



La siempre cambiante contextualización de la naturaleza de la ciencia: documentos recientes sobre la reforma de la educación científica en los Estados Unidos y su impacto en el logro de la alfabetización científica*

The ever changing contextualization of nature of science: Recent science education reform documents in the U.S. and its impact on the achievement of scientific literacy

Norman G. Lederman

Mathematics and Science Education Department, Illinois Institute of Technology, Chicago, IL, USA
ledermann@iit.edu

RESUMEN • Diversos autores han manifestado una gran preocupación por la marginalización de la naturaleza de la ciencia (NDC) en los *Next Generation Science Standards* (NGSS). Sin embargo, un análisis conceptual cuidadoso de cómo se trata la NDC en los NGSS, en comparación con los documentos de reforma curricular previos en los Estados Unidos, revela una situación compleja de cómo se contextualiza la NDC y de las suposiciones correspondientes a cómo esta se enseña y aprende mejor. Una perspectiva histórica de cómo surge la NDC como un componente educativo importante se provee antes de discutir el rol de la NDC en los NGSS y en documentos de reforma previos.

PALABRAS CLAVE: naturaleza de la ciencia; alfabetización científica; reforma; estándares en educación en ciencias; educación en ciencias.

ABSTRACT • Many have expressed concerns over the marginalization of nature of science (NOS) in the *Next Generation Science Standards* (NGSS). However, a careful conceptual analysis of how the NGSS addresses NOS relative to previous U.S. reform documents reveals a complex situation related to how NOS is contextualized and apparent assumptions about how NOS is best taught and learned. A historical perspective of the emergence of NOS as an important educational outcome is provided before discussing the role of NOS in the NGSS and in previous reform documents.

KEYWORDS: nature of science; scientific literacy; reform; science education standards; science education.

Recepción: abril 2018 • Aceptación: mayo 2018 • Publicación: junio 2018

* El contenido del artículo coincide con la conferencia de clausura titulada *The Increasing Importance of Nurturing Scientific Literacy in a Changing Global Community* presentada por el Dr. Norman G. Lederman en la 10.ª edición del Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias que tuvo lugar en Sevilla en septiembre de 2017.

LAS RAÍCES DE LA NATURALEZA DE LA CIENCIA COMO COMPONENTE CURRICULAR CLAVE EN LA EDUCACIÓN EN CIENCIAS

Aunque la conceptualización de la naturaleza de la ciencia (NDC) se discutió por primera vez en 1907 (Central Association of Science and Mathematics Teachers, 1909), la investigación sobre la comprensión de la NDC no se llevó a cabo en serio hasta finales de la década de 1950 (Mead y Metraux, 1957). Posteriormente, la investigación sobre NDC se incrementó exponencialmente desde la década de 1960 hasta el presente, siguiendo el trabajo seminal de Cooley y Klopfer (1963). No hay necesidad de examinar la plétora de investigación relacionada con la comprensión de la NDC que poseen profesores y estudiantes, dado el propósito del presente artículo. Sin embargo, para quienes estén interesados en ello pueden encontrar revisiones exhaustivas en Abd-El-Khalick y Lederman (2000), Lederman (2007) y Lederman y Lederman (2014).

Durante más de 100 años, la comprensión de la NDC ha sido considerada como un objetivo educativo importante para los estudiantes de ciencias. Si bien, no fue hasta el trabajo de Showalter (1974) cuando la NDC se galvanizó como un concepto importante dentro del marco general de alfabetización científica. Es cierto que la expresión *alfabetización científica* había sido discutida por muchos otros investigadores antes de Showalter (Dewey, 1916; Hurd, 1958; National Education Association, 1918, 1920; National Society for the Study of Education, 1960, entre otros); pero el trabajo de Showalter fue el que delineó claramente las dimensiones de la alfabetización científica de una manera que podría traducirse fácilmente en objetivos para los currículos de ciencias. El marco de Showalter consistió en los siete componentes siguientes:

