

Lectura epistemológica de la historia de la ciencia en los “descubrimientos”: explicación y abducción en la enseñanza de las ciencias naturales

Epistemological reading of the history of science in “discoveries”: explanation and abduction in science teaching

Alger Sans Pinillos | Università di Pavia

alger.sanspinillos@unipv.it

<https://orcid.org/0000-0002-8817-7286>

Agustín Adúriz-Bravo | CONICET/Universidad de Buenos Aires

aadurizbravo@cefiec.fcen.uba.ar

<https://orcid.org/0000-0002-8200-777X>

RESUMEN Una comprensión adecuada de la explicación (y de la argumentación) científica escolar requiere introducir consistentemente en la enseñanza de las ciencias naturales aportaciones de distintas disciplinas metacientíficas (tales como la filosofía, la historia y la sociología de la ciencia). Una manera de trabajar en esta línea con gran tradición en la didáctica de las ciencias es el análisis epistemológico crítico de narraciones de casos de históricos. Los casos pueden ser herramientas eficaces para ejemplificar los contenidos de naturaleza de la ciencia que deberían impartirse en las clases. En este trabajo, narraciones de algunos “építo-mes” (o ejemplos paradigmáticos) de descubrimiento científico se analizan epistemológicamente utilizando como marco conceptual la teorización sobre la inferencia abductiva. El propósito es ayudar al profesorado de ciencias a entender en contexto algunos aspectos metodológicos centrales de la indagación científica.

Palabras clave razonamiento abductivo – naturaleza de la ciencia – descubrimiento científico – epítomes – narrativas de casos históricos – formación del profesorado de ciencias.

ABSTRACT *An adequate understanding of school scientific explanation (and argumentation) requires consistently introducing in science teaching contributions from different meta-scientific disciplines (such as the philosophy, history and sociology of science). A way to work along this line, which has a*

long tradition in didactics of science, is to perform a critical epistemological analysis on narratives of historical cases. Cases can be effective tools to exemplify content from the nature of science that should be taught in science classes. In this article, narratives of some "epitomes" (or paradigmatic examples) of scientific discovery are epistemologically analysed using as conceptual framework the theorisation on abductive inference. The purpose is to help science teachers understand in context central methodological aspects of scientific enquiry.

Keywords *abductive reasoning – nature of science – scientific discovery – epitomes – narratives of historical cases – science teacher education.*

Introducción

En este artículo exponemos una propuesta didáctica dirigida a que el profesorado de ciencias naturales de los distintos niveles educativos fomente en sus aulas la comprensión de la llamada "naturaleza de la ciencia" (NOS, por sus siglas en inglés) mediante la introducción del modo de pensamiento abductivo en la construcción de explicaciones y argumentaciones científicas escolares (Sans Pinillos y Adúriz-Bravo, 2021). Sugerimos que tal introducción se desarrolle mediante el uso de "historias de la ciencia" (narrativas didácticas de casos históricos).

Entendemos aquí la argumentación como una "explicación de una explicación científica", es decir, un texto dirigido a hacer explícitas las relaciones postuladas por una comunidad de prácticas (científicos, docentes, etc., en una época y lugar determinados) entre un fenómeno natural y un modelo teórico candidato a subsumirlo o "mapearlo". En el artículo abordamos algunos ejemplos concretos de narrativas abductivas dirigidas a la formación inicial y continuada de profesores de ciencias.

Una comprensión más completa de la argumentación científica escolar como la que estamos proponiendo aquí requiere introducir consistentemente en la enseñanza de las ciencias naturales aportaciones de distintas disciplinas metacientíficas (tales como la filosofía, la historia y la sociología de la ciencia). La reflexión de segundo orden que estas disciplinas proveen contribuye, según muchas investigaciones, a enriquecer la imagen de ciencia que sostiene el estudiantado, por ejemplo, al enfocarse en aspectos sustantivos de la investigación científica como actividad humana. Se trata entonces de ofrecer en las clases de ciencias naturales una mirada más completa y robusta sobre aquello que no está abarcado en la ciencia entendida como producto acabado a enseñar: las *condiciones* para que tal ciencia exista.

La mirada metateórica sobre la ciencia escolar puede entenderse como el conjunto de ideas históricas, sociales y culturales necesarias para que las y los estudiantes comprendan más cabalmente "qué es esa cosa llamada ciencia", según la afortunada expresión de Alan Chalmers (1976). Entendemos, a su vez, que es posible concebir este conjunto de metarreflexiones auxiliares sobre la ciencia como otro producto sociocultural que debería formar parte de una educación científica de calidad para todos.

De acuerdo con el conocimiento disponible en la didáctica de las ciencias naturales al día de hoy, es mediante la formación sostenida del profesorado de ciencias en algunas de las cuestiones centrales que las metaciencias proponen para comprender la naturaleza de la ciencia que se puede incidir positivamente en las representaciones empobrecidas o distorsivas sobre la empresa científica socialmente imperantes, que niños y niñas, adolescentes y jóvenes

traen al sistema educativo. En este sentido, en el presente artículo suscribimos a una enseñanza *intencionada* de contenidos metacientíficos en estrecha relación con los contenidos científicos y didácticos dentro de la formación docente.

Una manera de trabajar en esta línea que tiene mucha andadura en nuestra disciplina es el análisis epistemológico crítico de narraciones de ciencia que comúnmente se conocen como “casos históricos”. Bien caracterizados, los casos pueden devenir en herramientas estratégicas muy eficaces para ejemplificar los contenidos metacientíficos que deberían impartirse en las clases de ciencias (Grapí, 2000; Irwin, 2000; Metz et al., 2007). Estos casos capturados en formato narrativo son llamados en este trabajo “epítomes” (o ejemplos paradigmáticos) de práctica científica: modelos de análisis para comprender aspectos metodológicos centrales, ponerlos en acción en la indagación científica escolar y utilizarlos para la reflexión crítica sobre la ciencia. Los epítomes a enseñar se seleccionan por su valor educativo; aunque tal valor está muchas veces implícito en el hecho de haber sido escogidos por el currículo, los libros de texto o el profesorado, creemos que debería ser explicitado meta-argumentativamente por medio de una discusión en torno a su significación desde el punto de vista de la construcción de conocimiento científico en la historia.

La selección de casos para el análisis epistemológico, tal como se ha señalado en la bibliografía especializada, muchas veces está influida por prejuicios y sesgos cognitivos y sociales comunes en el sistema educativo. Como consecuencia, los epítomes pueden estar reconstruidos desde una mirada fuertemente *positivista* que exagere el carácter superior del conocimiento científico, refuerce la creencia en el infame “método científico” o invisibilice a algunos participantes de la empresa científica por cuestiones de su procedencia, género, extracción, religión, etc. Por tanto, una primera cuestión a asegurar en un trabajo como el nuestro es la construcción cuidadosa de los epítomes con base en una imagen *realista y racionalista moderada* de la ciencia (Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo, 2003).

Por otra parte, establecer criterios didácticos claros para seleccionar epítomes que genuinamente sirvan a una educación científica democrática también requiere de cierta elucidación de lo que significa, por ejemplo, investigar, indagar, descubrir, inventar, postular, innovar, etc., así como de las condiciones en las que estas prácticas suceden. Por ejemplo, la noción de *descubrir*, que es la que nos interesa particularmente para este trabajo, no tendría que reducirse a “encontrar” o “destapar”, sino que debería ser considerada desde una particular manera teórica de capturar concepciones sobre las metodologías de indagación, los procesos de verificación, la identificación de la originalidad y relevancia del nuevo conocimiento, la valoración del carácter novedoso o insólito de los hallazgos, etc. Identificar el descubrimiento exclusivamente con sus resultados finales contribuye a generar una entelequia de la ciencia como proceso neutro y de constante progreso hacia un “reflejo” de la realidad tal cual ella es; la propuesta de enseñar NOS apunta a desarmar esta entelequia en las clases de ciencias naturales de los distintos niveles educativos.

El valor didáctico de los epítomes de descubrimiento se pierde si las consideraciones anteriores no están presentes. Sin la mirada fuerte de la NOS, los casos narrados se transforman en una enumeración de gestas de grandes personajes, teñidas de excesivo cientificismo y dotadas de un carácter anecdótico y un sesgo moralizante muy marcados. En este sentido, enseñan poco acerca de qué es la ciencia como actividad profundamente humana y no sirven al objetivo de permitir una crítica transformadora sobre ella.

Frente a estos posibles problemas enunciados, en este artículo proponemos un modelo *abductivo* del descubrimiento científico (Adúriz-Bravo, 2015; Adúriz-Bravo y González Galli, 2022; Adúriz-Bravo y Sans Pinillos, 2022), que capture de una manera epistemológicamente más sólida este concepto y, a la vez, permita relaciones sustantivas con otras actividades humanas dirigidas a la resolución de problemas, generando así unas ideas de naturaleza de la ciencia mucho más democráticas e inclusivas, lejos del elitismo propio de la mirada científicista. Así, proponemos incorporar el razonamiento abductivo como una herramienta teórica que complemente las clásicas visiones inductiva e hipotético-deductiva de la práctica científica -tan extendidas en la enseñanza de las ciencias naturales en la escuela- y permita una caracterización mucho más rica de la explicación y la argumentación en la "indagación científica escolar". En nuestra opinión, un modelo de abducción basado en las ideas de Charles Sanders Peirce ofrece una forma sistemática de explicar aspectos centrales de la naturaleza del descubrimiento científico en los epítomes.

Los epítomes, en nuestra reconstrucción, adquieren un estatus epistémico dirigido a ejemplificar aspectos centrales de la metodología científica, contemplando la práctica de la ciencia desde una perspectiva eminentemente internalista crítica, pero sin perder traza de los constreñimientos externos. Para ello, y tal como se argumenta en este texto, las narraciones no requieren de ser absolutamente fidedignas a los "datos objetivos", sino más bien poner en valor las complejidades del accionar científico y reflejar la aventura que comporta la indagación científica. Para nosotros, ello supone transformar la historia a contar, por ejemplo, en una investigación de tipo detectivesca, policíaca, médica, diagnóstica, forense, arqueológica, etc., todas tipologías en las que el razonamiento abductivo tiene un papel central para explicar y que a la vez resultan sumamente atractivas para el estudiantado (niñas y niños, adolescentes y jóvenes) (Adúriz-Bravo, 2015).

