

Curso de Especialista en CTS+

Módulo 1.

Tema 1. Introducción a la Noción de Ciencia

- **Presentación y objetivos**
- **Contenidos**
- **Textos de ampliación**
- **Bibliografía y enlaces**
- **Actividades**

Presentación y objetivos

En este tema se desarrolla una introducción a la noción de ciencia, repasando los principales lugares comunes sobre sus características metodológicas y estructurales, que será completada en el tema siguiente con una descripción de los principales enfoques contemporáneos para su estudio. La disciplina de base es la filosofía de la ciencia de inspiración kuhniana, es decir, el análisis filosófico de base histórica y enriquecido mediante los aportes de las ciencias sociales.

Los objetivos del tema son los siguientes:

1. Adquirir familiaridad con la evolución reciente de la reflexión académica sobre la ciencia, especialmente en el ámbito de la filosofía de la ciencia.
2. Conocer algunas de las características metodológicas y estructurales de la ciencia que han suscitado un mayor acuerdo en la literatura o que han centrado un volumen considerable de la discusión académica.
3. Conocer algunos de los principales autores en el estudio metacientífico tradicional.
4. Desarrollar una opinión propia, crítica e informada, sobre las notas distintivas de la actividad científica, y diferenciar con claridad la ciencia frente a la pseudociencia y otro tipo de manifestaciones culturales.
5. Apreciar el valor de la ciencia en el desarrollo cultural y social, siendo a la vez consciente de sus condicionantes y limitaciones en tanto que actividad humana.

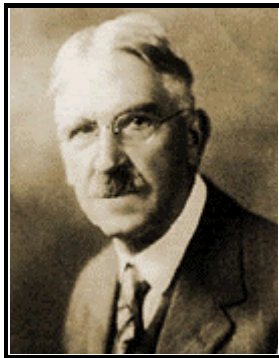
Autores

José Antonio López Cerezo se formó como investigador en las universidades de Valencia y Helsinki. Actualmente es Profesor Titular de Lógica y Filosofía de la Ciencia en la Universidad de Oviedo, así como coordinador académico de la Red de investigación CTS del Área de Cooperación Científica de la Organización de Estados Iberoamericanos. Su actividad investigadora se centra en los estudios CTS y especialmente en la temática de la participación pública. Entre sus libros se encuentran *Ciencia, tecnología y sociedad* (Tecno, con M. González y J.L. Luján, 1996), *Ciencia, tecnología y sociedad: lecturas seleccionadas* (Ariel, coedición con M. González y J.L. Luján, 1997) y *Ciencia y política del riesgo* (Alianza, con J.L. Luján, 2000).

Cipriano Barrio Alonso es Doctor en Química por la Universidad de Barcelona. Actualmente es Profesor Titular del Departamento de Filosofía de la Universidad de Oviedo. Ha trabajado y publicado artículos sobre cinética química, resolución de estructuras por difracción de rayos X, cálculos semiempíricos de orbitales moleculares, historia de la química, utilización de la informática en la enseñanza secundaria, filosofía de la naturaleza, historia de la química y temática CTS. Su línea de trabajo actual se centra en los estudios CTS, particularmente en el caso de las nuevas tecnologías.

El Concepto de Ciencia: Una Primera Aproximación

El vocablo "ciencia" se deriva del latín *scientia*, sustantivo etimológicamente equivalente a "saber", "conocimiento". Hay sin embargo saberes que nadie calificaría como científicos. ¿Qué diferencia a la ciencia del resto de la cultura? ¿cuáles son sus rasgos distintivos? Habitualmente, la **ciencia** es entendida como un **saber metódico que versa sobre verdades generales o la operación de leyes de la naturaleza⁽¹⁾**, basado en datos observacionales y respaldado mediante la prueba y el experimento, accesible intersubjetivamente y con una amplia aceptación (cf. *Webster's*). Es sólo una primera aproximación al significado vernáculo del vocablo que puede enriquecerse considerablemente mediante la historia reciente del pensamiento filosófico.

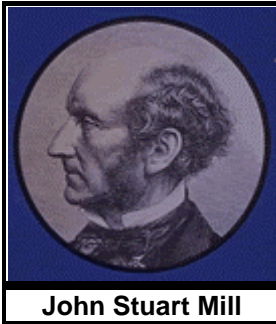


John Dewey

En su contribución a la parte introductoria de la *International Encyclopedia of Unified Science* (Neurath et al., 1938), el conocido filósofo pragmatista norteamericano **John Dewey** distinguió entre la **ciencia como actitud y método**, por un lado, y la **ciencia como cuerpo de conocimiento y destrezas**, por otro. Respecto a la primera acepción, Dewey caracterizaba la actitud científica como "... la voluntad de indagar, de examinar, de discriminar, de extraer conclusiones sobre la única base de la evidencia y tras haber realizado el esfuerzo de reunir toda la evidencia disponible ... Es, a su vez, la actitud experimental que reconoce que mientras las ideas son necesarias para tratar con los hechos, son con todo hipótesis de trabajo que han de ser puestas a prueba mediante las consecuencias que de ellas se derivan" (p. 31).

La ciencia como método

Estas palabras generales sobre la naturaleza de la ciencia recogen un amplio y conciliador lugar común en la literatura filosófica. Pero es un acuerdo que no se mantiene cuando, a través de cada escuela de pensamiento, se trata de concretar esa actitud científica en un esquema general de método científico o modelo de desarrollo para la ciencia, es decir, cuando se trata de especificar el modo particular de operar de una facultad intelectual humana o la específica forma lógica que distingue a esa cosa que llamamos "ciencia".



John Stuart Mill

Dentro de la tradición del **empirismo clásico**, la tradición de **F. Bacon y J. S. Mill**,⁽²⁾ el método científico era entendido básicamente como un método inductivo para el descubrimiento de leyes o fenómenos⁽³⁾. Se trata por tanto de un procedimiento o algoritmo para la inducción genética, es decir, de un **conjunto de reglas que ordenan el proceso de la inferencia inductiva y legitiman sus resultados**. La clave del método científico sería entonces hacer posible (y legitimar) la derivación de enunciados generales hipotéticos acerca de los fenómenos a partir de un conjunto limitado de evidencia empírica constituida por enunciados de observación o los resultados de los experimentos.

(2)

(3)

Un desarrollo de este planteamiento se debe, por ejemplo, a **John Stuart Mill** en sus "cánones inductivos", entendidos como procedimientos para ordenar la evidencia y extraer desde la misma conclusiones relativas a la conexión entre fenómenos. Sus dos cánones más importantes son los del acuerdo y de la diferencia. Según el **canon del acuerdo**, podemos concluir que **una circunstancia A es posiblemente la causa de un fenómeno B cuando, a pesar de variar las circunstancias que acompañan a A en diferentes experimentos u observaciones, dicho fenómeno B tiene lugar cada vez que se produce A**. Según el **canon de la diferencia**, podemos concluir que **una circunstancia A es la causa de un fenómeno B, o parte indispensable de su causa, cuando, manteniendo constantes el resto de las circunstancias, B deje de tener lugar si se suprime A**.⁽⁴⁾

(4)

El testimonio adverso de la historia de la ciencia, donde hay numerosos episodios de ideas científicas que surgen por inspiración, azar o sin seguir un procedimiento reglamentado alguno,⁽⁵⁾ está a la base del llamado "giro lógico" (en expresión de Thomas Nickles) que se produce durante el siglo XIX impulsado por autores como **John Herschel** o **W. Stanley Jevons**. Una cosa, argumentarán posteriormente autores positivistas como **Rudolf Carnap** o **Hans Reichenbach** en la década de de 1930,⁽⁶⁾ es el contexto de descubrimiento y otra el contexto de justificación; mientras el primero es un cajón

de sastré que incluye elementos sociales, psicológicos, etc. donde no vamos a encontrar procedimientos reglamentados comunes a todos los casos particulares, el segundo marca el territorio propio de la racionalidad científica y debería ser el objeto de estudio de aquellos que tratan de encontrar patrones objetivos y universales de razonamiento, es decir, la principal característica distintiva de la ciencia.

(5)

(6)

Con dicho giro lógico, el **método científico** pasa en general a ser entendido como un **procedimiento de justificación *post hoc* y no de génesis o descubrimiento**. Es el llamado método hipotético-deductivo (H-D)⁽⁷⁾ para el desarrollo de la ciencia: el apoyo de la experiencia a las hipótesis generales sigue siendo de carácter inductivo pero se trata de inducción *ex post* o inducción confirmatoria, un apoyo que reciben indirectamente las hipótesis a partir de la constatación en la experiencia de las implicaciones contrastadoras que se derivan deductivamente de esas hipótesis. La aceptabilidad no se deriva, como en el caso anterior, de haber seguido un procedimiento seguro para la realización del descubrimiento o la formulación de la hipótesis sino del resultado de la puesta a prueba posterior a su postulación.⁽⁸⁾

(7)

(8)

Con este esquema de método científico como base, surgen en nuestro siglo diversos criterios de aceptabilidad de ideas en ciencia, presentados habitualmente como criterios de científicidad o incluso, en sus orígenes, de significatividad cognitiva.⁽⁹⁾ Estos criterios, en general, tratan de operativizar el método H-D, haciendo de él no sólo un instrumento de demarcación para la ciencia sino también una herramienta historiográfica para la reconstrucción racional de la historia de la ciencia. Entre dichos criterios, con un mayor o menor alcance y tomando una u otra unidad de análisis, destacan el criterio de

verificabilidad de enunciados defendido en los primeros tiempos del positivismo lógico o la posterior debilitación de este criterio en la exigencia de confirmabilidad creciente (e.g. **R. Carnap**), el conocido criterio de falsabilidad de enunciados o teorías propuesto por **Karl Popper**, así como la extensión del criterio popperiano a grupos "progresivos" de teorías en la metodología de programas de investigación defendida por **Imre Lakatos**, etc. Estos autores son comentados en el tema siguiente.

(9)

Todos estos intentos de capturar en un método o estrategia lo característico de la ciencia comparten, a pesar de sus diferencias, un cierto núcleo común: identificar la ciencia como una peculiar combinación de inferencia inductiva y razonamiento deductivo, auxiliados quizá por virtudes cognitivas como la simplicidad, la potencia explicativa o el apoyo teórico. Es una versión del matrimonio entre la matemática y el empirismo, al que **Bertrand Russell** atribuía en 1935 el nacimiento de la ciencia moderna (en el Primer Congreso Internacional para la Unidad de la Ciencia, celebrado en París).⁽¹⁰⁾ Esta visión reductiva del método científico ha sido objeto de interminables discusiones en la literatura filosófica y de numerosas críticas en los recientes estudios sociales de la ciencia.⁽¹¹⁾

(10)

(11)

La ciencia como saber

Del modo sugerido por **Dewey** (ob. cit.), otra línea de trabajo tradicional para intentar caracterizar la ciencia, con independencia de que prevalezca o no un acuerdo sobre su método, es entendiéndola como un tipo específico de producto cultural, como un cuerpo de conocimiento que disfruta de una particular estructura o relación con la realidad. En particular, la visión sincrónica de la ciencia predominante en la filosofía tradicional del positivismo lógico era la de un conjunto de teorías verdaderas o aproximadamente verdaderas: la mecánica

clásica de partículas, la genética de poblaciones, la teoría cinética de gases, etc. Las teorías, a su vez, eran entendidas como conjuntos de enunciados cuyos términos no lógicos pertenecían a un vocabulario teórico o un vocabulario observacional. Así, los enunciados científicos podían, en virtud de los términos constituyentes, pertenecer al lenguaje teórico, al lenguaje observacional o constituir enunciados-puente (o reglas de correspondencia) que conecten ambos niveles lingüísticos.⁽¹²⁾ La estructura general de las teorías científicas era entendida, por último, como la de un sistema axiomático (o sistema deductivo) en el que existe una conexión deductiva desde los enunciados o leyes más generales a los más específicos. Más aun, la ciencia misma, con su diversidad de disciplinas, era contemplada desde una óptica reduccionista: como un gran sistema axiomático cuyos conceptos y postulados básicos eran los de la física matemática. La lógica de predicados de primer orden con identidad se suponía que podía ofrecer el instrumental requerido para formalizar tales sistemas.

(12)

La estructura de la ciencia



Galileo

Como es bien sabido, la reacción antipositivista de los años 60, con argumentos como el de la **infradeterminación** o el **carácter teórico de la observación**, produjo el abandono de este lugar común en filosofía de la ciencia⁽¹³⁾. De clara inspiración kantiana, el **argumento del carácter teórico de la observación** (o, en general, la percepción) es bien conocido por plantear, en su interpretación habitual, graves problemas de justificación para el conocimiento empírico. Tomando una idea de **L. Wittgenstein** y **G. Ryle**, **Norwood R. Hanson** distinguió en su clásico *Patrones de descubrimiento* (1958) entre "ver que" y "ver cómo". No sólo las impresiones sensibles de la retina dan cuenta de lo que perciben los sujetos, no es únicamente un "ver que", sino siempre un "ver cómo". No vemos un contorno con cierta distribución de colores, sino un gato sobre una estera. Del mismo modo que **Galileo** no veía concavidades sobre la superficie de la Luna (o simples aberraciones en su telescopio) sino cráteres. Lo que sea visto depende tanto de las

impresiones sensibles como del conocimiento previo, las expectativas, los prejuicios y el estado interno general del observador. De este modo, como muestran también los conocidos ejemplos de la psicología de la *Gestalt* sobre el carácter global de la percepción, toda observación está cargada teóricamente. En consecuencia, concluye el argumento, **la observación no proporciona una base independiente para la evaluación de las teorías científicas.** La objetividad de la ciencia, posibilitada por la confrontación de teoría y experiencia, se encuentra entonces en dificultades puesto que la contrastación de las teorías se convierte en un proceso circular.

(13)

La discusión tradicional sobre este argumento se centra en las consecuencias que puede tener su reconocimiento sobre la cuestión de la comparación interteórica, bien en contextos de dinámica de la ciencia donde teorías dadas son sustituidas por otras incompatibles (por ejemplo cuando la física newtoniana es sustituida por la relativista, o el modelo ptolemaico por el copernicano), o bien en contextos de elección entre teorías rivales (por ejemplo cuando la comunidad científica debe escoger entre la mecánica clásica y la cuántica, o entre la teoría del flogisto y la teoría de Lavoisier sobre el fenómeno de la combustión). En el primer caso, el argumento de la carga teórica de la observación amenaza el modelo acumulativo en dinámica de la ciencia; en el segundo, el papel causal de la racionalidad en la resolución de las controversias científicas. ⁽¹⁴⁾

(14)

Por su parte, el **argumento de la infradeterminación** afirma que dada cualquier teoría propuesta para explicar un fenómeno o cuerpo de evidencia dado, hay al menos una teoría alternativa que es empíricamente equivalente respecto a la primera pero que constituye una explicación incompatible del fenómeno en cuestión. Por tanto, concluye el argumento, **la elección teórica se encuentra radicalmente infradeterminada por cualquier evidencia disponible.** El reto epistemológico de este argumento consiste en la relevancia explicativa que adquieren los factores extra-empíricos en los contextos de elección teórica, y, así, en las dificultades

que esta situación puede plantear para una evaluación racional.

