

Imre Lakatos

La metodología de los programas de investigación científica

Editado por
John Worall y Gregory Currie

Versión española de
Juan Carlos Zapatero

Revisión de
Pilar Castrillo

Alianza
Editorial

continuidad de las series de teorías de las que se puede decir que constituyen *un* cambio de problemática.

Ello nos origina problemas adicionales. Uno de los aspectos cruciales del falsacionismo sofisticado es que sustituye el concepto de *teoría*, como concepto básico de la lógica de la investigación, por el concepto de *serie de teorías*. (Lo que ha de ser evaluado como científico o pseudocientífico es una sucesión de teorías y no una teoría dada. Pero los miembros de tales series de teorías normalmente están relacionados por una notable continuidad que las agrupa en *programas de investigación*. Esta *continuidad* (reminiscente de la «ciencia normal» de Kuhn) juega un papel vital en la historia de la ciencia; los principales problemas de la lógica de la investigación sólo pueden analizarse de forma satisfactoria en el marco suministrado por una *metodología de los programas de investigación*.

3. Una metodología de los programas de investigación científica

He analizado el problema de la evaluación objetiva del crecimiento científico en términos de cambios progresivos y regresivos de problemáticas para series de teorías científicas. Las más importantes de tales series en el crecimiento de la ciencia se caracterizan por cierta *continuidad* que relaciona a sus miembros. Esta continuidad se origina en un programa de investigación genuino concebido en el comienzo. El programa consiste en reglas metodológicas: algunas nos dicen las rutas de investigación que deben ser evitadas (*heurística negativa*), y otras, los caminos que deben seguirse (*heurística positiva*)¹⁵⁵.

Incluso la ciencia en su conjunto puede ser considerada como un enorme programa de investigación dotado de la suprema regla heurística de Popper: «diseña conjeturas que tengan más contenido empírico que sus predecesoras». Como señaló Popper, tales reglas metodológicas pueden ser formuladas como principios metafísicos¹⁵⁶. Por ejemplo, la regla anticonvencionalista *universal* contra la eliminación de excepciones puede ser enunciada como el principio meta-

¹⁵⁵ Se puede señalar que la heurística positiva y negativa suministra una definición primaria e implícita del «marco conceptual» (y por tanto del lenguaje). El reconocimiento de que la historia de la ciencia es la historia de los programas de investigación en lugar de ser la historia de las teorías, puede por ello entenderse como una defensa parcial del punto de vista según el cual la historia de la ciencia es la historia de los marcos conceptuales o de los lenguajes científicos.

¹⁵⁶ Popper (1934), secciones II y 70. Utilizó «metafísico» como un término técnico perteneciente al falsacionismo ingenuo; una proposición contingente es «metafísica» si carece de «falsadores potenciales».

físico: «La Naturaleza no permite excepciones.» Por ello Watkins llamó a tales reglas «metafísica influyente»¹⁵⁷.

Pero en lo que estoy pensando fundamentalmente no es en la ciencia como un todo, sino en programas de investigación *particulares*, como el conocido por «metafísica cartesiana». La metafísica cartesiana, esto es, la teoría mecanicista del universo (según la cual el universo es uno gigantesco mecanismo y un sistema de vórtices, en el que el empuje es la única causa del movimiento), actuaba como un poderoso principio heurístico. Desalentaba que se trabajase en teorías científicas (como la versión «esencialista» de la teoría de acción a distancia de Newton) que eran inconsistentes con ella (*heurística negativa*). Por otra parte, alentaba el trabajo en las hipótesis auxiliares que podían salvarla de la aparente contraevidencia, como las elipses de Kepler (*heurística positiva*)¹⁵⁸.

a) *La heurística negativa: el «núcleo firme» del programa*

Todos los programas de investigación científica pueden ser caracterizados por su «núcleo firme». La heurística negativa del programa impide que apliquemos el *modus tollens* a este «núcleo firme». Por el contrario, debemos utilizar nuestra inteligencia para incorporar e incluso inventar hipótesis auxiliares que formen un *cinturón protector* en torno a ese centro, y *contra ellas* debemos dirigir el *modus tollens*. El cinturón protector de hipótesis auxiliares debe recibir los impactos de las contrastaciones y para defender al núcleo firme, será ajustado y reajustado e incluso completamente sustituido. Un programa de investigación tiene éxito si ello conduce a un cambio progresivo de problemática; fracasa, si conduce a un cambio regresivo.

✦ El ejemplo clásico de programa de investigación victorioso es la teoría gravitacional de Newton: posiblemente el programa de investigación con más éxito que ha existido nunca. Cuando apareció se encontraba inmerso en un océano de anomalías (o si se prefiere, «contraejemplos»¹⁵⁹) y en contradicción con las teorías observacionales que apoyaban a tales anomalías. Pero con gran inteligencia y

¹⁵⁷ Watkins (1958). Watkins advierte que «el bache lógico entre enunciados y prescripciones en el terreno metafísico-metodológico queda ilustrado por el hecho de que una persona puede rechazar una doctrina (metafísica) en su forma de enunciado fáctico, y aceptarla en su versión prescriptiva». (*Ibid.*, pp. 356-7.)

¹⁵⁸ Sobre este programa de investigación cartesiano, cf. Popper (1960b) y Watkins (1958), pp. 350-1.

¹⁵⁹ Para una clarificación de los conceptos «contraejemplo» y «anomalía», cf. *arriba*, pp. 39-40, y especialmente *abajo*, pp. 96-97, y texto de n. 248.

tenacidad, los newtonianos convirtieron un contraejemplo tras otro en ejemplos corroboradores, fundamentalmente al destruir las teorías observacionales originales con las que se había establecido la «evidencia contraria». En este proceso ellos mismos produjeron nuevos contraejemplos que también resolvieron posteriormente. «Hicieron de cada nueva dificultad una nueva victoria de su programa»¹⁶⁰.

En el programa de Newton la heurística negativa impide dirigir el *modus tollens* contra las tres leyes de la dinámica de Newton y contra su ley de gravitación. Este «núcleo» es «irrefutable» por decisión metodológica de sus defensores; las anomalías sólo deben originar cambios en el cinturón «protector» de hipótesis auxiliares «observacionales» y en las condiciones iniciales¹⁶¹.

He ofrecido un microejemplo resumido de un cambio progresivo de problemática newtoniana¹⁶². Si lo analizamos resulta que cada eslabón sucesivo de este ejercicio predice algún hecho nuevo; cada paso representa un aumento de contenido empírico; el ejemplo constituye un *cambio teórico consistentemente progresivo*. Además, cada predicción queda finalmente verificada, aunque en tres ocasiones seguidas pareció que habían sido «refutadas»¹⁶³. Mientras que el «progreso teórico» (en el sentido que aquí utilizamos) puede ser verificado inmediatamente¹⁶⁴, ello no sucede así con el «progreso empírico» y en un programa de investigación podemos vernos frustrados por una larga serie de «refutaciones» antes de que alguna hipótesis auxiliar ingeniosa, afortunada y de superior contenido empírico, convierta a una cadena de derrotas en lo que *luego* se considerará como una resonante historia de éxitos, bien mediante la revisión de algunos «hechos» falsos o mediante la adición de nuevas hipótesis auxiliares. Por tanto, podemos decir que hay que exigir que cada etapa de un programa de investigación incremente el contenido de forma consistente; que cada etapa constituya un *cambio de problemática teórica consistentemente progresivo*. Además de esto, lo único que necesitamos es que ocasionalmente se aprecie retrospectivamente que el incremento de contenido ha sido corroborado; también el programa en su conjunto debe exhibir un *cambio empírico intermitentemente progresivo*. No exigimos que cada nuevo paso produzca *inme-*

¹⁶⁰ Laplace (1824), Libro IV, capítulo 11.

¹⁶¹ El auténtico centro firme del programa realmente no nace ya dotado de toda su fuerza como Atenea de la cabeza de Zeus. Se desarrolla lentamente mediante un proceso largo, preliminar, de ensayos y errores. En este artículo no analizo ese proceso.

¹⁶² Cf. *arriba*, pp. 27-28.

¹⁶³ En todos los casos la «refutación» fue orientada con fortuna hacia los «lemas ocultos», esto es, hacia lemas originados en la cláusula *ceteris-paribus*.

¹⁶⁴ Pero cf. *abajo*, pp. 93-96.

diatamente un nuevo hecho *observado*. Nuestro término «intermitentemente» suministra suficiente espacio racional para que sea posible la adhesión dogmática a un programa a pesar de las refutaciones aparentes.

La idea de una «heurística negativa» de un programa de investigación científica racionaliza en gran medida el convencionalismo clásico. Racionalmente es posible decidir que no se permitirá que las «refutaciones» transmitan la falsedad al núcleo firme mientras aumenta el contenido empírico corroborado del cinturón protector de hipótesis auxiliares. Pero nuestro enfoque difiere del convencionalismo justificacionista de Poincaré porque, al contrario de Poincaré, mantenemos que el núcleo firme de un programa puede tener que ser abandonado cuando tal programa deja de anticipar hechos nuevos; esto es, *nuestro* núcleo firme, al contrario del de Poincaré, puede derrumbarse en ciertas condiciones.

En este sentido estamos de acuerdo con Duhem, quien pensaba que hay que aceptar tal posibilidad¹⁶⁵, aunque para Duhem la razón de tal derrumbamiento es puramente estética¹⁶⁶, mientras que para nosotros es fundamentalmente lógica y empírica.

b) *La heurística positiva: la construcción del «cinturón protector» y la autonomía relativa de la ciencia teórica*

Los programas de investigación también se caracterizan por su heurística positiva además de caracterizarse por la heurística negativa.

Incluso los programas de investigación que progresan de la forma más rápida y consistente sólo pueden digerir la evidencia contraria de modo fragmentario: nunca desaparecen completamente las anomalías. Pero no hay que pensar que las anomalías aún no explicadas (los «puzzles», como los llama Kuhn) son abordadas en cualquier orden o que el cinturón protector es construido de forma ecléctica, sin un plan preconcebido. El orden suele decidirse en el gabinete del teórico con independencia de las anomalías *conocidas*. Pocos científicos teóricos implicados en un programa de investigación se ocupan excesivamente de las «refutaciones». Mantienen una política de investigación a largo plazo que anticipa esas refutaciones. Esta política de investigación, u orden de investigación, queda establecida, con mayor o menor detalle, en la heurística positiva del programa de investigación. La heurística negativa especifica el núcleo firme del programa que es «irrefutable» por decisión metodológica de sus defen-

¹⁶⁵ Cf. *arriba*, p. 34.

¹⁶⁶ *Ibid.*

sores; la heurística positiva consiste de un conjunto, parcialmente estructurado, de sugerencias o pistas sobre cómo cambiar y desarrollar las «versiones refutables» del programa de investigación, sobre cómo modificar y complicar el cinturón protector «refutable».

La heurística positiva del programa impide que el científico se pierda en el océano de anomalías. La heurística positiva establece un programa que enumera una secuencia de *modelos* crecientemente complicados simuladores de la realidad: la atención del científico se concentra en la construcción de sus modelos según las instrucciones establecidas en la parte positiva de su programa. Ignora los contraejemplos *reales*, los «datos» disponibles¹⁶⁷. En principio Newton elaboró su programa para un sistema planetario con un punto fijo que representaba al Sol y un único punto que representaba a un planeta. A partir de este modelo derivó su ley del inverso del cuadrado para la elipse de Kepler. Pero este modelo contradecía a la tercera ley de la dinámica de Newton y por ello tuvo que ser sustituido por otro en que tanto el Sol como el planeta giraban alrededor de su centro de gravedad común. Este cambio no fue motivado por ninguna observación (en este caso los datos no sugerían «anomalía») sino por una dificultad teórica para desarrollar el programa. Posteriormente elaboró el programa para un número mayor de planetas y como si sólo existieran fuerzas heliocéntricas y no interplanetarias. Después, trabajó en el supuesto de que los planetas y el Sol eran esferas de masa y no puntos. De nuevo, este cambio no se debió a la observación de una anomalía; la densidad infinita quedaba excluida por una teoría venerable (no sistematizada); por esta razón los planetas *tenían* que ser expandidos. Este cambio implicó dificultades matemáticas importantes, absorbió el trabajo de Newton y retrasó la publicación de los *Principia* durante más de una década. Tras haber solucionado este «puzzle» comenzó a trabajar en las «esferas giratorias» y sus oscilaciones. Después admitió las fuerzas interplanetarias y comenzó a trabajar sobre las *perturbaciones*. Llegado a este punto empezó a interesarse con más intensidad por los hechos. Muchos de ellos quedaban perfectamente explicados (cualitativamente) por el modelo, pero sucedía lo contrario con muchos otros. Fue entonces cuando comenzó a trabajar sobre planetas aplanados y no redondos, etc.

¹⁶⁷ Si un científico (o matemático) cuenta con una heurística positiva rehúsa involucrarse en temas observacionales. «Permanecerá sentado, cerrará los ojos y se olvidará de los datos» (Cf. mi 1963-4, especialmente pp. 300 y ss., donde hay un estudio detallado de un ejemplo de tal programa). Por supuesto, en ocasiones preguntará a la Naturaleza con penetración y resultará estimulado por un SI, pero no defraudado si oye un NO.

Newton despreciaba a las personas que, como Hooke, atisbaron un primer modelo ingenuo, pero que no tuvieron la tenacidad y la capacidad para convertirlo en un programa de investigación, y que pensaban que una primera versión, una simple panorámica, constituía un «descubrimiento». El retrasó la publicación hasta que su programa había conseguido un notable cambio progresivo ¹⁶⁸.

La mayoría de los «puzzles» newtonianos (si no todos) que conducían a una serie de variaciones que se mejoraban unas a otras, eran previsibles en el tiempo en que Newton produjo el primer modelo ingenuo, y sin duda Newton y sus colegas las previeron: Newton debió ser enteramente consciente de la clara falsedad de sus primeros modelos. Nada prueba mejor la existencia de una heurística positiva en un programa de investigación que este hecho; por eso se habla de «modelos» en los programas de investigación. Un «modelo» es un conjunto de condiciones iniciales (posiblemente en conjunción con algunas teorías observacionales) del que se sabe que *debe* ser sustituido en el desarrollo ulterior del programa, e incluso cómo debe ser sustituido (en mayor o menor medida). Esto muestra una vez más hasta qué punto son irrelevantes las refutaciones de cualquier versión específica para un programa de investigación: su existencia es esperada y la heurística positiva está allí tanto para predecirlas (producirlas) como para digerirlas. Realmente, si la heurística positiva se especifica con claridad, las dificultades del programa son matemáticas y no empíricas ¹⁶⁹.

Se puede formular la «heurística positiva» de un programa de investigación como un principio «metafísico». Por ejemplo, es posible formular el programa de Newton de esta forma: «Esencialmente los planetas son superficies gravitatorias en rotación que tienen una forma aproximadamente esférica». Esta idea nunca se mantuvo *rigidamente*; los planetas no sólo son gravitatorios, sino que también tienen, por ejemplo, características electromagnéticas que pueden in-

¹⁶⁸ Reichenbach, siguiendo a Cajori, ofrece una explicación distinta de lo que hizo que Newton retrasara la publicación de sus *Principia*. «Para su desconocimiento descubrió que los resultados observacionales no concordaban con sus cálculos. En lugar de enfrentar una teoría, por bella que fuera, con los hechos, Newton puso el manuscrito de su teoría en un cajón. Aproximadamente veinte años más tarde, después de que una expedición francesa hubiera realizado nuevas mediciones de la circunferencia de la Tierra, Newton advirtió que eran falsas las cifras en las que había basado su contrastación y que los datos mejorados estaban de acuerdo con sus cálculos teóricos. Sólo después de esta contrastación publicó su ley... La historia de Newton es una de las ilustraciones más sorprendentes del método de la ciencia moderna» (Reichenbach, 1951, pp. 101-02). Feyerabend critica la exposición de Reichenbach (Feyerabend, 1965, p. 229) pero no ofrece una explicación alternativa.

¹⁶⁹ Sobre esta cuestión, cf. Truesdell (1960).

fluir en su movimiento. Por tanto, y en general, la heurística positiva es más flexible que la heurística negativa. Más aún, sucede en ocasiones que cuando un programa de investigación entra en una fase regresiva, una pequeña revolución o un cambio *creativo* de su heurística positiva puede impulsarlo de nuevo hacia adelante¹⁷⁰. Por ello es mejor separar el «centro firme» de los principios metafísicos, más flexibles, que expresan la heurística positiva.

Nuestras consideraciones muestran que la heurística positiva avanza casi sin tener en cuenta las refutaciones; puede parecer que son las «verificaciones»¹⁷¹ y no las refutaciones las que suministran los puntos de contacto con la realidad. Aunque se debe señalar que cualquier «verificación» de la versión (n+1) del programa es una refutación de la versión n, no podemos negar que *algunas* derrotas de las versiones subsiguientes siempre son previstas; son las «verificaciones» las que mantienen la marcha del programa, a pesar de los casos recalitrantes.

Podemos evaluar los programas de investigación incluso después de haber sido «eliminados», en razón de su *poder heurístico*: ¿cuántos hechos produjeron?, ¿cuán grande era su «capacidad para explicar sus propias refutaciones en el curso de su crecimiento»?¹⁷².

(También podemos evaluarlos por el estímulo que supusieron para las matemáticas. Las dificultades reales del científico teórico tienen su origen en las *dificultades matemáticas* del programa más que en las anomalías. La grandeza del programa newtoniano procede en parte del desarrollo (realizado por los newtonianos) del análisis infinitesimal clásico, que era una precondition crucial para su éxito.)

Por tanto, la metodología de los programas de investigación científica explica la *autonomía relativa de la ciencia teórica*: un hecho histórico cuya racionalidad no puede ser explicado por los primeros falsacionistas. La selección racional de problemas que realizan los científicos que trabajan en programas de investigación importantes está determinada por la heurística positiva del programa y no por las anomalías psicológicamente embarazosas (o tecnológicamente urgentes). Las anomalías se enumeran pero se archivan después en la es-

¹⁷⁰ La contribución de Soddy al programa de Prout o la de Pauli al de Bohr (la vieja teoría cuántica) son ejemplos típicos de tales cambios creativos.

¹⁷¹ Una «verificación» es una corroboración del exceso de contenido del programa en expansión. Pero, naturalmente, una «verificación» no *verifica* un programa; sólo muestra su poder heurístico.

¹⁷² Cf. mi (1963-4), pp. 324-30. Desgraciadamente, en 1963-4 aún no había realizado una clara distinción terminológica entre teorías y programas de investigación y ello obstaculizó mi exposición de un programa de investigación de la matemática informal, cuasiempírica.

peranza de que, llegado el momento, se convertirán en corroboraciones del programa. Sólo aquellos científicos que trabajan en ejercicios de prueba y error¹⁷³ o en una fase degenerada de un programa de investigación cuya heurística positiva se quedó sin contenido, se ven obligados a redoblar su atención a las anomalías. (Por supuesto, todo esto puede parecer inaceptable a los falsacionistas ingenuos que mantienen que tan pronto como una teoría queda «refutada» por un experimento [según *su* libro de reglas] es irracional [y deshonesto] continuar desarrollándola: la vieja teoría «refutada» debe ser sustituida por una nueva, no refutada.)

c) *Dos ilustraciones: Prout y Bohr*

La dialéctica entre heurística positiva y negativa de un programa de investigación puede ilustrarse de forma óptima mediante ejemplos. Voy a resumir algunos aspectos de dos programas de investigación que gozaron de un éxito espectacular: el programa de Prout¹⁷⁴ basado en la idea de que todos los átomos son compuestos de átomos de hidrógeno, y el programa de Bohr, basado en la idea de que la emisión de luz se debe a los saltos de los electrones entre unas órbitas y otras, en el seno de los átomos.