- *Naturaleza de la ciencia.* La persona alfabetizada científicamente comprende la naturaleza del conocimiento científico.
- *Conceptos en ciencia.* La persona alfabetizada científicamente utiliza acertadamente y aplica apropiadamente conceptos científicos, principios, leyes y teorías para interactuar con su entorno.
- *Procesos de la ciencia.* La persona alfabetizada científicamente utiliza los procesos de la ciencia para resolver problemas, tomar decisiones y fomentar su propia comprensión del entorno.
- *Valores.* La persona alfabetizada científicamente interactúa con los diversos aspectos de su entorno de una manera que es consistente con los valores que subyacen a la ciencia.
- *Ciencia-sociedad.* La persona alfabetizada científicamente entiende y aprecia la relación entre ciencia y tecnología y las interrelaciones de estas entre sí y con otros aspectos de la sociedad.
- *Interés.* La persona alfabetizada científicamente desarrolla una visión de su entorno mucho más informada, más satisfactoria y más emocionante como resultado de su educación en ciencias y continúa ampliando esta educación a lo largo de su vida.
- *Habilidades.* La persona alfabetizada científicamente desarrolla numerosas habilidades manipulativas asociadas con la ciencia y la tecnología.

(Showalter, 1974: 1-6)

La NDC y los procesos científicos (después conocido como indagación y/o procesos) fueron claramente enfatizado por Showalter. Los atributos de una persona alfabetizada científicamente fueron, posteriormente, reiterados por la National Science Teachers Association (NSTA) (1982). Las dimensiones de la NSTA sobre alfabetización científica se expandieron a partir de la propuesta de Showalter e incluyeron los siguientes indicadores:

- Utiliza conceptos de ciencia, habilidades procedimentales y valores para tomar decisiones diarias de manera responsable.
- Entiende cómo la sociedad influye en la ciencia y la tecnología, así como la ciencia y la tecnología influyen en la sociedad.

- Entiende que la sociedad controla la ciencia y la tecnología a través de la asignación de recursos.
- Reconoce las limitaciones, así como la utilidad de la ciencia y la tecnología para promover el bienestar humano.
- Conoce los principales conceptos, hipótesis y teorías de la ciencia y es capaz de usarlos.
- Aprecia la ciencia y la tecnología por el estímulo intelectual que proporcionan.
- Entiende que la generación de conocimiento científico depende de los procesos de indagación y de las teorías conceptuales.
- Distingue entre evidencia científica y opinión.
- Reconoce el origen de la ciencia y entiende que el conocimiento científico es tentativo y está sujeto a cambios a medida que se acumula evidencia.
- Entiende la aplicación de la tecnología y las decisiones relacionadas con el uso de la tecnología.
- Posee suficiente conocimiento y experiencia para apreciar la importancia de la investigación y el desarrollo tecnológico.
- Posee una visión más rica y emocionante del mundo como resultado de la educación científica.
- Conoce fuentes confiables de información científica y tecnológica, y utiliza estas fuentes en el proceso de toma de decisiones.

De particular importancia para el argumento presentado aquí es la yuxtaposición de la NDC y la indagación científica, y cómo esta ha evolucionado a lo largo de los años hasta su establecimiento actual en los NGSS. Dentro de las dimensiones sobre alfabetización científica delineadas por Showalter, los procesos de la ciencia / indagación científica y la NDC fueron considerados como ideas separadas, pero íntimamente relacionadas. Por lo tanto, se esperaba que los estudiantes tuvieran conocimiento de la NDC y competencias en el desempeño de los procesos propios de la ciencia o indagación científica.

SURGIMIENTO DE LOS PUNTOS DE REFERENCIA PARA LA ALFABETIZACIÓN EN CIENCIAS: *BENCHMARKS FOR SCIENCE LITERACY*

Los indicadores para la alfabetización en ciencias (en inglés, *Benchmarks for Science Literacy*) (AAAS, 1993) continuaron enfatizando la importancia de la indagación científica y la NDC. Un aspecto interesante es que, en este documento de reforma, se pasó a usar la expresión «alfabetización en ciencias» en oposición a «alfabetización científica». La mayoría de los lectores podrían leer estas dos frases como sinónimos, pero no lo son. En general, la «alfabetización en ciencias» se refiere esencialmente a dominar el conocimiento científico y los procesos científicos, mientras que la «alfabetización científica» se expande sobre la primera enfatizando el uso del conocimiento científico para tomar decisiones informadas con respecto a asuntos personales, sociales y globales. No obstante, las diferencias no son críticamente importantes para el argumento que se presenta aquí. Para quienes estén interesados en profundizar en ello, pueden encontrar una buena explicación de esas diferencias en Roberts (2007) y Roberts y Bybee (2014).