En el ámbito de la ciencia real, **ejemplos habituales de infradeterminación son proporcionados por los episodios de controversias científicas** donde, en términos de la sociología del conocimiento, se produce flexibilidad interpretativa. Entre las más conocidas de la ciencia reciente: la controversia entre escuelas taxonómicas sobre el sistema idóneo de clasificación de los seres vivos; el debate sobre la disposición biológica a la homosexualidad; las distintas controversias sobre la existencia y características de diferentes partículas subatómicas; la polémica hereditarismo vs. ambientalismo en la explicación de la conducta inteligente; etc. Y, en términos más pedestres, el fenómeno se reproduce en la múltiples y diversas controversias que salpican la vanguardia de la investigación en cualquier campo disciplinar: sobre la correcta clasificación de un líquen, sobre la dosis más efectiva de un fármaco en ciertas condiciones de administración, sobre el margen de error admisible en un experimento, etc.

Es así habitual, en la actual literatura filosófica sobre la ciencia (e.g. Solomon, 2001; Longino, 2002), reconocer la existencia de una **significativa laguna epistémica entre la evidencia empírica acumulada, los datos, y la teoría desarrollada para explicar tales datos**. Como también es habitual, dentro de los autores de la reacción antipositivista y de las más recientes corrientes naturalistas, aducir factores "externos" para completar (o sustituir, en los enfoques extremos) a la evidencia y virtudes cognitivas en la clausura causal de la infradeterminación. Entre esos factores encontramos, típicamente: factores técnico-instrumentales, como tradiciones técnicas y disponibilidades instrumentales, que canalizan el tipo de resultados obtenidos y la interpretación de los mismos; y factores sociales, es decir, factores económicos, profesionales o políticos, que pueden tener un papel relevante en la interpretación de los resultados teóricos y la promoción selectiva de ciertas líneas de aplicación tecnológica.

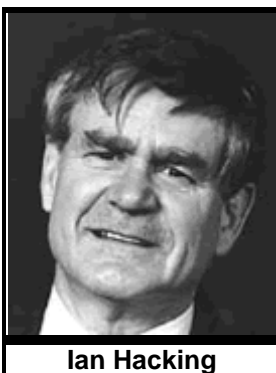
La ciencia como práctica

Frente a esas tradicionales visiones intelectualistas de la ciencia como saber o como método, y en respuesta a argumentos como los anteriores, **en el estudio actual de la ciencia comienza a consolidarse un interés por**

el análisis de ésta como práctica, como colección de destrezas con un soporte instrumental y teórico. Se produce así un cambio de énfasis hacia los detalles de las prácticas científicas particulares, subrayando la heterogeneidad de las culturas científicas en contraposición al tradicional proyecto reduccionista. De este modo, el desarrollo de la ciencia es básicamente concebido como la estabilización y ajuste mutuo de diversos elementos o secuencias de elementos: datos, instrumentos y teorías. Es el ajuste entre distintos tipos de recursos lo que significa tener éxito para un resultado experimental, para una particular reconstrucción fenoménica. Un éxito del que las teorías resultan respaldadas y las prácticas reforzadas.

En terminología de **Robert Ackermann**, podemos distinguir diversos componentes en la ciencia como actividad: (i) los recursos materiales del aparato o la configuración experimental en los que queda constancia del fenómeno a estudiar a través de datos (datos e instrumentos); (ii) los recursos conceptuales que explican el funcionamiento de esos recursos materiales (la teoría del aparato que justifica la fiabilidad de éste, así como, en nuestro posterior caso de estudio, la teoría sobre preparación de especímenes); y (iii) el modelo o conjunto de modelos teóricos que da cuenta del fenómeno (la teoría del fenómeno).

Epistemología del
microscopio



Ian Hacking

Así, como afirma **Ian Hacking** (en su contribución a Pickering, 1992), **la maduración de una teoría científica consiste precisamente en el ajuste mutuo de estos tipos de elementos (datos, equipo, teorías) hasta estabilizarse en un "sistema simbiótico" de mutua interdependencia.** Ahora bien, dado que los aparatos e instrumentos (el *matériel* de Hacking) desempeñan un papel crucial en dicha estabilización, y dado también el carácter dispar y contingente de ese *matériel*, difícilmente - añade Hacking - puede proponerse un algoritmo que resuma eso que llamamos "hacer ciencia". A lo sumo, añade **Nancy Shaffer** (1996: S91-S92), podemos hablar de una "heurística" científica, entendiendo por tal un conjunto de métodos sub-óptimos para alcanzar fines particulares bajo circunstancias lejos de ser ideales (incluyendo entre tales fines metas de naturaleza

pragmática como, por ejemplo, desarrollar aplicaciones prácticas específicas, o estudiar el comportamiento de una variable considerada interesante a la luz de una tradición de investigación, etc.; e incluyendo entre tales circunstancias las limitaciones impuestas por el tiempo, el dinero, el conocimiento teórico asimilado, las técnicas experimentales e instrumentos disponibles, etc.).

En ese mismo sentido se expresa **Andrew Pickering** con su particular elaboración historicista de la teoría de la red de actores. La práctica científica consiste, para Pickering (1995), en la **"sintonización" recíproca de la agencia humana (los científicos) y la agencia material (los aparatos y fenómenos)**. Este proceso constituye una "diálectica de resistencia y adecuación" guiada por intereses y objetivos que van revisándose y modificándose paralelamente a la interacción con la agencia material. Es el proceso que Pickering denomina *"the mangle of practice"* (el rodillo de la práctica, en una traducción libre).

La identificación de estos tres tipos de recurso de la actividad científica (evidencial, instrumental y teórico) nos permite localizar el principal punto de discusión dentro de los enfoques de la ciencia-como-práctica. Para autores como Pickering, son recursos igualmente plásticos que se refuerzan mutuamente en la práctica científica. Todo, en principio, está abierto a la negociación y el ajuste para producir el "sistema simbiótico". El marco de referencia para evaluar tal ajuste es la historia anterior de dicha práctica, el contexto socio-experimental de un paradigma dado. Dicha práctica genera una trayectoria de ajuste, una dinámica propia, en la que es de esperar que se integre el sistema simbiótico. **Los científicos, individual y colectivamente, se limitan a aplicar el oportunismo en contexto, utilizando las expectativas respecto a la práctica futura y los compromisos teóricos existentes para orientar sus elecciones presentes.** Se trata, como veremos en el próximo tema, de una lectura pragmática de Kuhn.⁽¹⁵⁾

(15)

Por el contrario, para otros autores como **Allan Franklin**, datos, instrumentos y teorías no son recursos igualmente plásticos en la práctica científica. Pese a reconocer, con Hacking, que los instrumentos tienen una cierta vida propia,⁽¹⁶⁾ **los datos** - para Franklin - **constituyen la base firme, aunque revisable, para evaluar el buen ajuste (el buen funcionamiento o la credibilidad) del resto de los**

recursos. Los cambios teóricos y los cambios en resultados experimentales no siempre ocurren al mismo tiempo, teniendo estos últimos una mayor continuidad temporal que hace de la ciencia una empresa racional (y de los productos científicos, resultados objetivos). Es, como también veremos, una especie de actualización pragmática de Popper.⁽¹⁷⁾

[Redacted] (16)

[Redacted] (17)

La diversidad de la ciencia

Pero ni siquiera esta diversidad de la ciencia en la práctica llega a dar cuenta de todos los usos del vocablo "ciencia". El motivo es que las disciplinas experimentales constituyen sólo una parte del conocimiento que habitualmente calificamos como "científico". El historiador **A.C. Crombie** (1994) distingue hasta cinco estilos de razonamiento en ciencia, incluyendo la exploración y medición experimental en diferentes especialidades de la física, la química o la biología. Otras formas de hacer ciencia, de acuerdo con este autor, son la elaboración de modelos hipotéticos propia de la cosmología o las ciencias cognitivas, la clasificación y reconstrucción histórica de la filología o la biología evolutiva, la elaboración de postulados y pruebas en lógica o matemáticas, y, por último, el análisis estadístico de poblaciones en economía, epidemiología o partes de la genética.

[Redacted] El darwinismo como filosofía de la ciencia

Sin un lenguaje común, asumido el fracaso del proyecto positivista de una ciencia unificada (Galison y Stump, 1996), parece entonces difícil hablar de "la ciencia" como un género natural en virtud de la posesión de algún método o estructura común, o, en general, de algún conjunto de condiciones necesarias y suficientes (Rorty, 1988). Nos queda sin embargo **un sólido aire de familia para las ciencias proporcionado por cosas tales como el uso de matemáticas; los procedimientos estandarizados de prueba y replicación; la generalidad de sus afirmaciones de conocimiento; la instrumentación y las prácticas experimentales; el éxito en resolver**

problemas particulares a través de la tecnología; y su credibilidad casi universal. A pesar por tanto de la diversidad de contenidos, competencias y estilos de razonamiento, aun reconociendo de la diversidad de las ciencias, sus heterogéneas notas comunes y el éxito en la práctica permite seguir hablando en general de una actitud y un saber científicos.

Textos de ampliación

- **La estructura de las teorías científicas**
- **Epistemología del microscopio**
- **El darwinismo como filosofía de la ciencia**

La estructura de las teorías científicas

El empirismo lógico o concepción heredada dedicó un esfuerzo considerable a intentar dilucidar la *estructura* de las teorías científicas. Se creía que el estudio de tal estructura daría la clave para entender la naturaleza de la ciencia, i.e. la racionalidad científica. Para emprender esa tarea reconstructiva, filósofos como R. Carnap, C. Hempel o E. Nagel tomaron como instrumento la lógica simbólica, como modelo la física matemática, y como marco filosófico el empirismo que se remonta a D. Hume (así como el *Tractatus Logico-Philosophicus*, una obra del filósofo austríaco Ludwig Wittgenstein que tuvo una gran influencia sobre esta corriente).

Respecto a su visión de la estructura de la ciencia, entendían ésta como un cuerpo de conocimiento con una particular relación con la realidad o el mundo fenoménico en virtud de la cual podemos hablar de teorías verdaderas o aproximadamente verdaderas. Las teorías, a su vez, eran entendidas como conjuntos de enunciados dotados de una estructura formal (del mismo modo que la lógica o la matemática), aunque, a diferencia de éstas, los términos no lógicos estaban dotados de una interpretación empírica desempeñada por los principios-puente o reglas de correspondencia que conectan los vocabularios teórico y observacional. De este modo, los enunciados científicos podían, en virtud de los términos constituyentes, pertenecer al lenguaje teórico, al lenguaje observacional o constituir enunciados-puente (o reglas de correspondencia) que tienen por función la conexión de ambos niveles lingüísticos.

La estructura general de las teorías científicas era entendida, por último, como la de un sistema axiomático en el que existe una conexión deductiva desde los enunciados o leyes más generales a los más específicos (véase más adelante). La lógica de predicados de primer orden con identidad se suponía que constituía la herramienta capaz de formalizar tales sistemas y mostrar su estructura axiomática.

En su sentido clásico, una teoría T está axiomatizada cuando:

1. Se ha introducido una tabla de signos primitivos (véase más abajo los distintos tipos de términos).
2. Se ha introducido un conjunto de reglas de formación de fórmulas (que nos permite construir frases sintácticamente correctas).
3. Se ha determinado del conjunto de fórmulas un subconjunto propio (el conjunto de axiomas que constituye el núcleo de cada teoría).

4. Se han fijado reglas de inferencia adecuadas (como por ejemplo la ley lógica del modus ponens: si p implica q, y p, luego q).

La teoría T se mantiene, hasta el momento, en una esfera puramente sintáctica: la interpretación empírica de T se efectúa a través de las reglas de correspondencia C. La teoría interpretada se denominará "TC". Detengámonos, con algo más de detalle en la estructura de esos sistemas y en el papel de las reglas de correspondencia, que proporcionan el vínculo de las teorías con el mundo empírico.

Versión inicial de la concepción heredada

De acuerdo con F. Suppe (1974), la versión básica de la doctrina del empirismo lógico sobre la estructura de las teorías sería como sigue:

Las teorías científicas son entendidas como sistemas axiomáticos formulados en una lógica matemática L que cumplen las siguientes condiciones:

1. La teoría se formula en una lógica de primer orden con identidad L.
2. Los términos de L se dividen en tres clases disjuntas llamadas vocabularios:
 - a. El vocabulario lógico que contiene constantes lógicas (incluidos términos matemáticos), como "∀" (el cuantificador universal "para todo ...") o bien "≡" (la equivalencia lógica "sí y sólo si"), utilizados más abajo.
 - b. El vocabulario observacional V₀ que contiene términos observacionales, como "velocidad", "prole" o "conducta".
 - c. El vocabulario teórico V_t que contiene términos teóricos, como "fuerza", "eficacia biológica" o "motivación".
3. Los términos de V₀ se interpretan como referidos a objetos físicos o características de los objetos físicos, directamente observables.
4. Hay un conjunto de postulados teóricos T cuyos únicos términos no lógicos pertenecen a V_t (por ejemplo el postulado que expresa la energía cinético-molecular media en términos de la masa y la velocidad molecular).
5. Se da una definición explícita de los términos de V_t en términos de V₀ mediante reglas de correspondencia C, i.e. para cada término "F" de V_t debe darse una definición de la forma:

$$\forall x (Fx \equiv Ox)$$

donde "Ox" es una expresión de L que contiene símbolos solamente de V₀ y posiblemente del vocabulario lógico (véase más arriba para las constantes lógicas "∀" y "≡").

El conjunto de axiomas T será el conjunto de leyes teóricas de la teoría. Las reglas de correspondencia C estipulan el rango de aplicación empírica de la teoría, y establecen, vía definición explícita, condiciones necesarias y suficientes para la aplicabilidad de términos teóricos. A su vez, la teoría se identifica con la conjunción TC de T y C.

Una consecuencia de esta caracterización es que los términos teóricos serán cognitivamente significativos en la medida en que satisfagan el criterio verificacionista de significado establecido en (5). Una versión especial del requisito de la definición explícita de los términos teóricos es recogida por el operacionalismo clásico de P.W. Bridgman: los conceptos son sinónimos de sus series de operaciones correspondientes (un ejemplo es la clásica definición operacional de la inteligencia como aquello que miden los tests de inteligencia).

Dificultades con el criterio verificacionista

Con todo, el requisito (5) tuvo que ser debilitado por las dificultades planteadas por la definición explícita de los términos disposicionales como frágil, soluble, inteligente, etc. Estos términos, como señaló originalmente R. Carnap en 1936-37, son cognitivamente significativos y no admiten una definición explícita (nótese que son términos teóricos por hacer referencia a propiedades inobservables).

Siendo "Fx" la función proposicional "x es frágil"; y "Rx" la función "x se rompe", la definición verificacionista de F en función de R sería como sigue:

$$\forall x (Fx \equiv Rx)$$

Sin embargo, la definición no funciona para "frágil", que enuncia una disposición y no una propiedad actual. De un cuerpo que no esté roto no podría decirse que es frágil.

Ni tampoco funciona una reformulación como, por ejemplo,

$$\forall x Fx \equiv \forall x \forall t (Sxt \rightarrow Rxt)$$

siendo "Sxt" "recibir un golpe seco en t" y "Rxt" "romperse en el tiempo t", pues será cierto, por las condiciones de verdad de las constantes lógicas, para cualquier objeto de nunca sea golpeado.