(Creo que al redactar un estudio acerca de un caso histórico se debe adoptar el siguiente procedimiento: 1) se ofrece una reconstrucción racional; 2) se intenta comparar esta reconstrucción racional con la historia real y se critican ambas: la reconstrucción racional por falta de historicidad y la historia real por falta de racionalidad. Por tanto, cualquier estudio histórico debe ser precedido de un estudio heurístico: la historia de la ciencia sin la filosofía de la ciencia es ciega. En este artículo no intento acometer seriamente la segunda etapa.)

c1) *Prout: un programa de investigación que progresa a través de un océano de anomalías.*

Prout, en un artículo anónimo de 1815, defendió que los pesos atómicos de todos los elementos químicos puros eran números enteros. Sabía muy bien que abundaban las anomalías, pero afirmó que éstas se debían a que las sustancias químicas habitualmente disponibles eran *impuras*; esto es, las «técnicas experimentales» relevantes

¹⁷³ Cf. *abajo*, p. 117.

¹⁷⁴ Ya mencionado *arriba*, pp. 60-61.

del momento no eran fiables, o, por decirlo en otros términos, eran falsas las «teorías observacionales» contemporáneas a cuya luz se decidían los valores de verdad de los enunciados básicos de su teoría¹⁷⁵. Por ello, los defensores de la teoría de Prout emprendieron una ambiciosa campaña: destruir aquellas teorías que suministraban evidencia contraria a su tesis. Para ello tuvieron que revolucionar la química analítica establecida de su tiempo y revisar, correspondientemente, las técnicas experimentales con las que se separaban los elementos químicos puros¹⁷⁶. De hecho, la teoría de Prout derrotó a las teorías que se aplicaban previamente para la purificación de sustancias químicas, una después de otra. Con todo, algunos químicos se cansaron del programa de investigación y lo abandonaron porque los éxitos aún estaban lejos de equivaler a una victoria final. Por ejemplo, Stas, frustrado por algunos casos irreducibles y recalitrantes, concluyó en 1860 que la teoría de Prout «carecía de fundamentos»¹⁷⁷. Pero otros resultaron más estimulados por el progreso que desalentados por la ausencia de un éxito completo. Por ejemplo, Marignac replicó inmediatamente que «aunque (él aceptaba) la perfecta exactitud de los experimentos de Monsieur Stas, (no hay prueba) de que las diferencias observadas entre sus resultados y los requeridos por la ley de Prout no puedan ser explicadas por el carácter imperfecto de los métodos experimentales»¹⁷⁸. Como señaló Crookes en 1886: «No pocos químicos de prestigio reconocido consideran que aquí tenemos (en la teoría de Prout) una expresión de la verdad enmascarada por algunos fenómenos residuales o colaterales que aún no hemos conseguido eliminar»¹⁷⁹. Esto es, tenía que existir algún supuesto oculto falso adicional en las «teorías observacionales» sobre

¹⁷⁵ Pero todo esto es reconstrucción racional y no historia real. Prout negó la existencia de cualquier anomalía. Por ejemplo, afirmó que el peso atómico del cloro era 36 exactamente.

¹⁷⁶ Prout era consciente de los rasgos metodológicos básicos de su programa. Citemos las primeras líneas de su (1815): «El autor del siguiente ensayo lo presenta al público con la mayor modestia... Sin embargo, confía en que se apreciará su importancia y que alguien emprenderá la tarea de examinarlo para verificar o refutar sus conclusiones. Si éstas resultaran ser erróneas, la investigación servirá al menos para descubrir hechos nuevos o para establecer con mayor firmeza hechos antiguos; pero si las conclusiones fueran verificadas, toda la ciencia de la química quedará iluminada de un modo nuevo e interesante.»

¹⁷⁷ Clerk Maxwell apoyaba a Stas: le parecía imposible que hubiera dos clases de hidrógeno «porque si algunas (moléculas) fueran de una masa ligeramente mayor que otras, tenemos los medios para conseguir una separación de las moléculas de masas diferentes, algunas de las cuales serían algo más densas que las otras. Como esto no se puede hacer, debemos admitir (que todas son análogos)» (Maxwell, 1871).

¹⁷⁸ Marignac (1860).

¹⁷⁹ Crookes (1886).

las que se basaban las «técnicas experimentales» para la purificación química y con cuya ayuda se calculaban los pesos atómicos: ya en 1886 el punto de vista de Crooke era: «algunos pesos atómicos actuales sólo representan un valor medio»¹⁸⁰. Realmente Crooke llegó a expresar esta idea en una forma científica (acrecentadora de contenido): propuso nuevas teorías concretas de «fraccionamiento», un nuevo «duende clasificador»¹⁸¹. Pero desgraciadamente sus nuevas teorías observacionales resultaron ser tan falsas como audaces y al ser incapaces de anticipar ningún hecho nuevo, fueron eliminadas de la historia de la ciencia (racionalmente reconstruida). Una generación más tarde quedó claro que existía un supuesto muy oculto y básico que escapó a los investigadores: que dos elementos puros deben ser separados por métodos *químicos*. La idea de que dos elementos puros diferentes pueden comportarse de forma idéntica en todas las reacciones *químicas* pudiendo, sin embargo, ser separados mediante métodos *físicos*, requería un cambio, una «ampliación» del concepto de elemento puro, que constituía un cambio, una *expansión amplificadora de conceptos*, del mismo programa de investigación¹⁸². El *cambio creativo* enormemente revolucionario fue adoptado por la escuela de Rutherford¹⁸³ y entonces «tras muchas vicisitudes y las refutaciones aparentemente más convincentes, la hipótesis expresada tan informalmente por Prout, un físico de Edinburgo, en 1815, se ha convertido, un siglo después, en el fundamento de las teorías modernas sobre la estructura de los átomos»^{183 bis}. Sin embargo, este paso creativo de hecho sólo fue el resultado lateral del progreso en un programa de investigación diferente y lejano: los seguidores de Prout, carentes de este estímulo externo, nunca pensaron en intentar, por ejemplo, la construcción de potentes máquinas centrífugas para la separación de elementos.

(Cuando una teoría «observacional» o «interpretativa» queda finalmente eliminada, las mediciones «precisas», desarrolladas en el aparato teórico abandonado, pueden parecer (consideradas *ex-post*) muy insensatas. Soddy se rió de la «precisión experimental» por sí misma: «Hay algo que sonaría a tragedia, si no la sobrepasase, en el destino que han corrido los trabajos de toda la vida de aquella

¹⁸⁰ *Ibid.*

¹⁸¹ Crookes (1886), p. 491.

¹⁸² Sobre «ampliación de conceptos», cf. mi (1963-4), parte IV.

¹⁸³ Este cambio está anticipado en el fascinante texto de Crookes de 1888, donde indica que la solución debería buscarse en una nueva demarcación entre lo físico y lo químico. Pero la anticipación no pasó de ser puramente filosófica; fueron Rutherford y Soddy quienes, después de 1910, la convirtieron en una teoría científica.

^{183 bis} Soddy (1932), p. 50.

eminente galaxia de químicos del siglo XIX acertadamente reverenciados por sus contemporáneos por representar la cúspide y la perfección de la medición científica precisa. Al menos por el momento parece que sus resultados tan laboriosamente obtenidos tienen tan poco interés y relevancia como la determinación del peso medio de una colección de botellas, algunas de las cuales están llenas y otras más o menos vacías».)¹⁸⁴

Debemos insistir en que, según la metodología de los programas de investigación aquí propuesta, nunca existió un motivo racional para *eliminar* el programa de Prout. Realmente el programa produjo un cambio magnífico y progresivo aun cuando, en las etapas intermedias, abundaron los tropiezos¹⁸⁵. Nuestro resumen muestra la forma en que un programa de investigación puede enfrentarse a un conjunto importante de conocimiento científico aceptado; como si quedara plantado en un entorno hostil que paso a paso va conquistando y transformando.

Además, la historia real del programa de Prout es una excelente ilustración del enorme grado en que el progreso de la ciencia queda obstaculizado por el justificacionismo y el falsacionismo ingenuo. (La oposición a la teoría atómica en el siglo XIX fue alimentada por ambos.) Una elaboración de esta influencia particular de la mala metodología sobre la ciencia puede ser un programa de investigación prometedor para los historiadores de la ciencia.

c2) *Bohr: un programa de investigación que progresa sobre fundamentos inconscientes.*

Nuestra tesis quedará aún más clarificada (y ampliada) con un breve resumen del programa de investigación de Bohr sobre la emisión de la luz (en la física cuántica *temprana*)¹⁸⁶.

La historia del programa de investigación de Bohr puede ser caracterizada por: 1) su problema inicial; 2) su heurística positiva y negativa; 3) los problemas que trató de solucionar en el curso de su

¹⁸⁴ *Ibid.*

¹⁸⁵ Estos tropiezos inevitablemente inducen a muchos científicos individuales a archivar o a abandonar completamente el programa para vincularse a otros programas de investigación en los que la heurística positiva parezca ofrecer en el momento éxitos más fáciles; la historia de la ciencia no puede entenderse *completamente* sin tener en cuenta la psicología de las masas (cf. *abajo*, pp. 119-23).

¹⁸⁶ De nuevo esta sección puede parecerle al historiador una caricatura más que un resumen, pero confío en que cumplirá su función (cf. *arriba*, p. 72). Algunas de sus afirmaciones deben sazonarse no ya con un poco sino con toneladas de sal.

desarrollo; 4) su punto de regresión (o si se quiere, su «punto de saturación»), y, finalmente, 5) el programa por el que fue superado.

El problema de fondo era el misterio de la estabilidad de los átomos de Rutherford (esto es, diminutos sistemas planetarios con los electrones girando alrededor de un núcleo positivo), y ello porque según la corroborada teoría Maxwell-Lorentz sobre electromagnetismo, deberían colapsar. Pero también la teoría de Rutherford estaba bien corroborada. La sugerencia de Bohr fue ignorar por el momento la inconsistencia y desarrollar conscientemente un programa de investigación cuyas versiones «refutables» fueran inconsistentes con la teoría Maxwell-Lorentz¹⁸⁷. Propuso cinco postulados como *centro firme* de su programa: «1) que la radiación de energía (dentro del átomo) no es emitida (o absorbida) de la forma continua supuesta en la electrodinámica ordinaria, sino sólo durante la transición de los sistemas entre distintos estados «estacionarios». 2) Que el equilibrio dinámico de los sistemas en los estados estacionarios está gobernado por las leyes ordinarias de la mecánica mientras que tales leyes no se cumplen para la transición de los sistemas entre estados diferentes. 3) Que la radiación emitida durante la transición de un sistema entre dos estados estacionarios es homogénea y que la relación entre la frecuencia ν y la magnitud total de energía emitida E viene dada por $E=h\nu$, donde h es la constante de Planck. 4) Que los distintos estados estacionarios de un sistema sencillo consistente en un electrón girando alrededor de un núcleo positivo quedan determinados por la condición de que la relación entre la energía total emitida durante la formación de la configuración y la frecuencia de revolución del electrón es un múltiplo entero de $1/2h$. Suponiendo que la órbita del electrón es circular, este supuesto equivale al supuesto de que el momento angular del electrón alrededor del núcleo es igual a un múltiplo entero de $h/2\pi$. 5) Que el estado «permanente» de cualquier sistema atómico, esto es, el estado en que la energía emitida es máxima, queda determinado por la condición de que el momento angular de cada electrón alrededor del centro de su órbita es igual a $h/2\pi$ ¹⁸⁸.

Debemos apreciar la diferencia metodológica crucial entre la inconsistencia introducida por el programa de Prout y la introducida por el de Bohr. El programa de investigación de Prout declaró la guerra a la química analítica de su tiempo; su heurística positiva

¹⁸⁷ Por supuesto, éste es un argumento adicional contra la tesis de J. O. Wisdom, según la cual las teorías metafísicas pueden ser refutadas mediante una teoría científica muy corroborada que las contradiga (Wisdom, 1963). También cf. *arriba*, p. 41, texto de la n. 78, y p. 59.

¹⁸⁸ Bohr (1913a), p. 874.

estaba diseñada para destruirla y sustituirla. Pero el programa de investigación de Bohr no contenía un designio análogo. Su heurística positiva, aun cuando hubiera tenido un éxito completo, hubiera dejado sin resolver la inconsistencia con la teoría Maxwell-Lorentz¹⁸⁹. Sugerir una idea tal requería un valor aún mayor que el de Prout; la idea se le ocurrió a Einstein, pero la encontró inaceptable y la rechazó¹⁹⁰. Realmente *algunos de los programas de investigación más importantes de la historia de la ciencia estaban injertados en programas más antiguos con relación a los cuales eran claramente inconsistentes*. Por ejemplo, la astronomía copernicana estaba «injertada» en la física aristotélica y el programa de Bohr en el de Maxwell. Tales «injertos» son irracionales para el justificacionista y para el falsacionista ingenuo, puesto que ninguno de ellos puede apoyar el crecimiento sobre fundamentos inconsistentes. Por ello normalmente quedan ocultos mediante estratagemas *ad hoc* (como la teoría de Galileo de la inercia circular o el principio de correspondencia de Bohr y, más tarde, el de complementariedad), cuyo único propósito es ocultar la «deficiencia»¹⁹¹. Conforme crece el joven programa injertado, termina la coexistencia pacífica, la simbiosis se hace competitiva y los defensores del nuevo programa tratan de sustituir completamente al antiguo.

Bien pudo ser el éxito de su programa «injertado» lo que más tarde indujo erróneamente a Bohr a creer que tales inconsistencias fundamentales en los programas de investigación pueden y deben ser aceptadas *en principio*, que no presentan ningún problema serio y que simplemente debemos acostumbrarnos a ellas. En 1922 Bohr trató de dulcificar los criterios de la crítica científica; argumentó que «*lo máximo que se puede pedir a una teoría (esto es, a un programa) es que la clasificación (que establece) pueda llevarse tan lejos que contribuya al desarrollo del área de observación mediante la predicción de fenómenos nuevos*»¹⁹².

Esta afirmación de Bohr es similar a la de d'Alembert cuando éste se enfrentó a la inconsistencia de los fundamentos de la teoría infinitesimal: «*Allez en avant et la foi vous viendra.*» Según Margaenau, «se comprende que, emocionados por su éxito, estos hombres

¹⁸⁹ Bohr mantenía en este momento que la teoría Maxwell-Lorentz *a la postre* tendría que ser sustituida. (La teoría del fotón de Einstein ya había indicado esta necesidad.)

¹⁹⁰ Hevesy (1913); cf. también *arriba*, p. 69, texto de n. 167.

¹⁹¹ En nuestra metodología no son necesarias tales estratagemas protectoras *ad hoc*. Pero, por otra parte, resultan inofensivas mientras claramente sean consideradas como problemas y no como soluciones.

¹⁹² Bohr (1922); subrayado añadido.

se olvidaran de que existía una malformación en la arquitectura de la teoría, porque el átomo de Bohr se asentaba como una torre barroca sobre la base gótica de la electrodinámica clásica»¹⁹³. Pero de hecho la «malformación» no fue olvidada; todos la tenían presente y sólo la ignoraron (en medida mayor o menor) durante la fase progresiva del programa¹⁹⁴. Nuestra metodología de los programas de investigación muestra la racionalidad de esta actitud, pero también muestra la irracionalidad de la defensa de tales malformaciones una vez que ha concluido la fase progresiva.

Debo añadir aquí que en las décadas de los años treinta y cuarenta Bohr abandonó su exigencia de «nuevos fenómenos» y se mostró preparado para «continuar con la tarea inmediata de coordinar la evidencia variopinta relativa a los fenómenos atómicos que se acumulaba de día en día en la exploración de este nuevo campo del conocimiento»¹⁹⁵. Esto indica que para entonces Bohr ya había vuelto a la noción de «salvar los fenómenos», mientras que Einstein insistía sarcásticamente en que «toda teoría es cierta en el supuesto de que se asocien adecuadamente sus símbolos con las cantidades observadas»¹⁹⁶.

Pero la *consistencia* (en el sentido fuerte del término)¹⁹⁷ *debe continuar siendo un principio regulador importante* (de rango superior al requisito sobre cambios progresivos de problemáticas); y las inconsistencias (incluyendo las anomalías) *deben* ser consideradas como problemas. La razón es sencilla. Si la ciencia busca la verdad,

¹⁹³ Margenau (1960), p. 311.

¹⁹⁴ Sommerfeld lo ignoró más que Bohr: cf. *abajo*, p. 86, n. 219.

¹⁹⁵ Bohr (1949), p. 206.

¹⁹⁶ Citado en Schrodinger (1958), p. 170.

¹⁹⁷ Dos proposiciones son inconsistentes si su conjunción carece de modelo, esto es, si no hay una interpretación de sus términos descriptivos en que la conjunción resulte cierta. Pero en el discurso informal utilizamos más términos informativos que en el discurso formal: damos una interpretación fija a algunos términos descriptivos. En este sentido informal dos proposiciones pueden ser (débilmente) inconsistentes, dada la interpretación habitual de algunos términos característicos, aunque formalmente, en alguna interpretación no considerada, puedan ser consistentes. Por ejemplo, las primeras teorías del spin del electrón eran inconsistentes con la teoría especial de la relatividad si a «spin» se le daba su interpretación habitual («fuerte») y por ello el término era tratado como un término formativo; pero la inconsistencia desaparece si «spin» es tratado como un término descriptivo carente de interpretación. La razón por la que no debemos abandonar las interpretaciones habituales con excesiva facilidad es que tal debilitamiento de los significados puede debilitar la heurística positiva del programa. (Por otra parte, en algunos casos tales cambios de significado pueden ser progresivos: cf. *arriba*, p. 58.)

Sobre la cambiante demarcación entre términos formativos y descriptivos en el discurso informal, cf. *mi* (1963-4), 9 (b), especialmente p. 335, n. 1.

debe buscar la consistencia; si renuncia a la consistencia, renuncia a la verdad. Pretender que «debemos ser modestos en nuestras exigencias»¹⁹⁸, que debemos resignarnos a las inconsistencias (sean importantes o no) continúa siendo un vicio metodológico. Por otra parte, esto no significa que el descubrimiento de una inconsistencia (o de una anomalía) deba frenar *inmediatamente* el desarrollo de un programa; puede ser racional poner la inconsistencia en una cuarentena temporal, *ad hoc*, y continuar con la heurística positiva del programa. Esto se ha hecho en matemáticas como muestran los ejemplos del primer cálculo infinitesimal y de la teoría ingenua de conjuntos¹⁹⁹.

