

LA LEY Y EL ORDEN: SOBRE DOS SORPRENDENTES (¡Y EXTENDIDOS!) ERRORES EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS NATURALES

Valeria Edelsztein¹, Claudio Cormick²

¹CEFIEC-UBA/CONICET, CABA, Argentina

²IIF-SADAF/CONICET, CABA, Argentina

valecaroedel@yahoo.com, ccormick@filo.uba.ar

Resumen

No parece especialmente audaz decir que un objetivo de la educación científica es lograr que el estudiantado pueda entender distintos fenómenos del mundo en su mutua relación. Esto equivale, a grandes rasgos, a promover el conocimiento de las *explicaciones* científicas, que suponen recurrir a relaciones regulares entre ciertos fenómenos y que, ciertamente, es diferente del conocimiento de tal o cual tipo de suceso tomado de forma aislada. En este texto, llamaremos la atención sobre dos tendencias contrapuestas que, sin embargo, tienden hacia el resultado común de obstaculizar la realización de tal objetivo. Por un lado, encontramos caracterizaciones de la explicación científica que la asimilan a la *argumentación* y, por tanto, pierden de vista aquello que específicamente hace *explicativas* a las explicaciones; esto es, piden *demasiado poco* de una explicación científica. Por otro lado, aquellas que consideran que casos paradigmáticos de explicación científica –como las que se logran subsumiendo fenómenos como las mareas a las leyes de Newton– no constituyen realmente explicaciones sino meramente descripciones; se trata aquí de pedir *demasiado* de una explicación. Señalaremos, en consecuencia, que una mayor atención a las elaboraciones provistas por la filosofía de la ciencia alrededor de la noción de explicación resulta crucial para servir mejor los propósitos educativos.

Palabras clave: ley científica; explicación; argumentación; epistemología; ciencia escolar

Abstract

It does not seem particularly daring to say that one objective of science education is to enable students to understand different phenomena in the world in their mutual relationship. This is roughly equivalent to promoting knowledge of the scientific explanations, which involve resorting to regular relationships between certain phenomena and which, certainly, is different from knowledge of this or that type of event taken in isolation. In this text, we will draw attention to two opposing tendencies that, however, tend towards the common result of hindering the achievement of such an objective. On the one hand, we find characterizations of scientific explanation that assimilate it to argumentation and, therefore, lose sight of what specifically makes explanations explanatory; that is, they ask too little of a scientific explanation. On the other hand, those that consider paradigmatic cases of scientific explanation –such as those achieved by subsuming phenomena such as tides to Newton's laws– do not really constitute explanations but merely descriptions; it is about asking too much of an explanation here. We will therefore point out that a Greater attention to the elaborations provided by the philosophy of science around the notion of explanation is crucial to better serve educational purposes.

Keywords: scientific law; Explanation; argumentation; epistemology; school science

1. ESQUEMA DE ESTE TRABAJO

- Un objetivo de la enseñanza científica es, como señalaremos en la sección 2, que el estudiantado llegue a conocer los fenómenos de la naturaleza en su conexión mutua. Esto, señalaremos, se solapa con la preocupación por lograr que conozca la *explicación* de ciertos fenómenos a partir de su vinculación con otros fenómenos similares.

- Ahora bien, según argumentaremos, la cuestión de la explicación científica ha recibido en la bibliografía sobre enseñanza de la ciencia dos tratamientos notablemente contrapuestos, pero igualmente problemáticos. *Por un lado*, como veremos en la sección 3, encontramos la tendencia a, por así decirlo, “bajarles el precio” a las explicaciones científicas, reconociendo como presuntamente explicativo a cualquier trozo de lenguaje que responda a las características de un *argumento*.

- Por otro lado, sin embargo –y como veremos en la sección 4–, encontramos una tendencia conducente en la dirección contraria: la de implícitamente *eleva*r los requisitos de una explicación científica, a tal punto que la subsunción bajo leyes como las de Newton o de Mendel no contaría como una *explicación* de fenómenos en física o en biología. Esta tendencia, argumentaremos, no solo no tiene buenas bases epistemológicas, sino que conduce a dejar la noción de explicación científica sin aplicación.