Supóngase que "a" es un cuerpo cualquiera que no ha sido golpeado jamás. En tal caso, por ser el antecedente falso, la implicación "Sat \rightarrow Rat" es verdadera y, por la ley lógica del modus ponens, "Fa" será verdadero. (La equivalencia lógica \equiv puede expresarse como un bicondicional, de forma que $A \equiv B$ es igual a decir $A \rightarrow B$ y $B \rightarrow A$). De este modo, todo cuerpo que no haya sido golpeado sería frágil por definición.

Este es el llamado "problema de los términos disposicionales". En física lo son la mayor parte de los que acaban en "-ble", "-idad", "-ente" (como "soluble", "conductividad", "disolvente", etc.); son términos que hacen referencia a propiedades físicas que se dan en determinadas circunstancias. El problema consiste en la no adecuación de estos términos para ser definidos explícita u operacionalmente.

La solución final fue propuesta por R. Carnap en "Testability and Meaning" (1936-37). Esta solución, que supuso una renuncia a la definición explícita, postula el uso de enunciados de reducción para dar cuenta del significado de los términos teóricos. Por ejemplo,

$$\forall x \forall t (Sxt \rightarrow (Rxt \equiv Fxt))$$

Al contrario que antes (al perder la definición la forma de una equivalencia lógica e integrarse el definiendum – es decir, lo definido - como parte del consecuente de la implicación material), si un objeto a nunca es golpeado bruscamente eso ya no significa que Fa sea cierto.

El problema ahora es que el significado de los términos introducidos por enunciados de reducción sólo queda parcialmente determinado. i.e. de objetos físicos para los que las condiciones de prueba ("romperse", "golpearse") no se hayan dado no puede decirse si tienen o no la propiedad (disposicional) de que se trate.

El problema, así, es que los enunciados de reducción ya no definen completamente qué es para algo ser frágil, inteligente, etc. Sólo estipulan una condición de verificación aplicable en determinadas circunstancias. Pero, al ser ese número infinito o indeterminado (por ejemplo los sonidos de alta frecuencia también pueden romper los objetos frágiles), la disyunción finita de enunciados de reducción ya no proporciona una definición explícita.

El propio Carnap intentó salvar este problema proponiendo la introducción no de enunciados de reducción aislados sino de cadenas de enunciados de reducción. El problema, con todo, no se resuelve por la infinitud o indeterminación del conjunto de circunstancias en las que un objeto físico puede manifestar una disposición dada.

En conclusión, las reglas de correspondencia sólo ofrecen definiciones parciales de los términos teóricos. Queda un remanente de significado difícil de digerir para el espíritu verificacionista del empirismo lógico, y que hace perder fuerza al criterio de demarcación.

Versión final de la concepción heredada

La que podríamos llamar "versión final" de la concepción heredada, siguiendo a F. Suppe (1974), reemplazaría (5) por:

(5') Las reglas de correspondencia C constituyen un sistema interpretativo que satisface las condiciones siguientes:

- a. El conjunto C de reglas debe ser finito.
- b. El conjunto C de reglas deber ser lógicamente compatible con los postulados teóricos (axiomas) de la teoría.
- c. C no contiene términos no lógicos que no pertenezcan a V_0 ni a V_t .

- d. Cada regla de C debe contener esencial o no vacuamente al menos un término de V_0 y al menos otro de V_t .
- e. Las reglas de C deben ser tales que TC sea cognitivamente significativa.

Las reglas de correspondencia pueden por tanto considerarse la suma total de procedimientos experimentales admisibles para aplicar la teoría a los fenómenos observables. Las reglas C, en suma, y conjuntamente con los postulados teóricos, interpretan así parcialmente los términos de V_t especificando su contenido observacional.

Obsérvese que algunos términos teóricos pueden no ocurrir en reglas de correspondencia y recibir su contenido empírico de un modo indirecto vía T, es decir, a través de su conexión con otros términos teóricos directamente interpretados. Por ello, cada cambio en T (que afecte naturalmente a los postulados relevantes) se traducirá en una modificación del contenido empírico de esos términos indirectamente interpretados, aunque no sufran modificación alguna las reglas C.

Una consecuencia de lo anterior es que la especificación no sólo de las reglas C sino asimismo de T (la teoría desarrollada sintácticamente) es esencial para dilucidar el problema de la significatividad. La significatividad de un término queda así relativizada a la teoría T en la que ocurra, pues un término puede, por lo expuesto, ser significativo en una teoría y no significativo en otra teoría.

Reglas de correspondencia y estructuras teóricas

De este modo, es la teoría como un todo lo que se convierte en cognitivamente significativo. Veamos, con algo más de detalle y ejemplos, como se vincula globalmente a la experiencia una teoría mediante sus reglas de correspondencia.

En (1966), R. Carnap ofrece varios ejemplos de sencillas reglas de correspondencia.

"Si se produce una oscilación eletromagnética de una frecuencia dada, entonces se observará un color azul-verdoso de un determinado matiz".

En este caso se vincula algo observable con un microproceso inobservable.

"La temperatura (medida por un termómetro) de un gas es proporcional a la energía cinética media de sus moléculas.

Aquí, nuevamente, se vincula un inobservable de la teoría molecular (la energía cinética de las moléculas) con un observable.

En general, reglas de correspondencia como las anteriores nos permiten derivar leyes empíricas acerca de observables a partir de leyes teóricas acerca de inobservables. Permiten por tanto la predicción y la aplicación del método Hipotético-Deductivo.

Por ejemplo, si además de la anterior regla en teoría cinética de gases, establecemos (siguiendo esta teoría):

- que la presión de un gas corresponde (es proporcional) al choque de las moléculas contra las paredes del recipiente (otra regla de C) y
- que la energía cinética de las moléculas es la energía que poseen en virtud de su movimiento, siendo igual a $1/2 m v^2$ (la masa del cuerpo por su velocidad en m/s) (un postulado teórico), entonces es fácil predecir lo que sucederá con la presión del gas cuando (a volumen constante) aumente su temperatura.

Siguiendo ahora a H. Feigl (1970), podemos utilizar la metáfora de la malla para representar el modo en el que las estructuras teóricas se conectan con la experiencia a través de las reglas de correspondencia. Del mismo modo que una red de seguridad consiste en una malla tejida siguiendo un patrón de conexión entre los nudos y que dispone de ciertos puntos de anclaje al suelo; las teorías científicas constituyen redes conceptuales: sus nudos son los conceptos teóricos característicos (e.g., gen, electrón, hábito), la conexión entre los nudos es proporcionada por los principios y leyes de la teoría, y su anclaje al mundo de la experiencia procede mediante las reglas de correspondencia (que, al contener conceptos observacionales, ya refieren magnitudes directamente observables o medibles como, por ejemplo, rasgos fenotípicos, trazos en cámaras de niebla o conducta agresiva). De este modo, las leyes de la naturaleza en las que aparecen referencias a entidades y procesos inobservables se conectan, si bien de un modo parcial e indirecto, con leyes experimentales. Los conceptos teóricos, aún sin poder ser todos ellos definibles explícitamente en términos observacionales, son útiles por incrementar la potencia predictiva de las teorías en las figuran.

Las teorías como sistemas deductivos

Entendiendo las hipótesis científicas como enunciados universales afirmativos susceptibles de ser formalizados mediante:

$$\forall x (Px \rightarrow Qx),$$

que podemos leer como “Todo P es Q”, y las leyes como hipótesis científicas verdaderas, Richard Braithwaite resume en (1953: 28) esa visión de la ciencia que toma por modelo a la matemática:

"Un sistema científico consiste en un conjunto de hipótesis que forman un sistema deductivo, es decir, dispuesto de tal modo que tomando algunas de ellas como premisas se sigan lógicamente todas las demás como conclusiones. Podemos considerar que las proposiciones de todo sistema deductivo están colocadas en una serie de niveles, de suerte que las del nivel supremo aparecerían exclusivamente como premisas del sistema, las de nivel ínfimo sólo como conclusiones del mismo y las de los niveles intermedios serían las que pueden aparecer como conclusiones de deducciones procedentes de

hipótesis de nivel más elevado y servir como premisas para deducciones que conduzcan a hipótesis de nivel inferior"

Un ejemplo clásico sería la mecánica clásica de partículas que toma por axiomas las tres leyes fundamentales del movimiento y la ley universal de gravitación, y que tiene como leyes de nivel inferior la ley de Coulomb para cargas eléctricas, de Hooke sobre el comportamiento de péndulos, etc.

El propio Braithwaite propone un sencillo ejemplo de un sistema deductivo con hipótesis distribuidas en tres niveles. Se trata de la ley de caída libre de Galileo.

La hipótesis de nivel supremo es:

(1) Todo cuerpo en las proximidades de la Tierra y en caída libre hacia ésta cae con una aceleración de 9,8 metros por segundo cada segundo.

De (1), aplicando principios sencillos del cálculo integral (esa hipótesis puede expresarse mediante la ecuación diferencial d^2s/dt^2 (aceler.)=9,8 m/s², cuya solución, con las condiciones iniciales (para $t=0$) $s=0$ y ds/dt (veloc.)=0, es $s=4,9t^2$), se sigue la hipótesis de nivel inferior:

(2) Todo cuerpo que partiendo del reposo cae libremente hacia la Tierra recorre $4,9t^2$ metros en t segundos, cualquiera que sea t .

Desde (2), y aplicando el principio lógico que permite la aplicación de una generalización a sus casos particulares (principio aplicativo), obtenemos el siguiente conjunto infinito de hipótesis:

(3a) Todo cuerpo que partiendo del reposo cae libremente hacia la Tierra durante un segundo recorre una distancia de 4,9 metros.

(3b) Todo cuerpo que partiendo del reposo cae libremente hacia la Tierra durante dos segundos recorre una distancia de 19,6 metros.

Etc.

En este sistema, las hipótesis de niveles inferiores se siguen deductivamente a partir de las hipótesis de niveles superiores. Las hipótesis constituyen, por su parte, proposiciones generales empíricas de generalidad decreciente.

En cuanto a la contrastación empírica del sistema, ésta se lleva a cabo poniendo a prueba las hipótesis del nivel ínfimo. Por ejemplo, la hipótesis (3a) se contrasta aplicándola a un caso particular, es decir, dejando caer un cuerpo libremente durante un segundo y midiendo la distancia que recorre. Con un

recorrido de 4,9 metros la hipótesis queda confirmada, en caso contrario disconfirmada.

El respaldo o rechazo empírico de estas hipótesis de nivel ínfimo, puesto que son implicadas por las correspondientes hipótesis superiores del sistema, es el criterio mediante el cual se contrasta la posible verdad de esas hipótesis superiores. Más aun, es el criterio para contrastar todas las hipótesis que contiene el sistema. Y ello por lo siguiente. Dado que los ejemplos observados de e.g. (3a) son un testimonio tanto a favor de (3a) como de (2), serán también un testimonio indirecto a favor de las consecuencias lógicas de (2), por ejemplo (3b), y de aquellas hipótesis como (1) de las cuales (2) sea consecuencia lógica. Por tanto,

"una hipótesis de un sistema deductivo que no sea de nivel supremo no solamente está apoyada por la observación de sus ejemplos, o de ejemplos de hipótesis situadas en un nivel inferior del sistema, sino también por observaciones de ejemplos de otras hipótesis de éste" (Braithwaite, 1953: 34).

De este modo, aunque los testimonios empíricos favorables no puedan probar hipótesis alguna del sistema, la concurrencia de respaldos directos e indirectos hace de éste un sistema sólido y creíble. La confirmación se transmite por los sistemas científicos siguiendo y a contracorriente de los vínculos deductivos.

Hay que realizar ahora una observación sobre el sencillo sistema deductivo expuesto. En él sólo se utiliza una hipótesis de nivel superior como premisa para deducir las de nivel inferior. En casi todos los sistemas científicos, la deducción requiere más de una premisa. Por ejemplo el sistema newtoniano incorpora la ley de caída libre de Galileo (en realidad todo su sistema deductivo, tal como hemos visto) transformándola en una hipótesis deducida de la conjunción de varias hipótesis de nivel superior: las leyes fundamentales del movimiento y la ley de la gravitación universal.

Un posible problema en este punto es la posibilidad de obtener respaldo empírico para una generalización cualquiera adjuntando ésta a un conjunto de hipótesis (un sistema deductivo) con un alto grado de confirmación. Para evitar tal cosa suele estipularse que cada una de las hipótesis de nivel supremo de un sistema tiene que ser necesaria para la deducción de las de nivel inferior.

Veamos un ejemplo. Un conjunto de hipótesis h_1, \dots, h_n , respaldadas por la experiencia, que se derivan deductivamente a partir de una conjunción de axiomas $a_1 \& a_2 \& a_3$. A esta conjunción podemos añadir cualquier proposición que no produzca una inconsistencia (como "La Luna es un gran trozo de queso manchego"), y, al formar parte del sistema deductivo, obtendrá el respaldo empírico del que gozaban los axiomas originales.

El problema es que se respalda un conjunto de axiomas (su conjunción), indiscriminadamente. Algunos casos reales son la mecánica clásica de Newton y sus conjeturas alquímicas en textos como "La vegetación de los metales"; las observaciones conductuales de Freud y sus conjeturas sobre la estructura mental (con egos, superyos, ...).

Otro hecho notable para la contrastación es que la mayoría de los sistemas deductivos empleen más de una hipótesis de máximo nivel. La situación es muy diferente a la del uso de una única hipótesis desde la que se deriva una implicación contrastadora: si el resultado es desfavorable, la hipótesis queda refutada, al igual que aquella de nivel superior desde la que ésta se deduzca. El uso de diversas hipótesis introduce una variedad del problema suscitado por la llamada tesis de Duhem-Quine (es más general esta tesis, pues se aplica también a las hipótesis de nivel ínfimo), ya reconocido en parte por el empirismo lógico. En palabras de Braithwaite:

"... supongamos que, como ocurre frecuentemente, nos estamos ocupando de un sistema deductivo en el que no se tenga únicamente una hipótesis de nivel supremo - de las que se seguirían todas las de nivel inferior -, sino, en vez de ello, que todo él se siga de dos o más hipótesis de esta categoría; entonces, lo que la refutación de las hipótesis de nivel ínfimo refutaría sería la conjunción de estas varias de nivel máximo; o sea, la consecuencia lógica de la falsedad de las hipótesis de nivel ínfimo sería que al menos una de las de nivel supremo es falsa" (1953: 36).

De este modo, Braithwaite argumenta que para la casi totalidad de las hipótesis científicas - exceptuando las generalizaciones directas de hechos observables que constituyen las hipótesis de nivel ínfimo de los sistemas deductivos [precisamente las hipótesis más interesantes incluidas en la tesis de Duhem-Quine, debido a la necesidad de utilizar hipótesis auxiliares] - no es posible una verificación completa ni tampoco una refutación completa. En sus palabras:

"... la experiencia nos puede decir que en alguna parte del sistema hay algo equivocado, pero nos cabe la elección en cuanto a lo que hayamos de considerar defectuoso" (1953: 36).