Desde este punto de vista el «principio de correspondencia» de Bohr desempeñó un interesante doble papel en su programa. Por una parte funcionaba como un importante principio heurístico que sugería muchas hipótesis científicas nuevas que, a su vez, originaban nuevos hechos, especialmente en el terreno de la intensidad de las líneas del espectro²⁰⁰. Por otra parte, también funcionaba como un mecanismo de defensa que «permitía utilizar en una máxima medida los conceptos de las teorías clásicas de la mecánica y de la electrodinámica a pesar del contraste entre estas teorías y los cuanta de acción»²⁰¹ en lugar de insistir en la urgencia de un programa unificado. En este segundo papel reducía el grado de problematicidad del programa²⁰².

Por supuesto, el programa de investigación de la teoría cuántica en su conjunto fue un programa «injertado» y por ello inaceptable

¹⁹⁸ Bohr (1922), último párrafo.

¹⁹⁹ Los falsacionistas ingenuos tienden a considerar este liberalismo como un *crimen contra la razón*. Su principal argumento es el siguiente: «Si aceptáramos las contradicciones tendríamos que abandonar cualquier clase de actividad científica: ello representaría la destrucción completa de la ciencia. Ello puede mostrarse probando que *si se aceptan dos enunciados contradictorios, entonces cualquier enunciado debe ser aceptado* porque de un par de enunciados contradictorios se puede inferir válidamente cualquier enunciado... Una teoría que contiene una contradicción resulta, por ello, enteramente inútil *como teoría*» (Popper, 1940). Para hacer justicia a Popper hay que destacar que en este texto él está argumentando contra la dialéctica hegeliana en la que la inconsistencia se convierte en *una virtud*; y Popper tiene toda la razón cuando señala sus peligros. Pero Popper nunca analizó pautas de progreso empírico (o no empírico) a partir de fundamentos inconsistentes: realmente en la sección 24 de su (1934) hace de la consistencia y la falsabilidad los requisitos indispensables de cualquier teoría científica. En el capítulo 3 discuto este problema con más detalle.

²⁰⁰ Cf. e. g. Kramers (1923).

²⁰¹ Bohr (1923).

²⁰² Born en su (1954) ofrece una lúcida exposición del principio de correspondencia que confirma en gran medida esta doble evaluación: «El arte de conjeturar fórmulas correctas que se desvían de las clásicas pero que incluyen a éstas como un caso límite... alcanzó un elevado grado de perfección.»

para físicos de tendencias profundamente conservadoras como Planck. Con relación a un programa injertado existen dos posiciones extremas e igualmente irracionales.

La *posición conservadora* consiste en frenar el nuevo programa hasta que se solucione de algún modo la inconsistencia básica con relación al programa antiguo: es irracional trabajar sobre fundamentos inconsistentes. Los «conservadores» concentrarán sus esfuerzos en la eliminación de la inconsistencia mediante una explicación (aproximada) de los postulados del nuevo programa en términos del programa antiguo; entienden que es irracional continuar con el programa nuevo sin una *reducción* exitosa de la clase mencionada. El mismo Planck adoptó esta opción. No tuvo éxito a pesar de los diez años de duro trabajo que invirtió en ello²⁰³. Por ello no es enteramente correcta la observación de Laue según la cual su conferencia del 14 de diciembre de 1900 representó «el nacimiento de la teoría cuántica»; aquel día nació el programa reduccionista de Planck. La decisión de continuar adelante sobre fundamentos temporalmente inconsistentes fue adoptada por Einstein en 1905, pero incluso él vaciló en 1913, cuando Bohr comenzó a avanzar de nuevo.

La *posición anarquista* con respecto a los programas injertados consiste en exaltar la anarquía de los fundamentos como una virtud y en considerar la inconsistencia (débil), bien como una propiedad básica de la naturaleza o como una limitación última del conocimiento humano, como hicieron algunos seguidores de Bohr.

La mejor caracterización de la *posición racional* es la actitud de Newton, quien se enfrentó a una situación que era en cierta medida similar a la que acabamos de analizar. La mecánica cartesiana del empuje en la que originalmente estaba injertado el programa de Newton era (débilmente) inconsistente con la teoría newtoniana de la gravitación. Newton trabajó en su heurística positiva (con éxito) y en un programa reduccionista (sin éxito) y desaprobó tanto la actitud de los cartesianos que, como Huyghens, entendían que no se debía perder el tiempo en un programa ininteligible, como la de algunos de sus apresurados discípulos que, como Cotes, pensaban que la inconsistencia no presentaba ningún problema²⁰⁴.

²⁰³ Sobre la fascinante historia de esta larga serie de fracasos descorazonadores, cf. Whittaker (1953), pp. 103-4. El mismo Planck ofrece una dramática descripción de estos años: «Mis inútiles intentos de introducir los cuanta elementales de acción en la teoría clásica continuaron durante numerosos años y representaron mucho trabajo. Muchos de mis colegas consideraron este proceso como próximo a la tragedia» (Planck, 1947).

²⁰⁴ Por supuesto, un programa reduccionista sólo es científico si explica más de lo que trata de explicar; de otro modo, la reducción no es científica (cf. Pop-

Por tanto, la posición racional con respecto a los programas «inertados» es explotar su poder heurístico sin resignarse al caos fundamental sobre el que se está construyendo. En conjunto esta actitud dominó la antigua teoría cuántica anterior a 1925. En la nueva teoría cuántica, posterior a 1925, resultó dominante la posición «anarquista», y la física cuántica moderna, en la «interpretación de Copenhague», se convirtió en uno de los principales portestandartes del oscurantismo filosófico. En la *nueva* teoría, el famoso «principio de complementariedad» de Bohr entronizó la inconsistencia (débil) como un rasgo básico último de la naturaleza y fundió el positivismo subjetivista, la dialéctica antilógica e incluso la filosofía del lenguaje común en una alianza poco santa. Después de 1925 Bohr y sus asociados introdujeron un nuevo debilitamiento (carente de precedentes) de las reglas críticas aplicables a las teorías científicas. Esto originó una derrota de la razón en el seno de la física moderna y un culto anarquista al caos inexplicable. Einstein protestó: «La filosofía (¿o religión?) tranquilizadora de Heisenberg y Bohr está tan cuidadosamente creada que por el momento suministra una cómoda almohada para el creyente auténtico»²⁰⁵. Por otra parte, los criterios de Einstein, *demasiado* rigurosos, puede que fueran la razón que le impidió descubrir (o tal vez sólo publicar) el modelo de Bohr y la mecánica ondulatoria.

Einstein y sus aliados no han ganado la batalla. En la actualidad los libros de texto de física están repletos de afirmaciones como ésta: «Los dos puntos de vista, cuanta y campos de fuerza electromagnéticos, son complementarios en el sentido de Bohr. Esta complementariedad es uno de los grandes logros de la filosofía natural;

hechos nuevos, entonces la reducción representa un cambio regresivo de problemática y se trata de un simple ejercicio lingüístico. Los esfuerzos cartesianos de reforzar su metafísica para poder interpretar la gravitación newtoniana en sus propios términos, es un ejemplo notable de tales reducciones meramente lingüísticas. Cf. *arriba*, p. 58, n. 138.

²⁰⁵ Einstein (1928). Entre los críticos del «anarquismo» de Copenhague debemos mencionar, además de Einstein, a Popper, Landé, Schrodinger, Margenau, Blokhinzer, Bohm, Fényes y Jánossy. Para una defensa de la interpretación de Copenhague, cf. Heisenberg (1955); hay una demoledora crítica reciente en Popper (1967). Feyerabend en su (1968-9) utiliza algunas inconsistencias e indecisiones de la posición de Bohr para elaborar una burda falsificación apologetica de la filosofía de Bohr. Feyerabend describe erróneamente las actitudes críticas de Popper, Landé y Margenau con relación a Bohr, no insiste lo suficiente en la oposición de Einstein, y parece haber olvidado completamente que en algunos de sus primeros artículos sobre este tema se mostraba más popperiano que el mismo Popper.

la interpretación de Copenhague de la epistemología de la teoría cuántica ha resuelto el antiguo conflicto entre las teorías corpuscular y ondulatoria de la luz. Esta controversia ha existido desde las propiedades de reflexión y de propagación rectilínea de Herón de Alejandría en el siglo I a. C., pasando por las propiedades ondulatorias y de interferencia de Young y Maxwell en el siglo XIX. En la última mitad del siglo la teoría cuántica de la radiación ha resuelto *completamente* la dicotomía de una forma sorprendentemente hegeliana.»²⁰⁶

Volvamos a la lógica de la investigación de la *antigua* teoría cuántica y, en particular, concentrémonos en su *heurística positiva*. El plan de Bohr fue elaborar primero la teoría del átomo de hidrógeno. Su primer modelo había de basarse en un protón fijo como núcleo, con un electrón en una órbita circular; en su segundo modelo quiso calcular una órbita elíptica en un plano fijo; después trató de eliminar las restricciones claramente artificiales del núcleo fijo y del plano fijo; después pensó en tener en cuenta la posible rotación del electrón²⁰⁷ y más tarde confió en extender su programa a la estructura de átomos complejos y moléculas y al efecto de los campos electromagnéticos sobre ellos, etc. Todo esto fue planificado desde el principio; la idea de que los átomos son análogos a sistemas planetarios originó un programa largo y difícil, pero optimista, y claramente señaló la política de investigación²⁰⁸. «En aquel tiempo (en el año 1913) parecía que la auténtica clave del misterio había sido hallada

²⁰⁶ Power (1964), p. 31 (subrayado añadido). Aquí «completamente» debe interpretarse literalmente. Como leemos en *Nature* (222, 1969, pp. 1034-5): «Es absurdo pensar que cualquier elemento fundamental de la teoría (cuántica) puede ser falso... No se puede mantener el argumento de que los resultados *científicos* siempre son temporales. Lo que es temporal es la concepción de la física moderna que tienen los filósofos, porque aún no han comprendido la profundidad con que los descubrimientos de la física cuántica afectan a la totalidad de la epistemología... La afirmación de que el lenguaje ordinario es la fuente última de la carencia de ambigüedades de la descripción física, queda verificada de la forma más convincente por las condiciones observacionales de la física cuántica.»

²⁰⁷ Esto es una reconstrucción racional. En realidad Bohr aceptó esta idea sólo en su (1926).

²⁰⁸ Además de esta analogía había otra idea básica en la heurística positiva de Bohr: el «principio de correspondencia». Ya indicó esto en 1913 (cf. el segundo de sus cinco postulados citados más arriba en p. 92), pero lo desarrolló sólo más tarde cuando lo utilizó como un principio guía para resolver algunos problemas de los modelos posteriores y más sofisticados (como los estados e intensidades de polarización). La peculiaridad de esta segunda parte de su heurística positiva era que Bohr no creía su versión metafísica: pensaba que era una regla temporal hasta que llegara la sustitución de la teoría electromagnética clásica (y posiblemente de la mecánica).

y que sólo se necesitaba tiempo y paciencia para resolver completamente sus enigmas.»²⁰⁹

El famoso artículo primero de Bohr de 1913 contenía el paso inicial del programa de investigación. Contenía su primer modelo (lo llamaré M_1), que ya predecía hechos no previstos hasta entonces por ninguna teoría previa: la longitud de onda del espectro de líneas de emisión del hidrógeno. Aunque algunas de esas longitudes de onda eran conocidas antes de 1913 (las series de Balmer eran de 1885 y las de Paschen de 1908), la teoría de Bohr predecía mucho más que estas dos series conocidas. Y las contrastaciones pronto corroboraron el contenido nuevo: una serie adicional de Bohr fue descubierta por Lyman en 1914; otra por Brackett en 1922 y aún otra por Pfund en 1924.

Dado que las series de Balmer y de Paschen eran conocidas antes de 1913, algunos historiadores presentan esta historia como un ejemplo del «ascenso inductivo» de Bacon: 1) el caos de las líneas del espectro; 2) una «ley empírica» (Balmer); 3) la explicación teórica (Bohr). Esto ciertamente se parece a los tres «niveles» de Whewell. Pero el progreso de la ciencia difícilmente hubiera sido retrasado de no haber contado con los elogiados ensayos y errores del ingenioso maestro suizo: la ruta especulativa de la ciencia, desarrollada por las audaces especulaciones de Planck, Rutherford, Einstein y Bohr hubiera producido deductivamente los resultados de Balmer, como enunciados contrastadores de sus teorías, sin el llamado trabajo «pionero» de Balmer. En la reconstrucción racional de la ciencia hay escasas recompensas para los esfuerzos de quienes producen «conjeturas ingenuas»²¹⁰.

²⁰⁹ Davisson (1937). Una euforia similar experimentó MacLaurin en 1748 con relación al programa de Newton: «Puesto que la filosofía de Newton se fundamenta en el experimento y en la demostración, no puede fracasar mientras no cambie la razón o la naturaleza de las cosas... Lo único que Newton dejó por hacer a la posteridad fue observar los cielos y computar posteriormente los modelos» (MacLaurin, 1748, p. 8).

²¹⁰ Utilizo la expresión «conjetura ingenua» como un término técnico en el sentido de mi (1963-4). Se encontrará el estudio de un caso particular y una crítica detallada del mito de la «base inductiva» de la ciencia (natural o matemática) en mi (1963-4), sección 7, especialmente pp. 298-307. Allí muestro que la «conjetura ingenua» de Descartes y Euler de que para todos los poliedros $V - E + F = 2$ era irrelevante y superflua para el desarrollo posterior; como ejemplos adicionales se puede mencionar que el trabajo de Boyle y sus sucesores para establecer $pV = RT$ era irrelevante para el ulterior desarrollo teórico (excepto por lo que se refiere al desarrollo de algunas técnicas experimentales), del mismo modo que las tres leyes de Kepler pueden haber sido superfluas para la teoría de la gravitación newtoniana.

Para una discusión ulterior de este tema, cf. *abajo*, p. 117.

De hecho, el problema de Bohr no era explicar las series de Balmer y Paschen, sino explicar la paradójica estabilidad del átomo de Rutherford. Mas aún, Bohr ni siquiera conocía estas fórmulas antes de escribir la primera versión de su artículo ²¹¹.

No todo el contenido nuevo del primer modelo de Bohr, M_1 , fue corroborado. Por ejemplo, en M_1 Bohr pretendió ser capaz de predecir todas las líneas del espectro de emisión del hidrógeno. Pero existía evidencia experimental de una serie de hidrógeno que según M_1 de Bohr no debía existir. La serie anómala era la serie ultravioleta Pickering-Fowler.

Pickering descubrió esta serie en 1896 en el espectro de la estrella ζ Puppis. Fowler, tras haber descubierto su primera línea también en el sol en 1898, produjo toda la serie en un tubo de descarga que contenía hidrógeno y helio. Ciertamente se podía argumentar que la línea monstruo nada tenía que ver con el hidrógeno; después de todo, el sol y ζ Puppis contienen muchos gases y el tubo de descarga también contenía helio. Realmente la línea *no* podía producirse en un tubo de hidrógeno puro. Pero la «técnica experimental» de Pickering y Fowler, que originó una hipótesis falsadora de la ley de Balmer, tenía un fundamento teórico plausible aunque nunca severamente contrastado: a) sus series tenían el mismo número de convergencia que las series de Balmer y por ello se aceptó que era una serie de hidrógeno, y b) Fowler dio una explicación plausible por la que el helio no podía ser responsable de la producción de la serie ²¹².

Sin embargo, Bohr no quedó muy impresionado por la «autoridad» de los físicos experimentales. No puso en duda su «precisión experimental» o la «fiabilidad de sus observaciones» sino que atacó su teoría observacional. Realmente propuso una alternativa. Primero elaboró un nuevo modelo M_2 de su programa de investigación: el modelo de helio ionizado con un doble protón orbitado por un elec-

²¹¹ Cf. Jammer (1966), pp. 77 y ss.

²¹² Fowler (1912). Por cierto, su teoría «observacional» fue suministrada por las «investigaciones teóricas de Rydberg», que «en ausencia de una prueba experimental estricta, consideró que justificaban su conclusión (experimental)» (p. 65). Pero su colega teórico, el profesor Nicholson, se refirió tres meses más tarde a los descubrimientos de Fowler como «confirmaciones de laboratorio de la conclusión teórica de Rydberg» (Nicholson, 1913). Esta pequeña historia entiendo que corrobora mi tesis favorita de que la mayoría de científicos tienden a saber de la ciencia poco más que los peces de la hidrodinámica.

En el Informe de la Presidencia correspondiente al 93 Congreso General Anual de la Royal Astronomical Society, se describe la «observación de Fowler en experimentos de laboratorio de nuevas líneas de hidrógeno que durante tanto tiempo han desafiado los esfuerzos de los físicos» como «un avance de gran interés» y como «un triunfo del trabajo experimental propiamente dirigido».

trón. Ahora este modelo predecía una serie ultravioleta en el espectro de helio ionizado que coincide con las series Pickering-Fowler. Esta era una teoría rival. Entonces sugirió un «experimento crucial»: predijo que la serie de Fowler puede producirse, posiblemente con líneas aún más fuertes, en un tubo lleno de una mezcla de helio y cloro. Además Bohr explicó a los experimentadores, sin mirar siquiera a sus aparatos, el poder catalítico del hidrógeno en el experimento de Fowler y del cloro en el que él sugería²¹³. Tenía razón²¹⁴. De este modo la primera derrota aparente del programa de investigación se convirtió en una resonante victoria.

Sin embargo, la victoria inmediatamente fue puesta en duda. Fowler aceptó que su serie no era una serie de hidrógeno sino de helio. Pero señaló que el «ajuste de la anomalía» de Bohr²¹⁵ fracasaba de todas formas: las longitudes de onda de la serie de Fowler difieren de forma importante de los valores previstos por el M_2 de Bohr. Por tanto, la serie, aunque no refuta a M_1 , refuta a M_2 y debido a la estrecha conexión entre M_1 y M_2 debilita a M_1 ²¹⁶.

Bohr rechazó el argumento de Fowler: *por supuesto* él nunca había pretendido que M_2 se tomara demasiado en serio. Sus valores estaban basados en un cálculo rudimentario aplicado al electrón en órbita alrededor de un núcleo fijo; *por supuesto*, en realidad gira en torno al centro común de gravedad; *por supuesto*, lo mismo que sucede cuando se tratan problemas de dos cuerpos, es necesario sustituir la masa por la masa reducida: $m_0 = m_0 / [1 + (m_0/m_n)]$ ²¹⁷. Este modelo modificado fue el M_3 de Bohr. Y el mismo Fowler tuvo que admitir que Bohr de nuevo tenía razón²¹⁸.

La refutación aparente de M_2 se convirtió en una victoria de M_3 y era claro que M_2 y M_3 hubieran sido desarrollados en el seno del programa (tal vez también M_{17} o M_{20}) sin *ningún* estímulo observa-

²¹³ Bohr (1913b).

²¹⁴ Evans (1913). Para un ejemplo similar de un físico teórico que enseña al experimentalista proclive a descubrir refutaciones, lo que él (el experimentalista) ha observado realmente, cf. *arriba*, p. 63, n. 151.

²¹⁵ «Ajuste de anomalías»: convertir a un contraejemplo en un ejemplo mediante alguna nueva teoría. Cf. mi (1963-4), pp. 127 y ss. Pero el «ajuste» de Bohr fue empíricamente progresivo: predijo un hecho nuevo (la aparición de la línea 4686 en tubos que no contienen hidrógeno).

²¹⁶ Fowler (1913a).