Con base en lo antedicho, nos proponemos aquí mostrar para el profesorado de ciencias la mecánica específica de la participación de las inferencias abductivas en la explicación y la argumentación en las clases de ciencias (principalmente de los niveles secundario o terciario) mediante el uso de epítomes contruidos con base en materiales de la historia de la ciencia. Para ejemplificar nuestra propuesta, describiremos unos *guiones* (esquemas narrativos) de epítomes vinculados a "descubrimientos" tradicionalmente incluidos en el currículo de ciencias naturales: del elemento radio, del núcleo atómico y del planeta Neptuno. El análisis de estos ejemplos, entendidos como "reconstrucciones abductivas" para la enseñanza de las ciencias naturales, se hará a través de unas ideas epistemológicas clave ligadas a diversos tópicos, explicitándose siempre el valor educativo que les atribuimos.

El artículo se divide en cinco secciones, contando la presente introducción. En la sección que sigue presentamos una breve discusión en torno al papel que jugó el razonamiento abductivo en la recuperación del llamado "contexto de descubrimiento", mostrando algunos callejones sin salida a los que se llegó reconstruyendo el descubrimiento bajo lógicas inductivo-deductivas. En la tercera sección se explica la naturaleza del razonamiento abductivo bajo la luz de la teoría filosófica pragmatista, haciéndose especial hincapié en su valor didáctico. La cuarta sección está dedicada a proponer una implementación de lo discutido a la formación del profesorado de ciencias naturales; allí se desarrollan brevemente los tres ejemplos anunciados más arriba. Finalmente, en la sección de conclusiones proponemos una línea de investigación dirigida a diseñar, aplicar y evaluar caracterizaciones abductivas de la naturaleza de la ciencia que entendemos pueden tener potencial para la mejora de la educación científica.

Descubrimiento y abducción

No sin algunos reparos, podrían considerarse los problemas en torno al contexto de descubrimiento y a la inconmensurabilidad entre teorías entre las cuestiones más importantes para el desarrollo acelerado de las disciplinas metacientíficas en la segunda mitad del siglo XX. Las controversias en torno a estas dos nociones teóricas pueden interpretarse de la misma manera: a saber, como respuesta de la llamada “nueva filosofía de la ciencia” a la *teoría de la justificación* positivista lógica elaborada por Hans Reichenbach (1951). En particular, el debate sobre el estudio metateórico del contexto de descubrimiento implicó una bisagra en la “deriva” de la filosofía de la ciencia de mediados del siglo pasado, al plantearse que este contexto tenía un papel epistémico tan relevante para la ciencia como el de justificación (Putnam, 2002). La problemática en torno a los contextos reichenbachianos se situaría en la dicotomía entre hechos psicológicos y hechos lógicos de Gottlob Frege (1956, p. 289).

El objetivo principal de Frege era “despsicologizar” la lógica (Bäckström, 2017). En un sentido general, su idea era hacer extensible la posibilidad de reducir a la lógica la matemática y, más generalmente, el resto de la investigación científica (ver, por ejemplo, Woods, 2013). En el tratamiento fregeano de la dicotomía se asumió que el propósito de la filosofía de la ciencia (o al menos, de su aproximación epistemológica dura) es la *justificación* del conocimiento científico, entendiendo que este solamente puede adquirirse mediante procesos de descripción (Kieseppa, 1996, p. 70; Magnani, 2014, p. 287; Niiniluoto, 2014, p. 378). Desde esta perspectiva, el resto de los factores participantes en la investigación científica quedaron relegados a fenómenos psicológicos previos a la propia ciencia que, al no poder ser formalizados (representados, descritos, etc.), se asumía que no tenían un valor epistémico relevante (Sans Pinillos, 2022, p. 1113).

En el segundo problema que mencionamos, en torno a la inconmensurabilidad de teorías rivales, el concepto mismo de descubrimiento quedó fuertemente problematizado; el tratamiento sistemático de tal asunto contribuyó a agrietar los cimientos de la *concepción heredada* de la ciencia. Llegamos así al planteamiento de una nueva conceptualización de descubrir, de fundamentos teóricos mucho más recientes dentro de la llamada “concepción semántica de las teorías científicas” (cf. Adúriz-Bravo, 2013a), que atraviesa la actual construcción de los debates en las disciplinas metacientíficas y permite dar un papel relevante a la abducción como modo de pensamiento en los procesos de generación de conocimiento.

En resumen, lo que llamamos aquí el “problema del descubrimiento” eclosiona cuando la nueva filosofía de la ciencia de los años 1950 y 1960 reconoce que no existe manera consistente de darle entidad teórica al concepto y describir su mecánica a partir de los criterios de verificación establecidos por las escuelas previas de la filosofía de la ciencia (positivismo lógico, concepción heredada y racionalismo crítico falsacionista). Así, en la segunda mitad del siglo XX se acepta en la filosofía de la ciencia que es imposible un programa de investigación general en torno a una “lógica del descubrimiento” (aunque los aspectos específicos de la creación de conocimiento en ciencias naturales sigan siendo estudiados con rigor desde diversas disciplinas).

La imposibilidad teórica a la que se arribó chocaba, por su parte, con un sentido común metacientífico desde el que parecía que las científicas y científicos seguían descubriendo “a pesar de” la filosofía de la ciencia. Es justamente aquí donde la idea fuerte de inconmensurabilidad permite un avance, aunque luego será matizada. El modelo kuhniano de cambios de paradigma aparece entonces como herramienta útil (ahora perimida) para leer la historia de

los descubrimientos como *recolocaciones* conceptuales más o menos revolucionarias, en lugar de como meros sucesos o eventos dentro de una cadena de progreso.

El ulterior esfuerzo de la filosofía de la ciencia por mantenerse indubitablemente separable de la historia de la ciencia conllevaba la introducción de dos ruidos: el encapsulamiento conceptual y el presentismo. Así, se pretendió nuevamente analizar las teorías científicas como objetos autocontenidos juzgados a partir de las coordenadas teóricas que imperan en la actualidad (ver, por ejemplo, Butterfield, 1965, p. 9; Moro Abadía, 2006, p. 155).

El tratamiento presentista de las teorías científicas al que una y otra vez intenta volver la filosofía de la ciencia se fundamenta no pocas veces en un desconocimiento de la historia y sus métodos de investigación por parte de científicos y epistemólogos. Pero también hay, por lo menos desde los años 1930, una tendencia opuesta, dirigida a tratar las teorías como productos de comunidades de práctica (Fernández Buey, 2004), con sus modos de pensamiento característicos, situadas en un lugar y una época determinadas. Así, delante de la obra de Kuhn (1962) hay lo que podemos considerar genuinos análisis histórico-epistemológicos, como los de Herbert Butterfield, Hélène Metzger o Ludwik Fleck (Rossi, 1986; Moro Abadía, 2006). Esas sucesivas aproximaciones sentaron las bases para un estudio del material histórico desde la filosofía de la ciencia como el que nosotros queremos acometer aquí y sugerir al profesorado de ciencias. Nos es imposible tratar educativamente epítomes de descubrimiento científico (aunque redefinamos esta noción a fondo desde una matriz semántica, superadora de la controversia en torno a la inconmensurabilidad) si seguimos alineados con una concepción de ciencia analítica, basada en la idea de búsqueda de la verdad en el mundo.

Nosotros vamos a situar nuestros argumentos dentro de lo que podríamos llamar la concepción “desatendida”, “olvidada” o “descuidada” de la ciencia (en inglés, *neglected view*), en oposición a la concepción heredada (*received view*) que mencionamos más arriba, que propugnó y sostuvo la perspectiva de trabajo ahistórica. Vamos a entender que una diferencia clave entre ambas es el hecho de conceder o no valor epistémico a la descripción fina de los procesos de descubrimiento.

Dos miradas: la concepción heredada y la concepción desatendida de la ciencia

Los modelos de dinámica científica de la nueva filosofía de la ciencia permiten entender algunos casos históricos clave desde la perspectiva de la inconmensurabilidad conceptual y “nómica” entre paradigmas sucesivos. Como es bien sabido, la inconmensurabilidad declara una falta de monotonía entre dos diferentes momentos históricos de la ciencia, lo que lleva al corolario de que no hay factores de estricta racionalidad comparativa que sirvan para determinar progreso científico. La inconmensurabilidad desborda la semántica tradicional de las teorías científicas y comprende las prácticas que definen la investigación (cf., Kuhn, 1962; Feyerabend, 1976). Por tanto, una diferencia crucial entre la visión heredada y la desatendida es el punto de vista sobre el criterio de verificación (Sans Pinillos, 2022, p. 1110). Tal como se defiende en esta sección, esto quiere decir que ambas visiones de la ciencia son respuesta al racionalismo crítico de corte positivista y que, por lo tanto, responden a una misma preocupación con diferentes salidas teóricas. Los debates “perikuhnianos” de principios de los años 1970 en torno a estos asuntos definieron las metodologías y teorías sobre la naturaleza de la ciencia (cf., Lakatos y Musgrave, 1970) e impactaron fuertemente en la didáctica de las ciencias.

Si tomamos como referencia a Feyerabend (1978, 2010), por ejemplo, podemos considerar que la marcada “asimetría” conceptual entre diferentes teorías es prueba contundente de que el cambio científico no se fundamenta en las observaciones y experimentos, sino en profundas transformaciones semánticas multicausadas. Por tanto, tal como él promulga en su anarquismo (*dadaísmo*) epistemológico, el progreso científico se basa en contemplar el mayor número posible de hipótesis alternativas. En contraste, aunque Kuhn concibe la inconmensurabilidad como la propiedad principal de relación estructural entre paradigmas rivales, estos se pueden describir parcialmente a partir de criterios de semejanza/diferencia que, a la postre, permiten un acceso a la comunicación entre comunidades científicas en pugna. La propuesta feyerabendiana afronta las consecuencias de la inconmensurabilidad mediante una concepción de metodología de la ciencia basada en una nueva noción de justificación, establecida mediante relaciones interteóricas que posibilitan recolocar el descubrimiento.

La incorporación de una racionalidad *muy moderada* (restringida) a la caracterización de la investigación científica sitúa a Feyerabend en la visión desatendida. En sus palabras:

En un análisis detallado, vemos incluso que la ciencia no conoce para nada “hechos desnudos”, sino que los hechos que entran en nuestro conocimiento ya están vistos de una determinada manera y son, por lo tanto, esencialmente ideacionales. (Feyerabend, 2010, p. 3; la traducción es nuestra)

En este sentido, es interesante pensar en cómo este autor se puede complementar con la teoría semántica de Norwood R. Hanson además de con la histórica del ya mencionado Kuhn.