Nótese que éste es un problema recurrente que, al igual que en el caso de la infradeterminación (véase más adelante), no se resuelve lógicamente con el diseño de nuevas situaciones de contrastación. El propio Braithwaite (ob. cit.) no tiene más remedio que acabar en la pragmática y afirmar que, en tal circunstancia, sólo puede recurrirse al "olfato del físico" - haciendo un guiño al elitista conocimiento tácito de autores como Michael Polanyi.

Referencias

Braithwaite, R.B. (1959a), *Scientific Explanation*, Cambridge: Cambridge University Press (trad. cast. en Tecnos: *La explicación científica*).

Bridgman, P.W. (1927), *The Logic of Modern Physics*, Nueva York: Macmillan.

Carnap, R. (1936-37), "Testability and Meaning", *Philosophy of Science* 3: 420-468; 4:1-40.

Carnap, R. (1966), *Philosophical Foundations of Physics*, Nueva York: Basic Books (trad. cast. en Orbis: *Fundamentación lógica de la física*).

Feigl, H. (1970), "The Orthodox View of Theories: Remarks in Defense as Well as Critique", en: M. Radner y S. Winokur (eds.), *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, Vol. 4, Minneapolis: University of Minnesota Press, 1970.

Hempel, C.G. (1965), *Aspects of Scientific Explanation and Other Essays*, Nueva York: Free Press (trad. cast. en Paidós: *La explicación científica*).

Polanyi, M. (1958), *Personal Knowledge: Towards a Post-Critical Philosophy*, Londres: Routledge.

Suppe, F. (ed.) (1974), *The Structure of Scientific Theories*, Urbana: University of Illinois Press (trad. cast. en Editora Nacional: *La estructura de las teorías científicas*).

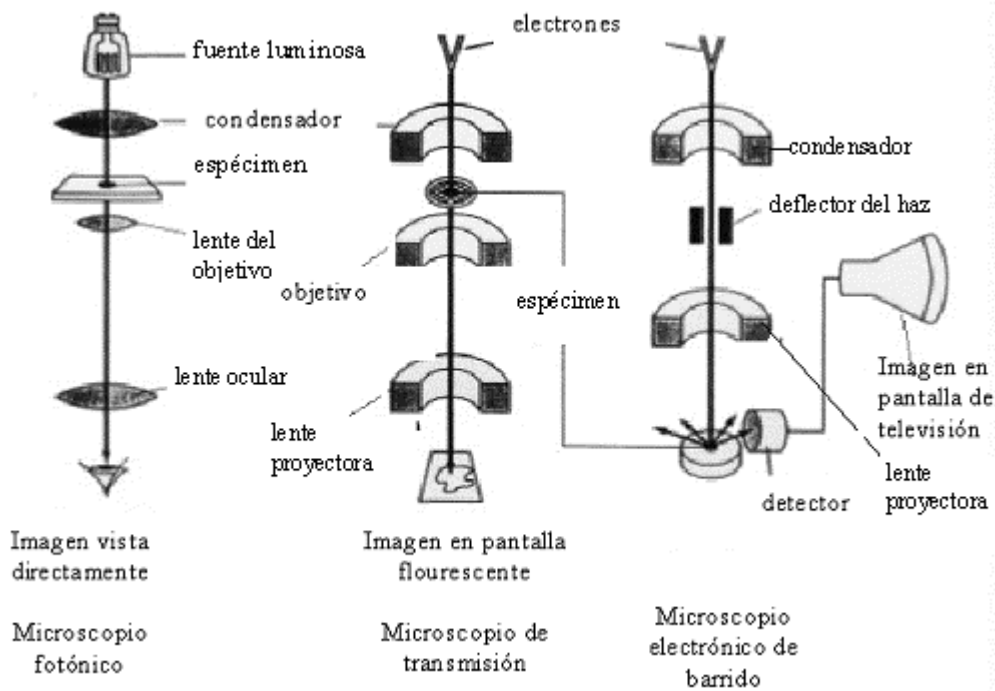
Wittgenstein, L. (1921), *Tractatus Logico-Philosophicus*, Londres: Kegan Paul (trad. cast. en Rev. de Occidente y Alianza).

Epistemología del microscopio

Como dice Allan Franklin en "Experimental Questions" (1993: 143), haciendo referencia a la evolución del estudio de la ciencia desde el empirismo lógico, hay un largo camino desde "Todos los cisnes son blancos" hasta los experimentos sobre corrientes neutro-débiles. Es un camino cuyo trayecto principal comienza con la pregunta de Ian Hacking en (1981): ¿Vemos a través de un microscopio? Es el disparador para la actual revisión del balance entre teoría y experiencia, y del concepto mismo de experiencia, en el estudio de la ciencia.

En *Representing and Intervening* (1983), Ian Hacking afirma que el planteamiento tradicional de las disputas filosóficas sobre la ciencia, simplemente palidece ante la sofisticación metafísica y epistemológica de la ciencia real. Un instrumento aparentemente humilde como el microscopio, si se estudia seriamente, es fuente inagotable de interrogantes filosóficos. Aun con un sencillo microscopio fotónico, un tradicional microscopio óptico que utiliza rayos de luz, más que ver *hacemos*: producimos imágenes a partir de la red de interacciones creada entre la radiación luminosa manipulada y el espécimen preparado previamente. Y, sin embargo, no parece que lo que nos llega a través del microscopio tenga una carga teórica (en el sentido tradicional del término) pues no es necesario tener conocimientos de óptica para usar correctamente el aparato. A través de la práctica se adquiere la habilidad de distinguir entre estructuras reales y artefactos creados por la preparación o el instrumento. Sin embargo, lo que vemos no son células o estructuras orgánicas, sino parches de luces y sombras que corresponden, suponemos, a distintas proporciones de luz transmitida o absorbida por un objeto teñido y seccionado (1983: 194). ¿Pero entonces vemos o no entidades reales? Y con el microscopio acústico, ¿acaso vemos algo? La conclusión a la que llega Hacking, después de pasar revista a diversos tipos de microscopio, es que tenemos que revisar nuestras nociones de observacional y teórico, nuestros criterios de entidad real y artefacto. El ámbito de la microscopía que queda fuera del estudio de Hacking es precisamente el de la sofisticada microscopía electrónica, y dentro de ésta el interesante microscopio electrónico de barrido.

Un modo de "visualizar" la estructura fina de objetos es posible desde que a finales de los años 30 Von Ardenne construye el primer prototipo de microscopio electrónico de barrido; un instrumento que, tras los intensos desarrollos de la microscopía electrónica después de la Segunda Guerra Mundial, comienza a comercializarse en 1965 por *Cambridge Instruments*. Desde entonces, el instrumento es parte integral de disciplinas como la microbiología.



1. La ilustración muestra una comparación entre el microscopio fotónico convencional (a), el microscopio electrónico de transmisión (b) y el microscopio electrónico de barrido (c). El microscopio fotónico aparece invertido para destacar sus similitudes estructurales con los microscopios electrónicos. Las lentes del microscopio fotónico son de vidrio o cuarzo, mientras que las de los microscopios electrónicos son bobinas magnéticas. Como puede verse, en los microscopios fotónico y de transmisión el haz iluminador pasa a través del espécimen, mientras que en el de barrido es desviado al incidir sobre su superficie. Tomado de Alberts (1983/1994).

El microscopio de barrido constituye una forma particular de aplicación de la microscopía electrónica. Los primeros microscopios electrónicos son microscopios de transmisión construidos a principios de los años 30. El límite de resolución de un microscopio electrónico es en general mucho menor que el de un microscopio fotónico, que sólo puede percibir objetos que sean mayores que las longitudes de onda de la luz utilizada para verlos. Puesto que las longitudes de onda de partículas atómicas como electrones son mucho más cortas que las longitudes de onda de la luz, un microscopio electrónico, en teoría, consigue una resolución de 10.000 veces la de un microscopio fotónico (el límite teórico es de 0,002 nm - nanómetros). En la práctica, por problemas como la aberración de las lentes o los daños de la radiación, el límite normal de resolución para objetos biológicos es de 2 nm. (1 nm. es el tamaño de una molécula pequeña, 10^{-9} mts.), lo cual es todavía unas 100 veces la resolución de los microscopios fotónicos.

El microscopio electrónico de barrido, aunque no alcanza la resolución del de transmisión, sigue superando la resolución del microscopio fotónico y alcanza alrededor de 10 nm., i.e. una magnificación efectiva de hasta 20.000 veces. Sin embargo, a diferencia del microscopio de transmisión, el de barrido permite obtener directamente imágenes tridimensionales de los objetos. Esto se consigue porque los electrones no tienen que atravesar finas secciones del

espécimen sino que son reflejados por él. Como en el microscopio de transmisión, la fuente de "iluminación" es un filamento o cátodo que emite electrones en la parte superior de una columna cilíndrica donde se ha practicado el vacío. Los electrones son acelerados por el ánodo cercano y el haz es dirigido hacia la superficie del espécimen mediante la lente proyectora (una bobina magnética). De este modo, una cantidad de electrones es reflejada por cada haz que bombardea puntos sucesivos de la superficie del objeto. El reflejo de los haces sincronizados es captado por un detector a partir del cual se forma una imagen en una pantalla de televisión. Dado que la cantidad de electrones reflejados depende del ángulo de la superficie en relación al haz, la imagen que se forme contará con luces y sombras que le proporcionan una apariencia tridimensional.



2. En la ilustración podemos "ver" espermatozoides de conejo en una fotomicrografía electrónica de barrido. La escala está en micrómetros. Tomado de Curtis (1983).

¿Qué es lo que vemos, si es que vemos algo? ¿Puede decirse que vemos el objeto, aunque éste haya sido reconstruido en una pantalla de televisión? ¿Es un testimonio empírico fidedigno porque somos capaces de reproducir la interacción en circunstancias diversas, o quizá porque es útil en el cálculo predictivo, o quizá porque es el testimonio proporcionado por un instrumento socialmente "transparente" (en el sentido de Shapin y Schaffer, i.e. aquel que es *tratado* como un transmisor fiable de los mensajes de la naturaleza)? ¿Es una entidad real porque podemos interaccionar con ella mediante el bombardeo de electrones, o porque constituye la mejor explicación para una serie de fenómenos colaterales? Tendemos a considerar que existe algún tipo de correspondencia estructural que, mediatizada por un proceso físico, queda garantizada en última instancia por la presencia real del objeto. No somos capaces de verlo con nuestros sentidos desnudos, podemos pensar con ingenuidad, por la trivial imposibilidad de reducir nuestro tamaño hasta el de un paramecio.

Pero lo que normalmente es reconstruido por la pantalla del microscopio de barrido (al igual que en el caso del de transmisión) no es propiamente un objeto biológico sino el molde del mismo obtenido en la preparación del espécimen.



3. La ilustración muestra el procedimiento de "sombreado" y preparación de una réplica. Si la réplica es lo suficientemente fina puede ser examinada con el microscopio electrónico de transmisión, además de con el de barrido. Tomado de Curtis (1983).

En efecto, una técnica habitual de preparación de especímenes en microscopía electrónica es (a) aplicar el espécimen sobre una superficie (además el espécimen no puede estar vivo por el vacío del interior del microscopio y por su preparación previa - debe haber sido deshidratado para evitar distorsión); (b) depositar oblicuamente sobre el espécimen una fina capa de un metal pesado como el platino (evaporado a partir de un filamento caliente que está a un lado), de modo que el sombreado cree un revestimiento metálico más grueso en las áreas elevadas del espécimen; (c) depositar desde arriba una película uniforme de átomos de carbono que fortalezca la réplica creada por el revestimiento; (d) eliminar el espécimen haciéndolo flotar en un disolvente que destruya el material orgánico; y (e) lavar y aplicar la réplica sobre una rejilla de cobre. De este modo, en la imagen obtenida, el grosor del metal reflejará los contornos superficiales del espécimen original.

¿Puede decirse ahora que vemos realmente a través del microscopio de barrido? Y si vemos, ¿qué es lo que vemos? ¿Cómo podemos garantizar la objetividad de los fenómenos observados? ¿Acaso no hemos perdido el fenómeno en busca de datos, de evidencia? ¿Cuál es la epistemología de un aparato como el microscopio electrónico de barrido? No es este el lugar para

detenernos en todas estas preguntas; preguntas que centran buena parte de la discusión filosófica sobre la ciencia de la última década. Utilizaremos el ejemplo como testimonio de la complejidad científica real, y del interés filosófico de conceptos como el de observación activa, que encontramos al estudiar la dimensión práctica de la ciencia. Considerar seriamente esa dimensión, y revalorizar adecuadamente la experiencia cotidiana del laboratorio, nos lleva a replantear preguntas y abrir nuevas vías de indagación en la comprensión de la naturaleza de la ciencia.

La micrografía electrónica puede incluso ser leída como parábola de la ciencia en la nueva imagen de ésta como actividad práctica. En 1983 Nancy Cartwright publicó un clásico contemporáneo: *How the Laws of Physics Lie*. En este texto la autora nos dice que las teorías de la ciencia natural madura representan la realidad gracias a que simulan, a que distorsionan esa realidad. Sólo mediante la idealización de sistemas empíricos, por la selección de variables relevantes, la determinación de rangos de variación, la distribución de probabilidades iniciales, etc., es posible postular regularidades matematizables que nos permitan plantear problemas solubles y anticipar los acontecimientos. Ahora bien, tal idealización, en la medida en que constituye una simplificación útil de un complejo sistema de relaciones empíricas, es también una distorsión del mundo externo. Las leyes teóricas de la física, por ejemplo, son leyes naturales precisamente porque son literalmente falsas, porque "mienten" acerca de la naturaleza. Aunque, desde luego, se trata de "mentiras" que son extremadamente convenientes para anticipar el futuro e intervenir sobre él.

Las teorías de la ciencia empírica madura, al igual que el microscopio electrónico de barrido, son capaces de "captar" el mundo externo gracias a que reconstruyen conceptual e instrumentalmente diversos segmentos del mismo. La representación que proporciona una micrografía electrónica, al igual que la descripción de un sistema empírico ofrecida por una regularidad matemática, presupone una deconstrucción de fenómenos y su posterior reconstrucción teóricamente dirigida y prácticamente condicionada. En este sentido, podemos parafrasear a Giambattista Vico diciendo que sólo llegamos a conocer del mundo aquello que nosotros mismos hemos puesto en él, es decir, sólo conocemos con garantías aquello que hemos representado constructivamente mediante la intervención técnica y conceptual. Como el dios Shiva en la mitología hindú, la tecnociencia actual parece combinar las cualidades contradictorias de la destrucción y la restauración. Pero, como es obvio, esa representación constructiva tiene unos límites y unos criterios de éxito.

Referencias

Alberts, B. et al. (1983/1994), *The Molecular Biology of the Cell*, 3ª ed., Nueva York: Garland.

Cartwright, N. (1983), *How the Laws of Physics Lie*, Oxford: Clarendon Press.

Curtis, H. (1983), *Biología*, 4ª ed., México D.F.: Ed. Médica Panamericana, 1985.

Hacking, I, (1981), "Do We See through a Microscope?", *Pacific Philosophical Quarterly* 62: 305-322.