²¹⁷ Bohr (1913c). Este ajuste de la anomalía también fue «progresivo»; Bohr predijo que las observaciones de Fowler tenían que ser ligeramente imprecisas y que la «constante» de Rydberg debía tener una estructura fina.

²¹⁸ Fowler (1913b). Pero observó escépticamente que el programa de Bohr aún no había explicado las líneas del espectro del helio ordinario, no ionizado. Sin embargo, pronto abandonó su escepticismo y se unió al programa de investigación de Bohr (Fowler, 1914).

cional o experimental. Fue en este momento cuando Einstein dijo de la teoría de Bohr: «Es uno de los mayores descubrimientos»²¹⁹.

Después el programa de investigación de Bohr continuó como se había previsto. El siguiente paso fue calcular las órbitas elípticas. Esto lo hizo Sommerfeld en 1915, pero con el resultado (inesperado) de que el número, ahora incrementado, de órbitas posibles, *no* aumentaba el número de niveles de energía posibles, por lo que no parecía existir la posibilidad de un experimento crucial entre la teoría elíptica y la circular. Sin embargo, los electrones giran en torno al núcleo con una velocidad muy elevada, por lo que cuando aceleran su masa debería cambiar apreciablemente si la mecánica de Einstein es cierta. Cuando Sommerfeld calculó tales correcciones relativistas obtuvo un nuevo conjunto de niveles de energía y, por tanto, la «estructura fina» del espectro.

El paso a este nuevo modelo relativista requería una capacitación matemática muy superior con relación a la requerida para los primeros modelos. El logro de Sommerfeld fue primordialmente matemático²²⁰.

Es curioso observar que los pares del espectro del hidrógeno ya habían sido descubiertos en 1891 por Michelson²²¹. Moseley señaló inmediatamente tras la primera publicación de Bohr que «no explica la segunda línea más débil que se encuentra en cada espectro»²²². Bohr no se preocupó: estaba convencido de que la heurística positiva de su programa de investigación, *llegado el momento*, explicaría e incluso corregiría las observaciones de Michelson²²³. Y así sucedió. La teoría de Sommerfeld era, por supuesto, inconsistente con las primeras versiones de Bohr: los experimentos sobre la estructura fina (corrigiendo las antiguas observaciones) suministraron la evidencia crucial favorable. Muchas de las derrotas de los primeros modelos de Bohr fueron convertidas por Sommerfeld y la escuela de Munich en victorias del programa de investigación de Bohr.

Resulta interesante observar que del mismo modo que Einstein se cansó y amínoró su ritmo de trabajo en la mitad del progreso espectacular de la física cuántica en 1913, Bohr se cansó e hizo lo mismo en 1916; y al igual que Bohr en 1913 había asumido el lide-

²¹⁹ Cf. Hevesy (1913): «Cuando le hablé del espectro de Fowler los grandes ojos de Einstein parecieron aún mayores y me dijo: “Entonces es uno de los mayores descubrimientos.”»

²²⁰ Sobre los esenciales aspectos matemáticos de los programas de investigación, cf. *arriba*, p. 71.

²²¹ Michelson (1891-2), especialmente pp. 287-9. Michelson ni siquiera menciona a Balmer.

²²² Moseley (1914).

²²³ Sommerfeld (1916), p. 68.

razgo cedido por Einstein, Sommerfeld en 1916 asumió el liderazgo cedido por Bohr. La diferencia entre la atmósfera de la escuela de Copenhague de Bohr y la escuela de Munich de Sommerfeld, era notoria: «En Munich se utilizaban formulaciones más concretas y por ello más fácilmente comprensibles: se había tenido éxito en la sistematización del espectro y en el uso de modelos vectoriales. En Copenhague, sin embargo, se entendía que aún no se había descubierto un lenguaje adecuado para los nuevos fenómenos, había reticencias con respecto a las formulaciones demasiado precisas, se expresaban con mayor cautela, en términos generales, y por ello la comprensión resultaba mucho más difícil.»²⁴.

Nuestro resumen muestra el modo en que un cambio progresivo puede suministrar credibilidad (y una *racionalidad*) a un programa inconsistente. Bohr, en su nota necrológica de Planck, describe vívidamente este proceso: «Por supuesto, la simple introducción de los cuanta de acción aún no equivale al establecimiento de una auténtica teoría cuántica..., las dificultades que la introducción de los cuanta de acción en la bien establecida teoría clásica encontró desde el principio ya han sido indicadas. Gradualmente han crecido en lugar de disminuir; la investigación, en su marcha ascendente, ha pasado por alto algunas de ellas, pero las lagunas teóricas subsistentes siguen representando un enojoso problema para el físico teórico consciente. De hecho, lo que en la teoría de Bohr servía como base para las leyes de acción son ciertas hipótesis que hace una generación hubieran sido completamente rechazadas por cualquier físico. El que en el seno del átomo ciertas órbitas cuánticas (esto es, elegidas según el principio del cuanto) desempeñen una función especial, puede ser concedido; resulta ligeramente menos fácil de aceptar el supuesto adicional de que los electrones, que se mueven en órbitas curvilíneas y por ello aceleradas, no radian energía. Pero el que la frecuencia, claramente definida, de un cuanto de luz emitida sea diferente de la frecuencia del electrón que la emite, sería considerado por el teórico educado en la escuela clásica como monstruoso y apenas concebible. Pero los números (o más bien los *cambios progresivos de problemáticas*) deciden y consiguientemente la posición se ha invertido. Mien-

²⁴ Hund (1961). Este tema se discute extensamente en Feyerabend (1968-9), pp. 83-7. Pero el artículo de Feyerabend es muy tendencioso. Su principal finalidad es diluir el anarquismo metodológico de Bohr y mostrar que Bohr *se opuso* a la interpretación de Copenhague del nuevo programa cuántico (posterior a 1925). Para ello, por una parte Feyerabend exagera la insatisfacción de Bohr acerca de la inconsistencia del antiguo programa cuántico (anterior a 1925), y, por la otra, atribuye excesiva importancia al hecho de que Sommerfeld se preocupara menos del carácter problemático de los fundamentos inconsistentes del viejo programa que Bohr.

tras que originalmente el problema era incorporar, con una distorsión mínima, un elemento nuevo y extraño en un sistema existente que era generalmente reconocido como completo, el hecho es que *ahora el intruso, tras haber conquistado una posición segura, ha pasado a la ofensiva* y parece cierto que está a punto de destruir el antiguo sistema por alguna de sus partes. El problema es saber cuál es esa parte y en qué medida ello va a suceder.»²²⁵

Una de las cuestiones más importantes que se aprenden al estudiar programas de investigación es que hay un número relativamente pequeño de experimentos que sean realmente importantes. La orientación heurística que recibe el físico teórico de las contrastaciones y de las «refutaciones» es normalmente tan trivial que la contrastación a gran escala (o incluso el preocuparse demasiado por los datos ya disponibles) puede resultar una pérdida de tiempo. En la mayoría de los casos no necesitamos refutaciones para saber que una teoría requiere una sustitución urgente: en cualquier caso la heurística positiva del programa nos impulsa hacia adelante. Además, el ofrecer una interpretación severamente refutable de una versión en crecimiento de un programa constituye una peligrosa crueldad metodológica. Es posible incluso que las primeras versiones sólo se apliquen a casos «ideales» no existentes; puede consumir décadas de trabajo teórico el llegar a los primeros hechos nuevos y aún más tiempo el llegar a versiones de *contrastación interesante* de los programas de investigación, a etapas en que las refutaciones ya no son previsibles a la luz del programa mismo.

Por tanto, la dialéctica de los programas de investigación no es necesariamente una serie alternante de conjeturas especulativas y refutaciones empíricas. La interacción entre el desarrollo del programa y los frenos empíricos puede ser muy diversa; la pauta que se cumpla en la realidad sólo depende de accidentes históricos. Mencionaremos tres variantes típicas.

1) Imaginemos que cada una de las tres primeras versiones consecutivas, H_1 , H_2 , H_3 , predice con éxito algunos hechos nuevos y otros sin éxito; esto es, cada nueva versión queda corroborada y refutada a la vez. Finalmente se propone H_4 , que predice algunos hechos nuevos y resiste las contrastaciones más severas. El cambio de problemática es progresivo y además encontramos en este caso una maravillosa sucesión popperiana de conjeturas y refutaciones²²⁶.

²²⁵ Born (1948), p. 180 (subrayado añadido).

²²⁶ En las tres primeras pautas no introducimos complicaciones como apelaciones triunfantes contra el veredicto de los científicos experimentales.

Podemos admirar este caso como un ejemplo clásico de trabajo teórico y experimental conjunto.

2) Otra posibilidad sería imaginar a un Bohr solitario (posiblemente sin que le precediera Balmer) elaborando H_1 , H_2 , H_3 , H_4 , pero que por razones de autocrítica no publica hasta H_4 . Después se contrasta H_4 y toda la evidencia se convierte en corroboraciones de H_4 , la primera (y única) hipótesis publicada. En este caso se advierte que el teórico va por delante del experimentador: se trata de un período de autonomía relativa del progreso teórico.

3) Imaginemos que *toda* la evidencia empírica mencionada en estos tres modelos está disponible en el momento de invención de H_1 , H_2 , H_3 y H_4 . En este caso, H_1 , H_2 , H_3 , H_4 no representa un cambio progresivo de problemática y por ello, aunque toda la evidencia apoye a sus teorías, el científico debe continuar trabajando para probar el valor científico de su programa²²⁷. Esta situación puede originarse bien porque un programa de investigación más antiguo (que ha sido atacado por el que conduce a H_1 , H_2 , H_3 , H_4) ya había producido tales hechos o porque hay mucho dinero público destinado a la recopilación de hechos sobre las líneas del espectro y hubo mercenarios que tropezaron con tales datos. Sin embargo, este último caso es muy improbable porque, como solía decir Cullen, «el número de hechos falsos defendidos en el mundo es infinitamente superior al de teorías falsas»²²⁸; en la mayoría de tales casos el programa de investigación entrará en conflicto con los hechos disponibles, el teórico examinará las «técnicas experimentales» del experimentador y, tras destruirlas y sustituirlas, corregirá los hechos produciendo así otros nuevos²²⁹.

Tras esta digresión metodológica regresemos al programa de Bohr. No todos los desarrollos del programa fueron previstos y pla-

²²⁷ Esto muestra que si exactamente las mismas teorías y la misma evidencia se reconstruyen racionalmente en diferentes órdenes temporales, pueden constituir o bien un cambio progresivo o regresivo. También cf. MCE, cap. 8, pp. 239-40.

²²⁸ Cf. McCulloch (1825), p. 19. Se encontrará un poderoso argumento sobre lo extremadamente improbable de tal pauta *abajo*, p. 94.

²²⁹ Tal vez deberíamos mencionar que la recopilación maníaca de datos y la «excesiva» precisión impiden incluso la formación de hipótesis empíricas ingenuas como la de Balmer. De haber conocido Balmer el espectro preciso de Michelson, ¿hubiera descubierto su fórmula? O bien, si los datos de Tycho Brahe hubieran sido más precisos, ¿se hubiera formulado nunca la ley elíptica de Kepler? Lo mismo es aplicable a la primera versión ingenua de la ley general de los gases, etc. La conjetura de Descartes y Euler sobre poliedros puede que nunca hubiera aparecido de no ser por la escasez de datos; cf. mi (1963-4), pp. 298 y ss.

nificados cuando se esbozó por primera vez la heurística positiva. Cuando aparecieron algunas sorprendentes lagunas en los modelos sofisticados de Sommerfeld (nunca aparecieron algunas de las líneas previstas), Pauli propuso una profunda hipótesis auxiliar (su «principio de exclusión») que no sólo explicaba las lagunas conocidas sino que remodelaba la teoría del sistema periódico de elementos y anticipaba algunos hechos entonces desconocidos.

No deseo ofrecer aquí una exposición detallada del desarrollo del programa de Bohr. Pero desde un punto de vista metodológico su estudio minucioso es una verdadera mina de oro: su progreso, maravillosamente rápido, y sobre fundamentos inconsistentes, fue asombroso; la belleza, originalidad y éxito empírico de sus hipótesis auxiliares, defendidas por científicos brillantes e incluso geniales, no tenía precedentes en la historia de la Física²³⁰. En alguna ocasión, la siguiente versión del programa sólo requirió de alguna mejora trivial, como la sustitución de «masa» por «masa reducida». Sin embargo, y en otras ocasiones, para llegar a la versión siguiente se requerían nuevas y sofisticadas matemáticas, como las matemáticas del problema de «muchos-cuerpos», o nuevas y sofisticadas teorías físicas auxiliares. La física o las matemáticas adicionales o bien se tomaban de alguna parte del conocimiento existente (como la teoría de la relatividad) o se inventaban (como el principio de exclusión de Pauli). En el segundo caso nos encontramos con un cambio creativo de la heurística positiva.

Pero incluso a este gran programa le llegó un momento en que su poder heurístico quedó agotado. Se multiplicaron las hipótesis *ad hoc* que no podían ser sustituidas por explicaciones acrecentadas de contenido. Por ejemplo, la teoría de Bohr del espectro molecular predecía la siguiente fórmula para las moléculas diatómicas:

$$v = \frac{h}{8\pi^2 I} [(m+1)^2 - m^2].$$

Pero la fórmula quedó refutada. Los seguidores de Bohr sustituyeron el término m^2 por $m(m+1)$; esto se ajustaba a los hechos, pero evidentemente era una alteración *ad hoc*.

²³⁰ «Entre la aparición de la gran trilogía de Bohr de 1913 y el nacimiento de la mecánica ondulatoria en 1925, se publicó un gran número de artículos que convertían las ideas de Bohr en una impresionante teoría sobre los fenómenos atómicos. Se trató de un esfuerzo colectivo y los nombres de los físicos que contribuyeron al mismo forman una larga lista: Bohr, Klein, Rosseland, Kramers, Pauli, Sommerfeld, Planck, Einstein, Ehrenfest, Epstein, Debye, Schwarzschild, Wilson» (Ter Haar, 1967, p. 43).

Después llegó el problema de algunos pares inexplicados en el espectro del álcali. Landé los explicó en 1924 mediante una «regla de división relativista» *ad hoc* y Goudsmit y Uhlenbeck en 1925 por el spin del electrón. Si la explicación de Landé era *ad hoc*, la de Goudsmit y Uhlenbeck era, además, inconsistente con la teoría especial de la relatividad: los puntos en la superficie del electrón tenían que viajar con mayor velocidad que la luz y el electrón tenía que ser mayor incluso que el átomo²³¹. Se necesitaba gran valor para proponer esto. (A Kronig se le ocurrió antes la idea, pero se abstuvo de publicarla porque pensó que era inadmisible.)²³²

Pero la temeridad para proponer audaces inconsistencias ya no suministraba recompensas adicionales. El programa se retrasó con relación al descubrimiento de los «hechos». Las anomalías no digeridas inundaron el terreno. Había comenzado la fase regresiva del programa de investigación, con inconsistencias aún más estériles y con hipótesis aún más *ad hoc*; usando una de las frases favoritas de Popper, puede decirse que comenzó a perder «su carácter empírico»²³³. Había muchos problemas, como la teoría de las perturbaciones, de los que ni siquiera podía esperarse que fueran resueltos en su seno. Pronto apareció un programa de investigación rival: la mecánica ondulatoria. El nuevo programa no sólo explicó en su primera versión (De Broglie, 1924) las condiciones cuánticas de Planck y Bohr, sino que condujo a un sorprendente hecho nuevo, al experimento Davisson-Germer. En sus versiones posteriores, crecientemente sofisticadas, ofreció soluciones para problemas que habían estado enteramente fuera del alcance del programa de investigación de Bohr y explicó las teorías tardías y *ad hoc* del programa de Bohr mediante otras que satisfacían criterios metodológicos exigentes. La mecánica ondulatoria pronto alcanzó, venció y sustituyó al programa de Bohr.

El artículo de De Broglie apareció en un momento en que el programa de Bohr estaba degenerando. Pero esto fue una mera coin-

²³¹ En una nota de su artículo se lee: «Se debe observar que (según nuestra teoría) la velocidad periférica del electrón excedería considerablemente a la velocidad de la luz» (Uhlenbeck y Goudsmit, 1925).

²³² Jammer (1966), pp. 146-8 y 151.

²³³ Para una vívida descripción de esta fase regresiva del programa de Bohr, cf. Margenau (1950), pp. 311-13.

En la fase progresiva de un programa el principal estímulo heurístico procede de la heurística positiva; en gran medida se ignoran las anomalías. En la fase regresiva el poder heurístico del programa se desvanece. En ausencia de un programa rival esta situación puede reflejarse en la psicología de los científicos mediante una hipersensibilidad poco habitual con relación a las anomalías y un sentimiento de «crisis» kuhniiana.

cidencia. Me pregunto qué hubiera sucedido si De Broglie hubiera escrito y publicado su artículos en 1914 y no en 1924.

d) *Un nuevo examen de los experimentos cruciales:
el fin de la racionalidad instantánea*

Sería equivocado suponer que se debe ser fiel a un programa de investigación hasta que éste ha agotado todo su poder heurístico, que no se debe introducir un programa rival antes de que todos acepten que probablemente ya se ha alcanzado el nivel de regresión. (Aunque comprendemos la irritación del físico que, en medio de la fase progresiva del programa de investigación, se ve enfrentado por una proliferación de vagas teorías metafísicas que no estimulan progreso empírico alguno)²³⁴. Nunca se debe permitir que un programa de investigación se convierta en una *Weltanschauung*, en un canon del rigor científico, que se erige en árbitro entre la explicación y la no-explicación, del mismo modo que el rigor matemático se erige como árbitro entre la prueba y la no-prueba. Desgraciadamente esta es la postura que defiende Kuhn: realmente lo que él llama «ciencia normal» no es sino un programa de investigación que ha obtenido el monopolio. Pero de hecho los programas de investigación pocas veces han conseguido un monopolio completo y ello sólo durante períodos de tiempo relativamente cortos, a pesar de los esfuerzos de algunos cartesianos, newtonianos y bohrianos. *La historia de la ciencia ha sido y debe ser una historia de programas de investigación que compiten (o si se prefiere, de «paradigmas»), pero no ha sido ni debe convertirse en una sucesión de períodos de ciencia normal; cuanto antes comience la competencia tanto mejor para el progreso.* El «pluralismo teórico» es mejor que el «monismo teórico»; sobre este tema Popper y Feyerabend tienen razón y Kuhn está equivocado²³⁵.

²³⁴ Esto es lo que más debe haber irritado a Newton de la «proliferación escéptica de teorías» por obra de los cartesianos.

²³⁵ Sin embargo, algo puede decirse en favor de que al menos *algunas* personas se aferren a un programa de investigación hasta que éste alcanza su «punto de saturación»; entonces se pide a un programa nuevo que explique todos los éxitos del antiguo. No constituye un argumento contra este punto de vista el que el programa rival ya haya explicado, cuando fue propuesto por vez primera, todos los éxitos del primer programa; el crecimiento de un programa de investigación no puede predecirse; por sí mismo puede estimular importantes e imprevisibles teorías auxiliares. Además, si una versión A_n de un programa de investigación P_1 , es matemáticamente equivalente a una versión A_m de un programa rival P_2 , ambas tendrían que ser desarrolladas; puede ser que su poder heurístico sea muy diferente.