Decidir considerar a Hanson dentro la misma perspectiva de naturaleza de la ciencia de Feyerabend se apoya en el hecho de que su teorización de la llamada “carga teórica de la observación” está fuertemente basada en supuestos *psicologistas* (Sans Pinillos, 2022, p. 1111), por supuesto sin que ello agote todas las dimensiones de este concepto tan rico. Hanson señala que son tanto las mismas observaciones como las proposiciones sobre ellas las que están cargadas de teoría (Estany, 2001, p. 205). Entonces, al menos en algún sentido, “ver” es una actividad epistémica y *material* cargada de teoría (Hanson, 1972, p. 19). Se trata de identificar el proceso de descubrimiento con elementos *que incorporan y a la vez trascienden* los psicológicos, para luego suponer que todos actúan en el proceso de justificación integradamente.

La crítica a la visión general de ciencia, y a la visión específica de descubrimiento científico, del programa logicista del neopositivismo del Círculo de Viena y sus adláteres apuntaba los cañones a la reducción epistémica que ellos hacían del estudio de la ciencia a sus aspectos *sintácticos*. En este contexto, la visión desatendida constituye una vía para: (1) dar cuenta de los factores que históricamente constituyen un caso como epitémico y (2) incorporar elementos de disciplinas emergentes (lógica ampliada, nueva teoría argumentativa, ciencias del lenguaje y la comunicación, incluso ciencia cognitiva) en el estudio del asunto del descubrimiento. Se trataba de dejar atrás paulatinamente, en el entrelazado entre ciencia, historia y sociedad, una mirada romantizada de la racionalidad, la verdad y el progreso.

La propuesta que hace Imre Lakatos (1978), centrada en la noción teórica de programa de investigación, de corte mucho más racionalista, defiende la existencia de progreso científico reconocible a través de unos criterios de *discriminación* entre prácticas científicas: se intenta

dar sentido a los diferentes modelos científicos que coexisten dentro de un mismo momento histórico y, a la vez, comprender los procesos de transición suave entre familias de modelos.

Por su lado, el recientemente fallecido Larry Laudan propone que los problemas científicos se resignifican históricamente. Su propuesta se basa en estudiar los movimientos dialécticos que suceden entre la acumulación de pruebas empíricas y la solución conceptual de los problemas (Laudan, 1980). Pero en este autor, al igual que en Lakatos, los procesos de descubrimiento siguen siendo “cajanegrizados” y relegados a un momento precientífico. La propuesta desvincula, a los fines del análisis, los procesos de racionalidad de la temporalidad histórica, sin que por ello se niegue la sucesión temporal (Laudan, 1980).

Por último, Mary Hesse (1954) ataca los mismos problemas mediante la noción de “imaginación”, que requiere reconocer ciertos aspectos transversales en el lenguaje científico (Fernández Buey, 2004). Una teoría aceptada por una comunidad ofrece formatos para predecir *por analogía* casos similares (Hesse, 1966). Como resumen, puede decirse entonces que, en la nueva filosofía de la ciencia de posguerra, la discusión versaba fuertemente sobre cómo corregir el racionalismo crítico de Popper ante la emergencia e influencia de perspectivas de otras metaciencias (historia y sociología de la ciencia).

Se puede decir entonces que, de alguna manera, las conceptualizaciones sobre descubrimiento que tienen más fuerza en la filosofía de la ciencia reciente se gestaron en la periferia de la concepción heredada de la ciencia, en el sentido de que comparten el esfuerzo por extender al estudio del contexto de descubrimiento los conceptos y métodos usados para entender el de justificación. Un ejemplo de ello se da en torno al concepto de progreso científico, tratado por ejemplo por Kuipers (2000) y Musgrave (1989); en estos autores, se “suaviza” su conceptualización tradicional que connota éxito y se introducen constructos sofisticados como los de invención y apreciación.

La “revolución” de la inferencia ampliativa: de la inducción a la abducción y vuelta atrás

Los problemas de inconmensurabilidad y demarcación, una vez que son atacados bajo la luz de estos nuevos análisis histórico-sociales provistos por las demás metaciencias, permiten a la filosofía de la ciencia retomar y ampliar el análisis lógico-epistemológico del descubrimiento científico, integrando los procesos de inferencia ampliativa a la metodología científica. Emerge aquí con mucha más fuerza la problemática sobre la *formalización* de las herramientas teóricas que articulan las metodologías. Estamos haciendo referencia a la idea de que, aunque la visión desatendida de la ciencia pudiese tener razón en sus demandas en torno a incorporar el factor humano en la interpretación de las teorías, no disponía todavía de sistemas teóricos para modelizar las lógicas que emergían del estudio de los ejemplos históricos.

Esta situación cambió radicalmente con la consolidación de una nueva episteme que incluía una enorme variedad de disciplinas ocupadas del conocimiento, la comunicación, la cognición y el aprendizaje -tales como las lógicas no demostrativas, los nuevos estudios retóricos, la nueva teoría argumentativa, las teorías de la información y la comunicación, la ciencia cognitiva y la computación, entre otras. Este cúmulo de modelos novedosos contribuyó a redefinir la inferencia inductiva y a reconocer por fin que la abducción no es un tipo especial de inducción.

Las líneas de trabajo surgidas desde entonces pretenden la formalización de conocimiento tenido como válido mediante inferencias sustantivas; en algunos casos, el ataque teórico incluye una descripción cuasicomputacional de procesos heurísticos, e incluso su simulación (e.g., Simon, 1985). Por ejemplo, los programas BACON, GLAUBER, STAHL, DALTON (Simon et al., 1997) y el sistema EURISKO (Lenat y Brown, 1984) fueron modelos de descubrimiento humano basados en relaciones constructivas obtenidas mediante una formalización de la inferencia inductiva (cf. Vallverdú y Sans Pinillos, 2022). Dentro de este panorama intelectual, a nosotros nos interesa sobremanera diferenciar, en primera instancia, la inducción clásica (enumerativa) de la inducción general (“implicación” de supuestos heurísticos que podemos llamar “lemas”) (Harman, 1965; Sans Pinillos, 2017; Adúriz-Bravo y Sans Pinillos, 2022), para luego diferenciar este último tipo de implicación, basada en “toques”, “caracteres” o “rasgos”, de la abducción, que trabaja sobre hipótesis *modelísticas* que definen estados de cosas o mundos posibles (Adúriz-Bravo y Sans Pinillos, 2022).

En este período de la filosofía de la ciencia (1975-2000) vemos entonces renovados esfuerzos para equiparar el descubrimiento a la justificación, que se decantan una vez más por posponer las consideraciones teóricas en torno a la participación de elementos psicológicos, históricos y sociales en la investigación científica, enfocándose más bien en caracterizar el razonamiento sintético situado al que podemos identificar como descubrimiento científico.

Entendemos aquí que la cognición de los científicos y científicas se halla constantemente modulada por las circunstancias –naturales y socioculturales– en las que ellos investigan en cada momento histórico. En este sentido, la inducción y la deducción se nos quedan chicas para capturar los procesos de explicación y argumentación. En este contexto, la abducción se nos aparece como herramienta de índole pragmática para abordar estas cuestiones; con ella podemos proponer una perspectiva *contextualizada* sobre la indagación científica que conceptualice el valor de la observación, la experimentación, la intervención, etc. en la adaptación a la novedad que supone la resolución de problemas. Por tanto, entendemos la abducción como el tipo de inferencia más adecuado para guiar el accionar científico ante circunstancias desconocidas, mediante el uso de modelos teóricos. En consecuencia, la adoptamos también para modelizar historias de descubrimientos científicos con valor educativo.

El razonamiento abductivo

La abducción es la reinterpretación que hace Charles S. Peirce (1958, CP, 5.14-40), a fines del siglo XIX, de la *apagōgē* (ἀπαγωγή) aristotélica (Aristóteles, 1957, An. Pr. II 25, 69a20-35) mediante su articulación como inferencia a partir de la lógica pragmatista (Peirce, 1958, CP, 5.180-212). Una de las cuestiones más importantes que Peirce quiso capturar con la idea de abducción es, como sugerimos más arriba, que la investigación científica se caracteriza en gran medida por desencadenar procesos de adaptación continua al flujo constante de información del entorno. En este sentido, la propuesta que hace Peirce para visibilizar el valor de la abducción sitúa la *producción de hipótesis* en el centro de la actividad científica (Peirce 1958, CP, 2.619-644). Una de sus primeras caracterizaciones del razonamiento abductivo es *silogística* y pretende complementar la tríada inferencial en la que se incluyen la deducción y la inducción (cf., Peirce 1958, CP, 2.623), como se ve en la Tabla 1.

Tabla 1. Presentación silogística de la deducción, la inducción y la abducción inspirada en Peirce.

Deducción	Inducción	Abducción
<i>Regla:</i> Todas las habas de esta bolsa son blancas. <i>Caso:</i> Estas habas son de esta bolsa. <i>por lo tanto</i> <i>Resultado:</i> Estas habas son blancas.	<i>Caso:</i> Estas habas son de esta bolsa. <i>Resultado:</i> Estas habas son blancas. <i>por lo tanto</i> <i>Regla:</i> Todas las habas de esta bolsa son blancas.	<i>Regla:</i> Todas las habas de esta bolsa son blancas. <i>Resultado:</i> Estas habas son blancas <i>por lo tanto</i> <i>Caso:</i> Estas habas son de esta bolsa.

Es muy probable que el lector con conocimientos sobre lógica clásica haya identificado el silogismo abductivo como la famosa falacia de afirmación del consecuente. Pero, aunque las conclusiones de una abducción son problemáticas y conjeturales, en muchos sentidos pueden considerarse no falaces. Según Peirce (1958, CP, 5.192), las conclusiones abductivas serían “asertivas” (es decir, no estarían necesariamente en el grado más débil de conjetura). Podemos interpretarlas entonces como juicios con un alto grado de “expectabilidad”. De acuerdo con esta visión, el producto abducido no se infiere *totalmente* de las premisas de partida de modo demostrativo (con necesidad lógica), pero “opera” para explicar. Es importante prestar atención a este aviso de Peirce, pues es la clave para comprender el valor de la abducción como modo de pensamiento fuertemente ampliativo y para derivar posibles aplicaciones a la didáctica de las ciencias naturales, como la interpretación de casos históricos que aquí estamos proponiendo.