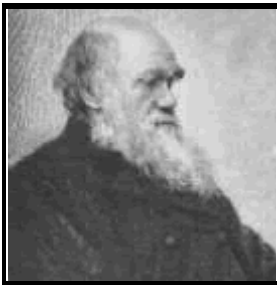
Hacking, I. (1983), *Representing and Intervening*, Cambridge: Cambridge University Press (trad. cast. en Paidós).

Franklin, A. (1993), "Experimental Questions", *Perspectives on Science* 1/1: 127-146.

Shapin, S. y S. Schaffer (1985), *Leviathan and the Air Pump: Hobbes, Boyle and the Politics of Experiment*, Princeton: Princeton University Press.

El darwinismo como filosofía de la ciencia

De acuerdo con la concepción heredada de la ciencia, el modelo paradigmático de "buena ciencia" era establecido por la física matemática y, en concreto, por la mecánica clásica. La excelencia del resto de disciplinas era estimada por su "cercanía" a la física. La reducción teórica a la física era, de este modo, contemplada como el objetivo último de cualquier disciplina realmente científica, haciendo así realidad esa tesis filosófica tradicional de la unidad de la ciencia. Nos encontramos así con la paradoja de que cuanto más éxito tenga una disciplina más próxima debería hallarse su desaparición (véase Fodor, 1974). Es la actitud que resume la lapidaria frase de William Thomson (Lord Kelvin): En ciencia, uno sólo puede dedicarse a la física o la filatelia.



Charles Darwin

Aunque es cierto que hemos aprendido muchas cosas de la filosofía de la ciencia tradicional, también lo es que hemos recibido una imagen distorsionada de la naturaleza de la ciencia y el cambio científico. La obra del propio Darwin es una lección al respecto. Entre las enseñanzas filosóficas que podemos extraer de las contribuciones de Darwin y el darwinismo (en un sentido amplio), podemos encontrar las siguientes:

- La ciencia no es sólo física matemática, y tampoco puede aspirar a serlo. Aunque el reduccionismo ha demostrado ser extremadamente fructífero como ideal metodológico en ciertos ámbitos de trabajo puntuales (e.g. biología molecular), no es razonable mantener la reducción epistemológica efectiva de un buen número de disciplinas en ciencias naturales y sociales (Ayala, 1984).
- El fundamento para la unidad de la ciencia no debe buscarse en la absorción de las ciencias especiales por la física (reducción epistemológica). Aunque reconozcamos un compromiso materialista básico, por el que todos los hechos son hechos físicos, ello no implica que todas las propiedades sean propiedades físicas (Fodor, 1974; Ayala y Dobzhansky, 1974). El reconocimiento de propiedades que no pueden enunciarse en el restringido vocabulario de la física (de modo que sirvan de base para generalizaciones amparadas por leyes), hace de la coherencia y la complementariedad un fundamento más apropiado para una imagen unificada de la ciencia.
- La observación, y el análisis comparativo, constituyen procedimientos científicos tan

legítimos como la experimentación (Mayr, 1988). A pesar del claro ejemplo de la astronomía, durante largo tiempo "método científico" y "método experimental" han sido expresiones equivalentes.

- La potencia predictiva no es la única utilidad epistémica o virtud cognitiva relevante en la evaluación de una teoría científica. También lo es el poder explicativo, la capacidad de dar cuenta de hechos diversos bajo un mismo marco teórico. Por su parte, dicho poder explicativo puede estimarse en términos de explicación probabilista, y no sólo de explicación determinista (Mayr, 1991).
- No hay lugar para causas finales ni explicaciones teleológicas en ciencia. En la naturaleza hay descendencia con modificación, no sentidos o tendencias evolutivas a las que pueda apelarse explicativamente (Nagel, 1961).
- Las ciencias particulares no sólo pueden madurar por unificación conceptual y metodológica. También pueden hacerlo por diversificación e incluso por división disciplinar.

No tenemos aquí la oportunidad de desarrollar todos los puntos anteriores. Para ello, puede acudir a la literatura sobre el tema por parte de autores tan conocidos como F.J. Ayala, S.J. Gould, P. Kitcher, E. Mayr, M. Ruse o E. Sober, entre muchos otros. Nosotros nos centraremos en el punto quizá menos conocido de la lista anterior: la tesis de que las ciencias pueden madurar por diversificación.

El hechizo de la mecánica clásica

Aunque el rechazo de la concepción heredada es un lugar común en la filosofía de la ciencia contemporánea, también lo es la presuposición acrítica (y en gran medida inadvertida) de algunos puntos del programa positivista de la concepción heredada. Entre éstos destaca la creencia de que la fusión y unificación disciplinar es el mejor criterio de madurez para una ciencia. Más aun, que las ciencias sólo alcanzan su consolidación mediante la uniformización conceptual y metodológica. Burdamente expresado, se trata del colapso de la diversidad en un pequeño número de conceptos y principios básicos.

El acuerdo en torno a tal creencia es tan unánime que

incluye incluso a autores tan innovadores y heterodoxos como Thomas Kuhn. Este autor describe las fases características de evolución de una ciencia desde la diversidad y confrontación pre-paradigmática hasta la estabilización alrededor de un único paradigma. Tal estabilidad es la condición normal de una ciencia madura, de acuerdo siempre con Kuhn, una estabilidad sólo alterada por episodios de crisis en el que un paradigma, tras un periodo de revolución, es sustituido por otro paradigma alternativo. Sólo en ocasionales periodos revolucionarios se divide la comunidad científica entre paradigmas que, además, son considerados como rivales incompatibles.

A la base de esa creencia general que asimila "madurez" a "uniformización" se halla una vieja convicción positivista: la imagen de la física newtoniana como ciencia modélica.



Isaac Newton

Ciertamente, una parte considerable del mérito de Isaac Newton consistió en la unificación de la mecánica. Newton fue capaz de dar cuenta de la mecánica celeste de Kepler y de la mecánica terrestre de Galileo en términos de un pequeño número de conceptos y principios matemáticos (las tres leyes del movimiento y la ley universal de la gravitación). De un modo simple y elegante, Newton formuló una potente teoría capaz de explicar fenómenos tan dispares como el movimiento orbital de los planetas y el comportamiento de las mareas.

Sin embargo, una de las lecciones filosóficas más interesantes que podemos aprender de Darwin, y el posterior desarrollo de la biología moderna, es que el modelo positivista de madurez en dinámica de la ciencia tiene una validez restringida. No todas las ciencias maduran por uniformización o unificación paradigmática.

La república de las ciencias

En la biología contemporánea, o mejor, en las ciencias biológicas o ciencias de la vida actuales, contamos con ciencia madura y con una diversidad de disciplinas cuyos vocabularios, métodos y dominios de aplicación sólo tienen un solapamiento parcial. Darwin, y el posterior pensamiento evolutivo, no son el equivalente biológico de Newton y el posterior desarrollo de la mecánica clásica. Y no lo son en un sentido crucial. Los principios de la biología evolutiva proporcionan coherencia y complementariedad, no unidad paradigmática, a las diversas disciplinas que

forman parte del conglomerado que llamamos "ciencias biológicas". La ecología, la paleontología, la etología, la citología, la anatomía comparada, la genética de poblaciones, etc. tienen marcos conceptuales y metodológicos diferentes. Así como estilos explicativos distintos; mientras en unos casos se procede a la reconstrucción histórica mediante explicaciones narrativas, en otros se aplican explicaciones por cobertura legal y se practica la predicción basada en la experimentación (véase, e.g., Mayr, 1988).

Una afirmación bien conocida de T. Dobzhansky es que "nada tiene sentido en biología si no es a la luz de la evolución". Ciertamente, la teoría darwiniana de la evolución proporciona un marco teórico general que permite relacionar una diversidad de fenómenos aparentemente desvinculados. Nos permite relacionar resultados generales de, digamos, la genética con otros de la anatomía comparada o la biogeografía. Ahora bien, esa "luz evolutiva", ese marco teórico general no proporciona unificación en el sentido de uniformización conceptual y metodológica bajo un único paradigma.

El caso de la geología es aún más claro. Las disputas que comienzan a finales del siglo XVIII entre neptunistas y plutonistas, y siguen en el XIX con catastrofistas y uniformitaristas (Hallam, 1983), acerca del paradigma explicativo que debía imponerse en geología, sólo terminan definitivamente con la explosión de la propia geología en una diversidad de disciplinas que, lejos de compartir un único paradigma, sí mantienen entre ellas una relación de complementariedad y coherencia (mutua y con relación a la físico-química). Nos referimos a las llamadas "ciencias de la tierra": meteorología, oceanografía, cristalografía, tectónica de placas, vulcanología, etc. En este caso la madurez no se alcanzó por unificación, ni siquiera por diversificación, sino más bien por división.

Ciencias de la conducta

Un caso especialmente interesante para nuestra discusión es el de la psicología. Si uno toma cualquier manual o texto introductorio a la psicología, encontrará con frecuencia que una parte sustancial del mismo se dedica a discutir la cientificidad de la psicología y otras cuestiones metodológicas relacionadas. También la enseñanza de la psicología en las universidades suele dedicar una parte considerable de los primeros cursos a tales cuestiones. Y lo mismo puede decirse de la discusión profesional en las

revistas especializadas.

La opinión general entre los filósofos de la ciencia, pero quizá no entre los psicólogos, es que la psicología no es aún una ciencia madura. Esto, se supone, explica la importancia que todavía tienen las cuestiones metodológicas en el desarrollo teórico de la psicología. Los psicólogos, por su parte, suelen atribuir tal interés a la juventud relativa de su ciencia. Es curioso observar que cuanto menos madura, o más "blanda", es generalmente considerada una ciencia, tanto más tiempo y energías parecen dedicar los profesionales a discusiones metodológicas. Discusiones casi totalmente ausentes en los manuales de física o química, y poco representadas en los textos de biología.

La opinión general es que tales discusiones metodológicas terminarán, como terminaron en física, cuando la psicología consiga su madurez plena a través de la unificación paradigmática. Un ejemplo representativo de la obsesión entre los psicólogos por el tema de la naturaleza de la ciencia, y eventualmente por la unificación paradigmática en su propio campo de trabajo, es proporcionado por la tradición conductista. Desde el conductismo clásico de J.B. Watson (1913) hasta el reciente conductismo social de A.W. Staats (1989), los psicólogos conductistas han dedicado una parte considerable de su obra al tema de la unificación paradigmática bajo los principios del análisis conductual. Tal discusión, especialmente en casos tan significativos como el de B.F. Skinner (1953, 1974), se ha desarrollado principalmente a través de la crítica de enfoques alternativos.

Esta polémica general, por acción o por reacción, ha conseguido que numerosos autores en psicología hayan dedicado mucho tiempo a criticar, debatir o defender determinados proyectos de convergencia disciplinar. Consideramos que un modelo metacientífico inadecuado de madurez disciplinar es en buena medida responsable de la tradicional polémica metodológica en psicología. El tiempo y las energías de los mejores psicólogos, entre ellos Skinner, podrían quizá haberse dedicado a realizar más avances sustantivos en la investigación y enzarsarse menos en estériles polemicas.

De hecho, un punto de vista con aceptación creciente es el que defiende la complementariedad de la psicología neurofisiológica, el análisis conductual y el estudio de la cognición, en la comprensión de la conducta humana. No

parece posible ofrecer una explicación satisfactoria de esa conducta sin tener en cuenta tanto la naturaleza de los materiales (neurofisiología), como las propiedades funcionales del sistema (análisis conductual) y el diseño de la arquitectura (modelos cognitivos). Y en la medida en que el objeto de estudio y sus propiedades son diferentes en cada nivel explicativo, como es ciertamente el caso, en esa misma medida es inviable una postura reduccionista que trate de disolver los conceptos, leyes y métodos de un nivel en los de otro (Otra cuestión, por supuesto, es la fertilidad metodológica que pueda tener una posición reduccionista de modo local y puntual, tal como reconocíamos al principio del texto).

A pesar de ello, numerosos psicólogos siguen enfrascados en dicha discusión, proponiendo la reducción epistemológica y metodológica global. Y siguen presuponiendo que sólo un colapso teórico tal permitirá a la psicología alcanzar la madurez. ¿Por qué no reconocer la complementariedad de las diferencias y comenzar a hablar de ciencias psicológicas o de ciencias de la conducta?

Darwin inauguró una nueva forma de hacer ciencia, desencorsetándola del rígido determinismo, la estructuración axiomática y estricta matematización de la física newtoniana. Algo que le valió las críticas desafortunadas de los filósofos de la ciencia de su época. Consideramos que la evolución de su pensamiento a través del desarrollo de las ciencias biológicas constituye un magnífico ejemplo en filosofía de la ciencia. Tomarlo en serio puede liberarnos de más de un prejuicio filosófico y contribuir a zanjar estériles polémicas sobre dinámica de la ciencia.

Referencias

Ayala, F. (1984), "Relaciones Ontológicas, Metodológicas y Epistemológicas entre la Biología y la Física", *Contextos* II/3: 7-20.

Ayala, F. y T. Dobzhansky (eds.) (1974), *Estudios sobre la Filosofía de la Biología*, Barcelona: Ariel, 1983.

Darwin, C. (1859), *The Origin of Species*, ed. por J.W. Burrow, Londres: Penguin, 1968.

Fodor, J. (1974), "Special Sciences", *Synthese*. También en: *El Lenguaje del Pensamiento*, Madrid: Alianza, 1984. Introducción.

Hallam, A. (1983), *Grandes Controversias Geológicas*, Barcelona: Labor, 1985.

Kuhn, T.S. (1962/1970), *La Estructura de las Revoluciones Científicas*, Mexico: FCE, 1971.

Kuhn, T.S. (1974), "Segundas Reflexiones acerca de los Paradigmas", en: F. Suppe (ed.), *La Estructura de la Ciencia*, Madrid: Editora Nacional, 1979.

Mayr, E. (1988), *Toward a New Philosophy of Biology*, Cambridge (Mass.): Harvard University Press.

Mayr, E. (1991), *Una Larga Controversia: Darwin y el Darwinismo*, Barcelona: Crítica, 1992.

Nagel, E. (1961), *La Estructura de la Ciencia*, Barcelona: Paidós, 1981.

Skinner, B.F. (1953), *Ciencia y Conducta Humana*, Barcelona: Martínez Roca, 1986.

Skinner, B.F. (1974), *Sobre el Conductismo*, Barcelona: Orbis, 1986.

Staats, A.W. (1989), "Paradigmatic Behaviorism's Theory of Intelligence: A Third-Generation Approach to Cognition", *Psicothema* 1/1-2: 7-24.

Watson, J.B. (1913), "Psychology as the Behaviorist Views It", *Psychological Review* 20: 158-177.