2. ¿QUÉ “COMPRESIÓN” CIENTÍFICA ESPERAMOS DEL ESTUDIANTADO?

En este trabajo, queremos argumentar que una serie de tratamientos del problema de la explicación que encontramos en la literatura sobre enseñanza de las ciencias redundan en perder de vista aspectos de la explicación científica que resultan relevantes desde la perspectiva de ciertos objetivos pedagógicos. Quisiéramos entonces partir de una premisa no demasiado polémica, no muy “cargada”, acerca de estos objetivos. En esta línea, resulta pertinente el pasaje del Diseño Curricular para el segundo ciclo de la Escuela Primaria de la ciudad de Buenos Aires que señala la necesidad de “avanzar en la comprensión de que los hechos y los fenómenos de la naturaleza no ocurren aisladamente. Preguntas tales como ‘¿qué sucede si...?’ o ‘¿qué sucede mientras?’ pueden orientar acerca del tipo de aproximación esperada” (Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2004, p. 193). Estos lineamientos indican, entonces, que es deseable que el estudiantado pueda establecer relaciones del tipo “si... entonces...” y que esta es una forma de no comprender “aisladamente”, sino en su interconexión, una serie de fenómenos de la naturaleza. Veamos algunas consecuencias de este objetivo.

3. “BAJÁNDOLE EL PRECIO” A LA EXPLICACIÓN CIENTÍFICA (O: “EL PRIMER PROBLEMA”)

3.1. Por qué el objetivo pedagógico de comprender *explicaciones* no es reductible al de entender *argumentos*

Antes de entrar en mayores detalles, remarquemos que el requisito de poder ver las conexiones entre fenómenos de la naturaleza implica que *hay* una diferencia pedagógicamente importante entre simplemente constatar que el fuego de una vela se apaga rápidamente tras tapparla con un vaso y el poder relacionar este fenómeno con otros que describen la composición del aire o la naturaleza de la combustión como un proceso químico particular. Incluso si prescindiéramos de *llamar* “explicación” a por lo menos algunos casos de la operación que consiste en esta puesta en relación –en última instancia, lo que nos interesa no son los *nombres* que estipulativamente les pongamos a una cosa, sino qué asociamos a ellos–, lo importante es que se trata de identificar relaciones dentro de la naturaleza. Y esto ya debería bastar –en una de las dos direcciones a las que apunta nuestra crítica– para cuestionar los abordajes que tienden a perder de vista la especificidad de lo que tradicionalmente se ha llamado *explicación* científica dentro de lo que tradicionalmente se ha llamado *argumentación*.

En efecto, señalar –como lo hacen algunos materiales didácticos canónicos en el contexto estadounidense– que la explicación científica se reduce a la tríada de una afirmación, un trozo de evidencia que la sostiene y la explicitación de la forma en que esta última sirve de aval para aquella (College Board, 2009; una asimilación similar puede encontrarse en McNeill & Krajcik, 2007; y, con más matices, en Berland & McNeill, 2012), implica perder de vista que, naturalmente, no siempre que justifiquemos una afirmación –a diferencia de lo que hacemos cuando *explicamos* un fenómeno– estaremos poniendo en juego, al menos de un modo interesante, la relación entre distintos fenómenos de la naturaleza. Nadie pensaría que limitarnos a *justificar* el enunciado “La vela se apagó” –lo cual puede consistir simplemente en decir “lo sé porque *lo vi*”– implica establecer una vinculación con otros fenómenos naturales. Lo que resultó importante para el desarrollo de la química no es que los seres humanos tuviéramos una buena *justificación* para afirmar que las velas se apagan en estas circunstancias, sino que pudiéramos –gracias a contribuciones como las de Lavoisier– vincular este tipo de fenómenos con el de la respiración de los animales, o el del incremento de peso de algunos materiales tras la combustión. Lo cual es, en otras palabras, decir que todos estos fenómenos se *explican* a partir del rol del oxígeno en una serie de reacciones químicas y, más en general, a partir de la ley de la conservación de la materia. La idea puede repetirse:

justificar el enunciado observacional “Marte exhibe, visto desde la Tierra, un movimiento retrógrado”, es

ciertamente muy diferente que *explicar* este movimiento por medio de las leyes de Kepler, las cuales permiten vincular este fenómeno con muchos otros, integrarlo en una visión más amplia sobre el Sistema Solar. Y así sucesivamente¹.