Resulta extremadamente complejo trabajar con las diferentes caracterizaciones y clasificaciones que Peirce hizo de la inferencia abductiva a lo largo de cincuenta años de trabajo (cf., Fann, 1970). Peirce forma parte de aquel grupo de filósofos que pretendían construir una “arquitectónica” totalizante que explicara muchos asuntos humanos complejos. En su sistema de ideas, la abducción juega el rol de “piedra de toque” para la comprensión de la percepción, la experiencia, la comprensión y la práctica y, por ende, se vuelve una pieza fundamental para entender la indagación científica. La abducción, entonces, toma matices y especificidades en las diferentes aplicaciones que Peirce hace de ella en su extensiva teorización sobre el pragmatismo. Nosotros tomamos una estrategia (antes ensayada por otros autores) que funciona a modo de “atajo” para navegar la complejidad teórica de la noción –trabajamos a partir de la famosa reconstrucción que hizo Kapitan (1997) de las tesis peirceanas sobre el modo de pensamiento abductivo (Adúriz-Bravo y Sans Pinillos, 2022):

1. Tesis de autonomía: la abducción es un tipo de inferencia que no es posible reducir ni a la deducción ni a la inducción, a pesar de que por mucho tiempo se la identificó con una subclase de razonamiento inductivo.
2. Tesis de inferencia: la abducción infiere hipótesis de manera formalmente débil, pero que por ello no deja de ser lógica de acuerdo con Peirce (1958, CP, 5.180-212). Para él, el argumento abducido, en este nuevo marco ampliativo, resulta *expectable*. La abducción tiene el poder de *implicar* (o de permitir inferir) hipótesis que, aunque no se desprenden directamente de las premisas, resultan novedosas y útiles.
3. Tesis de finalidad: el objetivo principal de una abducción es *generar* y *seleccionar* nuevas hipótesis. Esto, según algunos autores, supone que pasos posteriores tales como implementar, poner a prueba, fundamentar, validar, ampliar, etc., esas hipótesis no forman parte de la abducción en sentido estricto.

4. Tesis de comprensión: en una visión de máxima, la abducción abarca la mayor parte de las operaciones a través de las cuales se produce conocimiento científico potente.

Aplicar las ideas peirceanas a la investigación científica permitiría entender aspectos importantes de la naturaleza del conocimiento que mediante ella se obtiene, puesto que, de acuerdo con la visión de este autor, la abducción es el principal modo de pensamiento para generar ideas nuevas; se la puede caracterizar como el mecanismo que “posibilita” las teorías, porque su objetivo es diseñar enunciados teóricos *para explicar* (Peirce, 1958, CP, 5.170). El presente artículo asume entonces que la ciencia escolar –dirigida a que el estudiantado (se) explique el mundo natural– no puede entenderse sin la participación de la abducción (Adúriz-Bravo y Sans Pinillos, 2022). Adherimos así a una conceptualización de la naturaleza de la ciencia que incorpora consideraciones sobre la praxis investigativa o indagativa y la entiende como una búsqueda de “nexos” entre mundo y teoría en un intento de *dar cuenta* de la realidad (Apel, 2016). Como consecuencia de este compromiso teórico, debemos aceptar que la continua conceptualización de la experiencia por medio de explicaciones abductivas mantiene el conocimiento en un cierto grado de provisionalidad (Sans Pinillos, 2022, p. 1108).

Epistemología de la abducción en la indagación científica

La abducción puede definirse como un mecanismo inferencial de hipotetización para dar sentido a los fenómenos que desafían una comprensión directa; se *abduce* una solución plausible para el problema planteado que tiene una virtud epistémica diferente a la clásica (Gabbay y Woods, 2005). Abductivamente se generan y seleccionan hipótesis que puedan indicar líneas de actuación alternativas para dar sentido a situaciones sorprendentes o desconcertantes (Aliseda, 2006). Esta concepción de la abducción, de tanta economía teórica, es posible merced al esfuerzo intelectual de Peirce para capturar lógicamente las bases epistemológicas de la investigación científica desde una plataforma pragmatista (ver, por ejemplo, Peirce, 1958, CP, 5.348).

Con tales bases epistemológicas, que ponen en valor la hipótesis y la conjetura (e.g., Magnani, 2001; Gabbay y Woods, 2005; Atocha, 2006), se redefine la reflexión en torno al concepto de descubrimiento. En nuestra aproximación, que consiste en capturar los modos de pensamiento cuando se “descubre” en ciencias naturales, los estudios históricos, sociales y culturales aportan nuevos conocimientos sustantivos (Estany y Herrera, 2016). Sabemos que la conceptualización filosófica actual sobre las ciencias (puras, aplicadas, tecnológicas, de diseño...) prefiere nuevos conceptos como invención o innovación, más acordes con los cambios tecnológicos y pragmáticos, pero creemos que la tradicional noción de descubrimiento tiene aún mucho valor en la educación científica. Se trata, por tanto, de entenderla desde coordenadas teóricas que se alejen de los peligrosos abismos del positivismo y del relativismo.

En consonancia con esta elección teórica, los ejemplos que son tomados y explicados en la siguiente sección –narrativas examinadas con el utillaje de filosofía de la ciencia que sostiene nuestra conceptualización de la abducción– han de ser entendidos *prima facie* como “epítomes de descubrimiento científico”, aunque la idea misma de descubrimiento sea la que allí se examine e incluso se ponga en duda. Trabajaremos sobre tres episodios históricos que, en los libros de texto de ciencias naturales, son casi invariablemente presentados como descubrimientos “puros y duros” –como se dijo, los del radio, el núcleo y Neptuno. Nuestra hipótesis es que todos estos “hitos” científicos fueron posibles gracias a procesos altamente abductivos (hipotéticos).

Los dos esquemas que mejor han trabajado la lógica de la abducción han sido el AKM, de carácter explicativo, y el GW, de carácter no explicativo (sus nombres corresponden a las iniciales de los apellidos de autores señeros en su elaboración). Es interesante notar que el problema del explicacionismo en la abducción es eco del debate sobre el papel fundamental que se ha de atribuir a las hipótesis científicas. La visión explicacionista clásica suele demandar un tipo de comprobación o refutación de las proposiciones que se pretende “expliquen” genuinamente una situación. Pero esta demanda no encaja con las funciones de la abducción, porque en la generación y selección de hipótesis operan unos factores diferentes a lo que funcionan en los procesos epistémicos clásicos, enfocados habitualmente a la adquisición de conocimiento en su versión más fuerte. Estos factores “divergentes” se dividen entre facilitadores y constrictores (Vallverdú y Sans Pinillos, 2022): mecanismos lógicos y cognitivos que representan tensión entre aspectos psicocognitivos y socioculturales en la definición de los márgenes de nuestra comprensión *productiva* de la realidad.

Uno de los problemas principales para caracterizar la dimensión epistemológica de la abducción se relaciona al papel de la hipótesis abducida en la metodología clásica. Siguiendo la propuesta de Kapitan, vemos que hay un problema para conciliar la tesis de autonomía con la de comprensión: no queda claro cómo un resultado abducido puede tener valor epistémico fuerte para un sistema general de conocimiento sin dejar de ser una hipótesis. Por ejemplo, el esquema AKM postula una forma especial de explicación abductiva a la que se denomina “tentativa” (Aliseda, 2006, p. 36-37).

El objetivo principal de esta maniobra es permitir que la abducción asuma potencia explicativa en un sistema clásico sin que reclame una comprobación; una proposición abducida, aunque provisional, es una explicación de pleno derecho, puesto que cumple el requisito de argumento débil o conjetural de Peirce. La explicación tentativa parece implicar algún tipo de conocimiento importante para las ciencias naturales, y nuestro modelo de *modo de pensamiento científico* (Adúriz-Bravo, 2015) permite no perder la autonomía de la abducción a pesar de su tentatividad.

El esquema GW, por su parte, defiende la idea de que, aunque una hipótesis abductiva sea meramente provisional, la implementación del producto abducido supone puestas a prueba (inductivas) que la fortalecen (Gabbay y Woods, 2005). La motivación de caracterizar de esta manera el proceso reside en mantener la propiedad de *preservación de la ignorancia*: la abducción no proporciona conocimiento en el sentido clásico porque sus resultados no eliminan el estado de ignorancia, sino que solamente lo mitigan (Gabbay y Woods, 2005, pp. 42-44). La abducción participa de la producción de proposiciones explicativas más clásicas en la fase en que genera una hipótesis “conjeturada” para dar cuenta de un problema (cf., Woods, 2013; Magnani, 2015).

Una perspectiva para redefinir la situación de este debate es la introducción de un análisis contextual de la abducción, aquí vehiculizado en el estudio de narrativas históricas. Tal modelo nos permite concebir cuestiones como la preservación de la ignorancia o el explicacionismo tentativo como dependientes de factores pragmáticos. Las condiciones “de mínimas” que se pueden reconocer en un razonamiento abductivo han de aparecer en todos nuestros epítomes de descubrimiento científico, pero en cada uno de ellos habrá especificidades. La abducción, en tanto que forma de razonamiento fuertemente *contextual*, tiene un componente adaptativo a las circunstancias que la desencadenan y por tanto está sujeta a la forma definida de los consreñimientos de cada caso histórico.

Abducción y descubrimiento en la formación del profesorado de ciencias naturales

La abducción representa un mecanismo ideal para modelizar, dentro de la educación científica, cómo la ciencia explica. A su vez, es una herramienta para afrontar la “paradoja del aprendizaje”, a saber, que “se da forma a nuevo y mejor conocimiento a partir de conocimientos previos menos complejos” (Prawat, 1996, p. 47, la traducción es nuestra). El proceso de enseñar obliga a concretizar en hechos particulares cuestiones generales y, del mismo modo, necesita de poder generalizar hechos particulares, analogándolos a otros para hacerlos más comprensibles. En nuestra reconstrucción, ello supone explicaciones basadas en modelos que son de naturaleza abductiva.

Tal como se ha ido señalado más arriba, una estrategia habitual en la enseñanza de las ciencias naturales es exponer sus grandes desarrollos teóricos entendiéndolos como “triumfos”. Los hechos históricos que se van contando suelen relacionarse con otros similares enfatizándose un supuesto parecido de familia fuerte que permite englobarlos bajo la categoría de “descubrimientos”. La didáctica de las ciencias naturales nos permite trascender esta estrategia para presentar una ciencia escolar epistemológicamente fundamentada y *dirigida a la formación de ciudadanía*.