(1) Aunque hay dos grandes visiones filosóficas sobre la naturaleza de las leyes naturales, la “regularitarista” y la “necesitarista”, ambas comparten la atribución de ciertas características a las leyes naturales para diferenciarlas de las meras generalizaciones accidentales y otro tipo de proposiciones. Se trata de los siguientes rasgos: (a) son verdades fácticas, no lógicas; (b) son verdaderas para todo tiempo y lugar del universo; (c) no contienen nombres propios (como “14 euros” o “el planeta Tierra” - aunque sí pueden contener conceptos generales como “fuerza” o “inteligencia”); (d) son enunciados universales o estadísticos; y (e) son enunciados condicionales, no categóricos como “Hay otras forma de vida inteligente” (las leyes expresadas matemáticamente son entendidas como expresiones elípticas de verdades condicionales de la forma “Si algo es A, entonces es B”). La diferencias respectivas entre las dos posiciones filosóficas mencionadas es que, en un caso estas cinco condiciones se entienden como suficientes y, en el otro, se añade una condición adicional, a saber, la necesidad natural o física. Existe una amplia diversidad de leyes naturales que, en la presentación idealizada de las teorías físicas, podemos identificar como leyes deterministas (la ley de la gravitación universal), leyes estadísticas (las leyes sobre la vida media de los elementos radioactivos), leyes de inclusión (todos los electrones tienen la misma carga), leyes de exclusión (nada puede superar la velocidad de la luz), leyes causales que especifican sucesión (la exposición al sol causa quemaduras), leyes de coexistencia sincrónica ($PV=nRT$ para un gas en equilibrio), etc.

(2) El empirismo clásico, de filósofos tan destacados como **David Hume** (1711-1776), defendía en general que todo conocimiento debe estar fundamentado en la experiencia sensible. **Francis Bacon** y **John Stuart Mill** son dos autores tradicionales que, en dicha tradición, realizaron una reflexión sustantiva sobre las características del método científico.

(3) Una inferencia inductiva es aquella que parte de premisas referidas a casos particulares y lleva a una conclusión de carácter general; cuando no es posible enumerar todos los casos entonces la conclusión solo es alcanzada con un grado más o menos alto de probabilidad, por ejemplo cuando inferimos que todos los cuervos son negros después de haber observado numerosas (y no todas las) instancias de cuervos de dicho color. En una inferencia deductiva se trata, por el contrario, de alcanzar conclusiones implicadas necesariamente por las premisas, por ejemplo, cuando inferimos que Sócrates es mortal desde las premisas de que todos los hombre son mortales y de que Sócrates es un hombre.

(4) La obra de referencia de Mill es *A System of Logic* (1843/65). Una sencilla aplicación del primer canon nos llevaría a concluir en la típica novela de suspense que el culpable es el mayordomo puesto que es la única persona que estuvo presente en todas las situaciones donde se produjo un crimen. En una corriente aplicación del segundo canon, podríamos concluir que un fármaco es efectivo si se ha producido una diferencia significativa entre el grupo experimental que lo consumió y el grupo de control al que sólo se le administró un placebo.

(5) Algunos ejemplos célebres del carácter contingente de muchos descubrimientos en ciencia, del papel del azar o la suerte que se presenta ante una mente preparada (lo que se conoce como “serendipia”), son el descubrimiento de la estructural hexagonal de la molécula del benceno por el químico Kekulé, según su propio relato adormecido frente a un fuego crepitante soñando con átomos en continuo movimiento que se van uniendo para formar cadenas que finalmente se unen por los extremos cerrando un anillo; o la contaminación accidental por mohos de los cultivos bacterianos con los que trabajaba,

lo que permitió a Fleming descubrir el poder antibiótico de la penicilina.

(6) El positivismo o empirismo lógico es la concepción heredada de la naturaleza de la ciencia desarrollada en la Europa de entreguerras de los años 20 y 30 del siglo XX por autores como R. Carnap, O. Neurath, H. Reichenbach o C. Hempel. Mantiene su hegemonía filosófica hasta los años 60-70. Los positivistas lógicos, en general, entendían la ciencia como “saber metódico”, es decir, como un tipo de conocimiento caracterizado por cierta estructura lógica y por responder a cierto método, un método que combinaba la puesta a prueba empírica de las hipótesis y el razonamiento deductivo (factores epistémicos).

(7) A pesar de que su aceptación generalizada no llega hasta los siglos XIX-XX, antecedentes de este planteamiento metodológico podemos encontrarlos en científicos tan destacados como **Galileo** o **Descartes**. La extraordinaria influencia de **Isaac Newton**, influido a su vez por **F. Bacon** (Bacon, 1620), con su crítica explícita del “método de las hipótesis” en sus Reglas para Filosofar (Libro III de los *Principia*), tardó mucho tiempo en debilitarse.

(8) Veamos dos conocidos ejemplos. En el siglo XVII, y tratando de encontrar una forma orbital para Marte que tuviera sentido (sobre la base de los datos disponibles acerca de las posiciones del planeta), **Johannes Kepler** fue el primer astrónomo que tuvo la audacia de romper lo que el historiador de la ciencia A. Koyré llamó “el hechizo de la circularidad”. Kepler propuso una órbita elíptica con el Sol en uno de los focos de la elipse. Sobre esta hipótesis y los datos acerca de las posiciones del planeta en el pasado, pueden derivarse deductivamente un sinnúmero de implicaciones contrastadoras para la hipótesis acerca de las posiciones que debería ocupar el planeta en momentos futuros de su perihelio. La obra de referencia es *Astronomia Nova* (1609). En el siglo XIX, el médico de origen húngaro **Ignaz Semmelweis** propuso la hipótesis de que la “materia cadavérica” adherida a las manos de los estudiantes y los propios médicos era la responsable de la alta tasa de muertes por fiebre puerperal en la clínica donde esos mismos estudiantes realizaban sus prácticas de obstetricia justo después de haber realizado prácticas de disección en cadáveres. Desde dicha hipótesis, Semmelweis derivó la implicación contrastadora que consistía en predecir un descenso de la mortalidad si los estudiantes desinfectaban sus manos con un agente químico antes de los reconocimientos obstétricos. La experiencia le dio la razón y hoy Semmelweis es considerado uno de los pioneros de la medicina antiséptica. Estos resultados fueron publicados en su clásico libro sobre la fiebre puerperal, *Die Aetiologie, der Begriff und die Prophylaxis des Kindbettfiebers*, publicado en 1861.

(9) Es decir, como un criterio para diferenciar las oraciones (o términos) que son el vehículo del conocimiento, que tienen sentido cognitivo, frente a aquellas que sólo tienen un valor emotivo o poético. Esta identificación arrogante de los límites de la ciencia con los límites del sentido no era infrecuente en el positivismo lógico de los años 20.

(10) Véase C. Morris en Neurath et al. (1938). Es también un punto de vista que ha tenido un amplio eco dentro de la propia ciencia. Por ejemplo, en su discurso de ingreso en la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, en 1897, el premio Nobel de Medicina español **Santiago Ramón y Cajal** decía: “... las principales fuentes del conocimiento son: la observación, la experimentación y el razonamiento inductivo y deductivo” (1923: 1).

(11) Autores como **B. Barnes**, **H. Collins** o **B. Latour** han utilizado la sociología del conocimiento para presentar una visión general de la actividad científica como un

proceso social más, un proceso regulado básicamente por factores de naturaleza no epistémica como presiones económicas, expectativas profesionales o intereses sociales. El debate entre filósofos "racionalistas" y sociólogos "relativistas" continúa abierto en nuestros días, tanto en discusiones teóricas generales como en reconstrucciones de episodios particulares. Se trata, en cualquier caso, de discusiones que pertenecen a temas posteriores del Curso.

(12) La teoría cinética de los gases proporciona un ejemplo característico para los elementos de la estructura anterior. Publicada en 1857 por **R. Clausius** en el trabajo titulado "Über die Art der Bewegung welche wir Wärme nennen", esta teoría daba cuenta de leyes empíricas anteriores como las de Boyle y Charles. Conceptos teóricos de dicha teoría son los de molécula, masa molecular, velocidad molecular, etc. Conceptos teóricos definidos, por su parte, son los de energía cinética media, masa del gas y densidad del gas, entre otros. Y como conceptos empíricos encontramos los de temperatura, presión y volumen, engarzados directamente al mundo de la experiencia a través del registro de magnitudes mediante manómetros, termómetros, etc. La conexión indirecta de los conceptos empíricos, a través de las leyes teóricas, posibilita las leyes empíricas. En nuestro caso, una bien conocida ley empírica es la ecuación del gas ideal, a saber, $PV=nRT$, donde se establece la proporcionalidad entre presión por volumen y temperatura dado un número de moles n (un mol de gas ideal ocupa 22,4 litros en condiciones normales, *i.e.* a 1 atmósfera y 273° K). R es una constante cuyo valor numérico depende de las unidades escogidas, la constante universal de los gases. Como ejemplo de postulados de la superestructura teórica, encontramos los siguientes: las moléculas gaseosas ejercen poca atracción entre sí (excepto en las proximidades del punto de licuefacción) y están siempre moviéndose en línea recta al azar con velocidades variables, las colisiones entre las moléculas y entre éstas y las paredes del recipiente son elásticas (*i.e.* no hay transferencia de energía), la energía es solamente energía cinética de traslación y por tanto igual a $1/2$ de la masa por el cuadrado de la velocidad, etc. Además, contamos con una serie de reglas de correspondencia que enlazan la estructura teórica y la base empírica haciendo posible la contrastación experimental de la teoría; entre dichas reglas podemos destacar la que establece la proporcionalidad de la temperatura y la energía cinética media de las moléculas, o bien la establecida alrededor de 1738 por Bernoulli que da cuenta de la presión del gas en términos del choque de sus moléculas contra las paredes del recipiente.

(13) En tiempos más recientes, ese proyecto de formalización y reconstrucción racional de las teorías científicas ha sido retomado por los llamados enfoques semánticos, especialmente en el estructuralismo de autores como **J. Sneed** o **C.U. Moulines**, haciendo uso de la teoría de conjuntos y la teoría de modelos. Véase el tema siguiente.

(14) Es cierto que numerosos autores clásicos, especialmente los inspirados por alguna versión del realismo como **K. Popper** o **H. Putnam**, consideran el argumento como algo relativamente inocuo para la comparación interteórica. En estos casos suele considerarse que los enunciados observacionales se aceptan como verdaderos sobre la base del trasfondo de conocimiento científico comúnmente aceptado, existiendo además procedimientos con amplio apoyo teórico para la verificación empírica de tales enunciados (cf. Brown, 1987). Pero también es cierto que un gran número de autores recientes, cuya posición más extrema es la de **P. Feyerabend**, consideran que el argumento constituye un importante obstáculo para la comparación interteórica, haciendo inevitable alguna forma de inconmensurabilidad (y, así, de relativismo). Las teorías que parecen hablar de lo mismo, al contener términos teóricos con significados diferentes, y contribuir éstos a determinar el uso de los términos observacionales, están

en realidad caracterizando concepciones del mundo diferentes, distintas *Weltanschauungen*: se trata de teorías inconmensurables. En un sentido usual, dos teorías en un mismo dominio empírico son inconmensurables cuando son deductivamente inconexas, o, más concretamente, cuando no hay relaciones lógicas de derivabilidad o contradicción entre sus respectivas clases de contenido (i.e. sus correspondientes conjuntos de enunciados). **T. Kuhn** (1962) proporciona una caracterización más amplia que no se limita a la expresión lingüística de las teorías sino que incluye asimismo diferencias en métodos, dominios de aplicación y patrones de resolución de problemas. Este último uso nos introduce a una versión más fuerte de la inconmensurabilidad como la mantenida por **Hanson**, a saber, cuando las teorías no sólo tienen conceptos diferentes (que no pueden reducirse a las relaciones lógicas de inclusión, exclusión o intersección) sino que además "hacen que veamos las cosas de forma distinta (quienes trabajan en paradigmas diferentes no sólo tienen conceptos diferentes, sino también *percepciones* diferentes)" (Feyerabend, 1978: 74; cursivas del autor).

(15) "Pragmático" en el sentido clásico del historiador griego **Polibio**, i.e. que se atiene a hechos "contantes y sonantes" más que a mitologías, idealizaciones o generalidades de escuela.

(16) Es decir, una historia en cierta medida independiente de cambios en datos y teorías (véase Franklin (1993: 136), lo que I. Hacking ha llamado "lealtad instrumental").

(17) Autores como A. Franklin, **P. Galison** y **S. Culp** han argumentado a favor de la clausura epistémica de la infradeterminación sobre la base de diversas "estrategias epistémicas" entre las que destaca la robustez proporcionada por el contexto experimental durante los períodos de desarrollo y justificación de hipótesis. Para estos autores, la existencia de diversos procedimientos independientes entre sí para detectar la presencia de fenómenos, o el valor de magnitudes, permite la triangulación de resultados científicos, i.e. su determinación múltiple, y por tanto la evaluación objetiva de hipótesis. Para Franklin, por ejemplo, los factores sociales no juegan ningún papel en ciencia pues, gracias a la existencia de tales estrategias epistemológicas, los científicos se ciñen a la evidencia experimental y toman decisiones racionales. Además de la robustez, otras estrategias "epistémicas", mencionadas con frecuencia en la literatura para establecer la validez de una observación o resultado experimental, son las siguientes: realizar pruebas y calibraciones experimentales en las que sigue manifestándose el mismo fenómeno; reproducir ciertas regularidades o propiedades de los fenómenos que suponemos previamente artificiales; eliminar posibles fuentes de error o explicaciones alternativas (la llamada "estrategia de Sherlock Holmes"); explicar las observaciones mediante una teoría del fenómeno independiente y bien corroborada; o usar argumentos estadísticos. Véase, e.g., Franklin (1990: cap. 6). La estrategia de Sherlock Holmes puede resumirse en una observación que realiza el detective a Watson: "Cuántas veces te he dicho que eliminando lo imposible, quede lo que quede, por improbable que sea, debe ser la verdad". La frase procede de A. Conan Doyle, *The Sign of the Four*, en *Annotated Sherlock Holmes*, W.S. Baring-Gould (ed.), Nueva York: Clarkson N. Potter, 1967, p. 638, y es citada por Franklin (1988: 154). En polémica con esta posición, otros autores como A. Pickering, **H. Collins** o **D. Gooding** han defendido la predominancia de los factores no epistémicos (i.e. componentes no evidenciales como expectativas teóricas o intereses profesionales) a partir del estudio del contexto social en los procesos de clausura de controversias. Por ejemplo, Collins mantiene en *Changing Order* (1985/1992: 83-84) que la fuerza persuasiva de los resultados experimentales reside fuera del experimento mismo, en los juicios de otros científicos acerca de la

fiabilidad de los aparatos o la calidad del experimento. El consenso sobre resultados experimentales surge más bien del oportunismo en contexto de Pickering que de los argumentos epistemológicos de Franklin. Estos autores han apelado al argumento de la regresión del experimentador (*experimenter's regress*) como un obstáculo inevitable para el papel causal de los factores epistémicos en la evaluación de hipótesis y, así, para un concepto no retrospectivo y no convencional de racionalidad. De acuerdo con este argumento, que se debe a Harry Collins (ob. cit.) para evaluar el buen funcionamiento de un instrumento conflictivo (es decir, de gran número de innovaciones instrumentales de la "ciencia fronteriza", en expresión del sociólogo S. Cole) debemos contar con una hipótesis acerca de la existencia o inexistencia del fenómeno que trata de ser detectado; ahora bien, para poner a prueba tal hipótesis debemos producir datos experimentales mediante la aplicación del instrumento en cuestión. En un ejemplo de Collins, para averiguar si funciona correctamente nuestro detector de ondas gravitacionales debemos saber previamente si tales ondas existen, si son detectables y el proceso causal por el que supuestamente son detectables; pero decidir la existencia o inexistencia de tales ondas requiere la previa aplicación con éxito del detector. De aceptar este argumento, acabaríamos entonces en una nueva situación de indeterminación epistémica

Actividades de contextualización

Un resumen del resultado de las actividades debe ser remitida a su tutor.