3.2. Un contraejemplo y un análisis en contrario... y por qué no funcionan

Desde ya, es posible presentar ejemplos que –en la dirección contraria del que acabamos de proponer– induzcan a asimilar explicación y argumentación y sugieran, en consecuencia, que describir la primera en términos de la segunda no implica una pérdida. Berland y McNeill (Berland & McNeill, 2012, p. 809) citan la explicación, elaborada por ciertos estudiantes, de por qué algunas aves sobrevivieron a una sequía, señalando que lo lograron *porque* ellas se alimentaban de una de las plantas que, a su vez, habían sobrevivido, mientras que las aves que se alimentaban de otras plantas sucumbieron al evento. El mismo pasaje, señalan las autoras, es una explicación y un argumento, puesto que los estudiantes en cuestión ofrecieron una explicación y *pasaron a justificarla*; no se limitaron a ofrecerla, sino que buscaron apoyarla en evidencias. En cambio, continúan, lo que podría resultar de subrayar la diferencia entre estos dos tipos de tarea sería que el estudiantado *por un lado* construyera explicaciones y *por otro lado* pensara cómo defenderlas, desarticulando así dos tareas que en realidad se integran armónicamente (Berland & McNeill, 2012, p. 810).

Sin embargo, este análisis es engañoso. Del hecho de que, según las autoras, sea deseable que los estudiantes no solo conozcan explicaciones, sino que también puedan formularlas y, al formularlas, puedan *defenderlas* no se sigue, en absoluto, que no se deba distinguir entre una explicación y la clase específica de argumento que puede ofrecerse para defenderla. *Exactamente al contrario*, para poder ofrecer una buena defensa argumental de una explicación, para poder decir que ella es una explicación *satisfactoria*, necesitamos conocer las condiciones que la volverían tal. Decir “esta explicación es buena *porque nos muestra un recorrido causal que desemboca en la supervivencia de las aves*” es una justificación aceptable, pero decir “esta explicación es buena porque a mí me gusta” no lo es. Ofrecer una justificación de la explicación es evidentemente algo distinto de ofrecer la explicación misma; pueden realizarse ambas tareas simultáneamente, pero eso no las vuelve la misma. En todo caso, la situación que hemos descrito hasta este punto es una que recibió atención en la bibliografía especializada (J. F. Osborne & Patterson, 2011; J. Osborne & Patterson, 2012; Brigandt, 2016; Marinho del Corso, 2017). Más problemático es el caso del problema opuesto: el de los textos en los que se eleva tanto la “vara” de lo que contaría como genuina explicación científica que nada, ni siquiera casos paradigmáticos como las leyes de Newton, parece estar a la altura. Pasemos ahora a analizar estos casos.

4. EL PROBLEMA OPUESTO: ELEVANDO LA VARA DE LAS EXPLICACIONES ACEPTABLES

Si en la sección anterior nos enfocamos en las tendencias que despojaban a la noción de explicación de poder discriminativo, puesto que equiparaban las explicaciones con los argumentos –en otras palabras, tendencias a que *demasiado* caiga bajo el concepto de explicación– ahora veremos los textos siguiendo a los cuales, a la inversa, el riesgo es que *nada* caiga bajo ese concepto, y en consecuencia carezcamos de una noción de explicación que sea pedagógicamente utilizable, aplicable.