Enseñar ciencias implica asumir una meta-argumentación sobre qué *naturaleza de la ciencia* se enseña; el marco pragmatista ofrece una perspectiva humanista, esto es, abierta e inclusiva, que se manifiesta en las bases de su epistemología. Históricamente, bajo el epíteto de “humanismo” F.C.S. Schiller trata de extender el proyecto pragmático hacia una teorización que sirva realmente a propósitos humanos compartidos. Así, vislumbra el pragmatismo como una alternativa al reduccionismo impuesto por el positivismo y al “inflacionismo” de la metafísica idealista dominante en Alemania (cf., Schiller, 1907). Esta propuesta de Schiller puede entenderse en parte como un paso más en la reinterpretación del pragmatismo de Peirce iniciada desde la investigación de índole psicologista de William James, que intentó contemplar la relación entre la vida interior de las personas y sus percepciones, acciones y discursos (cf., Myers, 1997). Así, para nosotros el pragmatismo *deviene humanista* cuando implica una preocupación por la (re) configuración de las relaciones sociales y se enfoca en cambiar la acción humana para extender y compartir valores positivos para la comunidad.

En este marco de ideas, incorporar la abducción en una educación científica de calidad (y, por tanto, en la formación inicial y continuada del profesorado de ciencias naturales para los distintos niveles educativos), implica abandonar los modelos analíticos y sintacticistas de método científico y poner en duda la reconstrucción escolar de la ciencia basada en la dicotomía deducción-inducción. Nosotros sugerimos que el profesorado de ciencias presente la abducción como un modo de pensamiento “híbrido” para la generación y selección de hipótesis de trabajo; así, abducción, junto con analogía y argumentación, pasarían a ser estrategias potentes para la enseñanza de las ciencias (Clement y Núñez Oviedo, 2003). Con base en esta idea, en este artículo se pretende mostrar cómo la inferencia abductiva puede fungir como modelo adecuado para el descubrimiento científico en el contexto de la profesionalización del profesorado de ciencias (Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo, 2003; Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2009).

El objetivo principal de introducir la abducción de esta manera es aportar un mecanismo de explicación de la producción de conocimiento orientada tanto a la resolución de problemas

como la promulgación de ideas genuinas que permitan la innovación. Este objetivo inicial puede asumirse casi por entero con la concepción peirceana de la abducción como lógica de la investigación. Desde el punto de vista didáctico, uno de los valores más importantes de caracterizar la investigación científica mediante la abducción es que permite incorporar la actividad de continua adaptación a las nuevas circunstancias inherentes de la praxis en toda pesquisa de las ciencias naturales.

Científicos y científicas basan sus explicaciones en la proyección de unos “patrones” a los fenómenos naturales estilizados teóricamente. Las teorías que definen una disciplina científica constituyen modos de estructuración y ordenación de esos patrones dentro de lo que, a la postre, reconocemos como modelos científicos. Un *modelo teórico* (Giere, 1988; Adúriz-Bravo, 2013a), entonces, jamás es un intento de imagen fiel de los fenómenos que componen la realidad; se trata de un objeto abstracto con poder explicativo que se mantiene vivo a través de un lenguaje que permite aplicarlo a los hechos. Si se acepta esta conceptualización, se deriva la consecuencia de que es imposible concebir una metodología de la ciencia afín a lo que en realidad sucede en la investigación científica sin incorporar habilidades sintácticas apoyadas en el razonamiento abductivo, tales como resolver problemas, plantear preguntas que pongan en duda el estado actual de conocimiento, conjeturar para la intervención y proponer líneas de acción que posibiliten el cambio científico.

Introducir filosofía, historia y sociología de la ciencia en los programas de enseñanza de las ciencias naturales desde una perspectiva pluralista y ecléctica -orientada hacia una interacción reflexiva basada en una tolerancia epistemológica hacia posturas rivales- puede contribuir a entender que la ciencia es un proyecto abierto lleno de controversias bien dirigidas gracias a unas *metodologías* (Niaz, 2020), y también a ver que estos procesos tienden a producir representaciones del mundo más fiables que las provistas desde otras plataformas conceptuales. En este proyecto, la abducción tiene un papel predominante, pues permite introducir la forma en que las semejanzas estructurales profundas entre signos, modelos y hechos representados rellenan los huecos teóricos del modelo científico. Sin caer en una banalización de la metodología científica, la propuesta pragmática basada en la introducción de la abducción propone la subsunción de casos disjuntos a una regla subyacente general a partir de un criterio de semejanza o verosimilitud (Niiniluoto, 2014; Park, 2014). Así pues, la explicación abductiva basada en modelos teóricos permite contemplar un conjunto de hipótesis como opciones factibles desde una perspectiva científica estándar que contemple la dimensión práctica de la investigación científica.

Tal como se ha presentado en la introducción, la propuesta del presente artículo es que los relatos usados en clase para presentar los descubrimientos (más correctamente, invenciones, postulaciones, avances teóricos, explicaciones...) de científicos y científicas puedan leerse teóricamente mediante la teorización sobre el razonamiento abductivo. La clase de reconstrucción que se pretende formular hace uso de los relatos de los mismos investigadores implicados y de voces contemporáneas y posteriores a ellos; los relatos se modulan de manera que permiten introducir las nociones epistemológicas que se pretende enseñar. Para tal propósito, el trabajo de la historia de la ciencia es crucial para situar y contextualizar tales relatos. El objetivo principal es ofrecer un marco argumentativo desde el que se vea claramente el proceso abductivo en la ciencia escolar como la subsunción de un fenómeno natural entendido como “caso” bajo un modelo teórico entendido como “regla” (Adúriz-Bravo, 2019), en la línea de la Tabla 1.

La implementación de la abducción como inferencia general en los procesos de investigación científica *basados en pruebas o evidencias* puede ser beneficiosa para el trabajo del profesorado de ciencias. Con este modo de pensamiento, un docente puede generar narraciones como estrategias especialmente fructíferas para establecer analogías entre la actividad científica y otras actividades con las que ella comparte rasgos metodológicos y objetivos similares de resolución de enigmas, rompecabezas, etc. Ejemplos en tal sentido serían el pensamiento del detective, el arqueólogo, el médico y el forense, entre otros muchos, que basan su investigación en patrones abductivos. En todas estas áreas, una colección parsimoniosa de hechos reunidos bajo la dirección de un modelo puede utilizarse como premisa en un proceso de razonamiento lógicamente ampliativo, que asciende a conclusiones generales y abstractas con pretendido poder explicativo de alta abstracción y transversalidad (Adúriz-Bravo, 2015).

En la medida en que un problema de la ciencia se comienza a solucionar, también se inicia un proceso de modelización teórica. El proceso se apoya en patrones de razonamiento abductivo que proveen de *reglas de hipotetización* generales. Profesores y profesoras de ciencias naturales pueden reconstruir descubrimientos científicos famosos, vehiculizados en narrativas, mediante esquemas abductivos sin por ello caer en la falacia de afirmación del consecuente. Introducir la abducción en las clases de ciencias naturales posibilita mostrar que la investigación científica asienta conocimientos a medida que plantea hipótesis que permiten un *avance explicativo*. El razonamiento abductivo aparece así como buen candidato a proveer un modelo de descubrimiento alejado del positivismo y cercano al estudiantado (Adúriz-Bravo y Sans Pinillos, 2022).

Caracterización de las narrativas en los epítomes

Tal como se ha dicho en la introducción, en este artículo se propone trabajar mediante el análisis epistemológico crítico de los casos históricos a través de su narración. Un caso narrado es una herramienta estratégica fundamental para mostrar contenidos metacientíficos que deberían impartirse en las clases de ciencias. En este sentido, la noción de historia que se toma aquí no versa sobre “lo que pasó” en una época particular, sino que ofrece una lectura teórica sobre algunos aspectos de aquello que pasó. No se hace aquí un uso del aparato metodológico de la historia de la ciencia entendida como disciplina; por el contrario, se toma una noción más cercana a “contar” esa producción disciplinaria (Adúriz-Bravo, 2013b, 2015), pero cuidando no caer en usos incorrectos del material histórico.

Las “historias de la ciencia” epitómicas que narran descubrimientos (y, por ende, explicaciones) aterrizan hallazgos de la historia de la ciencia disciplinada mediante la ayuda del resto de las metaciencias. La forma de construir, presentar y trabajar estos casos los convierte en epítomes porque en el proceso de su “narracionalidad” se condensa todo el peso histórico y contextual. Cada caso expuesto pretende servir de ejemplo paradigmático para comprender aspectos centrales de la naturaleza de la ciencia. Las narraciones escolares dan muchas veces más peso a la “historización” del personaje y su caso que a la historicidad más rigurosa (Green, 2009, cap. 1); mediante la transformación del caso histórico en “aventura épica de indagación” se da valor al conjunto de complejidades *situadas* de la praxis científica.

De cara a este propósito de convertir la ciencia en inteligible, las historias policíacas pueden tener un valor incalculable. Siguiendo la clasificación de Mercè Izquierdo-Aymerich, es posible distinguir entre un período de policiales de índole hipotético-deductiva, en la que su máximo

exponente es Sir Arthur I. Conan Doyle, y la racionalidad narrativa contemporánea, con autores como Jo Nesbø y Andrea Camilleri (Izquierdo-Aymerich, 2014). Entre estos dos polos, son importantes las obras de Edgar Allan Poe, W. Wilkie Collins y Agatha Christie como sostenedoras de los razonamientos divergentes como la abducción. Los procesos de investigación que se atribuyen a los detectives en las obras de estos últimos autores nos resultan idóneos para representar los modos de pensamiento que participan en la investigación científica; también añaden elementos retóricos que otorgan interés argumentativo a la narración del caso histórico. Todo ello permite ubicar nuestra idea de descubrimiento dentro de un marco de *averiguación* más apasionante.

Para mostrar el valor de la racionalidad “evidencial” abductiva en la producción de buenas historias de la ciencia para que el profesorado use en sus clases, se proponen a continuación tres unidades didácticas que intentan reconstruir sendos descubrimientos mediante patrones abductivos. La discusión detallada de los distintos aspectos de raciocinio concurrentes en estos episodios permite ir introduciendo material teórico sobre la naturaleza –y por tanto la validez y confiabilidad– de las explicaciones científicas.

Unidad Didáctica 1: Descubrimiento del radio

El “descubrimiento” del radio por Maria Salomea Skłodowska-Curie se puede repensar, desde nuestro marco teórico, como la proposición de una hipótesis abductiva para dar solución al enigma planteado por el hecho empírico de que la radiactividad de la peblenda de Bohemia que ella estaba estudiando era anómala (exagerada e irregular).