La idea de programas de investigación científica en competencia nos conduce a este problema: *¿cómo son eliminados los programas de investigación?* De nuestras consideraciones previas se desprende que un desplazamiento regresivo de problemática es una razón tan insuficiente para eliminar un programa de investigación como las anticuadas «refutaciones» o las «crisis» kuhnianas. *¿Puede existir alguna razón objetiva* (en contraposición a socio-psicológica) *para rechazar un programa, esto es, para eliminar su núcleo firme y su programa para la construcción de cinturones protectores?* En resumen, nuestra respuesta es que tal razón objetiva la suministra un programa de investigación rival que explica el éxito previo de su rival y le supera mediante un despliegue adicional de *poder heurístico*²³⁶.

Sin embargo, el criterio de «poder heurístico» depende fundamentalmente del significado que atribuyamos a la expresión «novedad fáctica». Hasta ahora hemos supuesto que resulta muy fácil discernir si una nueva teoría predice un hecho nuevo o no²³⁷. Pero *frecuentemente la novedad de una proposición fáctica sólo puede apreciarse cuando ha transcurrido un largo espacio de tiempo*. Para explicar esta cuestión comenzaré con un ejemplo.

La teoría de Bohr implicaba lógicamente la fórmula de Balmer para las líneas del hidrógeno como una consecuencia²³⁸. ¿Se trataba de un hecho nuevo? Se puede sentir la tentación de responder negativamente, puesto que, después de todo, la fórmula de Balmer era muy conocida. Pero esta es una verdad a medias. Balmer simplemente «observó» B₁: que *las líneas del hidrógeno obedecen a la fórmula de Balmer*. Bohr predijo B₂: que *las diferencias en los niveles de energía de las diferentes órbitas del electrón del hidrógeno obedecen a la fórmula de Balmer*. Ahora bien, es posible afirmar que B₁ ya contiene todo el contenido puramente «observacional» de B₂. Pero afirmar esto presupone que puede existir un «nivel observacional» puro, sin mezcla de teoría e inmune al cambio teórico. De hecho, B₁ fue aceptado sólo porque las teorías ópticas, químicas y de otras clases *aplicadas* por Balmer estaban muy corroboradas y eran aceptadas como teorías interpretativas, y tales teorías podían ser puestas en duda. Se puede argumentar que es posible «depurar» incluso B₁ de sus presupuestos teóricos alcanzando así lo que Balmer realmente «observó»,

²³⁶ Utilizo «poder heurístico» como un término técnico para caracterizar el poder que tiene un programa de investigación de anticipar en su crecimiento hechos que son teóricamente nuevos. Por supuesto también podría hablar de «poder explicativo»: cf. *arriba*, pp. 49-50, n. 110.

²³⁷ Cf. *arriba*, p. 46, texto de nota 95, y p. 67, texto de la nota 164.

²³⁸ Cf. *arriba*, p. 83.

algo que puede ser expresado como la afirmación más modesta B_0 : *las líneas emitidas en ciertos tubos en circunstancias específicas (o en el curso de un experimento «controlado») ²³⁹ obedecen a la fórmula de Balmer.* Ahora bien, algunos de los argumentos de Popper demuestran que *nunca* podemos llegar de este modo a ningún sólido fundamento observacional; es fácil mostrar que hay teorías observacionales involucradas en B_0 ²⁴⁰. Por otra parte, dado que el programa de Bohr había probado su poder heurístico tras un dilatado desarrollo progresivo, su mismo núcleo firme hubiera quedado corroborado ²⁴¹ y por ello cualificado como teoría interpretativa u «observacional». Pero entonces B_2 puede considerarse como un *hecho nuevo* y no como una mera reinterpretación teórica de B_1 .

Estas consideraciones confieren importancia adicional al elemento retrospectivo en nuestras evaluaciones y conducen a una mayor liberalización de nuestros criterios. Un nuevo programa de investigación que acaba de iniciar su carrera puede comenzar por explicar «hechos antiguos» de una forma nueva y puede suceder que no sea capaz de producir hechos «genuinamente nuevos» hasta mucho tiempo después. Por ejemplo, la teoría cinética del calor durante décadas *pareció* retrasada con relación a los resultados de la teoría fenomenológica, pero finalmente la superó como la teoría Einstein-Smoluchowski acerca del movimiento browniano de 1905. Tras esto, lo que previamente había parecido una reinterpretación especulativa de hechos antiguos (sobre el calor, etc.) resultó ser un descubrimiento de hechos nuevos (sobre átomos).

Todo esto indica que no podemos eliminar un programa de investigación en crecimiento simplemente porque, por el momento, no haya conseguido superar a un poderoso rival. No deberíamos abando-

²³⁹ Cf. *arriba*, p. 40, n. 75.

²⁴⁰ Uno de los argumentos de Popper es particularmente importante: «Existe una generalizada creencia en que el enunciado “Veo que esta mesa es blanca” tiene, desde el punto de vista de la epistemología, alguna profunda ventaja con relación al enunciado “Esta mesa es blanca”. Pero desde el punto de vista de evaluar sus posibles contrastaciones objetivas, el primer enunciado que habla sobre mí no parece más seguro que el segundo enunciado que habla sobre la mesa» (1934, sección 27). Neurath hace un comentario característicamente torpe sobre este pasaje: «Para nosotros tales enunciados protocolarios tienen la ventaja de *tener más estabilidad*. Es posible mantener el enunciado “La gente del siglo XVI veía espadas flamígeras en el cielo”, mientras que se rechaza “Había espadas flamígeras en el cielo”» (Neurath, 1935, p. 362).

²⁴¹ *Diremos de pasada que esta observación define un «grado de corroboración» para los núcleos firmes «irrefutables» de los programas de investigación. La teoría de Newton (aislada) no tenía contenido empírico, pero estaba, en este sentido, muy corroborada.*

*narlo si constituyera (en el supuesto de que su rival no estuviera presente) un cambio progresivo de problemática*²⁴². Y ciertamente debemos considerar a un hecho que acaba de ser reinterpretado como un hecho nuevo, ignorando las insolentes pretensiones de prioridad de los coleccionistas de hechos no profesionales. Mientras un joven programa de investigación pueda ser reconstituido racionalmente como un cambio progresivo de problemática, debe ser protegido durante un tiempo de su poderoso rival establecido²⁴³.

En conjunto estas consideraciones acentúan la importancia de la tolerancia metodológica, pero dejan sin responder la pregunta sobre cómo son eliminados los programas de investigación. Puede ser que el lector sospeche incluso que tanta insistencia en la falibilidad liberaliza o, más bien, debilita nuestros criterios hasta el punto de confundirse con los del escepticismo radical. Ni siquiera los célebres «experimentos cruciales» tendrán fuerza para destruir un programa de investigación: cualquier cosa vale²⁴⁴.

Esta sospecha carece de fundamento. *En el seno* de un programa de investigación los «experimentos cruciales menores» entre versiones subsiguientes son muy corrientes. Los experimentos «deciden» fácilmente entre la versión científica n y la $n + 1$, puesto que la $n + 1$ no sólo es inconsistente con la n sino que también la supera. Si la versión $n + 1$ tiene más contenido corroborado a la luz de algún programa y a la luz de algunas teorías observacionales muy corroboradas, la eliminación es relativamente un asunto rutinario (sólo relativamente, puesto que incluso en este caso la decisión puede ser apelada). También los procedimientos de apelación son fáciles en algunas ocasiones: en muchos casos la teoría observacional que se discute, lejos de estar muy corroborada, constituye de hecho un supuesto ingenuo, inarticulado y oculto; sólo la confrontación descubre la existencia de este supuesto oculto, y origina su articulación, contrastación y destrucción. Sin embargo, muchas veces las teorías observacionales forman parte de algún programa de investigación y

²⁴² Por cierto, en la metodología de los programas de investigación, el significado pragmático de «rechazo» (de un programa) resulta absolutamente claro: significa la decisión de dejar de trabajar en él.

²⁴³ Algunos prudentemente pueden considerar que este período de desarrollo protegido es «precientífico» (o «teórico») y que sólo se debe reconocer su carácter auténticamente científico (o empírico) cuando comience a producir hechos genuinamente nuevos; pero en tal caso su reconocimiento tendrá que ser retroactivo.

²⁴⁴ Por cierto, *este conflicto entre falibilidad y crítica puede ser correctamente considerado como el principal problema (y fuerza impulsora) del programa de investigación popperiano sobre teoría del conocimiento.*

en tales casos el procedimiento de apelación origina un conflicto entre dos programas de investigación; en tales casos un *experimento crucial fundamental* puede ser necesario.

Cuando compiten dos programas de investigación, sus primeros modelos «ideales» normalmente se ocupan de diferentes aspectos del dominio (por ejemplo, el primer modelo de la óptica semicorpuscular de Newton describía la refracción de la luz; el primer modelo de la óptica ondulatoria de Huyghens, la interferencia de la luz). Conforme se expanden los programas de investigación rivales, gradualmente penetran en el territorio del otro hasta suceder que la versión n del primero es inconsistente de forma flagrante y dramática con la versión m del segundo²⁴⁵. Se realiza repetidamente un experimento y como resultado, el primero es derrotado en *esta batalla* mientras que gana el segundo. Pero la guerra no ha terminado: a cualquier programa se le permiten unas cuantas derrotas como ésta. Todo lo que necesita para un contraataque es producir una versión acrecentadora de contenido ($n + 1$) o ($n + k$) y una verificación de una parte de su contenido nuevo.

Si tras continuados esfuerzos tal contraataque no se produce, la guerra se ha perdido y el experimento original se considera *retrospectivamente* como crucial. Pero especialmente si el programa derrotado es un programa joven y de crecimiento rápido y si decidimos otorgar crédito suficiente a sus éxitos precientíficos, los experimentos cruciales se disuelven uno tras otro con la ola de su marcha ascendente. Incluso si el programa derrotado es un programa antiguo y «gastado», próximo a su «punto de saturación natural»²⁴⁶, puede continuar resistiendo durante mucho tiempo, defendiéndose con ingeniosas innovaciones acrecentadoras de contenido aun cuando éstas no obtengan la recompensa del éxito empírico. Es muy difícil derrotar a un programa de investigación que esté defendido por científicos imaginativos y de talento. Alternativamente los defensores recalci-

²⁴⁵ Un caso especialmente interesante de tal competencia es la *simbiosis competitiva*; aquellos casos en que un nuevo programa se injerta en otro viejo con el que es inconsistente; cf. *arriba*, p. 78.

²⁴⁶ No existe un «punto de saturación natural»; en mi (1963-4), especialmente en las páginas 327-8, me mostré con mayor talante hegeliano y pensé que tal cosa existía; ahora utilizo la expresión de forma irónica. No existe una limitación predecible o descubrible de la imaginación humana para inventar teorías nuevas y acrecentadoras de contenido, ni de la «destreza de la razón» (*List der Vernunft*) para recompensarlas con algún éxito empírico aunque sean falsas o incluso si la nueva teoría tiene menos verosimilitud (en el sentido de Popper) que su predecesora. (Probablemente cualquier teoría científica formulada por un ser humano será falsa; sin embargo, puede ser recompensada con éxitos empíricos e incluso tener una verosimilitud creciente.)

trantes del programa derrotado pueden ofrecer explicaciones *ad hoc* de los experimentos o una astuta reducción *ad hoc* del programa victorioso al derrotado. Pero debemos rechazar tales esfuerzos como no-científicos²⁴⁷.

Nuestras consideraciones explican el por qué los experimentos cruciales sólo han sido considerados como cruciales décadas más tarde. Las elipses de Kepler fueron aceptadas con generalidad como evidencia crucial en favor de Newton y contra Descartes sólo aproximadamente cien años después de que Newton formulara tal pretensión. La conducta anómala del perihelio de Mercurio era conocida desde hacía décadas como una de las muchas dificultades no resueltas del programa de Newton, pero fue el hecho de que la teoría de Einstein la explicó mejor, lo que transformó a una anomalía vulgar en una «refutación» brillante del programa de investigación de Newton²⁴⁸. Jung afirmó que su experimento de la doble ranura de 1802 era un experimento crucial entre los programas de la óptica corpuscular y de la óptica ondulatoria; pero esta pretensión sólo fue aceptada mucho más tarde, después de que Fresnel desarrollara el programa ondulatorio de modo progresivo y cuando resultó claro que los newtonianos no podían igualar su poder heurístico. La anomalía, que era conocida desde hacía décadas, recibió el título honorífico de refutación, el experimento, el título honorífico de «experimento crucial», pero todo ello sólo tras un largo período de desarrollo desigual de los dos programas rivales. El movimiento browniano estuvo en la mitad del campo de batalla durante casi un siglo antes de que fuera considerado como la causa de la derrota del programa de investigación fenomenológico e inclinara el curso de la guerra en favor de los atomistas. La «refutación» de Michelson de la serie de Balmer fue ignorada durante una generación hasta que la respaldó el programa de investigación triunfante de Bohr.

Puede resultar interesante examinar con detalle algunos ejemplos de experimentos cuyo carácter crucial sólo retrospectivamente resultó evidente. En primer lugar me ocuparé del célebre experimento Michelson-Morley de 1887 que supuestamente refutó la teoría del éter

²⁴⁷ Para un ejemplo, cf. arriba, p. 58, n. 138.

²⁴⁸ Por lo tanto, una anomalía de un programa de investigación es un fenómeno que consideramos que debe ser explicado en términos del programa. En términos más generales, podemos hablar, siguiendo a Kuhn, de «puzzles»; un «puzzle» de un programa es un problema que consideramos como un desafío para ese programa particular. Un «puzzle» puede resolverse de tres formas: solucionándolo en el seno del programa original (la anomalía se convierte en un ejemplo); neutralizándolo, esto es, solucionándolo mediante un programa independiente y distinto (la anomalía desaparece), o, finalmente, solucionándolo mediante un programa rival (la anomalía se convierte en un contraejemplo).

y «condujo a la teoría de la relatividad»; después analizaré los experimentos Lummer-Pringsheim que supuestamente refutaron a la teoría clásica de la radiación y «condujeron a la teoría cuántica»²⁴⁹. Por fin discutiré un experimento del que muchos físicos pensaron que sería decisivo contra las leyes de conservación, pero que, de hecho, terminó como su corroboración más victoriosa.

d1) *El experimento Michelson-Morley*

Michelson ideó por primera vez un experimento para contrastar las teorías contradictorias de Fresnel y Stokes sobre la influencia del movimiento de la Tierra en el éter²⁵⁰ durante su visita al Instituto Helmholtz de Berlín en 1881. Según la teoría de Fresnel, la Tierra se mueve a través de un éter en reposo, pero el éter de la Tierra es *parcialmente* arrastrado con la Tierra; por ello la teoría de Fresnel implicaba que la velocidad del éter exterior a la Tierra con relación a la Tierra era positiva (esto es, la teoría de Fresnel implicaba la existencia de un «viento de éter»). Según la teoría de Stokes, el éter era impulsado juntamente con la tierra y en las inmediaciones de la superficie de la tierra la velocidad del éter era igual a la de la tierra: por ello su velocidad relativa era cero (esto es, no había viento de éter en la superficie). Stokes pensó inicialmente que las dos teorías eran observacionalmente equivalentes; por ejemplo, con supuestos auxiliares adecuados ambas teorías explicaban la aberración de la luz. Pero Michelson afirmó que su experimento de 1881 era un experimento crucial entre las dos y que *probaba* la teoría de Stokes²⁵¹. Afirmó que la velocidad de la Tierra con relación al éter es mucho menor que la anticipada por la teoría de Fresnel. En realidad concluyó que de su experimento «se sigue la *conclusión necesaria* de que la hipótesis (de un éter estacionario) es errónea. Esta conclusión *contradice directamente* la explicación del fenómeno de la aberración que supone que la Tierra se mueve a través del éter mientras este último permanece en reposo»²⁵². Como sucede a menudo, sucedió que un teórico enseñó una lección al experimentador Michelson. Lorentz, el principal físico teórico del período, mostró (en lo que más tarde Michelson describió como «un análisis muy minucioso de todo el experimento»)²⁵³ que Michelson interpretó erró-

²⁴⁹ Cf. Popper (1934), sección 30.

²⁵⁰ Cf. Fresnel (1818), Stokes (1845) y (1846). Para una excelente exposición breve, cf. Lorentz (1895).

²⁵¹ Esto se desprende, de forma tangencial, de la última sección de su (1881).

²⁵² Michelson (1881), p. 128 (subrayado añadido).

²⁵³ Michelson y Morley (1887), p. 335.

neamente los hechos y que lo que había observado *no* contradecía de hecho la hipótesis del éter estacionario. Lorentz demostró que los cálculos de Michelson estaban equivocados; la teoría de Fresnel predecía solamente la mitad del efecto que había calculado Michelson. Lorentz concluyó que el experimento de Michelson no refutaba la teoría de Fresnel y que ciertamente tampoco probaba la teoría de Stokes. A continuación Lorentz mostraba que la teoría de Stokes era inconsistente; suponía que el éter de la superficie de la tierra estaba en reposo con relación a la tierra y requería que la velocidad relativa tuviera un potencial; ambas condiciones son incompatibles. Pero incluso si Michelson hubiera refutado la teoría del éter estacionario, el programa quedaba intacto; es fácil construir otras versiones distintas del programa del éter que predicen valores muy pequeños para el viento del éter; él mismo, Lorentz, produjo una de tales versiones. Esta teoría era contrastable y Lorentz la sometió orgullosamente al veredicto experimental²⁵⁴. Michelson y Morley aceptaron el desafío. La velocidad relativa de la Tierra con relación al éter de nuevo parecía ser cero, en contra de la teoría de Lorentz. Pero ahora Michelson ya era más cauteloso en la interpretación de sus datos e incluso pensó en la posibilidad de que el sistema solar como un todo pudiera haberse movido en la dirección opuesta a la Tierra; por ello decidió repetir el experimento «a intervalos de tres meses evitando así toda incertidumbre»²⁵⁵. Michelson en su segundo artículo ya no habla de «conclusiones necesarias» y «contradicciones directas». Pienso solamente que de su experimento se sigue que «parece, por lo que precede, *razonablemente cierto* que si existe cualquier movimiento relativo entre la Tierra y el éter lumínico, éste debe ser *pequeño*; lo bastante pequeño como para refutar enteramente la explicación de Fresnel de la aberración»²⁵⁶. De modo que en este artículo Michelson aún pretende haber refutado la teoría de Fresnel (y también la nueva teoría de Lorentz), pero no se dice una palabra sobre su pretensión de 1881 según la cual había refutado «la teoría del éter estacionario» en general. (Realmente pensaba que para hacer tal cosa tendría que contrastar la existencia del viento del éter también en altitudes elevadas, «en la cima de una montaña aislada, por ejemplo».²⁵⁷)

²⁵⁴ Lorentz (1886). Sobre la inconsistencia de la teoría de Stokes, cf. su (1892b).

²⁵⁵ Michelson y Morley (1887), p. 341. Pero Pearce Williams señala que nunca lo hizo (Pearce Williams, 1968, p. 34).

²⁵⁶ *Ibid.*, p. 341 (subrayado añadido).

