel que desempeñan las teorías y los marcos de investigación en cuanto guías de la experimentación. Como han enfatizado tantos autores, la exploración de los resultados experimentales es excesivamente compleja como para poder realizarse sin la ayuda de mapas y planos que —por unilateralmente que sea— ayuden a organizar y simplificar el trabajo. Resulta pues adecuado concluir este escrito recordando el principio general de que la ciencia es filosofía y técnica, un híbrido de teorización y experimentación, que no podría sobrevivir sin la riqueza que le otorga la mestiza interacción entre ambas fases o dimensiones.

## BIBLIOGRAFÍA

- Barnes, B. y D. Bloor, 1982, “Relativism, Rationalism, and the Sociology of Knowledge”, en M. Hollis y S. Lukes (comps.), *Rationality and Relativism*, Blackwell, Oxford. [Versión en castellano: “Relativismo, racionalismo y sociología del conocimiento”, M. González García *et al.* (comps.), *Ciencia, tecnología y sociedad*, Ariel, Barcelona, 1997.]
- Buchwald, J.Z., 2002, “Notas sobre conocimiento inarticulado, experimentación y traducción”, *Theoria*, vol. 17, no. 44, pp. 243–263.
- , 1995, *Scientific Practice: Theories and Stories of Doing Physics*, The University of Chicago Press, Chicago.
- Collins, H.M., 1992, *Changing Order. Replication and Induction in Scientific Practice*, The University of Chicago Press, Chicago (1a. ed.: 1985).
- , 1975, “The Seven Sexes: A Study in the Sociology of a Phenomenon, or the Replication of Experiments in Physics”, *Sociology*, vol. 9, pp. 205–224. [Versión en castellano: J.M. Iranzo *et al.* (comps.), *Sociología de la ciencia y la tecnología*, Madrid, CSIC, 1995.]
- Drake, S., 1980, *Galileo*, Alianza, Madrid, 1983. [Para más detalles, véase su *Galileo at Work*, Dover, Nueva York, 1995.]
- Franklin, A., 2002, “Física y experimentación”, *Theoria*, vol. 17, no. 44, pp. 221–242.
- Galilei, G., 1638, *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*, Editora Nacional, Madrid (1976).
- Galison, P., 1997, *Image and Logic*, The University of Chicago Press, Chicago.
- , 1987, *How Experiments End*, The University of Chicago Press, Chicago.
- Gooding, D., T.J. Pinch y S. Schaffer (comps.), 1989, *The Uses of Experiment*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Guerlac, H., 1981, *Newton on the Continent*, Cornell University Press, Ithaca.
- Hacking, I., 1996, *Representar e intervenir*, trad. Sergio F. Martínez, Instituto de Investigaciones Filosóficas-UNAM/Paidós, México (1a. ed. en inglés: 1983).
- , 1992, “The Self-Vindication of the Laboratory Sciences”, en A. Pickering (comp.), *Science as Practice and Culture*, The University of Chicago Press, Chicago, 1992, pp. 29–64. [Versión en castellano: A. Ambrogi (comp.), *Filosofía de la ciencia: el giro*

- naturalista*, Universitat de les Illes Balears, Palma de Mallorca, 1999].
- Heilbron, J.L., 1979, *Electricity in the 17th and 18th Centuries*, University of California Press, Berkeley.
- Jungnickel, C. y R. McCormmach, 1986, *Intellectual Mastery of Nature: Theoretical Physics from Ohm to Einstein*, The University of Chicago Press, Chicago, 2 vols.
- Kuhn, T.S., 1961, “La función de la medición en la física moderna”, *La tensión esencial*, Fondo de Cultura Económica/Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México, 1982, pp. 202–247.
- McGucken, W., 1969, *Nineteenth Century Spectroscopy*, Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- Newton, I., 1704, *Óptica*, ed. C. Solís, Alfaguara, Madrid, 1977.
- , 1672, “Letter to Mr. Oldenbourg on Light and Colours”, S. Horsley *et al.* (comps.), *Opera quae exstant omnia*, Londres, 1779–1785, vol. IV; reimpresso por F. Frommann, Stuttgart, 1964.
- Oersted, H.C., 1998, *Selected Scientific Works*, eds. K. Jelved, A.D. Jackson y O. Knudsen, Princeton University Press, Princeton.
- Pickering, A., 1995, *The Mangle of Practice*, The University of Chicago Press, Chicago.
- , 1989, “Living in the Material World”, en D. Gooding, T.J. Pinch y S. Schaffer 1989, pp. 275–297.
- Popper, K.R., 1972, *Objective Knowledge: An Evolutionary Approach*, Clarendon Press, Oxford. [Versión en castellano: *Conocimiento objetivo. Un enfoque evolucionista*, trad. Carlos Solís Santos, Tecnos, Madrid, 1974.]
- , 1957, “La ciencia: conjeturas y refutaciones”, *Conjeturas y refutaciones*, trad. Néstor Míguez, Paidós, Barcelona, 1983, pp. 57–93.
- , 1935, *La lógica de la investigación científica*, trad. Víctor Sánchez de Zavala, Tecnos, Madrid, 1962 (trad. de la 2a. ed. inglesa, 1959).
- Schaffer, S., 1989, “Glass Works: Newton’s Prisms and the Uses of Experiment”, en D. Gooding, T.J. Pinch y S. Schaffer 1989, pp. 67–104.
- Snelders, H.A.M., 1990, “Oersted’s Discovery of Electromagnetism”, en A. Cunningham y N. Jardine (comps.), *Romanticism in the Sciences*, Cambridge University Press, pp. 228–240.
- Steinle, F., 2002, “Challenging Established Concepts: Ampère and Exploratory Experimentation”, *Theoria*, vol. 17, no. 44, pp. 291–316.

- Van Fraassen, B.C., 1996, *La imagen científica*, trad. Sergio F. Martínez, México, Instituto de Investigaciones Filosóficas-UNAM/Paidós.
- Velasco, M., 2002, “Experimentación y técnicas computacionales”, *Theoria*, vol. 17, no. 44, pp. 317–331.
- Westall, R., 1980, *Never at Rest: A Biography of Isaac Newton*, Cambridge University Press, Cambridge.

*Recibido el 18 de julio de 2002; aceptado el 6 de noviembre de 2002*