Esta primera unidad didáctica propone hacer uso de episodios biográficos de la “vida científica” de Maria/Marie Curie para representar las distintas naturalezas de los conocimientos que posibilitaron el descubrimiento del radio. Se entiende por vida científica la actividad investigadora, guiada y controlada por la metodología científica, pero también se deben tener en cuenta aquellos pensamientos, ideas y conjeturas sobre ese mismo problema aparecidos en el transcurso de otras actividades cotidianas. Al respecto, se han reportado teorías exitosas que comenzaron con una metáfora visual o utilizando una idea tomada de un sueño, una experiencia “extrasensorial” o creencias religiosas, en el transcurso de ocupaciones muy diversas (ver Boden, 2004, cap. 1).

Desde esta perspectiva, se propicia la discusión sobre el uso habitual de las nociones de “descubrir” e “inventar” en un contexto particular de investigación científica muy difundido en los libros de texto. El objetivo principal del debate en clase es exponer la concepción ingenua de realismo que suele sustentar las exposiciones de la ciencia escolar. A modo de nota general, se entiende por realismo ingenuo o inmediato, en contraposición a las múltiples versiones del realismo *crítico* (Gieryn, 1988), la perspectiva epistemológica que asume que nuestro aparato cognoscitivo tiene acceso directo a la realidad y que, por lo tanto, lo que percibimos es lo que es el caso. En la exposición de un caso histórico, esta concepción filosófica no permite contemplar aspectos inherentes a la investigación que son extremadamente sugerentes para enseñar ciencias naturales, tales como, por ejemplo, la carga teórica desde la que científicas y científicos parten en su propósito de representar el mundo al modelizarlo o la inventiva usada para el descubrimiento (invención de instrumentos o técnicas nuevas, hipótesis que rompen o violan principios y teorías asentadas, etc.). El estudiantado (y también el profesorado) asume que los hechos esperan para ser desvelados y que su descubrimiento es casi un tropiezo “bien

calculado” e incluso afortunado. Se trata de usar toda la potencia de las narrativas históricas para desandar tal visión deformada de la ciencia.

Con esto en mente, se propone enriquecer el abordaje de este caso histórico con una gran variedad de materiales que permitan un metadiscurso que, a la postre, dé lugar a una narración que revele datos relevantes sobre el descubrimiento allí involucrado. De este modo, se resalta la figura de Maria a través de su “valentía” al proponer ideas rupturistas en la ciencia y se muestra el papel fundamental de sus hipótesis innovadoras para la observación y la experimentación. Tomando el imaginario detectivesco, la narración puede articularse de tal modo que la protagonista investigue una pregunta científica que tiene el problema de que no puede responderse desde los métodos habitualmente atribuidos a la ciencia (esto es, un lazo hipotético-deductivo de tipo “detectivesco”, habitualmente exagerado en las novelas policíacas). Por lo tanto, la investigación debe conducirse por senderos poco habituales, percibidos como inseguros, que sugieran o indiquen una línea de acción por la que se puedan compilar *evidencias*. Esta vía es la de la hipotetización abductiva.

En el análisis sintacticista clásico, la reconstrucción abductiva del epítome no es posible sin caer en que la científica utilizó una inferencia inválida o falaz. No obstante, esta circunstancia queda anulada desde la dimensión de la narrativa, en la que los elementos contextuales permiten situar el surgimiento de la hipótesis, dibujando un escenario donde la abducción es totalmente expectable. Para tal propósito, aparte de material historiográfico, se pueden tomar también fragmentos de filmes y novelas para dotar a la narración del aire de “gesta” necesario para que el remanido descubrimiento del radio pueda ser presentado como epítome de pensamiento científico riguroso. Sobre el material histórico, se aplica una versión “generalizada” de la fórmula de las habas presentada más arriba (Tabla 1) para introducir la abducción:

1. Se observa el hecho sorprendente C.
2. Si la hipótesis A fuera correcta, entonces C sería el caso.
3. Ergo, resulta plausible considerar que A es correcta.

Con este silogismo à la Peirce es posible representar el descubrimiento del radio como una auténtica *invención*, de la siguiente manera:

1. Se observa el hecho sorprendente de que la peblendita resulta más activa que su propio peso en óxido de uranio.
2. Pero si la hipótesis de que existe un nuevo radiometal sumamente activo en forma de trazas en la peblendita fuese correcta, sería el caso que esta resultaría más activa que su propio peso en óxido de uranio.
3. Ergo, hay buenas razones para inventar (proponer) que existe un nuevo radiometal sumamente activo en forma de trazas en la peblendita (cf. Adúriz-Bravo, 2013b, 2015).

Esta reconstrucción abductiva nos parece suficientemente fiel al discurso contenido en muchas fuentes primarias disponibles:

Quedé sorprendida por el hecho de que la actividad de los compuestos de uranio [...] parece ser una propiedad atómica del elemento [...]. Tal actividad no es destruida por cambios de estado físicos ni por transformaciones químicas.

Medí la actividad de un número de minerales; todos los que resultan radiactivos siempre contienen uranio o torio. Pero noté un hecho inesperado: ciertos minerales (pecblenda, calcolita, autunita) tenían una actividad mayor de la que se esperaría con base en su contenido de uranio o torio. Así, ciertas pecblendas que contenían un 75% de óxido de uranio eran cuatro veces más activas que ese óxido [...]. Esto entraba en conflicto con ciertas visiones que sostenían que ningún mineral debería ser más radiactivo que el uranio metálico [...].

Entonces pensé que la mayor actividad de los minerales naturales podía estar determinada por la presencia de una pequeña cantidad de un material altamente radiactivo, diferente del uranio, el torio y los demás elementos conocidos en el presente. (M. Curie, 1966; la traducción es nuestra)

Esta fuente primaria usada podría complementarse con secundarias como, por ejemplo, la biografía "hagiográfica" que la hija de Curie hizo de su madre, contrastada con otras biografías existentes (e.g., Sánchez Ron, 2000). El uso conjunto de estos materiales permite diversas actividades didácticas, tales como analizar críticamente la imagen del científico individual y situarlo en su contexto sociocultural, lo que es beneficioso para entender el papel que juegan las expectativas, valores y conocimientos tácitos en el desarrollo creativo de la investigación científica (cf., Feyrerabend, 1987).

La narrativa que hemos diseñado para trabajar con el profesorado de ciencias ofrece una explicación epistémica y sociocultural de los estudios sobre el radio, desde la postulación de su existencia (Curie y Curie, 1898) hasta su obtención en estado relativamente puro, más de una década después (Adúriz-Bravo, 2013b, 2015). Se trata de pensar en clave abductiva un episodio históricamente significativo, con variadas implicancias sociocientíficas y educativamente valioso. Además, esta primera unidad sobre descubrimiento resulta más importante a causa de la figura de Maria Sklodowska-Curie, pues representa un epítome infrecuente, al ser incluso hoy en día pocas las mujeres que reciben el completo reconocimiento que merecen por los méritos de sus investigaciones.

Unidad Didáctica 2: Descubrimiento del núcleo

El episodio histórico en torno al momento en el cual se dice que Rutherford "descubre" el núcleo atómico es reconstruido por nosotros a partir de fuentes históricas y consideraciones filosóficas y sociológicas. La literatura especializada de distintas disciplinas muestra que los datos de los famosos experimentos de dispersión no solamente no condujeron a conclusiones sin ningún tipo de ambigüedad teórica, sino que también existían al momento de su ejecución diferentes maneras robustas de interpretar los datos disponibles (Niaz, 2009). Por lo tanto, una narrativa que dé cuenta de estas circunstancias es, por un lado, mucho más respetuosa con los datos historiográficos (acorde con la "realidad fáctica" modelizada) y, por otro, un buen punto de partida para enseñar a las y los estudiantes contenidos importantes de investigación científica y sobre la naturaleza de la ciencia (Adúriz-Bravo, 2015). Al respecto, la unidad didáctica se propone señalar los aspectos abductivos de las hipótesis que condujeron a Rutherford a un modelo "planetario" del átomo.

La reconstrucción habitual del hallazgo de Rutherford en los libros de texto hace hincapié en al menos cuatro aspectos canónicos: (1) el núcleo atómico se descubre (2) gracias a unos resultados inesperados de unos experimentos llevados a cabo por Geiger y Marsden (3) que

contradican el modelo de Thomson. Y, por lo tanto, (4) Rutherford demuestra que las dispersiones de ángulo grande se deben a un pequeño núcleo cargado positivamente y situado en el centro del átomo, de lo cual se deduce que la mayor parte del este es espacio vacío.

Sin embargo, el trabajo con fuentes históricas primarias y secundarias miradas desde la filosofía de la ciencia nos lleva a derrumbar rápidamente estos cuatro “hechos”. La propuesta es construir una narración con elementos metacientíficos fuertes, de manera tal que sea posible considerar información relevante habitualmente ignorada a causa del modelo clásico con el que se concibe el descubrimiento científico. Por ejemplo, tal como explica el mismo Rutherford, los experimentos de Geiger y Marsden no eran los únicos intentos de investigar la estructura de la materia mediante el bombardeo de partículas alfa (¡y beta!). Es sabido que, por lo menos desde 1908, James A. Crowther realizaba intervenciones similares, y que Thomson utilizaba su modelo del “pudín de pasas” para explicar satisfactoriamente los resultados (Rutherford, 1911, p. 669).

Esta información es fundamental para entender el proceso de indagación, pues muestra que tanto la puesta en duda de la base de conocimiento de la época utilizado en la modelización de la dispersión de Thomson (dispersión compuesta, debida a múltiples rebotes) como el intento de ajustar mejor los juegos de datos que se iban obteniendo al refinarse progresivamente los experimentos (probabilidades de dispersión para cada ángulo) constituyen las evidencias que llevan a Rutherford a abducir (*suponer*) la idea de la existencia de una divergencia de carga:

La teoría de Sir J. J. Thomson [...] no admite una deflexión grande de la partícula alfa atravesando un único átomo, a menos que se suponga que el diámetro de la esfera de electricidad positiva es diminuta comparada con el diámetro de influencia del átomo. (Rutherford, 1911, p. 670)

Otro dato importante es que Rutherford considera su hipótesis abducida la mejor línea de investigador a seguir (así, está *proponiendo*), dado que él encuentra que está mejor ajustada a la realidad que otros intentos acompañados de más piruetas formales (cf., Eve, 2013[1939], p. 195). Asimismo, tenemos también a nuestra disposición el testimonio posterior de Hans Geiger, que permite ver cómo la postulación del modelo se vuelve sobre los experimentos, requiriendo refinarlos a la luz de la nueva idea para encontrar mejores ajustes (cf., Eve, 2013[1939], p. 198). Finalmente, es bien sabido que la propuesta original del artículo de Rutherford de 1911 tiene un fuerte carácter hipotético; en ella todavía no hay un uso de la palabra “núcleo” y se oscila entre la interpretación del centro de carga como positivo o negativo (cf., Dahl, 1997).