²⁵⁷ Michelson y Morley (1887). Esta observación demuestra que Michelson comprendió que su experimento de 1887 era completamente consistente con la existencia de un viento de éter situado más arriba. Max Born en su (1920), esto

Mientras que algunos teóricos del éter, como Kelvin, no confiaban en la habilidad experimental de Michelson²⁵⁸, Lorentz señaló que a pesar de la ingenua pretensión de Michelson, ni siquiera su nuevo experimento «suministra evidencia alguna relacionada con el problema por el que ha sido llevado a cabo»²⁵⁹. Es perfectamente posible considerar la teoría de Fresnel como una teoría *interpretativa* que interpreta los hechos en lugar de ser refutada por ellos, y en tal caso, como mostró Lorentz, «la importancia del experimento Michelson-Morley radica más bien en el hecho de que puede enseñarnos algo sobre los *cambios de dimensiones*»²⁶⁰: las dimensiones de los cuerpos son afectadas por sus movimientos a través del éter. Lorentz elaboró este «cambio creativo» del programa de Fresnel con gran habilidad y por ello pretendió haber «eliminado la contradicción entre la teoría de Fresnel y el resultado de Michelson»²⁶¹. Pero admitió que «puesto que la naturaleza de las fuerzas moleculares nos es enteramente desconocida, resulta imposible contrastar la hipótesis»²⁶²; *al menos en ese momento* no podía predecir hechos nuevos²⁶³.

es, treinta y tres años más tarde, afirmó que del experimento de 1887 «debemos concluir que el viento de éter no existe» (subrayado añadido).

²⁵⁸ Kelvin dijo en el Congreso Internacional de Física de 1900 que «la única nube en el cielo claro de la teoría del éter era el resultado nulo del experimento Michelson-Morley» (cf. Miller, 1925) e inmediatamente persuadió a Morley y a Miller, que estaban allí, para que repitieron el experimento.

²⁵⁹ Lorentz (1892a).

²⁶⁰ *Ibid.* (subrayado añadido).

²⁶¹ Lorentz (185).

²⁶² Lorentz (1892b).

²⁶³ Fitzgerald, al mismo tiempo e independientemente de Lorentz, creó una versión contrastable de este «cambio creativo» que rápidamente fue refutada por los experimentos de Trouton, Rayleigh y Brace; era progresiva desde un punto de vista teórico pero no empírico. Cf. Whittaker (1947), p. 53, y Whittaker (1953), pp. 28-30.

Existe una opinión generalizada según la cual la teoría de Fitzgerald era «*ad hoc*». Lo que quieren decir los físicos contemporáneos es que la teoría era *ad hoc*₂ (cf. arriba, p. 56, n. 133): «No existía evidencia empírica (positiva) independiente en su favor» (cf. e.g. Larmor, 1904, p. 624). Más tarde y bajo la influencia de Popper, el término «*ad hoc*» fue usado fundamentalmente en el sentido de *ad hoc*; no existía una contrastación independiente posible para ella. Pero como muestran los experimentos refutadores, es un error pretender, como hace Popper, que la teoría de Fitzgerald era *ad hoc*₁ (cf. Popper, 1934, sección 20). Ello muestra una vez más la importancia de distinguir entre *ad hoc*₁ y *ad hoc*₂.

Cuando Grunbaum, en su (1959a) señaló el error de Popper, éste admitió el mismo, pero replicó que la teoría de Fitzgerald ciertamente era más *ad hoc* que la de Einstein (Popper, 1959b) y que ello suministraba otro «ejemplo excelente de “grados de la condición *ad hoc*” y una de las tesis principales de (su) libro era precisamente que los *grados de la condición ad hoc* están (inversamente) relacionados con los grados de contrastabilidad e importancia. Pero la dife-

Mientras tanto, en 1897 Michelson llevó a cabo su experimento largamente esperado para medir la velocidad del viento del éter en las cimas de las montañas. No encontró tal cosa. Puesto que antes pensaba que había probado la teoría de Stokes que predecía un viento de éter en las alturas, Michelson enmudeció. Si la teoría de Stokes aún era correcta, el gradiente de la velocidad del éter había de ser muy pequeño. Michelson hubo de concluir que «la influencia de la Tierra sobre el éter se extendía a distancias del orden del diámetro de la Tierra»²⁶⁴. Pensó que este era un resultado «improbable» y decidió que en 1887 había extraído una conclusión equivocada de su experimento: era la teoría de Stokes la que debía rechazarse y la de Fresnel la que debía ser aceptada; decidió que aceptaría *cualquier* hipótesis auxiliar razonable para salvarla, incluyendo la teoría de Lorentz de 1892²⁶⁵. Con todo, en ese momento parecía preferir la contracción de Fitzgerald-Lorentz y en 1904 sus colegas de Case estaban tratando de descubrir si esta contracción varía con materiales diferentes²⁶⁶.

Mientras que la mayoría de los físicos intentaron interpretar los experimentos de Michelson en el marco del programa del éter, Einstein, desconocedor del trabajo de Michelson, Fitzgerald y Lorentz, pero estimulado fundamentalmente por la crítica de Mach de la mecánica newtoniana, llegó a un nuevo y progresivo programa de investigación²⁶⁷. Este nuevo programa no sólo «predecía» y explicaba el resultado del experimento Michelson-Morley, sino que también predecía un gran conjunto de hechos previamente insospechados que obtuvieron corroboraciones espectaculares. *Sólo entonces*, veinticinco años después de que se produjera, consiguió el experimento Michelson-Morley llegar a ser considerado como «el máximo experimento negativo de la historia de la ciencia»²⁶⁸. Pero esto no fue apreciado instantáneamente. Aun aceptando que el experimento era negativo no era claro con respecto a qué lo era. Además, Michelson en 1881 pensó que también era positivo, puesto que defendió que había re-

rencia no es simplemente un asunto de grados de una condición *ad hoc* única que pueda ser medida por la contrastabilidad. También cf. *abajo*, p. 117.

²⁶⁴ Michelson (1897), p. 478.

²⁶⁵ Realmente Lorentz comentó inmediatamente: «Mientras que (Michelson) considera improbable una influencia de la tierra tan extensa, por el contrario, yo la *esperaría*» (Lorentz, 1897; subrayado añadido).

²⁶⁶ Morley y Miller (1904).

²⁶⁷ Ha existido una importante controversia sobre el fundamento histórico-heurístico de la teoría de Einstein, y de acuerdo con ella, esta afirmación puede resultar falsa.

²⁶⁸ Bernal (1965), p. 530. Para Kelvin, en 1905, era solamente una «nube en el cielo claro»: cf. *arriba*, p. 110, n. 258.

futado la teoría de Fresnel y verificado la de Stokes. Tanto Michelson como Fitzgerald y Lorentz, posteriormente, explicaron el resultado *positivamente* en el seno del programa del éter²⁶⁹. Como sucede con todos los resultados experimentales, su negatividad con relación al programa antiguo sólo fue establecida *más tarde* mediante la lenta acumulación de intentos *ad hoc* para explicarlo de acuerdo con el antiguo y regresivo programa, y mediante el establecimiento gradual de un nuevo programa victorioso *progresivo* del que se ha convertido en un caso corroborador. Pero nunca se pudo excluir, en términos racionales, la posibilidad de rehabilitar alguna parte del antiguo programa «regresivo».

Sólo un proceso extremadamente difícil e indefinidamente largo puede establecer la victoria de un programa de investigación sobre su rival; y no es prudente utilizar la expresión «experimento crucial» de forma apresurada. Incluso cuando se advierte que un programa de investigación desplaza a su predecesor, tal desplazamiento no se debe a los «experimentos cruciales», e incluso si más tarde se ponen en duda algunos de tales experimentos cruciales, el nuevo programa de investigación no puede ser frenado sin un poderoso y progresivo resurgimiento del programa antiguo²⁷⁰. La negatividad y la importancia del experimento Michelson-Morley radica fundamentalmente en el cambio progresivo del nuevo programa de investigación al que prestó un fuerte apoyo, y su «grandeza» no constituye sino un reflejo de la grandeza de los dos programas implicados.

Sería interesante ofrecer un análisis detallado de los cambios opuestos involucrados en el decadente destino de la teoría del éter. Bajo la influencia del falsacionismo ingenuo la fase regresiva más interesante de la teoría del éter posterior al «experimento crucial» de Michelson fue simplemente ignorada por la mayoría de los seguidores de Einstein. Creyeron que el experimento Michelson-Morley derrotaba de un solo golpe a la teoría del éter cuya persistencia sólo

²⁶⁹ En realidad el excelente texto de Física de Chwolson decía en 1902 que la probabilidad de la hipótesis del éter roza la certeza (cf. Einstein, 1909, p. 817).

²⁷⁰ Polanyi se complace en explicar que Miller en 1925, y en su alocución presidencial a la American Physical Society, anunció que a pesar de los informes de Michelson y Morley, él contaba con una «evidencia demoledora» en favor de la corriente de éter; a pesar de ello permaneció fiel a la teoría de Einstein. Polanyi concluye que ningún aparato conceptual «objetivista» puede explicar la aceptación o el rechazo de las teorías por parte de los científicos (Polanyi, 1958, pp. 12-14). Pero mi reconstrucción convierte la tenacidad del programa de investigación einsteniano ante la supuesta evidencia contraria, en un fenómeno completamente *racional* y por ello debilita el mensaje místico post-crítico de Polanyi.

se debía al oscurantismo conservador. Por otra parte, este período de la teoría del éter posterior a Michelson no fue objeto de un escrutinio crítico por parte de los anti-einsteinianos, quienes entendían que la teoría del éter no había sufrido ningún retroceso; lo que era bueno de la teoría de Einstein ya estaba esencialmente en la teoría del éter de Lorentz y la victoria de Einstein se debía exclusivamente a la moda positivista. Pero, de hecho, la larga serie de experimentos de Michelson desde 1881 a 1935 diseñados para contrastar diferentes versiones sucesivas del programa del éter suministra un ejemplo fascinante de una problemática que sufre cambios regresivos²⁷¹. (Pero los programas de investigación pueden liberarse de esta clase de aprietos. Es bien sabido que resulta fácil reforzar la teoría del éter de Lorentz de forma que se convierta, en un interesante sentido, en equivalente a la teoría de Einstein que no utiliza el éter²⁷². En el contexto de un gran «cambio creativo» el éter aún puede regresar.²⁷³)

El hecho de que sólo se puedan evaluar los experimentos retrospectivamente explica el que el experimento de Michelson no fuera ni siquiera mencionado en la literatura entre 1881 y 1886. En realidad cuando un físico francés, Potier, señaló a Michelson su error de 1881, éste decidió no publicar una nota de corrección y explica las razones de esta decisión en una carta a Rayleigh de marzo de 1887: «He intentado repetidamente interesar a mis amigos científicos en este experimento sin resultado y la razón de que no publi-

²⁷¹ Una señal típica de la degeneración de un programa, no discutida en este artículo, es la proliferación de «hechos» contradictorios. Usando una teoría falsa como teoría interpretativa, se pueden obtener (sin cometer ningún «error experimental») proposiciones fácticas contradictorias, resultados experimentales inconsistentes. Michelson, que se aferró al éter hasta el amargo final, resultó decepcionado fundamentalmente por la inconsistencia de los «hechos» a los que había llegado mediante mediciones ultra-precisas. Su experimento de 1887 mostró que no había un viento de éter sobre la superficie de la tierra. Pero la aberración «demostraba» que tal viento existía. Además, su experimento de 1925 (bien no mencionado o, como en Jaffé, 1960, erróneamente interpretado) también lo «probaba» (cf. Michelson y Gale, 1925, y para una rotunda crítica, Runge, 1925).

²⁷² Cf.e.g. Ehrenfest (1913), pp. 17-18, citado y discutido por Dorling en su (1968). Pero no debemos olvidar que aunque dos teorías específicas sean equivalentes desde un punto de vista matemático y observacional, puede que estén incorporadas a dos programas de investigación diferentes y el poder de la heurística positiva de esos programas bien puede ser distinto. Esta idea no ha sido tenida en cuenta por los proponentes de tales pruebas de equivalencia (un buen ejemplo es la prueba de equivalencia entre los enfoques de Schrödinger y Heisenberg de la física cuántica). También cf. arriba, p. 92, n. 235.

²⁷³ Cf.e.g. Dirac (1951): «Si se reexamina el problema a la luz de nuestros conocimientos actuales, se descubre que el éter ya no queda descartado por la relatividad y hoy pueden defenderse buenas razones para postular la existencia del éter.» También cf. el último párrafo de Rabi (1961) y Prokhovnik (1967).

cara la corrección (me avergüenza confesarlo) fue que me sentía descorazonado por la escasa atención que recibía mi trabajo y pensé que no merecía la pena»²⁷⁴. Por cierto, esta carta era una respuesta a una carta de Rayleigh que hizo que Michelson conociera el artículo de Lorentz. *Esta carta desencadenó el experimento de 1887. Pero incluso después de 1887 e incluso después de 1905 el experimento Michelson-Morley no fue generalmente considerado como una refutación de la existencia del éter y ello por buenas razones. Puede que ello explique el que a Michelson se le otorgara su Premio Nobel en 1907 no por «refutar la teoría del éter» sino por «sus instrumentos ópticos de precisión y por las investigaciones espectroscópicas y metodológicas llevadas a cabo con su ayuda»*²⁷⁵, y el que el experimento Michelson-Morley ni siquiera fuera mencionado en los discursos de concesión. Michelson no lo mencionó en su Conferencia Nobel y silenció el hecho de que aunque puede que originalmente diseñara sus instrumentos para medir con precisión la velocidad de la luz, se vio obligado a mejorarlos para contrastar algunas teorías específicas del éter y que la «precisión» de su experimento de 1887 fue en gran parte debida a la crítica teórica de Lorentz, un hecho que nunca menciona la literatura contemporánea habitual²⁷⁶.

Por fin, se tiende a olvidar que incluso si el experimento Michelson-Morley hubiera mostrado la existencia de un «viento de éter», el programa de Einstein pudiera haber resultado victorioso a pesar de todo. Cuando Miller²⁷⁷, un entusiasta defensor del programa clásico del éter publicó su sensacional conclusión de que el experimento Michelson-Morley se había desarrollado imperfectamente y que, de hecho, existía un viento de éter, el corresponsal de *Science* afirmó que «los resultados del profesor Miller destruyen radicalmente la teoría de la relatividad». Sin embargo, según Einstein, incluso si el informe de Miller hubiera sido acorde con los hechos («sólo) la *forma actual* de la teoría de la relatividad tendría que ser abandonada»²⁷⁸.

²⁷⁴ Shankland (1964), p. 29.

²⁷⁵ Subrayado añadido.

²⁷⁶ El mismo Einstein pensaba que Michelson diseñó su interferómetro para contrastar la teoría de Fresnel (cf. Einstein, 1931). Por cierto, los primeros experimentos de Michelson sobre líneas del espectro (como su 1881-2) también eran relevantes para las teorías del éter de aquel tiempo. Michelson sólo exageró su éxito en las «mediciones precisas» cuando quedó decepcionado por su falta de éxito para evaluar su relevancia con relación a las teorías. Einstein, a quien desagradaba la precisión como meta final, le preguntó por qué dedicaba tantas energías a conseguirla. La respuesta de Michelson fue «porque ello le divertía» (cf. Einstein, 1931).

²⁷⁷ En 1925.

²⁷⁸ Einstein (1927); subrayado añadido.

De hecho, Syngé señaló que los resultados de Miller, aun aceptando sin más su veracidad, no entran en conflicto con la teoría de Einstein; es la explicación de Miller de tales resultados la que contradice a la teoría. Se puede sustituir fácilmente la teoría auxiliar existente sobre los cuerpos rígidos por la nueva teoría Gardner-Syngé y en este caso los resultados de Miller quedan enteramente digeridos por el programa de Einstein²⁷⁹.

d2) *Los experimentos Lummer-Pringsheim*

Vamos a discutir otro supuesto experimento crucial. Planck entendió que los experimentos de Lummer y Pringsheim que «refutaron» las leyes de radiación de Wien, Rayleigh y Jeans hacia finales del siglo, «condujeron a» (o incluso «originaron») la teoría cuántica²⁸⁰. Pero de nuevo el papel desempeñado por aquellos experimentos es mucho más complicado y está muy en línea con nuestro enfoque. No se trata simplemente de que los experimentos de Lummer y Pringsheim terminaran con el enfoque clásico y fueran nítidamente explicados por la física cuántica. Por otra parte, algunas de las versiones tempranas de la teoría cuántica debidas a Einstein implican la ley de Wien y por ello quedaron tan refutadas por los experimentos de Lummer y Pringsheim como la teoría clásica²⁸¹. Por otra parte, se ofrecieron varias explicaciones clásicas de la fórmula de Planck. Por ejemplo, en la reunión de 1913 de la British Association for the Advancement of Science se produjo una reunión especial sobre radiación a la que asistieron entre otros Jeans, Rayleigh, J. J. Thomson, Larmor, Rutherford, Bragg, Poynting, Lorentz, Pringsheim y Bohr. Pringsheim y Rayleigh fueron cuidadosamente neutrales sobre las especulaciones teóricas cuánticas, pero el profesor Love «representó el punto de vista tradicional y mantuvo la posibilidad de explicar los hechos relativos a la radiación sin adoptar la teoría cuántica. Criticó la aplicación de la teoría sobre la equidistribución de la energía sobre la que descansa una parte de la teoría cuántica. La evidencia más importante en favor de la teoría cuántica es el acuerdo con los experimentos de la fórmula de Planck para la capacidad de emisión de un

²⁷⁹ Syngé (1952-4).

²⁸⁰ Planck (1929). Popper, en su (1934), sección 30, y Gamow en su (1966), p. 37, se ocupan de este texto. Por supuesto, los enunciados observacionales no conducen a una teoría determinada de forma única.

²⁸¹ Cf. Ter Haar (1967), p. 18. Un programa de investigación en desarrollo normalmente comienza por explicar «leyes empíricas» ya refutadas, y esto, teniendo en cuenta mi enfoque, puede ser considerado racionalmente como un éxito.

cuerpo negro. Desde un punto de vista matemático pueden existir muchas otras fórmulas que coincidan igualmente bien con los experimentos. Se trató de una fórmula de la que es autor A. Korn que ofrecía resultados para un amplio número de casos y que conseguía una correspondencia con los resultados experimentales tan buena como la conseguida por la fórmula de Planck. Como argumento adicional en favor de que *los recursos de la teoría ordinaria no han sido agotados* señaló que puede ser posible extender a otros casos el cálculo de la capacidad de emisión de una lámina delgada que se debe a Lorentz. Para este cálculo ninguna expresión analítica sencilla puede representar los resultados para todas las posibles longitudes de onda, y puede suceder que, en general, no exista una fórmula sencilla aplicable a todas las longitudes de onda. Puede que la fórmula de Planck no sea, de hecho, sino una fórmula empírica»²⁸². Un ejemplo de explicación clásica fue la de Callendar: «El desacuerdo con los experimentos de la fórmula muy conocida de Wien sobre distribución de energía en condiciones de radiación plena puede ser fácilmente explicado si suponemos que sólo representa la energía intrínseca. El valor correspondiente de la presión puede ser fácilmente deducido por referencia al principio de Carnot, como ha indicado lord Rayleigh. La fórmula que yo he propuesto (*Phil. Mag.*, octubre 1913) consiste simplemente en la suma de la presión y densidad de la energía así obtenidas, y produce una correspondencia muy satisfactoria con los resultados experimentales tanto para la radiación como para el calor específico. Creo que es preferible a la fórmula de Planck porque (entre otras razones) esta última no puede ser reconciliada con la termodinámica clásica e implica la concepción de un *cuanto* o unidad de acción indivisible, que resulta inconcebible. La magnitud física correspondiente en mi teoría, que en otro lugar he llamado molécula de calórico, no es necesariamente indivisible, pero tiene una relación muy sencilla con la energía intrínseca del átomo, que es todo lo que se necesita para explicar el hecho de que la radiación, en casos especiales, puede ser emitida en unidades atómicas que son múltiplos de una magnitud particular»²⁸³.

