

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 aumente 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 *rígidamente*; 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 desconuelo 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 recalcitrantes.

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.