Así pues, se ve que la narración que se acaba de ofrecer tiene mucho más valor didáctico y permite reinterpretar críticamente los cuatro hechos de la versión basada en el modelo hipotético-deductivo clásico de la ciencia: ahora, (1) el núcleo atómico se *inventa* como hipótesis candidata (por ser más parsimoniosa, precisa, elegante, fructífera, etc.) para salvar la acumulación de resultados de experimentos de dispersión. (2) Esta hipótesis está compitiendo contra otras opciones que, como aquella, intentan construir evidencias en su favor. En este sentido, (3) el modelo de Thomson ajusta hasta cierto punto los resultados de los experimentos, por lo menos hasta tanto no se rediseñan los montajes experimentales con la intención de “poner de relieve” la hipótesis de Rutherford. Y, por lo tanto, (4) el análisis matemático de la dispersión no demuestra la presencia de un núcleo, solo la *indica* (en términos peirceanos).

Esto es así porque la relación entre ambos aspectos de la investigación no puede ser

deductiva a causa de la “infradeterminación de la teoría por la evidencia empírica”. Por el contrario, tal relación es más bien abductiva porque, tal como en el caso anterior, se inventa la idea del núcleo como hipótesis plausible que, al poder dar cuenta de los hechos, señala una línea de investigación fructífera. El hecho final de que la idea vaya imponiéndose a sus rivales gracias a su valor epistémico y a factores de contexto conforma la parte de verificación que transforma la hipótesis abducida en inferencia (inductiva) a la mejor explicación (Adúriz-Bravo y Sans Pinillos, 2022).

Unidad Didáctica 3: Descubrimiento de Neptuno

En esta tercera y última unidad didáctica quiere mostrarse cómo el papel de la lógica abductiva entendida como estructura subyacente a una investigación puede aportar a la creación de una narrativa didáctica que permita introducir la dimensión del descubrimiento en clases sobre metodología científica. Para trabajar este epítome, tenemos que convenir en que el “descubrimiento” del planeta Neptuno no se redujo a la primera observación astronómica que lo reconoció como un cuerpo nuevo y distinto de los ya conocidos. La razón de ello reside en la complejidad del objeto de estudio, tanto por las matemáticas necesarias para describir el problema de mecánica celeste que se presentaba, como por la intrincada contextualización histórica y social del escenario. Por lo tanto, se usa una reconstrucción lógica del posible razonamiento hipotético que condujo al llamado descubrimiento de Neptuno para dar solidez a las fuentes históricas disponibles.

El hecho problemático que detectó Urbain Jean Joseph Le Verrier fue una irregularidad en el comportamiento “newtoniano” del planeta Urano. La concepción de este hecho como anomalía procede por dos vías distintas, a saber: la primera, la observación por vez primera de un comportamiento inesperado como aquel, y la segunda, que la investigación se regía sobre el modelo científico vigente en tiempos de Le Verrier, que consideraba la física newtoniana como la expresión del orden inmutable, eterno, perfecto y armonioso del Universo. Estos factores dan forma a la carga teórica desde la que partió Le Verrier y permiten comprender de qué modo surgieron y se manejaron distintas hipótesis para explicar el fenómeno anómalo.

Asimismo, sirven para entender que las razones que llevaron al científico a la hipótesis correcta de que “allí había un planeta” pueden ser erróneas desde un punto de vista actual (la antes mencionada inmutabilidad de la realidad es un posible ejemplo). No obstante, el dato más interesante de este caso es que se considere a Le Verrier el descubridor de Neptuno y no a quienes lo observaron en 1846, Heinrich Louis d’Arrest y Johann Gottfried Galle (Grosser, 1979, p. 117). La razón de ello es que el descubrimiento de Le Verrier hizo *funcionar* la física en un nuevo caso resuelto: aunque el planeta no había sido “descubierto” ópticamente, su suposición lograba que el modelo científico vigente siguiera explicando ese caso.

Para la reconstrucción lógica del posible razonamiento hipotético que utilizó Le Verrier, se vuelve al silogismo abductivo explicado en la Tabla 1, añadiéndole elementos propuestos por Paul Thagard (1988, pp. 56-58) en su reconstrucción racional del epítome histórico:

1. Se observa el hecho sorprendente C: “perturbación de Urano”.
2. Si la hipótesis A, “si hay dos planetas cercanos entre sí, se causarán perturbaciones”, es correcta, entonces C sería el caso.

3. Por lo tanto, es plausible considerar la idea “hay un nuevo planeta”.

Este razonamiento supone dos conjeturas, a saber, (1) “debe de existir un planeta desconocido” y (2) “el planeta desconocido ha de estar cerca de Urano” (cf., Sans Pinillos, 2017, p. 86), productos de una inferencia claramente abductiva. La explicación propuesta para dar cuenta del fenómeno discrepante está fuertemente fundamentada en una hipótesis que no se articula a partir de datos observables o inferidos de experiencias pasadas, sino que *se proyecta* (tal como explicaremos más abajo) en una línea de acción hacia la incertidumbre. En este sentido, el planeta abducido rellena el hueco entre los datos observados (el comportamiento anómalo de Urano) y la teoría newtoniana.

En una segunda fase, la hipótesis abducida es contrastada con el objeto que la ha desencadenado, a saber, el comportamiento anómalo de Urano. En este punto de la historia hay que señalar dos suposiciones importantísimas para el desarrollo de la investigación: resulta necesario (1) considerar un tamaño medio de órbita para el planeta desconocido, con cálculos de distancias al Sol y a Urano y (2) *construir* que este nuevo planeta desconocido tiene una órbita con una excentricidad y una planaridad determinadas (cf. Sans Pinillos, 2017, p. 87). Ambos supuestos fueron cruciales para la producción de una hipótesis que lograra conciliar la teoría con los datos observables; se debió estudiar la naturaleza, intensidad y duración de la perturbación para formular ecuaciones que relacionaran las fuerzas inferidas con la posición y masa del planeta “abducido”. La resolución matemática de dichas ecuaciones “demuestra” numéricamente que hay un planeta -lo “descubre”.

Estos pasos pueden representarse lógicamente para mostrar cómo una demostración teórica puede servir como hipótesis abductiva para apantallar una anomalía experimental. La teorización de la observación comienza por asumir como “dato”, en el seno de la teoría newtoniana aceptada, que cualquier planeta (o) posee una determinada propiedad F en un “sistema solar”. Para este caso, la propiedad de “perturbar las órbitas de otros planetas”: (F(o) verdad). Ello desencadena una hipótesis: la propiedad de un supuesto nuevo planeta (y), que está en estrecha relación mecánica R con Urano (x), de causar perturbaciones F sobre este último: si (R(x, y) verdad) entonces (F(y) verdad). (Se interpreta que si Urano está en esta clase de relación con el planeta incógnito, entonces este le causará perturbaciones de un determinado tipo e intensidad.)

En este epítome, *explicar* satisfactoriamente significa considerar verdadero que hay otro planeta (hasta ahora no visto) en relación R con Urano; se habla así de la existencia del nuevo planeta como *verdad proyectada*. El valor de verdad proyectada de esta hipótesis es abductivo porque su contenido indica una línea de investigación plausible a futuro, cuya promulgación solamente puede ser tentativa (Sans Pinillos, 2017, p. 88).

La narrativa nos sirve para mostrar que, en algunas ocasiones, la posibilidad de conciliar los datos observados con la teoría (que incluye la proposición de una supuesta estabilidad de las leyes de la naturaleza) pesa lo suficiente como para que algo se considere “descubierto” (y aquí aparece un paralelismo fuerte con los dos casos anteriores). En esta tercera unidad, la hipótesis de trabajo abducida permitió considerar como altamente plausibles las dos conjeturas iniciales en torno a que (1) “allí” había un planeta no visto y que (2) “allí” era más allá de Urano. Se entiende que estas dos hipótesis son verdades proyectadas porque su consideración teórica llegó a solucionar satisfactoriamente los problemas observacionales, hecho que le valió a Le Verrier el título de descubridor del planeta Neptuno y a los observadores del planeta en el lugar preciso donde se había calculado como meros “constatadores”.

Consideraciones finales

En las tres unidades didácticas presentadas en este artículo se pone en evidencia el hecho bien conocido de que la expresión “historia de la ciencia” es multívoca; esa multivocidad debería ser examinada con cierto cuidado con el profesorado de ciencias de cara a una fructífera incorporación de materiales históricos a la educación científica. En primer lugar, aparece la historia de la ciencia como lo que efectivamente “pasó” en la empresa científica a lo largo del tiempo; eso que pasó va dejando testimonios y documentación (fuentes primarias) que se pueden usar en el aula. En segundo lugar, diversos actores (los propios científicos, divulgadores, escritores de ficción, periodistas, el profesorado, etc.) narran “historias” de la ciencia; tales historias tienen distinto valor didáctico y, además, deben ser vigiladas en términos de qué tipo de *imagen de ciencia* proponen. Por último, se entiende también la historia de la ciencia como una disciplina académica consolidada que proporciona materiales valiosos para la enseñanza de las ciencias: desde la producción historiográfica más dura hasta divulgación de buena calidad. Tales materiales son el acervo “en bruto” para la construcción de nuestras narrativas.

En el debate en torno a la abducción que proponemos instalar con el profesorado de ciencias naturales (Sans Pinillos y Adúriz-Bravo, 2021), nuestro punto de partida es que la lógica interna del razonamiento en el contexto de justificación del conocimiento científico se ha examinado habitualmente desde una perspectiva demasiado estrecha, basándose principalmente en el uso de patrones deductivos e inductivos. Así, nuestro objetivo con los episodios reconstruidos como epítomes es introducir a los profesores de ciencias en la comprensión de los procesos de modelización tal y como son conceptualizados en algunas filosofías contemporáneas de la ciencia que pueden caracterizarse como representacionales, semánticas, basadas en modelos teóricos y en interfaz con la ciencia cognitiva (Adúriz-Bravo, 2013a; Adúriz-Bravo y González-Galli 2022; Oh, 2022). En estas filosofías, la abducción es vista como un dispositivo inferencial que se considera importante para una buena comprensión del funcionamiento de la ciencia; aquí hemos ampliado esta idea a una reconstrucción teórica de las narrativas históricas.