A pesar de que los *Benchmarks* alegaban estar defendiendo la educación científica que proporcionaba una visión integrada de la empresa científica, fue presentado como un conjunto de doce capítulos separados. Con la excepción del capítulo sobre *Temas comunes* (y quizás *Hábitos de la mente*), hubo pocos intentos de proporcionar enlaces o conexiones a través de los capítulos. La NDC fue el primer capítulo en el documento de la reforma, y la indagación científica fue presentada como un subtema de esta junto con «la visión científica del mundo» y «la empresa científica». Existen dos observaciones importantes que se pueden hacer sobre la NDC en los *Benchmarks*. La combinación de la NDC y la indagación científica fue un problema que todavía existe (Peters-Burton, 2014; Salter y Atkins, 2014) y que deja claro que la indagación científica se consideró como un subconjunto de la NDC. En con-

secuencia, *el desarrollo del conocimiento científico* no estaba claramente diferenciado de *las características del conocimiento*. Sin duda, están íntimamente relacionados, ya que las características del conocimiento científico (esto es, la NDC) se derivan inherentemente de cómo el conocimiento fue desarrollado. Hay quienes afirman que no es útil distinguir entre la NDC y la indagación (Duschl y Grandy, 2013), y afirman de forma inapropiada que Lederman (2007) insiste en que los dos son distintos y no están relacionados. Es posible que la confusión entre NDC e indagación científica haya surgido cuando la frase original «naturaleza del conocimiento científico» se acortó a «naturaleza de la ciencia» a principios de los años ochenta. Es más, uno de los más populares instrumentos para evaluar la comprensión sobre NDC (Rubba y Andersen, 1978) fue titulado *Escala de la naturaleza del conocimiento científico*.

En segundo lugar, la NDC se presentó separadamente de los otros resultados o logros importantes de los estudiantes. Puede argumentarse que la NDC podría haber sido puesta mejor en los resultados de *Temas comunes*. En cualquier caso, la NDC todavía se presenta como un dominio separado de conocimiento. En consecuencia, al menos se daba a entender que la NDC podía/debía enseñarse separadamente de los otros contenidos científicos. De hecho, no es raro que los profesores de ciencias comiencen el año escolar con una unidad (o varios días de clase) dedicada a la NDC, y es bastante típico que los libros de texto de ciencias que abordan este contenido tengan su primer capítulo dedicado a la NDC.

LOS ESTÁNDARES NACIONALES DE EDUCACIÓN EN CIENCIAS REPLAZAN LOS PUNTOS DE REFERENCIA DE LOS *BENCHMARKS*

En 1996, los *Estándares Nacionales de Educación en Ciencias* (NSES, por sus siglas en inglés) «reemplazaron» a los *Benchmarks* como el principal documento de reforma curricular en los Estados Unidos. He usado «reemplazado» (entre comillas) porque todavía hay distritos escolares que usan los *Benchmarks* como su marco de referencia para la educación científica. De hecho, la American Association for the Advancement of Science (AAAS), organización profesional que redactó los documentos de reforma, continúa proporcionando materiales relacionados con los *Benchmarks*. A pesar de todo, es sorprendente que, después de solo tres años, en los Estados Unidos se haya considerado necesario replantear esta visión y desarrollar nuevos estándares para la educación científica. Dado que los *Benchmarks* fueron creados como un marco de referencia (K-12) para la reforma de la educación científica, uno pensaría que llevaría al menos doce años de implementación/promulgación obtener una evaluación válida y completa sobre su impacto. Quizá la decisión fue política (dos organizaciones profesionales diferentes redactaron los dos documentos de reforma), pero ciertamente no fue una decisión empírica porque los *Benchmarks* no se implementaron en las aulas el tiempo suficiente para recopilar los datos necesarios y evaluar así su efectividad.