4.1. Algunos casos en la literatura

Algunas de las definiciones que hemos encontrado en materiales de educación científica o afines son:

- “Una hipótesis *predice* un evento. Una teoría lo *explica*. Una ley lo *describe*” (Tocci & Viehland, 1996, p. 20). Las leyes, pues, no tendrían aparentemente capacidad explicativa, sino únicamente descriptiva.
- “[L]as leyes científicas *describen* el comportamiento (el ‘qué’) de la naturaleza, pero no proporcionan

¹ Trudy Govier, por su parte, defiende la necesidad de distinguir entre explicaciones y argumentos poniendo el énfasis en la especificidad no de aquellas sino de estos últimos: una demanda de *justificar* un enunciado, de dar nuestras razones por las que creemos que es verdadero, ciertamente no es lo mismo que un pedido de *explicar* el fenómeno descrito por el enunciado, o de explicar el hecho mismo de que hayamos llegado a creerlo (Govier, 1987/2018, pp. 265–268). Su distinción entre explicaciones y argumentos es, a su vez, citada aprobatoriamente por Nussbaum et al. (2012, p. 18).

explicaciones" (Hunt, 1996, p. 399; subrayado nuestro).

- "Ley: una generalización *descriptiva* sobre cómo cierto aspecto del mundo natural se comporta bajo circunstancias establecidas" (National Academy of Sciences (U.S.), 1998; subrayado nuestro).
- "[Las leyes son] enunciados sobre una relación entre fenómenos"; "[una teoría] *explica* un cuerpo de hechos y/o las leyes que están basadas en ellos" (Chang & Overby, 2022, p. 4). Si bien aquí no se afirma *explícitamente* que las leyes no explican, se las presenta en contraste con aquello que sí cumpliría ese rol.
- "[U]na ley es *descriptiva*, no *explicativa* y se aplica a un conjunto bien definido de fenómenos, por lo que no puede tomarse como una verdad absoluta" (Mondragón Martínez et al., 2010, p. 11; subrayado nuestro).
- "[Las leyes son] descripciones –a menudo descripciones matemáticas– de fenómenos naturales. Por ejemplo, la ley de la gravedad de Newton, o la ley de la distribución independiente de Mendel". "[La ley de Newton] no explica cómo funciona la gravedad, o qué es. De manera similar, la ley de la distribución independiente de Mendel describe cómo ciertos rasgos son legados desde los padres a la descendencia, no cómo ni por qué esto pasa" (Bradford, 2022. Bradford cita aquí a Peter Copping).

Subrayemos una vez más lo que encontramos aquí: estos textos nos están diciendo que, a menos que las leyes científicas lleguen a ser complementadas por algo más, ellas *no nos sirven para explicar el mundo*. Ninguno de estos materiales, brinda referencias bibliográficas que permitan rastrear el origen o los fundamentos de esta caracterización. En cambio, un notablemente influyente artículo de William McComas (McComas, 1998) –que, al momento de la escritura de este trabajo, había sido citado *813 veces*– sí nos ofrece la posibilidad de reconstruir un camino que habría llevado a presentar las leyes de esta manera. Veamos el pasaje relevante, digno de ser citado *in extenso*:

Las leyes son generalizaciones [...] y las teorías son las explicaciones de esas generalizaciones. Dunbar aborda la distinción [...] llamando a las leyes "ciencia de libro de recetas" [*cookbook science*] y a las explicaciones "ciencia teórica". Llama "de libro de recetas" [al] tipo de ciencia practicado por los pueblos tradicionales, porque aquellos que aplican las reglas luego de observar los patrones en la naturaleza *no comprenden por qué la naturaleza opera del modo en que lo hace. Las reglas funcionan y eso es suficiente.* / Incluso en contextos más sofisticados, se practica [...] la ciencia como libro de recetas. *Por ejemplo, Newton describió la relación de la masa y la distancia con la atracción gravitatoria [...] con tanta precisión que podemos usar la ley de la gravedad para planear viajes espaciales.* [...] El problema [...] con respecto a la gravedad *es la explicación de por qué la ley opera como lo hace.* En este punto, no hay ninguna teoría de la gravedad bien aceptada. Algunos físicos sugieren que las ondas gravitatorias son la explicación correcta [...]. Interesantemente, Newton abordó la distinción entre ley y teoría con respecto a la gravedad. Aunque había descubierto la ley de la gravedad, se abstuvo de especular sobre su causa (McComas, 1998, pp. 54–55. Subrayado nuestro; McComas cita en este punto, entre otros, a Campbell, 1921; y a Dunbar, 1996; McComas vuelve a degradar el rol explicativo de la ley de la gravedad en casi idénticos términos en McComas, 2014, p. 58).