Referencias bibliográficas

- ADÚRIZ-BRAVO, A. A semantic view of scientific models for science education. *Science & Education*, v. 22, n. 7, p. 1593-1612, 2013a.
- ADÚRIZ-BRAVO, A. La historia de la ciencia en la enseñanza de la naturaleza de la ciencia: Maria Skłodowska-Curie y la radiactividad. *Educació Química*, n. 16, p. 10-16, 2013b.
- ADÚRIZ-BRAVO, A. Modos de racionalidad en la historia de la ciencia. En: GRAPÍ VILUMARA, P., MASSA ESTEVE, M. R. (Orgs.). *Actes de la XIII Jornada sobre la Història de la Ciència i l'Ensenyament*. Barcelona: SCHCT-IEC, p. 9-15, 2015.
- ADÚRIZ-BRAVO, A., GONZÁLEZ-GALLI, L. Darwin's ideas as epitomes of abductive reasoning in the teaching of school scientific explanation and argumentation. En: MAGNANI, L. (Org.). *Handbook of abductive cognition*. Cham: Springer, 2022.
- ADÚRIZ-BRAVO, A., IZQUIERDO-AYMERICH, M. A research-informed instructional unit to teach the nature of science

- to pre-service science teachers. *Science & Education*, v. 18, n. 9, p. 1177-1192, 2009.
- ADÚRIZ-BRAVO, A., SANS PINILLOS, A. Abduction as a mode of inference in science education. *Science & Education*, online first, 2022.
- BUTTERFIELD, H. *The whig interpretation of history*. New York: The Norton Library, 1965.
- ALISEDA, A. *Abductive reasoning: Logical investigations into discovery and explanation*. Dordrecht: Springer, 2006.
- APEL, K.-O.. *Der Denkweg von Charles S. Peirce: Eine Einführung in den amerikanischen Pragmatismus*. Berlín: Suhrkamp Verlag, 2016.
- ARISTÓTELES. *Analytica priora et posteriora*. Traducción de W. D. Ross. Oxford: Oxford University Press, 1957.
- BÄCKSTRÖM, S. What is it to depsychologize psychology? *European Journal of Philosophy*, 25, p. 358-375, 2017.
- BODEN, M. *The creative mind: Myths and mechanisms*. Londres: Routledge, 2004.
- CHALMERS, A. *What is this thing called science?* Queensland: University of Queensland Press, 2013.
- CLEMENT, J., NÚÑEZ OVIEDO, M.C. Abduction and analogy in scientific model construction. Paper presented at the *National Association for Research in Science Teaching Conference*, Philadelphia, 2003.
- DAHL, P. F. *Flash of the cathode rays: A history of J.J. Thomson's electron*. Bristol: Institute of Physics Publishing, 1997.
- ESTANY, A. The thesis of theory-laden observation in the light of cognitive psychology. *Philosophy of Science*, v. 68, n. 2, p. 203-217, 2001.
- ESTANY, A., HERRERA, R.M. *Innovación en el saber teórico y práctico*. Londres: College Publications, 2016.
- EVE, A. S. *Rutherford: Being the life and letters of the Rt Hon. Lord Rutherford, O.M.* Cambridge: Cambridge University Press, 2013.
- FANN, K. T. *Peirce's theory of abduction*. La Haya: Martinus Nijhoff, 1970.
- FERNDÁDEZ BUEY, F. *La ilusión del método: Ideas para un racionalismo bien temperado*. Barcelona: Crítica, 2004.
- FEYERABEND, P. K. *Cómo ser un buen empirista*. Traducción de Diego Ribes y María Rosario de Madaria. Valencia: Artes Gráficas Soler, 1976.
- FEYERABEND, P. K. Creativity: A dangerous myth. *Critical Inquiry*, 13(4), 1987, p. 700-711.
- FEYERABEND, P. K. *Against method*. Londres: Verso, 2010.
- FREGE, G. The thought: A logical inquiry. *Mind*, v. 65, n. 259, p. 289-311, 1956.
- GABBAY, M., WOODS, J. *A practical logic of cognitive systems: The reach of abduction: Insight and trial*. Amsterdam: Elsevier, 2005.
- GIERE, R. *Explaining science: A cognitive approach*. Chicago: The University of Chicago Press, 1988.
- GROSSER, M. *The discovery of Neptune*. Nueva York: Dover Publications Inc., 1979.
- HANSON, N. R. *Patterns of discovery*. Cambridge: Cambridge University Press, 1972.
- HARMAN, G. The inference to the best explanation. *Philosophical Review*, v. 74, n. 1, p. 88-95, 1965.
- HESSE, M. *Science and the human imagination: Aspects of the history and logic of physical science*. Londres: SCM Press, 1954.
- HESSE, M. *Models and analogies in science*. Notre Dame: Notre Dame University Press, 1966.
- IZQUIERDO-AYMERICH, M. Pasado y presente de la química: Su función didáctica. En: MERINO, C., ARELLANO, M., ADÚRIZ-BRAVO, A. (Orgs.). *Avances en didáctica de la química: Modelos y lenguajes*. Valparaíso: Ediciones Universitarias de Valparaíso, 2014. p. 13-36.
- IZQUIERDO-AYMERICH, M., ADÚRIZ-BRAVO, A. Epistemological foundations of school science. *Science & Education*, v. 12, n. 1, p. 27-43, 2003.

- KAPITAN, T. Peirce and the structure of abductive inference. En: HOUSER, N., ROBERTS, D. D., EVRA, J. (Orgs.). *Studies in the logic of Charles Sanders Peirce*. Bloomington: Indiana University Press, 1997. p. 477-496.
- KUHN, T. *The structure of scientific revolutions*. Chigaco: Chicago University Press, 1962.
- LAKATOS, I. *The methodology of scientific research programmes: philosophical papers*. Cambridge: Cambridge University Press, 1978.
- LAKATOS, I., MUSGRAVE, A. *Criticism and the growth of knowledge: Proceedings of the International Colloquium in the Philosophy of Science*. Cambridge: Cambridge University Press, 1970.
- LAUDAN, L. Why was the logic of discovery abandoned? En: NICKLES, T. (Org.). *Scientific discovery, logic and rationality*. Amsterdam: Kluwer Academic Publishers, 1980. p. 173-183.
- LENAT, D. D., BROWN, J. S. Why AM and EURISKO appear to work, *Artificial Intelligence*, v. 23, n. 3, p. 269-294, 1984.
- MAGNANI, L. *Philosophy and geometry*. Amsterdam: Kluwer Academic Publishers, 2001.
- MAGNANI, L. *Abductive cognition*. Cham: Springer, 2014.
- MAGNANI, L. The eco-cognitive model of abduction: 'Απαγωγή now: Naturalizing the logic of abduction. *Journal of Applied Logic*, v. 13, p. 285-315, 2015
- MYERS, G. E. Pragmatism and introspective psychology. En: PUTNAM, R. A. (Org.). *The Cambridge companion to William James*. Cambridge: Cambridge University Press, 1997. p. 11-24.
- MORO ABADÍA, Ó. "Presentismo": Historia de un concepto. *Cronos*, 9, p. 149-174, 2006.
- NIAZ, M. *Critical appraisal of physical science as a human enterprise: Dynamics of scientific progress*. Dordrecht: Springer, 2009.
- NIAZ, M. *Feyerabend's epistemological anarchism: How science works and its importance for science education*. Cham: Springer, 2020.
- NIINILUOTO, I. Representation and truthlikeness. *Foundations of Science*, v. 19, n. 4, p. 375-379, 2014.
- OH, P. S. Abduction in Earth science education. En: MAGNANI, L. (Org.). *Handbook of abductive cognition*. Cham: Springer, 2022.
- PARK, W. Misrepresentation in context. *Foundations of Science*, v. 19, n. 4, p. 363-374, 2014.
- PEIRCE, C. S. *Collected papers of Charles Sanders Peirce*. Cambridge: Harvard University Press, 1958.
- PRAWAT, R. S. Dewey, Peirce, and the learning paradox. *American Educational Research Journal*, v. 36, n. 1, p. 47-76, 1999.
- PUTNAM, H. *The collapse of the fact/value dichotomy*. Cambridge: Harvard University Press, 2002.
- REICHENBACH, H. *The rise of scientific philosophy*. Berkeley: University of California Press, 1951.
- ROSSI, P. *I ragni e le formiche: Un'apologia della storia della scienza*. Bologna: Il Mulino, 1986.
- RUTHERFORD, E. The scattering of alpha and beta particles by matter and the structure of the atom. *Philosophical Magazine*, v. 6, n. 21, p. 669-688, 1911.
- SÁNCHEZ RON, J. M. *Marie Curie y su tiempo*. Barcelona: Crítica, 2000.
- SANS PINILLOS, A. Neglected pragmatism: Discussing abduction to dissolve classical dichotomies. *Foundations of Science*, v. 27, p. 1107-1125, 2022.
- SANS PINILLOS, A. El lado epistemológico de las abducciones: La creatividad en las verdades-proyectadas. *Revista Iberoamericana de Argumentación*, 15, p. 77-91, 2017.
- SANS PINILLOS, A., ADÚRIZ-BRAVO, A. Un lugar para el razonamiento abductivo en la formación de profesores de ciencias. *Tecné, Episteme y Didaxis*, número extraordinario, 2021. p. 1825-1830.
- SANS PINILLOS, A., MAGNANI, L. How do we think about the unknown? The self-awareness of ignorance as a tool

Lectura epistemológica de la historia de la ciencia en los “descubrimientos”: explicación y abducción en la enseñanza de las ciencias naturales

for managing the anguish of not knowing. En: ARFINI, S., MAGNANI, L. (Orgs.). *Embodied, extended, ignorant minds*. Synthese Library, vol. 463. Cham: Springer, 2022. p. 191-207.

SCHILLER, F. C. S. *Studies in humanism*. Nueva York: Macmillan and Co., 1907.

SIMON, H. A., VALDÉS-PÉREZ, R. E., SLEEMAN, D. H. Scientific discovery and simplicity of method. *Artificial Intelligence*, 91, p. 177-181, 1997.

SIMON, H. A. Psychology of scientific discovery. Paper presented at the *93rd Annual APA Meeting*, Los Angeles, 1985.

THAGARD, P. *Computational philosophy of science*. Massachusetts: MIT Press, 1988.

VALLVERDÚ, J., SANS PINILLOS, A. The foundations of creativity: Human inquiry explained through the neuro-multimodality of abduction. En: MAGNANI, L. (Org.) *Handbook of abductive cognition*. Cham: Springer, 2022.

WOODS, J. *Errors of reasoning*. Londres: College Publications, 2013.

Recibido en julio de 2022

Aceptado en octubre de 2022