Los NSES (NRC, 1996) situaron la NDC como un dominio separado de conocimiento. De manera similar a los *Benchmarks*, presentan estándares para *unificar temas y procesos*, pero la NDC (junto con la historia de la ciencia) se trató con estándares separados, aunque estrechamente relacionados con la indagación. Si bien los NSES hicieron un buen trabajo al desentrañar la combinación de NDC e indagación, al lector todavía le puede quedar la impresión de que la NDC podía/debía enseñarse como un dominio separado de conocimiento. Es decir, los NSES se organizaron en estándares de contenido separados en capítulos/secciones. Se puede argumentar que los NSES fueron una mejora con respecto a los *Benchmarks* porque reconocieron que la NDC y la indagación científica deberían considerarse como dominios separados, pero relacionados con el contenido científico presente en los nuevos estándares (Ciencias de la Vida, la Tierra y el Espacio, y las Ciencias Físicas). En retrospectiva, aunque los NSES separaron la indagación y la NDC en dos dominios de conocimiento diferentes, ni los *Benchmarks* ni los NSES comunicaron efectivamente sus visiones de un enfoque integrado de la enseñanza

de las ciencias. Con independencia de esta distinción, era difícil ver que la NDC se enseñara de manera efectiva en nuestras clases de ciencias de cualquier nivel educativo. Nada era/es realmente diferente hoy de lo que fue, ya que los educadores en ciencias comenzaron seriamente a investigar y estudiar la NDC a fines de la década de 1950 (Lederman, 2007).

EL DESCUBRIMIENTO DE LOS *NEXT GENERATION SCIENCE STANDARDS*

Con mucha anticipación y algarabía, los Estándares de Ciencia de Próxima Generación (NGSS por sus siglas en inglés) se hicieron públicos en 2013 (NGSS Lead States, 2013). Para el crédito del National Research Council, esperaron 17 años desde que se publicaran los NSES para introducir nuevos estándares; sin embargo, no hubo realmente una investigación sistemática que evaluara la eficacia de los NSES en la práctica educativa desde preescolar hasta el último año de secundaria (K-12). Los NGSS se basaron en los fundamentos teóricos presentados en *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts and Core Ideas* (NRC, 2012). Es importante señalar que las «prácticas» han reemplazado a la «indagación» con respecto a la descripción de lo que hacen los científicos. Si los dos son sinónimos, o si existen realmente diferencias sustantivas, es una cuestión de discusión académica en la actualidad (Crawford, 2014; Osborne, 2014). Los NGSS enfatizan fuertemente un enfoque integrado para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias en tres dimensiones: *Prácticas de la Ciencia e Ingeniería*, *Ideas Básicas Disciplinarias* e *Ideas Transversales*. Este último es el que más atiende a los temas que se tratan en todas las ciencias, pero la idea es que las tres dimensiones sean consideradas claramente en toda la planificación y enseñanza. Lo más importante de la presente discusión es que los NGSS posicionan la NDC como un subconjunto de las dimensiones referidas a las *Prácticas de la Ciencia* y los *Conceptos Transversales*. Específicamente, se considera que la NDC está constituida por ocho enunciados sobre lo que los estudiantes deberían comprender de esta. Aquellos enunciados relacionados con las *Prácticas de la Ciencia* son:

- Las investigaciones científicas usan una variedad de métodos.
- El conocimiento científico se basa en evidencia empírica.
- El conocimiento científico está abierto a la revisión a la luz de nuevas evidencias.
- Los modelos científicos, leyes, mecanismos y las teorías explican los fenómenos naturales.

Aquellos enunciados asociados con los *Conceptos Transversales* son:

- La ciencia es una forma de saber.
- El conocimiento científico supone un orden y consistencia en los sistemas naturales.
- La ciencia es un esfuerzo humano.
- La ciencia aborda las preguntas sobre el mundo natural y material.

Las descripciones «La ciencia es una forma de saber» y «La ciencia es un esfuerzo humano» no proporcionan mucha orientación a los profesores, y su falta de claridad hace que uno se pregunte qué es lo que se supone que los alumnos deberían aprender. Sin embargo, en las siguientes ideas se indica una descripción más concreta de lo que significan estas frases:

- El conocimiento científico se genera en función de la creatividad humana y la imaginación.
- El conocimiento científico necesariamente se deriva de observaciones e inferencias.
- El conocimiento científico es necesariamente parcialmente subjetivo (aunque el propósito es la objetividad).
- El conocimiento científico está integrado social y culturalmente.