Estas citas pueden haber sido tediosamente largas pero al menos muestran una vez más, y convincentemente, la ausencia de experimentos cruciales instantáneos. Las refutaciones de Lummer y Pringsheim no eliminaron el enfoque clásico del problema de la radiación. La situación puede describirse mejor señalando que la fórmula original

²⁸² *Nature* (1913-14), p. 306 (subrayado añadido).

²⁸³ Callendar (1914).

«*ad hoc*» de Planck²⁸⁴ (que se ajustaba y corregía los datos de Lummer y Pringsheim) podía ser explicada *progresivamente* dentro del nuevo programa teórico cuántico²⁸⁵, mientras que ni su fórmula *ad hoc* ni las fórmulas rivales semiempíricas podían ser explicadas en el seno del programa clásico si no se pagaba el precio de un cambio regresivo de problemática. El desarrollo «progresivo» giró en torno a un cambio «creativo»: la sustitución (realizada por Einstein) de la estadística de Boltzman-Maxwell por la de Bose-Einstein²⁸⁶. La progresividad del nuevo desarrollo fue muy clara: en la versión de Planck predijo correctamente el valor de la constante Boltzman-Planck y en la versión de Einstein predijo un sorprendente conjunto de hechos nuevos adicionales²⁸⁷. Pero antes de que se inventaran las nuevas —pero del todo *ad hoc*— hipótesis auxiliares en el seno del programa antiguo, antes de que se desarrollara el nuevo programa, y antes del descubrimiento de los hechos nuevos que indicaban un cambio progresivo en el nuevo programa, antes de todo eso, la relevancia objetiva de los experimentos Lummer-Pringsheim era muy reducida.

²⁸⁴ Me refiero a la fórmula de Planck tal como éste la expuso en su (1900a), donde admitió que tras haber intentado probar durante mucho tiempo que «la ley de Wien debe ser *necesariamente* cierta», la «ley» quedó refutada. De este modo dejó de probar excelsas verdades eternas para dedicarse a «construir expresiones completamente arbitrarias». Por supuesto cualquier teoría física resulta ser «completamente arbitraria» para los criterios justificacionistas. De hecho, la fórmula arbitraria de Planck contradecía (y corregía triunfalmente) la evidencia empírica contemporánea. (Planck contó esta parte de la historia en su autobiografía científica). Por supuesto, en un sentido importante la fórmula *original* de la radiación de Planck era «arbitraria», «formal», «*ad hoc*»; era una fórmula bastante aislada que no formaba parte de un programa de investigación (cf. *abajo*, p. 117, n. 320). Como él mismo dijo: «Incluso si se da por supuesta la más absoluta y exacta validez de la fórmula de radiación, si sólo tuviera la categoría de una ley descubierta por una intuición afortunada, no podría esperarse que tuviera sino una importancia formal. Por ello desde el día mismo en que formulé esta ley me dediqué a intentar dotarla de un auténtico significado físico» (1948, p. 41). Pero la importancia esencial de «dotar a la fórmula de un significado físico» —no necesariamente «del significado físico *verdadero*»— es que tal interpretación con frecuencia origina un interesante programa de investigación y *crecimiento*.

²⁸⁵ Primero por el mismo Planck en su (1900b), que fundó el programa de investigación de la teoría cuántica.

²⁸⁶ Esto ya había sido realizado por Planck, pero sin advertirlo y por error, como si dijéramos. Cf. Ter Haar (1967), p. 18. Realmente una consecuencia de los resultados de Pringsheim y Lummer fue estimular el análisis crítico de las deducciones informales de la teoría cuántica de la radiación, deducciones que estaban sobrecargadas de «lemas ocultos» sólo articulados en el desarrollo posterior. Un paso extremadamente importante en este «proceso de articulación» fue la obra de Ehrenfest de 1911.

²⁸⁷ Cf. e.g. la lista de Joffé de 1910 (Joffé, 1911, p. 547).

d3) *Desintegración Beta versus Leyes de conservación*

Para terminar narraré la historia de un experimento que estuvo a punto de convertirse en «el experimento negativo más importante de la historia de la ciencia». Esta historia ilustra una vez más las enormes dificultades que existen para decidir exactamente qué es lo que aprendemos de la experiencia, qué es lo que ésta prueba y qué es lo que refuta. El experimento que examinaremos será la observación de Chadwick de la desintegración beta en 1914. Esta historia muestra que un experimento puede ser considerado, en un primer momento, como un «puzzle» rutinario inserto en un programa de investigación, promovido después casi a las alturas de un experimento crucial, y posteriormente degradado de nuevo al nivel de un «puzzle» rutinario distinto; todo ello en función de la cambiante perspectiva *global* teórica y empírica. La mayoría de las exposiciones convencionalistas no entienden estos cambios y prefieren falsificar la historia²⁸⁸.

Cuando Chadwick descubrió el espectro continuo de emisión radioactiva de rayos beta en 1914, nadie pensó que este curioso fenómeno tuviera algo que ver con las leyes de conservación. En 1922 se ofrecieron dos ingeniosas explicaciones rivales insertas ambas en el marco de la física atómica del momento: una era de L. Meitner y la otra de C. D. Ellis. Según miss Meitner los electrones eran parcialmente electrones primarios del núcleo y parcialmente electrones secundarios de la corteza del electrón. Según Mr. Ellis todos eran electrones primarios. Ambas teorías contenían hipótesis auxiliares sofisticadas, pero ambas predecían hechos nuevos. Los hechos que ambas teorías predecían eran contradictorios y el testimonio experimental apoyó a Ellis en contra de Meitner²⁸⁹. Miss Meitner apeló: el «tribunal de apelación» experimental rechazó su alegación, pero dictaminó que había que rechazar una hipótesis auxiliar de la teoría de Ellis²⁹⁰. El resultado del conflicto fue un empate.

Con todo, nadie hubiera pensado que el experimento de Chadwick desafiaba a la ley de la conservación de la energía si Bohr y Kramers no hubieran llegado, precisamente cuando se desarrollaba la controversia Ellis-Meitner, a la idea de que sólo se podía desarrollar una teoría consistente si se renunciaba al principio de la conservación de la energía en procesos individuales. Uno de los rasgos prin-

²⁸⁸ Una notable excepción parcial es la exposición de Pauli (Pauli, 1958). En lo que sigue trataré tanto de corregir la historia de Pauli, como de mostrar que su racionalidad puede apreciarse fácilmente a la luz de nuestro enfoque.

²⁸⁹ Ellis y Wooster (1927).

²⁹⁰ Meitner y Orthmann (1930).

cipales de la fascinante teoría Bohr-Kramers-Slater de 1924 era que las leyes clásicas de la conservación de la energía y del momento, fueron sustituidas por otras estadísticas²⁹¹. Esta teoría (o más bien, «programa») fue inmediatamente refutada y ninguna de sus consecuencias fue corroborada. En realidad nunca fue desarrollada lo suficiente como para explicar la desintegración beta. Pero a pesar del abandono inmediato de este programa (no sólo debido a las «refutaciones» originadas en los experimentos Compton-Simon y Bothe-Geiger, sino también por la aparición de un poderoso rival: el programa Heisenberg-Schrodinger²⁹²), Bohr siguió convencido de que las leyes de conservación no estadísticas tendrían que ser finalmente abandonadas y que la anomalía de la desintegración beta nunca sería explicada a menos que tales leyes fueran sustituidas: entonces la desintegración beta sería considerada como un experimento crucial contrario a las leyes de conservación. Gamow nos explica cómo Bohr intentó utilizar la idea de no-conservación de la energía en la desintegración beta para elaborar una ingeniosa explicación de la producción, aparentemente eterna, de energía por las estrellas²⁹³. Sólo Pauli, en su mefistofélica necesidad de retar al Señor, siguió siendo conservador²⁹⁴ y diseñó en 1930 su teoría del neutrino para explicar la desintegración beta y para salvar el principio de conservación de la energía. Comunicó su idea en una carta chispeante dirigida a una conferencia reunida en Tubingen (él prefirió quedarse en Zurich para asistir a un baile)²⁹⁵. La mencionó por primera vez en una conferencia pública celebrada en 1931 en Pasadena, pero no permitió que la conferencia fuera publicada porque sentía «inseguridad» sobre su contenido. En aquel tiempo (1932) Bohr aún pensaba que, al menos en la física nuclear, hay que renunciar a la

²⁹¹ Slater cooperó de mala gana en el sacrificio del principio de conservación. En 1964 escribía a Van der Waerden: «Como usted sospechaba, la idea de la conservación estadística de la energía y del momento fue introducida en la teoría por Bohr y Kramers y en contra de mi criterio.» De forma muy divertida Van der Waerden hace cuanto puede para exonerar a Slater del crimen terrible de ser responsable de una teoría falsa (Van der Waerden, 1967, p. 13).

²⁹² Popper se equivoca al sugerir que estas «refutaciones» fueron suficientes como para ocasionar la ruina de esta teoría (Popper, 1963a, p. 242).

²⁹³ Gamow (1966), pp. 72-4. Bohr nunca publicó esta teoría (tal como estaba era incontrastable), pero «parecía» (escribe Gamow) «que no le hubiera sorprendido demasiado que fuera cierta». Gamow no fecha esta teoría no publicada, pero parece que Bohr la mantuvo en 1928-9 cuando Gamow trabajaba en Copenhague.

²⁹⁴ Cf. la divertida pieza teatral «Fausto» producida en el Instituto de Bohr en 1932, y publicada por Gamow como un apéndice de su (1966).

²⁹⁵ Cf. Pauli (1961), p. 160.

idea misma de un equilibrio de energía²⁹⁶. Finalmente Pauli decidió publicar su conferencia sobre el neutrino que había pronunciado en la conferencia Solvay de 1933 a pesar del hecho de que «la recepción en el Congreso fue escéptica con excepción de dos físicos jóvenes»²⁹⁷. Pero la teoría de Pauli tenía algunos méritos metodológicos. No sólo salvaba el principio de la conservación de la energía, sino también el principio de conservación del spin y de la estadística: no sólo explicaba el espectro de la desintegración beta sino, al mismo tiempo, la «anomalía del nitrógeno»²⁹⁸. Según los criterios de Whewell esta «conjunción de inducciones» debería haber sido suficiente como para establecer la respetabilidad de la teoría de Pauli. Pero, según nuestros criterios, también se requería predecir, con éxito, algún hecho *nuevo*. La teoría de Pauli también consiguió esto. Porque la teoría de Pauli tenía una interesante consecuencia observable: de ser correcta el espectro-beta tenía que tener una nítido límite superior. En aquel momento este tema no estaba decidido, pero Ellis y Mott se interesaron en él²⁹⁹ y pronto un estudiante de Ellis, Henderson, mostró que los experimentos apoyaban el programa de Pauli³⁰⁰. Bohr no se impresionó por ello. Sabía que si en alguna ocasión llegaba a despegar un programa fundamental basado en la conservación *estadística* de la energía, el creciente cinturón de hipótesis auxiliares se ocuparía de las evidencias aparentemente más negativas.

Realmente en esos años la mayor parte de los principales físicos pensaban que en la física nuclear se venían abajo las leyes de la conservación de la energía y del momento³⁰¹. La razón fue claramente explicada por Lise Meitner, quien sólo en 1933 admitió su derrota: «Todos los intentos de defender la validez de la ley de la conservación de la energía también para procesos individuales exigen un segundo proceso (en la desintegración beta). Pero no

²⁹⁶ Bohr (1932). También Ehrenfeld se alineó firmemente con Bohr contra el neutrino. El descubrimiento por Chadwick del neutrón en 1932 sólo modificó ligeramente su oposición; aún aborrecían la idea de una partícula que carece de carga e incluso, posiblemente, de masa (en reposo) y sólo tiene un spin «libre».

²⁹⁷ Wu (1966).

²⁹⁸ Para una fascinante discusión de los problemas no resueltos originados por la desintegración beta y por la anomalía del nitrógeno, cf. la Lección Faraday de Bohr de 1930, que fue leída antes y publicada después de la solución de Pauli (Bohr, 1932, especialmente pp. 380-83).

²⁹⁹ Ellis y Mott (1933).

³⁰⁰ Henderson (1934).

³⁰¹ Mott (1933), p. 823. Heisenberg, en su célebre (1932), donde introdujo el modelo del protón-neutrón del núcleo, señaló que «debido al incumplimiento de la conservación de la energía en la desintegración beta no es posible ofrecer una definición única de la energía unificadora del electrón dentro del neutrón» (p. 164).

se encontró tal proceso³⁰²; esto es, el programa de conservación para el núcleo mostraba un desplazamiento empíricamente regresivo. Se produjeron varios ingeniosos intentos de explicar el espectro continuo de emisión de rayos beta sin suponer una «partícula ladrona»³⁰³. Tales intentos se discutieron con mucho interés³⁰⁴, pero fueron abandonados porque no consiguieron establecer un cambio progresivo.

En este momento entró en escena Fermi. En 1933-34 reinterpretó el problema de emisión beta en el marco del programa de investigación de la nueva teoría cuántica. De este modo comenzó un pequeño y nuevo programa de investigación sobre el neutrino (que más tarde llegó a convertirse en el programa sobre interacciones débiles). Calculó algunos modelos iniciales carentes de refinamiento³⁰⁵. Aunque su teoría aún no predecía ningún hecho nuevo, aclaró que esto era sólo un problema de aplicar trabajo adicional.

Pasaron dos años y la promesa de Fermi aún no se había materializado. Pero el nuevo programa de la física cuántica se desarrollaba con rapidez al menos por lo que se refería a los fenómenos no nucleares. Bohr se convenció de que algunas de las ideas originales básicas del programa Bohr-Kramers-Slater ahora se habían incorporado firmemente al nuevo programa cuántico, y de que el nuevo programa solucionaba los problemas teóricos intrínsecos de la antigua teoría cuántica sin afectar a las leyes de conservación. Por ello Bohr siguió con simpatía el trabajo de Fermi, y en 1930, en una secuencia de acontecimientos poco habitual, le otorgó su apoyo públicamente (prematuramente, de acuerdo con nuestros criterios).

En 1936 Shankland ideó una nueva contrastación de las teorías rivales sobre la dispersión del fotón. Sus resultados parecieron apoyar a la desacreditada teoría Bohr-Kramers-Slater y minaron la fiabilidad de los experimentos que la habían refutado una década antes³⁰⁶. El artículo de Shankland produjo una auténtica sensación. Los físicos que rechazaban las nuevas tendencias rápidamente aclamaron el experimento de Shankland. Por ejemplo, Dirac inmediatamente dio la bienvenida al regreso del programa «refutado» de Bohr-Kramers-Slater y escribió un artículo muy crítico contra la «llamada electrodinámica cuántica» pidiendo «un cambio profundo de las ideas teóricas actuales que implique un alejamiento de las leyes de conser-

³⁰² Meitner (1933), p. 132.

³⁰³ E.g. Thomson (1929) y Kundar (1929-30).

³⁰⁴ Para una discusión muy interesante, cf. Rutherford, Chadwick y Ellis (1930), pp. 335-6.

³⁰⁵ Fermi (1933) y (1934).

³⁰⁶ Shankland (1936).

vación (para) conseguir una mecánica cuántica relativista»³⁰⁷. En el artículo Dirac sugirió de nuevo que la desintegración beta bien puede convertirse en un elemento de la evidencia crucial contra las leyes de conservación y se rio de «la nueva e inobservable partícula, el neutrino, especialmente creada por algunos investigadores para defender formalmente la conservación de la energía al suponer que es la partícula inobservable la que lleva a cabo el equilibrio»³⁰⁸. Inmediatamente después Peierls entró en la discusión. Peierls sugirió que el experimento de Shankland podía ser que refutara incluso la conservación estadística de la energía. Añadió: «También eso parece satisfactorio una vez que se ha abandonado la conservación particularizada»³⁰⁹.

En el Instituto Bohr de Copenhague los experimentos de Shankland fueron inmediatamente repetidos y descartados. Jacobsen, un colega de Bohr, informó de ello en una carta a *Nature*. Los resultados de Jacobsen se acompañaban de una carta del mismo Bohr, quien se manifestaba fuertemente contra los rebeldes y en defensa del nuevo programa cuántico de Heisenberg. En particular defendió el neutrino contra Dirac: «Puede señalarse que las razones para dudar seriamente con relación a la validez estricta de las leyes de conservación en el problema de la emisión de rayos beta por núcleos atómicos han desaparecido en gran medida por el sugerente acuerdo entre la evidencia experimental en rápido crecimiento con relación al fenómeno de rayos beta, y las consecuencias de las hipótesis del neutrino de Pauli tan admirablemente desarrolladas por la teoría de Fermi»³¹⁰.

La teoría de Fermi, en sus primeras versiones, no tuvo un éxito empírico notable. Realmente incluso los datos disponibles especialmente en el caso de RaE, sobre la que entonces se centraba la investigación de la emisión beta, contradecía rotundamente la teoría de Fermi de 1933-34. Se propuso tratar de este problema en la segunda parte de su artículo que, sin embargo, nunca fue publicada. Incluso si consideramos la teoría de Fermi de 1933-34 como una versión primera de un programa flexible, el hecho es que en 1936 aún no era posible detectar ninguna señal seria de cambio progresivo³¹¹. Pero

³⁰⁷ Dirac (1936).

³⁰⁸ Dirac (1936).

³⁰⁹ Peierls (1936).

³¹⁰ Bohr (1936).

³¹¹ Entre 1933 y 1936 varios físicos ofrecieron alternativas o propusieron cambios *ad hoc* de la teoría de Fermi; cf. e.g. Beck y Sitte (1933), Bethe y Peierls (1934). Konopinski y Uhlenbeck (1934). Wu y Moszkowski escribieron en 1966 que «la teoría de Fermi (o sea, el programa) sobre la desintegración beta puede predecir (como *ahora* sabemos) con notable precisión tanto la relación entre el

Bohr quería respaldar con su autoridad la aventurada aplicación de Fermi del nuevo gran programa de Heisenberg relacionado con el núcleo, y puesto que el experimento de Shankland y los ataques de Dirac y Peierls hicieron de la desintegración beta el centro de la crítica del nuevo gran programa, sobrevaloró el programa del neutrino de Fermi que prometía llenar un vacío muy sensible. Sin duda los acontecimientos posteriores ahorraron a Bohr una dramática humillación: progresaron los programas basados en principios de conservación, mientras que no existió progreso en el bando rival³¹².

La moraleja de esta historia es, de nuevo, que la consideración de un experimento como «crucial» depende de la clase de conflicto teórico en que está involucrado. Conforme las suertes de los contendientes aumentan o se desvanecen, puede cambiar la interpretación y la evaluación del experimento.