1. Documenta y valora, mediante alguna noticia de la prensa reciente, la imagen popular de la ciencia en los medios de comunicación.
2. Consulta algún manual introductorio a una ciencia social (psicología, sociología, antropología, economía, etc.) y analiza el modelo de ciencia asumido (la ciencia como saber, como método, etc.) y la relevancia que en el mismo se otorgan a los aspectos no epistémicos de la investigación.
3. Consulta la página del horóscopo de algún medio impreso de comunicación y utiliza esa información para comentar críticamente la científicidad de la astrología.

Cuestionario final del tema

1. ¿Cómo era entendido el método científico en la tradición del empirismo clásico de F. Bacon y J. S. Mill?
2. Explica brevemente las diferencias entre contexto de descubrimiento y contexto de justificación.
3. ¿Qué concepción de la ciencia, en términos generales, defienden la doctrina del positivismo o empirismo lógico, desarrollada en Europa en las primeras décadas del siglo XX?
4. ¿Qué características son atribuidas al método científico con el giro lingüístico que se consolida en las primeras décadas del S XX?
5. Explica brevemente el argumento de la carga teórica de la observación y sus consecuencias para la concepción heredada de la ciencia.
6. Explica brevemente el argumento de la infradeterminación y sus consecuencias para la concepción heredada de la ciencia.
7. ¿Cuáles son los principales componentes de la visión de la ciencia como práctica que se opone a las visiones intelectualistas de la ciencia como saber o método?
8. Plantea brevemente cuáles fueron las exigencias que llevaron a los filósofos de la ciencia a elaborar una teoría de la confirmación de las teorías científicas.
9. Explica el problema planteado por los términos disposicionales para la concepción tradicional de la ciencia del empirismo lógico.
10. En qué sentido puede la micrografía electrónica verse como parábola de la ciencia desde la perspectiva de la ciencia entendida como práctica.

Actividades de autoevaluación

1. REDUCCIONISMO. "Toda ciencia es, bien física o bien filatelia" (Ernest Rutherford, 1871-1937). Comenta las palabras del físico británico desde el punto de vista del positivismo lógico.

Orientación para la respuesta

2. ALTERNATIVAS METODOLÓGICAS. Es sorprendente constatar que Francis Bacon, conocido promotor del método experimental, se opuso a los métodos de Galileo y William Gilbert, a su vez considerados como pioneros del método experimental. Tanto Galileo como Gilbert utilizaban el experimento aunque lo hacían para probar sus hipótesis preconcebidas, cosa que criticaba Bacon. En línea con Galileo y Gilbert, otro conocido científico que usó el método experimental es William Harvey, que a su vez criticaba el procedimiento baconiano de producción de conocimiento. De él decía que "hace filosofía como un Lord Canciller" (cargo que disfrutó Bacon): reúne hechos y testigos de esos hechos a la manera de un juez en un tribunal. ¿Cómo puedes describir la diferencia metodológica entre Bacon y el resto de los autores mencionados?

Orientación para la respuesta

3. LOS LIMITES DE LA INFERENCIA INDUCTIVA. En la interpretación talmúdica del *Génesis* se encuentra una inferencia inductiva debida a Adán por la que concluyó que, como castigo divino por haber comido la manzana, los días irían acortándose más y más hasta que la luz del sol desapareciera por completo. Presumiblemente, la inferencia inductiva de Adán sólo pudo funcionar (en el sentido de que cada amanecer constituiría un nuevo caso confirmatorio) desde finales de junio hasta finales de diciembre. A partir del 21 de diciembre, Adán debió concluir perplejo que la cólera de Dios había aplacado y que, en prueba de Su buena voluntad, la longitud normal de los días era restablecida progresivamente. Señala por medio de este ejemplo los peligros de la construcción o justificación de hipótesis por medio de la inducción enumerativa ingenua.

Orientación para la respuesta

4. APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE MILL. Entre las tropas británicas y americanas en el norte de África durante la Segunda Guerra Mundial, la incidencia de la poliomielitis paralítica era mucho mayor entre oficiales que entre hombres de rangos inferiores. Debido a que ninguna hipótesis obvia parecía explicar esta discrepancia, llegaron a proponerse algunas bastante arriesgadas. Una de éstas señalaba el hecho de que la mayoría de los oficiales bebían whisky, mientras que la mayoría de los hombres de rango inferior

bebían cerveza, sugiriendo que esta diferencia era la causa de las diferentes tasas de polio. Indica qué método o métodos de Mill han sido aplicados y justifica la respuesta. ¿Cómo podría falsarse la conclusión?

Orientación para la respuesta

5. CONTEXTO DE DESCUBRIMIENTO. "El profeta de la antimateria fue Paul A.M. Dirac, un físico británico, quien en 1928, a la edad de veintiséis años, predijo la existencia de antipartículas en base a su fuerte creencia de que tenía que haber un equilibrio tanto en matemáticas como en la naturaleza. Mientras ponderaba una ecuación que describía el comportamiento de los electrones, se dio cuenta de que podría tener soluciones positivas y negativas. Si el universo era simétrico (y su profundo sentido de la simetría le decía que así era), los electrones ordinarios, que tenían carga negativa, tendrían una extraña contrapartida con cargas opuestas. Nadie ha observado estas partículas. Pero en 1932 Carl Anderson, físico del Instituto Tecnológico de California, observó unas rayas muy raras entre las pistas dejadas por las partículas en una cámara de observación. Los caminos parecían exactamente los de los electrones, excepto que se curvaban en dirección contraria. Se había descubierto el anti-electrón o positrón. En 1933, Dirac ganó el Premio Nobel de Física por la exactitud de su intuición" (*Artículos Científicos del New York Times*, McGraw-Hill, 1991, pág. 14). Sobre la base del texto anterior, comenta el papel del azar y los factores psicológicos en la formulación y aceptación de hipótesis científicas.

Orientación para la respuesta

6. SIGNIFICATIVIDAD TEÓRICA. Obsérvese que, de acuerdo con la concepción heredada de las teorías científicas, algunos términos teóricos pueden no ocurrir en reglas de correspondencia y recibir su contenido empírico de un modo indirecto vía T, es decir, a través de su conexión con otros términos teóricos directamente interpretados. Por ello, cada cambio en T (que afecte naturalmente a los postulados relevantes) se traducirá en una modificación del contenido empírico de esos términos indirectamente interpretados, aunque no sufran modificación alguna las reglas de correspondencia C. Una consecuencia de lo anterior es que la especificación no sólo de las reglas C sino asimismo de T (la teoría desarrollada sintácticamente) es esencial para dilucidar el problema de la significatividad. La significatividad de un término parece así quedar relativizada a la teoría T en la que ocurra. ¿Conduce necesariamente el empirismo de la concepción heredada a una forma de relativismo? ¿Puede un término, por lo expuesto, ser significativo en una teoría y no significativo en otra teoría?

Orientación para la respuesta

7. LA DEMARCAACION DE LA CIENCIA. Hace aproximadamente dos siglos que A. Mesmer, un médico austriaco que tuvo una gran influencia en el París prerrevolucionario, expuso su teoría del magnetismo animal. De acuerdo con ella, el fluido magnético se distribuye por todo el universo, incluyendo cada cuerpo humano, del mismo modo que la electricidad (véase C. Mackay, *Extraordinary Popular Delusions*, 1841, 304 ss.). Los movimientos de los miembros y determinadas sustancias y aparatos pueden canalizar ese fluido magnético produciendo una redistribución del mismo entre un ser humano y su entorno. Sobre esta base, Mesmer decía curar numerosas enfermedades mediante el uso de placas de metal y otros medios que producían una "magnetización" de sus pacientes. Los efectos de tal estado se hacía patentes a través de sonambulismo y espectaculares convulsiones. Un experimento controlado, celebrado en 1784 por una comisión de Facultad de Medicina, que incluía entre otros a Lavoisier y Benjamin Franklin, arruinó la reputación de Mesmer atribuyendo los efectos de sus prácticas a la imaginación y la persuasión subjetiva de los pacientes. No obstante, continuaron apareciendo defensores de la doctrina de Mesmer en la Europa de la época. M. Deleuze, por ejemplo, publicó en 1813 su *Histoire Critique du Magnétisme Animal*. En esta obra, Deleuze establece los límites de la magnetización, afirmando que las personas fuertes y saludables no pueden ser magnetizadas, como tampoco los incrédulos, o aquellos que razonan sobre lo que ocurre. En resumen, sólo los débiles de cuerpo y espíritu, los crédulos pueden ser objeto de magnetización. De hecho, se afirma incluso que la presencia de un incrédulo puede debilitar o destruir los efectos de la magnetización sobre otras personas presentes (p. 60). Las actuales pulseras y artilugios de metal curalotodo se remontan a la teoría de Mesmer. Discute críticamente la cientificidad de la teoría del magnetismo animal, realizando además un comentario sobre el modo en que la hipótesis de Deleuze parece preservar dicha teoría frente a la refutación del experimento de 1784.

Orientación para la respuesta

8. CARGA TEÓRICA. Comenta el texto siguiente: "En principio, es por completo erróneo querer basar una teoría solamente en magnitudes observables. Es la teoría la que decide lo que podemos observar" (A. Einstein).

Orientación para la respuesta

9. INFRADETERMINACIÓN. Comenta el texto siguiente. Las decenas de miles de supervivientes a las explosiones atómicas en Japón, y su mayor frecuencia de ciertos tipos de cáncer (leucemia, estómago, ovarios, pulmón, etc.) con respecto a la población no irradiada, dejan pocas dudas respecto a que altas dosis de radiación ionizante (como las radiaciones nucleares o los rayos X) son causa de cáncer. La cuestión crucial, en la gestión de este tipo de riesgo en política pública, es la pregunta por las bajas dosis, como las recibidas por millones de personas después del accidente de Chernóbil. ¿Qué niveles de exposición a la radiación pueden causar cáncer? Esta es una pregunta para la

que la ciencia no dispone de una respuesta concluyente: existe una gran incertidumbre científica en la extrapolación desde altas dosis hasta bajas dosis de irradiación. Los estudios estadísticos sobre radiaciones de bajo nivel están frecuentemente en desacuerdo entre sí, siendo utilizados por unos u otros actores sociales en función de sus intereses. A la base del conflicto se halla el desconocimiento del tipo concreto de relación causal que vincula esos fenómenos, pues existen todavía muchas lagunas científicas sobre los efectos biológicos de la radiación ionizante.

Orientación para la respuesta

10. EVALUACIÓN METODOLÓGICA. Un peculiar ejemplo de consistencia teórica lo ofrece el filósofo metafísico de Selby. En su más conocida doctrina, de Selby argumenta que la noche no es un fenómeno natural debido al movimiento planetario sino un estado malsano producido principalmente por el industrialismo desaforado.

La oscuridad, de acuerdo con de Selby, no es más que una excreción de "aire negro", es decir, un enturbiamiento de la atmósfera debido a erupciones volcánicas demasiado sutiles para ser registradas y, especialmente, ciertas actividades industriales perjudiciales que involucran una gran emisión de residuos volátiles de carbón y alquitrán. Las emisiones producidas por erupciones volcánicas y el aire negro de las actividades industriales van intensificándose a lo largo del día hasta que éste acaba por deteriorarse entre las 18 y las 22 horas. Es entonces cuando germina la oscuridad completa.

El aire negro, además, es extremadamente combustible. Una pequeña llama, o incluso un filamento incandescente en el vacío, es capaz de consumir una enorme cantidad de aire negro. Otros fenómenos conocidos, para los que no existe una teoría completamente satisfactoria, pueden ser también explicados mediante la doctrina del aire negro. El sueño, por ejemplo, consiste realmente en una sucesión de síncope causados por la semiasfixia que nos produce el aire negro. La muerte no es más que el colapso del corazón, sometido durante toda la vida a una interminable sucesión de desvanecimientos y restablecimientos.

- i. Deriva alguna implicación contrastadora de la que resulte disconfirmada la teoría de de Selby.
- ii. Diseña un experimento crucial que dirima entre las teorías del movimiento planetario y del aire negro (es decir un contexto de prueba en el que se deriven implicaciones contrastadoras en conflicto desde ambas teorías).
- iii. Aduce alguna hipótesis ad hoc (una hipótesis que trate solamente de salvar las apariencias y que no conduzca a nuevas implicaciones contrastadoras) que proteja de teoría de de Selby frente a (i).

Orientación para la respuesta

Orientación para las Respuestas

1 En la contribución clásica de Newton, elegante y rigurosa, la mecánica era derivable desde un reducido número de leyes de la naturaleza formuladas matemáticamente. Además, el positivismo lógico mantuvo tradicionalmente un ideal reduccionista en el que la física matemática era la base sobre la que descansarían el resto de las ciencias y a la que, con su maduración, terminarían reduciéndose.

[Volver](#)

2. Se trata de la diferencia entre el planteamiento inductivista genético, por parte de Bacon, y el modelo hipotético-deductivo practicado por Galileo y Gilbert.

[Volver](#)

3 Son necesarias hipótesis o conjeturas aproximativas que seleccionen la evidencia relevante y nos permitan ir más allá de las apariencias, proponiendo conjeturas sobre inobservables y relaciones causales que conecten los fenómenos.

[Volver](#)

4 Prueba con el método de la diferencia; y para falsar la conclusión prueba construir una nueva experiencia con un grupo experimental y otro de control.

[Volver](#)

5 Desde el punto de vista del modelo H-D de desarrollo científico, el modelo donde se insiste en la relevancia de la distinción entre contextos, los elementos del proceso de descubrimiento, aunque importantes para el avance de la ciencia (siempre que contemos con observadores atentos y mentes preparadas), son irrelevantes para establecer el estatuto epistémico de las hipótesis alcanzadas. Para éste, para su justificación, sólo deben considerarse las implicaciones contrastadoras derivadas posteriormente a su postulación tentativa.

[Volver](#)

6 Es cierta esa relativización, aunque sería mejor decir dependencia contextual o T-teórica, debido a la imposibilidad de definir explícitamente la totalidad de los términos teóricos de las teorías empíricas. Y, por lo anterior, un términos sí podría ser significativo en una teoría, donde cuente con una conexión observacional indirecta a través de su conexión con otros términos teóricos en los postulados de la teoría, y no serlo en otra teoría donde carezca de esa ruta de anclaje empírico.

Volver

7 La teoría del magnetismo es un caso de pseudociencia: como la astrología, puede ser puesta a prueba empírica pues afirma relaciones físicas entre cuerpos materiales (y de hecho no cuenta con ninguna credibilidad científica, al igual que la astrología) pero cuenta con numerosos artificios protectores (hipótesis ad hoc) que la protegen frente al testimonio empírico adverso.

Volver

8 Utiliza el ejemplo para comentar el argumento de la carga teórica de la observación, por ejemplo en la versión clásica de Hanson. Es interesante además confrontar esta versión con el nuevo punto de vista del carácter activo de la observación, en el estudio de la dimensión práctica de la ciencia.