Es extraño ver ocho aspectos de la NDC delineados en los NGSS, dada la siguiente declaración en el Apéndice H (NGSS Lead States, 2013): «De hecho, la única característica constante del conocimiento científico en todas las disciplinas es que el conocimiento científico en sí mismo está abierto a revisión a la luz de nueva evidencia» (p. 96). La distribución de ideas comúnmente asociada con la NDC está presente en dos dimensiones de una manera que, una vez más, combina la indagación científica y la NDC. Por lo tanto, de alguna manera hemos dado un paso atrás hacia la combinación señalada en los *Benchmarks*. Sin embargo, la forma en que la NDC se ha situado en los NGSS es un poco más compleja. Es decir, la NDC se posiciona como un subconjunto de las *Prácticas de la Ciencia* (es decir, el «hacer ciencia»); sin embargo, la comprensión sobre la indagación/prácticas se posiciona como un subconjunto de la NDC. Los NSES fueron encomiables en su reconocimiento de que había una diferencia entre los resultados relacionados con el «hacer» de la ciencia por parte de los estudiantes (por ejemplo, observar, inferir, concluir, etc.) y el conocimiento «sobre» la indagación. Los NGSS han colocado el «hacer» de la ciencia como parte de las *Prácticas* y el conocimiento «sobre» indagación como un subconjunto de la NDC. En el lado positivo, el tratamiento de la NDC como un dominio de conocimiento separado en los *Benchmarks* y los NSES no es evidente en los NGSS. La mitad de las ocho referencias a la NDC está incluida dentro de la dimensión de *Conceptos Transversales*, y la otra mitad dentro de la dimensión de *Prácticas de la Ciencia e Ingeniería*. De acuerdo con la visión integrada de los NGSS, la NDC se ha integrado dentro de los resultados o logros de contenido disciplinar, en oposición a un dominio de conocimiento separado. Este es, definitivamente, un paso en la dirección correcta que no fue alcanzado ni por los *Benchmarks* ni por los NSES. Presumiblemente no habrá ningún intento de que los profesores desarrollen unidades o lecciones separadas para la NDC. Sin embargo, se ha creado una gran preocupación. La NDC, en cada una de las dimensiones a las que está asignada, se menciona simplemente como una «conexión» que los profesores pueden hacer, en lugar de un estándar explícito. La comprensión de la NDC por parte de los estudiantes no presenta criterios de evaluación o indicadores de logro establecidos y, por lo tanto, no hay ninguna razón para creer que la comprensión de la NDC se enseñará o evaluará explícitamente. Está bien establecido en educación que los docentes generalmente no enseñan lo que no se evalúa (Dwyer, 1998).

La combinación de NDC e indagación científica (en este caso, las *prácticas*) sigue siendo problemática en términos de lo que se espera que los estudiantes sepan o hagan, como resultado de su educación científica desde preescolar hasta el último año de enseñanza secundaria (K-12). Los estándares establecidos en los NGSS para las *Prácticas de la Ciencia e Ingeniería* son:

- Hacer preguntas (para la ciencia) y definir problemas (para la ingeniería).
- Desarrollar y usar modelos.
- Planificar y realizar investigaciones.
- Analizar e interpretar datos.
- Usar las matemáticas y el pensamiento computacional.
- Construir explicaciones (para la ciencia) y diseñar soluciones (para la ingeniería).
- Participar en argumentación haciendo uso de evidencia.
- Obtener, evaluar y comunicar información.

Los estándares incluidos en los NGSS para *Conceptos Transversales* son:

- Patrones.
- Causa y efecto.
- Escala, proporción y cantidad.
- Sistemas y modelos de sistemas.
- Energía y materia.
- Estructura y función.
- Estabilidad y cambio.

Con respecto a las *Prácticas*, es obvio que los estándares establecen cosas que los estudiantes son capaces de «hacer» y nadie duda de su importancia. Sin embargo, la comprensión de o el «saber» la NDC es parte del dominio cognitivo y no está siendo considerada ni menos evaluada en los NGSS. Con respecto a los *Conceptos Transversales*, los estándares enumerados son parte del dominio cognitivo, pero no está claro cómo las ideas enumeradas son específicas de la NDC o de la indagación científica. Ciertamente están relacionados, pero no específicamente relacionados.