4.2. Sobre propuestas epistemológicas acerca de leyes y explicaciones. Por qué el modelo causal de la explicación científica no avala la degradación de las leyes

Ahora bien, ¿qué motivo podríamos tener para considerar que leyes como las de Newton solo nos proporcionan una ciencia menor, "de libro de recetas"? Disipemos ante todo un posible malentendido: si bien se han formulado, en epistemología, objeciones que *en apariencia* irían en la dirección de esta degradación del poder explicativo de leyes como las de Newton, una mirada desde más cerca nos muestra que este no es el caso. Ante todo, algunas observaciones básicas sobre el tratamiento epistemológico de la explicación.

El llamado *modelo de cobertura legal* de la explicación científica, propuesto por Hempel y Oppenheim (1948), señala que explicar determinado fenómeno es mostrar cómo este fenómeno queda "cubierto" por una ley, es decir, incluido bajo el alcance de ella. De acuerdo con esta propuesta, tal subsunción bajo leyes es *explicativa* de un fenómeno porque tales leyes, en conjunción con ciertos enunciados que describen circunstancias particulares, muestran que el fenómeno en cuestión era *inevitable*, o al menos *muy probable*; muestran "que su ocurrencia era esperable, dadas las leyes especificadas y las circunstancias particulares pertinentes" (Hempel, 1966, p. 50). El hecho de que el radiador de un auto haya reventado queda explicado si consideramos la ley

general que nos dice que el agua, al congelarse, se dilata, e información particular que nos dice que la temperatura del auto disminuyó por debajo del punto de congelación del agua (Hempel, 1965, p. 232). Con esta información, piensa Hempel, el hecho de que el radiador haya reventado deja de ser misterioso, sorprendente; no hay nada más que explicar.

Sin embargo, si bien el modelo hempeliano resultó sumamente influyente en la filosofía de la ciencia, se han formulado objeciones importantes a la idea de que sea *suficiente* mostrar que un fenómeno queda abarcado por una ley general para que esté realmente explicado; según estas objeciones, solo cierto tipo de leyes, las leyes *causales*, harían realmente el trabajo explicativo. Si decimos –como lo hicieron Levin y Levin– que un mástil arroja una sombra de tres pies de largo, cuyo final está a cinco pies del punto más alto del mástil, sabemos, a partir de estos dos datos, más la clase de “ley” que es el teorema de Pitágoras (que equipara la suma de los cuadrados de los catetos con el cuadrado de la hipotenusa), que la altura del mástil es –de hecho, que *seguramente es*– de cuatro pies; sin embargo, no diríamos que quedó explicado *por qué* tiene esa altura (Levin & Levin, 1977, p. 293). Por otra vía, Georg von Wright había argumentado que una “explicación” del tipo “Este ave es negra *porque* es un cuervo, y todos los cuervos son negros” efectivamente encaja en el modelo hempeliano, puesto que, una vez más, a la luz de una ley general sobre la negrura de los cuervos, es esperable que este cuervo particular sea negro también. No obstante, una vez más, ese color no quedaría explicado, y –agrega el autor– no lo está *porque no se nos está hablando sobre las causas* de que los cuervos llegaran a ser negros (von Wright, 1971). En esta línea, el principal modelo alternativo al de Hempel y Oppenheim es el modelo *causal* sobre la explicación científica, defendido por autores como Scriven y Salmon (Scriven, 1975; Salmon, 1978).