Volver

9 Puedes utilizar este texto para comentar el argumento de la infradeterminación y el modo en que ésta genera incertidumbre científica. También puedes usarlo para argumentar a favor del modelo H-D y la necesidad de superar una visión inductivista ingenua de la ciencia.

Volver

10

- (i). Piensa por ejemplo en las latitudes muy septentrionales.
- (ii). De acuerdo con la teoría del aire negro, la oscuridad debería ser más intensa en las zonas con gran actividad volcánica o industrial. Desde aquí es fácil diseñar un experimental crucial.
- (iii). En el caso de la primera pregunta se podría aducir que en Escandinavia y otros países muy septentrionales el efecto de la rotación de la Tierra hace que el aire negro se acumule en invierno y se disperse en verano.

Referencias

Ackermann, R.J. (1985), *Data, Instruments, and Theory: A Dialectical Approach to Understanding Science*, Princeton: Princeton University Press.

Bacon, F. (1620), *Novum Organum*, México: Porrúa, 1980.

Brown, H.I. (1987), *Observation and Objectivity*, Nueva York: Oxford University Press.

Carnap, R. (1936-37), "Testability and Meaning", *Philosophy of Science* 3: 420-468; 4:1-40.

Carnap, R. (1966), *Philosophical Foundations of Physics*, Nueva York: Basic Books (trad. cast. en Orbis: *Fundamentación lógica de la física*).

Collins, H.M. (1985/1992), *Changing Order: Replication and Induction in Scientific Practice*, 2ª ed., Chicago: University of Chicago Press.

Crombie, A.C. (1994), *Styles of Scientific Thinking in the European Tradition*, Londres: Duckworth.

Feyerabend, P.K. (1978), *Science in a Free Society*, Londres: New Left Books (trad. cast. en Siglo XXI: *La ciencia en una sociedad libre*).

Franklin, A. (1988), "Experiment, Theory Choice and the Duhem-Quine Problem", en: D. Batens y J.P. van Bendegem (eds.) (1988), *Theory and Experiment*, Dordrecht: Reidel.

Franklin, A. (1990), *Experiment, Right or Wrong*, Cambridge: Cambridge University Press.

Franklin, A. (1993), "Experimental Questions", *Perspectives on Science* 1/1: 127-146.

Galison, P. y D.J. Stump (eds.) (1996), *The Disunity of Science*, Stanford: Stanford University Press.

Giere, R. (1988) *Explaining Science*, Chicago: University of Chicago Press.

Hanson, N.R. (1958), *Patterns of Discovery*, Cambridge: Cambridge University Press (trad. cast. en Alianza: *Patrones de Descubrimiento. Observación y Explicación*).

Herschel, J. (1830), *A Preliminary Discourse on the Study of Natural Philosophy*, Londres: Longmen.

Hume, D. (1748), *Investigación sobre el conocimiento humano*, Madrid: Alianza, 1980.

Jevons, W.S. (1900), *Nociones de lógica*, París: Garnier Hnos.

Kosso, P. (1992), *Reading the Book of Nature*, Cambridge: Cambridge University Press.

Kuhn, T.S. (1962/1970), *The Structure of Scientific Revolutions*, 2ª ed., Chicago: University of Chicago Press (trad. cast. en FCE: *La estructura de las revoluciones científicas*).

Lakatos, I. (1970), "Fasification and the Methodology of Scientific Research Programmes", en: I. Lakatos y A. Musgrave (eds.) (1970), *Criticism and the Growth of Knowledge*, Cambridge: Cambridge University Press (trad. cast. en Grijalbo: *La crítica y el desarrollo del conocimiento*).

Longino, H. (2002), *The Fate of Knowledge*, Princeton: Princeton University Press.

Mill, J.S. (1843/1865), *A System of Logic: Ratiocinative and Inductive*, 6ª ed., Londres: Longmans.

Moulines, C.U. (1982), *Exploraciones metacientíficas*, Madrid: Alianza.

Neurath, O., R. Carnap y C. Morris (eds.) (1938-1969), *Foundations of the Unity of Science. Toward an International Encyclopedia of Unified Science. Vol. 1*, Chicago: University of Chicago Press.

Newton, I. (1687), *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, Joseph Streater (for the Royal Society) (trad. cast. en Tecnos: *Principios matemáticos de la filosofía natural*).

Nickles, T. (1987b), "From Natural Philosophy to Metaphilosophy of Science", en: R. Kargon y P. Achinstein (eds.), *Kelvin's Baltimore Lectures and Modern Theoretical Physics*, Cambridge (Mass.): MIT Press, 1987.

Pickering, A. (ed.) (1992), *Science as Practice and Culture*, Chicago: University of Chicago Press.

Pickering, A. (1995), *The Mangle of Practice*, Chicago: University of Chicago Press.

Popper, K.R. (1972), *Objective Knowledge: An Evolutionary Approach*, Oxford: Clarendon Press (trad. cast. en Tecnos: *Conocimiento objetivo*).

Quine, W.V. (1975), "On Empirically Equivalent Systems of the World", *Erkenntnis* 9: 313-328.

Ramón y Cajal, S. (1923), *Reglas y consejos sobre investigación científica*, 6ª ed., Madrid: J. Pueyo.

Reichenbach, H. (1938), *Experience and Prediction. An Analysis of the Foundations and the Structure of Knowledge*, Chicago: University of Chicago Press.

Reichenbach, H. (1951), *The Rise of Scientific Philosophy*, Berkeley-Los Angeles: University of California Press (trad. cast. en FCE: *La filosofía científica*).

Rorty, R. (1988), "Is Science a Natural Kind?", en: E. McMullin (ed.), *Construction and Constraint: The Shaping of Scientific Rationality*, Notre Dame: University of Notre Dame Press, 1988.

Shaffer, N. (1996), "Understanding Bias in Scientific Practice", *Philosophy of Science* 63/3 (PSA 1996 Proceedings): S89-S97.

Sneed, J.D. (1971), *The Logical Structure of Mathematical Physics*, Dordrecht: Reidel.

Solomon, M. (2001), *Social Empiricism*, Cambridge, MA: MIT Press.

Stegmüller, W. (1979), *The Structuralist View of Theories. A Possible Analogue of the Bourbaki Programme in Physical Science*, Nueva York: Springer (trad. cast. en Alianza: *La concepción estructuralista de las teorías*).

Ampliación

Ambrogi, A. (ed.) (1999), **Filosofía de la ciencia: el giro naturalista**, Serv. Edit. Univ. Islas Baleares: Palma.

Una compilación de contribuciones sobre las dimensiones del llamado "giro naturalista", incluyendo traducciones de artículos pioneros en dicho giro (e.g. Giere, Barnes, Bradie, Hacking). Realizada por una filósofa de la ciencia argentina profesionalmente vinculada a la Universidad de las Islas Baleares en España.

Barnes, B. (1985), **Sobre ciencia**, Barcelona: Labor, 1987.

Uno de los pocos libros introductorios generales sobre la noción de ciencia elaborado por la llamada "alta iglesia" en los estudios CTS. En el texto, Barry Barnes, uno de los autores más conocidos de la Escuela de Edimburgo, ofrece una visión general sociologista y antiesencialista. Buena opción para los que tienen poco tiempo.

Brown, H. (1977), **La nueva filosofía de la ciencia**, Madrid: Tecnos, 1983.

Libro introductorio a la filosofía de la ciencia, con revisión de los distintos enfoques y discusiones filosóficas. Organizado temáticamente, contiene una valiosa perspectiva histórica de la concepción heredada de la ciencia.

Chalmers, A.F. (1982), **¿Qué es esa cosa llamada ciencia?**, 2ª ed., Madrid: Siglo XXI, 1984.

Otro útil libro introductorio a la filosofía de la ciencia, desde un punto de vista antisociologista que tiene continuidad en un libro posterior (La ciencia y cómo se elabora) del filósofo australiano.

Collins, H. y T. Pinch (1993), **El gólem: lo que todos deberíamos saber acerca de la ciencia**, Barcelona: Crítica, 1996.

Contrapunto sociologista para los manuales anteriores, organizado sobre la base de estudios de casos. Bastante moderado para la posición habitual de los autores, vinculada habitualmente al desarrollo del programa empírico del relativismo EPOR.

Díez, J.A. y C.U. Moulines (1997), **Fundamentos de filosofía de la ciencia**, Barcelona: Ariel.

Detallado manual de la materia, que revisa la mayoría de los tópicos y campos de discusión desde un punto de vista clásico y con énfasis en la orientación estructuralista, dentro de los llamados "enfoques semánticos". De hecho, el filósofo de origen venezolano Carlos Ulises Moulines, profesionalmente implantado en Alemania, es uno de los autores más importantes dentro de esa orientación.

Echeverría, J. (1999), **Introducción a la metodología de la ciencia: la filosofía de la ciencia en el siglo XX**, Madrid: Cátedra.

Javier Echeverría, un especialista español en el tema de "ciencia y valores", firma un útil manual que revisa los principales campos de discusión de la reflexión académica contemporánea sobre la ciencia. Bien contrapesado en cuanto a las principales áreas de trabajo y enfoques en discusión.

Feyerabend, P.K. (1970), **Contra el método**, Barcelona: Ariel, 1974.

Un clásico de la reacción antipositivista frente a la concepción heredada. Señala una referencia en la radicalización de la filosofía de la ciencia. Posteriormente ampliado en su Tratado contra el método.

Funtowicz, S. y J. Ravetz (1993), **La ciencia posnormal: ciencia con la gente**, Buenos Aires: Centro Editor de América Latina (reedición en Icaria, Barcelona, 2000).

Un pequeño pero interesante libro que resume la visión de los autores, argentino y británico, respecto al nuevo tipo de actividad científica que se extiende cada vez más en nuestros días (la "ciencia postnormal" - un concepto emparentado con los de "ciencia reguladora" o "Modo 2 del conocimiento").

Hacking, I. (1983), **Representar e intervenir**, Barcelona: Paidós, 1996.

El clásico, y todavía uno de los libros más completos, sobre la relevancia de la dimensión práctica de la ciencia para comprender la dinámica del conocimiento.

Hempel, C.G. (1966), **Filosofía de la ciencia natural**, Madrid: Alianza, 1973.

Una exposición sencilla y fácil de leer de la versión madura de la concepción heredada de la ciencia. De hecho, Carl Hempel, que primero desarrolló su

trabajo en Alemania y después en los EE.UU., tuvo un papel protagonista en el desarrollo de esa concepción. Imprescindible.

Latour, B. (1987), **Ciencia en acción**, Barcelona: Labor, 1992.

Uno de los libros clave de la reacción sociologista reciente contra la visión clásica de la ciencia y sus versiones esencialistas contemporáneas. Firmado por uno de los autores más importantes de la "Escuela francesa" y la teoría de la red de actores.

Nagel, E. (1961), **La estructura de la ciencia**, Buenos Aires: Paidós, 1981.

Una exposición bastante completa y detallada de la concepción heredada de la ciencia. Referencia clásica.

Popper, K.R. (1972), **Conocimiento objetivo**, Madrid: Tecnos, 1974.

El mejor libro para conocer a uno de los filósofos que, desde su énfasis en la falsabilidad, más ha influido en la transformación de la filosofía de la ciencia durante el siglo XX, desde su diálogo crítico con la concepción heredada, pasando por su aporte a la reacción antipositiva y llegando a su visión evolucionista del cambio científico.

Ruiz, R. y F.J. Ayala (1998), **El método en las ciencias**, México: FCE.

Firmado por la bióloga mexicana Rosaura Ruiz y el biólogo de origen español Francisco Ayala, este libro revisa desde un punto de vista evolucionista algunos de los enfoques filosóficos más influyentes en la discusión contemporánea.

Sánchez Ron, J.M. (1995), **La ciencia, su estructura y su futuro**, Madrid: Debate/Dominós.

Este pequeño libro, del físico y divulgador español José Manuel Sánchez Ron, ofrece una visión atractiva y equilibrada del avance del conocimiento científico y algunos de los retos más acuciantes planteados por el mismo en la sociedad actual.

Woolgar, S. (1988), **Ciencia: abriendo la caja negra**, Barcelona: Anthropos, 1991.

Un libro muy útil, aunque bastante radical, para una introducción rápida a los enfoques sociologistas en el estudio de la ciencia.

Ziman, J. (1984), **Introducción al estudio de las ciencias**, Barcelona: Ariel, 1986.

John Ziman, uno de los autores que más ha contribuido a la difusión de los enfoques CTS, firma este útil libro introductorio a los principales aspectos cognitivos y organizativos de la ciencia.

Enlaces

Castellano

[Declaración de Budapest](#)

[Declaración sobre la Ciencia y el uso del saber científico](#)

La lectura de esta declaración de principios es siempre interesante para alguien que se enfrenta a la filosofía de la ciencia, ya que recoge las directrices que intentarán guiar la investigación científico-tecnológica en los próximos años, las expectativas que hay puestas en ella, etc.

Ciencia Digital

Las breves biografías de científicos que se recogen en esta página son interesantes para comprender aspectos de la investigación relacionados con las personas que la hacen, ampliando el horizonte de los estudios más allá de la ciencia en abstracto.

Se cuenta la evolución de la teoría de **Darwin**, los problemas a que tuvo que hacer frente cuando se publicó y su desarrollo actual. Es un buen ejemplo de dinámica de la ciencia y de cómo funcionan las teorías en ella.

Cibernous

La página es bastante completa, tiene diccionario, artículos, etc. que pueden ser interesantes para distintas partes del curso. La parte de lógica está bien para conocer esta rama que es muy utilizada en filosofía de la ciencia.

Infociencia.net

Es una página sobre estudios CTS muy completa, pero puede utilizarse también en esta primera fase, ya que tiene referencias a casos concretos relacionados con la estructura de la ciencia, la investigación, etc.

Empirismo

En este texto se explica de forma sencilla el empirismo, así como su aplicación a la ciencia y la repercusión en filosofía de la ciencia.

Filosofía de la Ciencia

Artículo sobre nociones básicas de filosofía de la ciencia: leyes científicas, distinción entre teoría y observación, etc.

Portugués

BICT. Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia.

Aquí se enumeran una serie de proyectos que están llevándose a cabo. De ellos se da una pequeña explicación y se muestra hacia dónde está dirigiéndose la investigación y cómo, por lo que son ejemplos sencillos y reales de la dinámica de la ciencia.

Inglés

The Internet Encyclopedia of Philosophy

Es un diccionario con artículos sencillos de comprender, adecuado para que los principiantes aclaren las dudas puntuales que tengan en este periodo introductorio del curso.

Philosophy Pages

Es parecido al anterior, aunque tiene un esquema cronológico, por autores, por

temas, etc., por lo que la búsqueda de algunas cuestiones puede resultar más sencilla.

FST. The Foundation for Science and Technology

La página general tiene artículos, reseñas, entrevistas, etc. que pueden resultar interesantes, especialmente cuando el curso esté un poco más avanzado. De todas formas, la discusión que aparece en este enlace puede resultar interesante también para el principio ya que afronta el tema del currículo científico.

Scientific Method

Explicación clásica y muy detallada sobre el método científico, sus problemas de aplicación, las leyes y teorías, etc.