Al final, el problema es que si los estudiantes demuestran las habilidades especificadas en las *Prácticas* y comprenden los *Conceptos Transversales*, ¿comprenderán la NDC? En general, los estudiantes demostrarán la habilidad de «hacer» indagación y una cierta comprensión general de los temas de ciencia, pero los logros específicos no están centrados en la comprensión de los estudiantes sobre las características del conocimiento científico derivadas directamente de cómo se desarrolla el conocimiento. Sin estándares explícitos o expectativas de rendimiento para la NDC (es decir, solo se especifican «conexiones»), parece que los redactores de los NGSS y su marco (NRC, 2012) han asumido que los estudiantes llegarán a comprender la NDC simplemente participando en prácticas científicas y aprendiendo sobre conceptos transversales. Sin embargo, el amplio cuerpo de investigación empírica indica que los estudiantes no desarrollan una visión informada de la NDC si no está explícitamente integrada en la enseñanza (Abd-El-Khalick y Lederman, 2000; Lederman, 2007; Lederman y Lederman, 2014). «Explícito» no debe considerarse erróneamente como sinónimo de enseñanza directa, como algunos han supuesto anteriormente (Duschl y Grandy, 2013). Simplemente significa que la NDC se pone en primer plano varias veces durante la enseñanza a través de discusiones y reflexiones entre los estudiantes. Tal vez se necesite un ejemplo concreto probado en clase para reforzar la preocupación expresada.

MISTERY BONES (EL MISTERIO DE LOS HUESOS)

Esta actividad/experiencia lleva 3-4 días de implementación (dependiendo del nivel de grado de los estudiantes) y es ideal para un curso de biología o ciencias de la vida cuando se introducen sistemas esqueléticos. De hecho, la actividad ha sido utilizada por docentes en las clases de primaria (6.º-8.º grado) y secundaria (9.º-12.º grado) en los Estados Unidos, así como en varios países europeos y asiáticos. El enfoque general está en la estructura y la función, a diferencia de la memorización sobre los huesos y sus ubicaciones. A medida que los estudiantes aprenden sobre el sistema esquelético, también aprenden sobre varios aspectos de la NDC. En particular, que el conocimiento científico es tentativo, que se desarrolla en función de la creatividad humana y que es subjetivo, derivado de observaciones e inferencias. Asimismo, promueve la comprensión de que las investigaciones científicas pueden tener una gran variedad de formas en oposición a un único método científico. Sin embargo, como se presenta aquí, no se incluirá cómo fue la participación de los estudiantes en las discusiones.

Nivel de grado: Escuela primaria (6.º-8.º grado) y secundaria (9.º-12.º grados)

Conocimiento prerequisite: Conocimiento mínimo de sistemas esqueléticos

ESCENARIO EDUCATIVO PARA LA INSTRUCCIÓN:

1. El primer día que los estudiantes comienzan su estudio de los sistemas esqueléticos, reciben una egagrópila de lechuza (véase figura 1). Las egagrópilas son lo que regurgitan las aves rapaces con los componentes de los animales indigeribles. Se les pide a los estudiantes que trabajen de dos en dos mientras diseccionan los huesos presentes en la egagrópila de lechuza. Las egagrópilas de lechuza son indigeribles (es decir, huesos y cabello) regurgitados por lechuzas varias veces al

día. Dado que los huesos no son digeribles por las lechuzas, estos están incrustados dentro de las egagrópilas (véase figura 2).



Fig. 1. Egagrópila de lechuza.

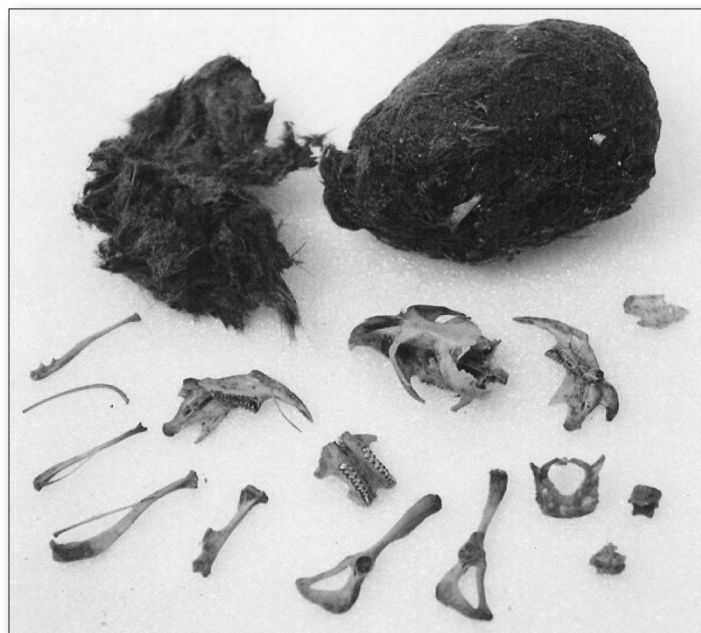


Fig. 2. El contenido de la egagrópila de lechuza.