Se podría pensar entonces que lo que sustenta observaciones como las de McComas es la preocupación general por la existencia de posibles pseudoexplicaciones que no cuenten una historia causal. Sin embargo, cuando Salmon hace un señalamiento –similar al que McComas ofrece sobre la “ciencia de libro de recetas”– acerca de cómo los marineros podían correlacionar las mareas con las fases de la Luna, sin tener sin embargo la menor noción de los mecanismos causales involucrados, menciona la figura de Newton para señalar, *precisamente en la dirección contraria a McComas*, que Newton *sí* nos proporcionó un mecanismo causal (Salmon, 1978, p. 687); las leyes de Newton, podemos agregar, *explican* de qué forma la Luna, dada su masa y distancia a la Tierra, genera, mediante su atracción gravitatoria, el fenómeno de las mareas. Esto es: lo que el modelo causal de la explicación científica nos dice contra el modelo de cobertura legal es que *no todas* las leyes son explicativas, pero esto es ciertamente *muy distinto* que afirmar que *ninguna* ley es explicativa. De hecho, la distinción entre leyes causales y no-causales es totalmente crucial para el argumento de Salmon, mientras que la tesis que afirma que las leyes son descriptivas y no explicativas no hace en absoluto referencia a esta distinción. En rigor, aquello de lo que *sí* habla el pasaje de McComas que hemos citado es otra cosa. McComas está diciendo que, en ausencia de una explicación *de* la ley de la gravedad, no podemos tener una explicación *gracias a* la ley de la gravedad; esto es, la ley no podría ser *ella misma* explicativa, más allá de la cuestión de si ella es *objeto* de una explicación ulterior. Esto *tiene* que estar mal: que un cierto fenómeno A pueda ser explicado por medio de una ley B es algo totalmente diferente de la cuestión de si esta ley, B, puede a su vez ser explicada por algún elemento teórico adicional C. McComas no da ningún argumento en absoluto para justificar por qué la relación entre A y B no podría ser de explicación en ausencia de una explicación de B. Pero, peor aún, si esta exigencia estuviera justificada, nos enfrentaría a una regresión al infinito, que implicaría, como adelantamos, que *nada* puede contar como una explicación científica y que en consecuencia el concepto simplemente carece de aplicación: si los fenómenos gravitatorios, como las mareas, solo llegan a explicarse en la medida en que la ley de la gravedad esté ella misma explicada por –en su ejemplo– las ondas gravitatorias, ¿por qué detenernos allí? ¿Por qué no preguntarnos cuál es la explicación de que tales ondas existan, y funcionen al modo en que lo hacen?

5. A MODO DE CIERRE

Pasemos en limpio las consecuencias pedagógicas de todo esto.

Por un lado, perder de vista la especificidad de la *explicación* científica, y de los criterios para evaluar explicaciones, bajo el problema general de la *argumentación* en ciencia tiende a socavar el objetivo mismo que

se dice defender. En concreto, no es posible ofrecer buenos argumentos en defensa de explicaciones científicas si se desconocen cuáles son las características que harían aceptables a aquellas.

Por otro lado, la clase específica de distinción entre “descripción” y “explicación” que se seguiría de un criterio como el de McComas no sirve, desde una perspectiva educativa, para distinguir entre dos objetivos que la ciencia puede lograr y que la enseñanza de la ciencia puede reflejar; se convierte, más bien, en una distinción entre una categoría que omite distinciones clave –entre la descripción de fenómenos aislados y su puesta en relación por medio de leyes– y otra que simplemente no puede incluir nada.