Sin embargo, nuestro folklore científico está repleto de teorías acerca de la racionalidad instantánea. La historia que he expuesto está falsificada en la mayoría de las narraciones y reconstruida en términos de alguna teoría errónea de la racionalidad. Incluso en las mejores exposiciones populares abundan tales falsificaciones. Mencionaré dos ejemplos.

En un artículo se dice lo siguiente sobre la desintegración beta: «Cuando esta situación fue afrontada por primera vez las alternativas parecían sombrías. *O bien*, los físicos tenían que aceptar un fracaso de la Ley de conservación de la energía *o* tenían que suponer la existencia de una partícula nueva e inobservada. Tal partícula, emitida junto con el protón y el electrón en la desintegración del neutrón, podía salvar los fundamentos centrales de la física al incor-

ritmo de radiación beta y la energía de desintegración, como la forma del espectro beta». Pero insistieron en que «desgraciadamente en el comienzo mismo la teoría de Fermi se enfrentó con una contrastación injusta. Hasta el momento en que se pudieron producir abundantes núcleos radiactivos artificiales, *RaE* era el único candidato que satisfacía magníficamente muchos requisitos experimentales como fuente β para la investigación de la forma de su espectro. ¿Cómo se hubiera podido saber entonces que el espectro β de *RaE* resultaría ser un caso muy especial, uno cuyo espectro, de hecho, sólo muy recientemente ha llegado a comprenderse? Su peculiar dependencia energética contradecía lo que se esperaba de la sencilla teoría de Fermi sobre desintegración beta y debilitó en gran medida el ritmo inicial de progreso de la teoría» (Wu y Moszkowski, 1966, p. 6).

³¹² Es difícil decir si el programa del neutrino de Fermi era progresivo o regresivo incluso entre 1936 y 1950 y tampoco después de 1950 el veredicto resulta claro. Pero discutiré este tema en alguna otra ocasión. (Por cierto, Schrodinger defendió la interpretación estadística de los principios de conservación a pesar de su papel crucial en el desarrollo de la nueva física cuántica; cf. su (1958).

porar la energía perdida. Esto sucedió en los primeros años de la década de 1930, cuando la introducción de una nueva partícula; no era un tema tan obvio como lo es hoy. Sin embargo, *tras una brevísima vacilación* los físicos adoptaron la segunda alternativa»³¹³. Por supuesto, el número de alternativas *discutidas* fue muy superior a dos y la vacilación ciertamente no fue «brevísima».

En un conocido texto de filosofía de la ciencia se nos dice que: 1) «la ley (o el principio) de la conservación de la energía fue seriamente puesto en duda por los experimentos sobre la desintegración beta cuyos resultados no podían ser negados»; 2) «sin embargo, la ley no fue abandonada y se supuso la existencia de una nueva entidad (llamada «neutrino») para conseguir un acuerdo entre la ley y los datos experimentales»; 3) «la racionalidad de este supuesto es que el rechazo de la ley de conservación despojaría a una gran parte de nuestro conocimiento físico de su sistemática coherencia»³¹⁴. Pero las tres afirmaciones son erróneas. 1) es errónea porque ninguna ley puede ser «seriamente puesta en duda» por unos experimentos exclusivamente; 2) es errónea porque las nuevas hipótesis científicas se crean no sólo para rellenar lagunas entre los datos y la teoría sino para predecir hechos nuevos, y 3) es errónea porque en aquel momento parecía que únicamente el rechazo de la ley de conservación aseguraría la «coherencia sistemática» de nuestro conocimiento físico.

d4) *Conclusión. El requisito de crecimiento continuo*

Los experimentos cruciales no existen, al menos si nos referimos a experimentos que puedan destruir *instantáneamente* a un programa de investigación. De hecho, cuando un programa de investigación es vencido y superado por otro, podemos, *retrospectivamente*, llamar crucial a un experimento si resulta que ha suministrado un ejemplo corroborador espectacular en favor del programa victorioso y una derrota para el programa vencido (en el sentido de que nunca fue «explicado progresivamente», o simplemente, «explicado»³¹⁵, en el seno del programa vencido). Pero por supuesto, los científicos no siempre juzgan las situaciones heurísticas correctamente. Un científico apresurado puede *pretender* que su experimento derrotó a un programa y puede suceder que algunas secciones de la comunidad científica acepten (también de forma apresurada) esta pretensión.

³¹³ Treiman (1959) (subrayado añadido).

³¹⁴ Nagel (1961), pp. 65-6.

³¹⁵ Cf. *arriba*, pp. 49-50, n. 110.

Pero si un científico del campo derrotado propone unos años más tarde una explicación científica del experimento supuestamente crucial, acorde (o consistente) con el programa supuestamente derrotado, *el título honorífico puede ser retirado y el «experimento crucial» puede convertirse en una nueva victoria del programa.*

Abundan los ejemplos. En el siglo XVIII hubo muchos experimentos que, en términos histórico-sociológicos, fueron ampliamente aceptados como evidencia crucial contra la ley de caída libre de Galileo y la teoría de la gravitación de Newton. En el siglo XIX hubo varios «experimentos cruciales» basados en mediciones de la velocidad de la luz que «refutaban» la teoría corpuscular y que, más tarde, resultaron ser erróneos a la luz de la teoría de la relatividad. Estos «experimentos cruciales» fueron más tarde suprimidos de los textos justificacionistas como manifestaciones de una vergonzosa miopía o incluso de envidia. (Recientemente reaparecieron en algunos textos modernos, esta vez para ilustrar la insuperable irracionalidad de las modas científicas.) Sin embargo, en aquellos casos en que experimentos ostensiblemente «cruciales» fueron realmente confirmados más tarde por la derrota del programa, los historiadores acusaron a quienes no los aceptaron de estupidez, envidia o adulación injustificada al padre del programa de investigación en discusión. (Los «sociólogos del conocimiento» o «psicólogos del conocimiento» tan de moda tienden a explicar las posiciones en términos puramente sociológicos o psicológicos cuando, de hecho, están determinadas por principios de racionalidad. Un ejemplo típico es la oposición de Einstein al principio de complementariedad de Bohr: la explicación se basa en que «en 1926 Einstein tenía cuarenta y siete años. Esos años pueden representar lo mejor de la vida de un hombre, pero no de un físico».³¹⁶)

³¹⁶ Bernstein (1961), p. 129. Para evaluar los elementos progresivos y regresivos de los cambios de problemáticas rivales, es necesario comprender las *ideas* implicadas. Pero la sociología del conocimiento a menudo sirve como un eficaz disfraz para la ignorancia; la mayoría de los sociólogos del conocimiento no comprenden ni se ocupan de las ideas; simplemente observan las pautas sociopsicológicas de conducta. Popper solía contar una historia acerca de un psicólogo social, el doctor X, que estudiaba la conducta de un grupo de científicos. Acudió a un seminario de física para estudiar la psicología de la ciencia. Observó la «aparición de un líder», el «efecto de alistamiento» en algunos y la «reacción de defensa» en otros, la correlación entre edad, sexo, conducta agresiva, etc. (El doctor X afirmó haber usado algunas técnicas sofisticadas de muestras pequeñas propias de la estadística moderna.) Al final de la entusiástica exposición Popper preguntó al doctor X: «¿Cuál era el *problema* que discutía el grupo?»; el doctor X se quedó sorprendido: «¿Por qué pregunta eso...? Yo no atendí a las *palabras* que se pronunciaban... En cualquier caso, ¿qué relación tiene eso con la psicología del conocimiento?»

A la luz de mis consideraciones la idea de racionalidad instantánea puede considerarse utópica. Pero esta idea utópica caracteriza a la mayoría de las epistemologías. Los justificacionistas querían que las teorías científicas fueran probadas incluso antes de ser publicadas; los probabilistas confiaban en que una máquina indicaría instantáneamente el valor (grado de confirmación) de una teoría dada la evidencia existente; los falsacionistas ingenuos confiaban en que, al menos, la eliminación era el resultado instantáneo del veredicto *experimental*³¹⁷. Confío haber mostrado que *todas estas teorías de la racionalidad instantánea (y del aprendizaje instantáneo) constituyen un fracaso*. Los estudios, contenidos en esta sección, de distintos casos, muestran que la racionalidad funciona con mayor lentitud de lo que tendemos a pensar, y además de forma falible. La lechuza de Minerva vuela al anochecer. También confío haber probado que la *continuidad* de la ciencia, la *tenacidad* de algunas teorías, la racionalidad de cierta magnitud de dogmatismo, sólo pueden explicarse si interpretamos la ciencia como un campo de batalla de los programas de investigación y no de las teorías aisladas. Podemos comprender muy poco del crecimiento de la ciencia si nuestro paradigma de la unidad del conocimiento científico es una teoría aislada como «Todos los cisnes son blancos», una teoría independiente, no incorporada a un programa de investigación importante. *Mi exposición implica un nuevo criterio de demarcación entre ciencia madura, que consiste en programas de investigación, y ciencia inmadura, que consiste en una remendada secuencia de ensayos y errores*³¹⁸. Por ejemplo, podemos hacer una conjetura, que posteriormente queda refutada y que, aún más tarde, es recuperada mediante una hipótesis auxiliar que no es *ad hoc* en el sentido que hemos analizado previamente. Puede predecir hechos nuevos algunos de los cuales puede que incluso resulten corroborados³¹⁹. Con todo, es posible conseguir tal «progreso»

³¹⁷ Por supuesto, a los falsacionistas ingenuos puede llevarles algún tiempo el alcanzar un «veredicto experimental»: el experimento debe ser repetido y considerado críticamente. Pero una vez que la discusión concluye y se alcanza el acuerdo de los expertos, convirtiéndose así en «aceptado» un particular «enunciado básico», y decidiéndose qué teoría particular queda alcanzada por el mismo, el falsacionista ingenuo tendrá poca paciencia con aquellos que aún discuten.

³¹⁸ La elaboración de esta demarcación en los dos párrafos siguientes fue mejorada cuando el texto ya estaba en la imprenta, gracias a la valiosísima discusión con Paul Meehl en Minneapolis en 1969.

³¹⁹ Con anterioridad, en mi (1968b) (MCE, cap. 8) yo distinguí, siguiendo a Popper, dos criterios para identificar el carácter *ad hoc*. Llamé *ad hoc*₁ a aquellas teorías que no tenían exceso de contenido con relación a sus predecesoras (o competidoras); esto es, que no predecían ningún hecho *nuevo*; llamé *ad hoc*₂ a las teorías que predecían hechos nuevos, pero que fracababan completamente

con una serie, remendada y arbitraria, de teorías desconectadas. Los buenos científicos no encontrarán satisfactorio tal progreso artesanal; puede que incluso lo rechacen por no ser genuinamente científico. Llamarán a tales hipótesis auxiliares meramente «formales», «arbitrarias», «empíricas», «semiempíricas» o incluso «ad hoc»³²⁰.

La ciencia madura consiste en programas de investigación que anticipan no sólo hechos nuevos sino también, y en un sentido importante, teorías auxiliares nuevas: la ciencia madura, al contrario del pedestre ensayo y error, tiene «poder heurístico». Recordemos que en la heurística positiva de un programa de investigación poderoso existe desde el comienzo un esquema general sobre cómo construir los cinturones protectores: este poder heurístico genera *la autonomía de la ciencia teórica*³²¹.

Este requisito de crecimiento continuo es mi reconstrucción racional del requisito, extensamente aceptado, de «unidad» o «belleza de la ciencia». Revela las debilidades de dos tipos de teorización aparentemente muy distintos. En primer lugar, muestra la debilidad de los programas que, como el marxismo o el freudianismo, están, sin duda, «integrados», lo que les suministra un resumen fundamental de la clase de teorías auxiliares que van a utilizar para absorber anomalías, pero que infaliblemente diseñan sus teorías auxiliares reales cuando se enfrentan con ciertos hechos sin que, al mismo tiempo, anticipen otros nuevos. (¿Qué hecho nuevo ha predicho el marxismo desde 1917, por ejemplo?) En segundo lugar, ataca a las series, carentes de imaginación, de ajustes empíricos pedestres que tan frecuentes son, por ejemplo, en la moderna psicología social. Puede que tales ajustes consigan realizar algunas predicciones «nuevas» con ayuda de algunas técnicas estadísticas, y puede incluso que contengan algunos granos irrelevantes de verdad. Pero tal teorización carece de una idea unificadora, de poder heurístico y de continuidad. No equi-

porque ninguna parte del exceso de contenido era corroborado (también cf. *arriba*, p. 56, nn. 133 y 134).

³²⁰ La fórmula de radiación de Planck (ofrecida en su 1900a) es un buen ejemplo: cf. *arriba*, p. 107, n. 284. Podemos llamar *ad hoc*₃ a aquellas hipótesis que no son *ad hoc*₁, ni *ad hoc*₂, pero que, sin embargo, son insatisfactorias en el sentido especificado en el texto. Estos tres usos, inequívocamente peyorativos, de «*ad hoc*» pueden proporcionar una entrada satisfactoria para el *Oxford English Dictionary*. Resulta sorprendente observar que «empírico» y «formal» son vocablos que se utilizan como sinónimos de nuestro «*ad hoc*₃».

Meehl, en su brillante (1967) informa de que en la psicología contemporánea y especialmente en la psicología social, muchos supuestos «programas de investigación» consisten de hecho en cadenas de tales estrategias *ad hoc*₃.

³²¹ Cf. *arriba*, pp. 71-72.

vale a un auténtico programa de investigación, y en conjunto, carece de valor ³²².

Mi exposición de la racionalidad científica, aunque basada en la de Popper, me aparta de algunas de sus ideas generales. En alguna medida defiendo tanto el convencionalismo de Le Roy con relación a las teorías, como el de Popper con relación a las proposiciones básicas. Desde mi punto de vista los científicos (y, como he probado, también los matemáticos) ³²³ no son irracionales cuando tienden a ignorar los contraejemplos o, como ellos prefieren llamarlos, los casos «recalcitrantes» o «residuales» y siguen la secuencia de problemas prescrita por la heurística positiva de su programa, elaborando (y aplicando) sus teorías sin tenerlos en cuenta ³²⁴. En contra de la moralidad falsacionista de Popper, los científicos con frecuencia y *racionalmente* pretenden «que los resultados experimentales no son fiables o que las discrepancias que se afirma que existen entre los resultados experimentales y la teoría sólo son aparentes y que desaparecerán con el avance de nuestro conocimiento» ³²⁵. Cuando actúan

³²² Tras leer a Meehl (1967) y Lykken (1968) me pregunto si la función de las técnicas estadísticas en las ciencias sociales no es, en lo esencial, el suministrar corroboraciones ficticias y, por ello, una apariencia de «progreso científico», cuando, de hecho, todo lo que hay es un aumento de palabrería pseudo-intelectual. Meehl escribe que «en las ciencias físicas el resultado normal de una mejora del diseño experimental, de los instrumentos o de los datos numéricos, es aumentar la dificultad de la “barrera observacional” que debe superar con éxito una teoría física interesante, mientras que en psicología y en algunas de las ciencias de la conducta próximas, el efecto habitual de tal mejora de la precisión experimental es bajar la altura de la barrera que ha de ser superada por la teoría». O como dice Lykken: «(En psicología) la significación estadística es tal vez el atributo menos importante de un buen experimento: nunca constituye una condición suficiente para afirmar que una teoría ha sido corroborada con éxito, que se ha establecido un hecho empírico significativo, o que se deben publicar los resultados experimentales.» Me parece que la mayor parte de la teorización condenada por Meehl y Lykken puede ser «*ad hoc*». De este modo la metodología de los programas de investigación puede ayudarnos a disolver esta polución intelectual que puede destruir nuestro medio ambiente cultural incluso antes de que la polución industrial y circulatoria destruyan nuestro entorno físico.

³²³ Cf. mi (1963-4).

³²⁴ De este modo se desvanece la asimetría *metodológica* entre enunciados universales y singulares. Cualquiera de ellos puede ser adoptado por convención: en el «núcleo firme» decidimos aceptar enunciados universales, y en la base empírica, enunciados singulares. La asimetría *lógica* entre enunciados universales y singulares sólo es fatal para el inductivista dogmático dispuesto a aprender de la sólida experiencia y de la lógica exclusivamente. Por supuesto, el convencionalista puede «aceptar» esta asimetría *lógica*: no es necesario que además sea un inductivista (aunque *puede* serlo). El acepta algunos enunciados universales, pero no porque afirme que están deducidos (o inducidos) a partir de otros enunciados singulares.

³²⁵ Popper (1934), sección 9.

así puede que no estén «adoptando la actitud contraria de aquella actitud crítica que... es la adecuada para un científico»³²⁶. Realmente Popper tiene razón al insistir en que «la actitud dogmática de aferrarse a una teoría durante tanto tiempo como sea posible tiene una importancia considerable. Sin ella nunca podríamos descubrir qué hay en una teoría; abandonaríamos la teoría antes de haber tenido una oportunidad real de descubrir su poder y consiguientemente ninguna teoría sería nunca capaz de desempeñar su función de poner orden en el mundo, de prepararnos para acontecimientos futuros, de llamar nuestra atención hacia acontecimientos que de otro modo nunca observaríamos»³²⁷. De este modo el dogmatismo de la «ciencia normal» no impide el crecimiento mientras lo combinemos con el reconocimiento popperiano de que existe una ciencia normal buena y progresiva y otra que es mala y regresiva, y mientras mantegamos nuestra decisión de eliminar, en ciertas condiciones objetivamente definidas, algunos programas de investigación.

La actitud dogmática en la ciencia (que explicaría sus períodos de estabilidad) fue descrita por Kuhn como un rasgo fundamental de la «ciencia normal»³²⁸. Pero el marco conceptual en el que Kuhn trata de la continuidad de la ciencia es socio-psicológico, mientras que el mío es normativo. Yo miro la continuidad de la ciencia a través de unas gafas popperianas. Donde Kuhn ve «paradigmas» yo veo también «programas de investigación» racionales.

4. Los programas de investigación: Popper versus Kuhn

Resumamos a continuación la controversia entre Kuhn y Popper.

Hemos visto que Kuhn tiene razón al objetar al falsacionismo ingenuo y también al insistir en la continuidad del crecimiento cien-

³²⁶ *Ibid.*

³²⁷ Popper (1940), nota primera. Encontramos una observación similar en su (1963a), p. 49. Pero estas observaciones son, *prima facie*, contradictorias con algunos de sus comentarios de (1934) (citados *arriba*, p. 40) y por ello sólo pueden ser interpretados como síntomas de una creciente conciencia por parte de Popper de que hay una anomalía no digerida en su propio programa de investigación.

³²⁸ En realidad mi criterio de demarcación entre ciencia madura e inmadura puede interpretarse como una absorción popperiana de la idea de Kuhn de la «normalidad» como distintivo de la ciencia (madura); y también refuerza mis argumentos anteriores en contra de que se consideren eminentemente científicos los enunciados muy falsables (cf. *arriba*, p. 30).

Indicaré de pasada que esta demarcación entre ciencia madura e inmadura ya aparece en mi (1963-4), donde llamé a la primera «conjeturas deductivas» y a la última «ensayos y errores ingenuos». (Vid e.g. 1963-4, sección 7c: «Conjeturas deductivas y conjeturas ingenuas.»)