2. Después de que todos los huesos han sido extraídos de la egagrófila de lechuza, se pide a los estudiantes que clasifiquen los huesos en grupos de huesos similares. Después de una discusión sobre los diferentes tipos de formas óseas, se les pide que usen su conocimiento de un sistema esquelético para colocar los huesos en una formación que podría parecerse al sistema esquelético de un animal real. A los grupos de estudiantes se les pide que defiendan oralmente la forma en que organizaron los huesos; es decir, deben explicar por qué unieron los huesos como lo hicie-

ron. Después de esta discusión, a los estudiantes se les proporciona un diagrama de un campañol o ratón de campo (figura 3), y se les pide que hagan coincidir los huesos en el diagrama del campañol con los huesos que recogieron de la egagrópila de lechuza.

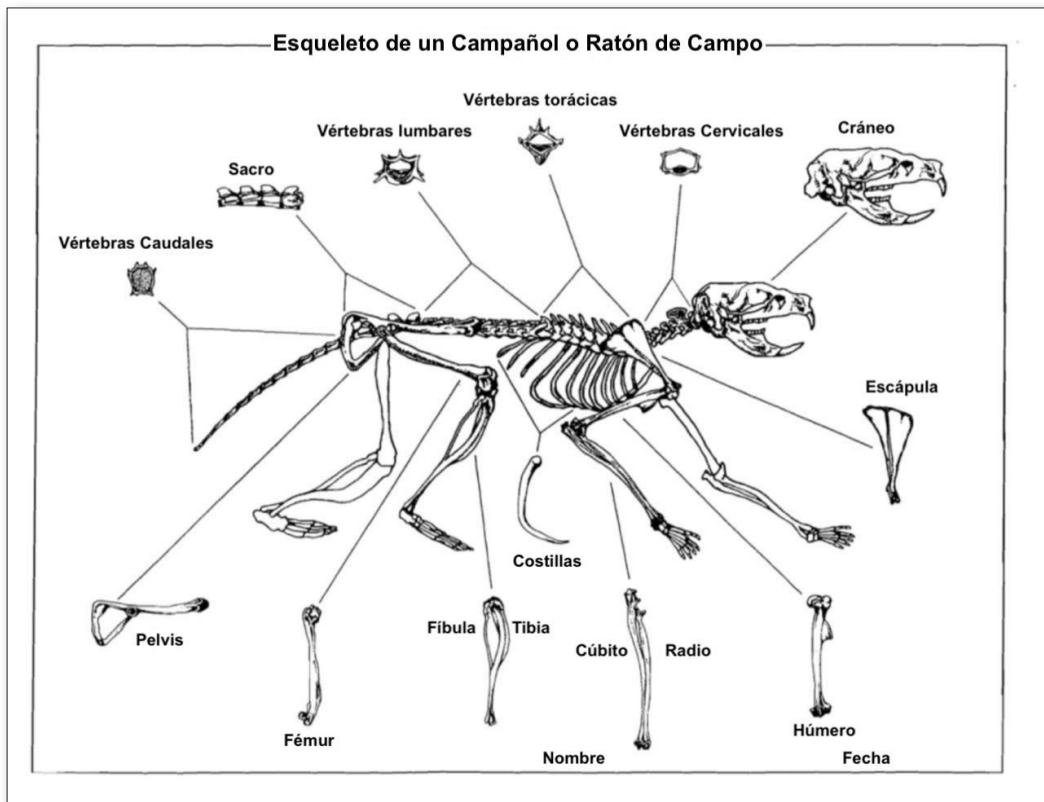


Fig. 3. diagrama del esqueleto de un campañol o ratón de campo.