En virtud de todo esto, consideramos que sería provechoso, para quienes integramos la comunidad de didactas y educadores, recordar las contribuciones que la filosofía de la ciencia ha hecho a propósito de la cuestión de la explicación científica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abd-El-Khalick, F., Waters, M., & Le, A.-P. (2008). Representations of nature of science in high school chemistry textbooks over the past four decades. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(7), 835–855. <https://doi.org/10.1002/tea.20226>
- Berland, L. K., & McNeill, K. L. (2012). For whom is argument and explanation a necessary distinction? A response to Osborne and Patterson: Is Argument and Explanation a Necessary Distinction? *Science Education*, 96(5), 808–813. <https://doi.org/10.1002/sce.21000>
- Bradford, A. (2022, January 17). *What Is a Law in Science?* Livescience.Com. <https://www.livescience.com/21457-what-is-a-law-in-science-definition-of-scientific-law.html>
- Brigandt, I. (2016). Why the Difference Between Explanation and Argument Matters to Science Education. *Science & Education*, 25(3–4), 251–275. <https://doi.org/10.1007/s11191-016-9826-6>
- Campbell, N. (1921). *What is science?*
- Chang, R., & Overby, J. (2022). *Chemistry* (14th ed.). College Board. (2009). *College Based Science Standards*.
- Dunbar, R. I. M. (Robin I. M. (1996). *The trouble with science*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. (2004). *Diseño Curricular para la Escuela Primaria. Segundo ciclo de la Escuela Primaria/Educación General Básica*. 424.
- Govier, T. (2018). *Problems in Argument Analysis and Evaluation*. University of Windsor. (Original work published 1987)
- Hempel, C. G. (1965). *Aspects of scientific explanation, and other essays in the philosophy of science*. Free Press, Collier-Macmillan.
- Hempel, C. G. (1966). *Philosophy of Natural Science*. Prentice-Hall.
- Hempel, C. G., & Oppenheim, P. (1948). Studies in the Logic of Explanation. *Philosophy of Science*, 15(2), 135–175. <https://doi.org/10.1086/286983>
- Hunt, K. (1996). *Chemcom: Chemistry in the Community* (3rd ed.). Kendall Hunt Pub Co.
- Levin, M. E., & Levin, M. R. (1977). Flagpoles, shadows and deductive explanation. *Philosophical Studies*, 32(3), 293–299. <https://doi.org/10.1007/BF00354140>
- Marinho del Corso, T. (2017). Uma proposta de metodologia para diferenciar argumentos e explicações. *Enseñanza de Las Ciencias, Extra*, 4617–4622.
- McComas, W. F. (1998). The principal elements of the nature of science: Dispelling the myths. In *The nature of science in science education* (pp. 53–70). Springer.
- McComas, W. F. (Ed.). (2014). *The language of science education: An expanded glossary of key terms and concepts in science teaching and learning*. Sense Publishers.
- McNeill, K. L., & Krajcik, J. (2007). Middle school students' use of appropriate and inappropriate evidence in writing scientific explanations. In *Thinking with data* (pp. 233–265). Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Mondragón Martínez, C. H., Peña Gómez, L. Y., Sánchez de Escobar, M., Arbeláez Escalante, F., & González Gutiérrez, D. (2010). *Hipertexto. Química 1*. Santillana.
- National Academy of Sciences (U.S.) (Ed.). (1998). *Teaching about evolution and the nature of science*. National



Academy Press.

- Nussbaum, E. M., Sinatra, G. M., & Owens, M. C. (2012). The Two Faces of Scientific Argumentation: Applications to Global Climate Change. In M. S. Khine (Ed.), *Perspectives on Scientific Argumentation*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-2470-9>
- Osborne, J. F., & Patterson, A. (2011). Scientific argument and explanation: A necessary distinction?: Scientific Argument And Explanation. *Science Education*, 95(4), 627–638. <https://doi.org/10.1002/sce.20438>
- Osborne, J., & Patterson, A. (2012). Authors' response to "For whom is argument and explanation a necessary distinction? A response to Osborne and Patterson" by Berland and McNeill. *Science Education*, 96(5), 814–817. <https://doi.org/10.1002/sce.21034>
- Salmon, W. C. (1978). Why Ask, "Why?"? An Inquiry concerning Scientific Explanation. *Proceedings and Addresses of the American Philosophical Association*, 51(6), 683. <https://doi.org/10.2307/3129654>
- Scriven, M. (1975). *Causation as Explanation*. 15.
- Tocci, S., & Viehland, C. (1996). *Holt chemistry: Visualizing matter*. Austin, [Tex.] : Holt, Rinehart and Winston.
- von Wright, G. H. (1971). *Explanation and Understanding*. Routledge & Kegan Paul.