3. Al día siguiente se promueve una discusión en clase sobre la estructura/forma de los diversos huesos y sus ubicaciones en el esqueleto del campañol. A los estudiantes se les pregunta dónde se encuentran los huesos más grandes y gruesos, y dónde se encuentran los huesos más pequeños y delgados. El objetivo de la discusión es hacer que los estudiantes se den cuenta de que la estructura/forma de los diversos huesos está relacionada con su función y ubicación (por ejemplo, apoyo para el peso, protección, etc.).
4. Después de esta discusión, los estudiantes en grupos de 4-5 reciben un esqueleto desarticulado de un animal no identificado y su tarea es armar el esqueleto. Se espera que usen el conocimiento de los esqueletos que aprendieron de la actividad de egagrópilas de lechuza para inferir la estructura de este animal nuevo y no identificado (véase figura 4). Los esqueletos desarticulados pueden ser de conejos, gatos o visones, que están disponibles en cualquier tienda de suministros biológicos. Es probable que los estudiantes no completen esta tarea antes de que finalice el periodo de clase, por lo que normalmente pasa al día siguiente.



Fig. 4. Esqueleto desarticulado (gato, conejo o visón).

5. Al día siguiente, los estudiantes completan el montaje de su esqueleto y se propicia otra discusión sobre la estructura y las funciones de los huesos en el esqueleto. No se espera que los estudiantes identifiquen de qué animal provienen los huesos, sino que principalmente consoliden la relación entre la estructura y las funciones de los huesos en el sistema esquelético. También se les pregunta a los estudiantes si lo que han estado haciendo está relacionado con el trabajo que realizan los científicos.
6. Al día siguiente, los grupos de estudiantes reciben sobres que tienen un juego de huesos de un animal extinto, que están representados en papel laminado (véase figura 5). Se les pide que usen su conocimiento sobre los sistemas esqueléticos para construir el sistema esquelético del animal, tal y como lo hacen los paleobiólogos.

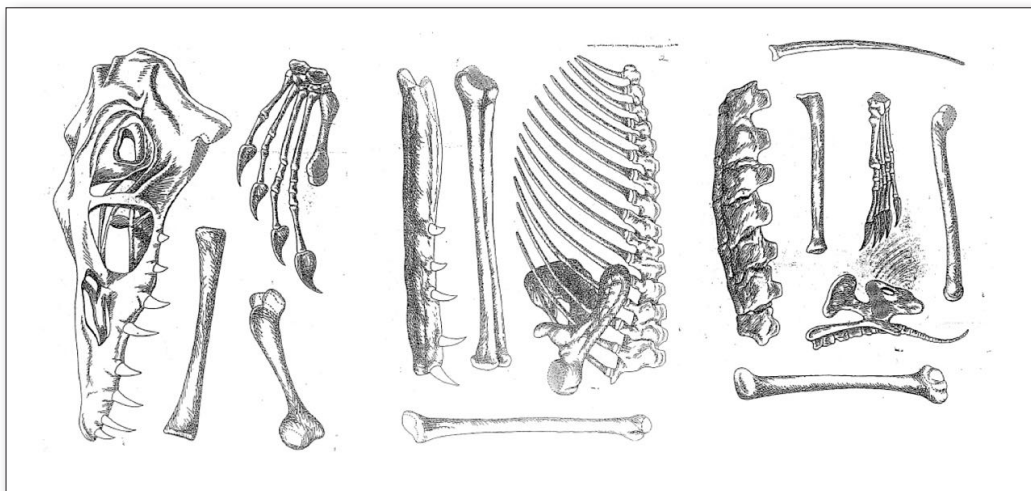


Fig. 5. Huesos misteriosos.

7. Se anima a los estudiantes a observar los «ordenamientos» de otros grupos por curiosidad o para ayudarlos con sus propios ordenamientos de los esqueletos. Como algunos esqueletos están prácticamente ordenados, el profesor puede tomar imágenes de las diversas construcciones con un iPad para una proyección posterior en una SMART Board.
8. Las construcciones de cada grupo se proyectan para discutir en clase. Cada grupo explica los motivos de la colocación de los huesos en el esqueleto construido. Cuando se hace esto, y sea el momento apropiado, el profesor pregunta a los estudiantes sobre la lógica empleada para poner los huesos juntos.
9. El profesor revela la construcción del esqueleto por parte de los científicos y también la apariencia inferida del animal que incluye la piel (véanse figuras 6 y 7). Por lo general, los estudiantes se sorprenden al ver la colocación de los huesos del esqueleto y los huesos del ala que se extienden desde uno de los dedos del animal porque anteriormente solo habían visto esqueletos de animales terrestres.

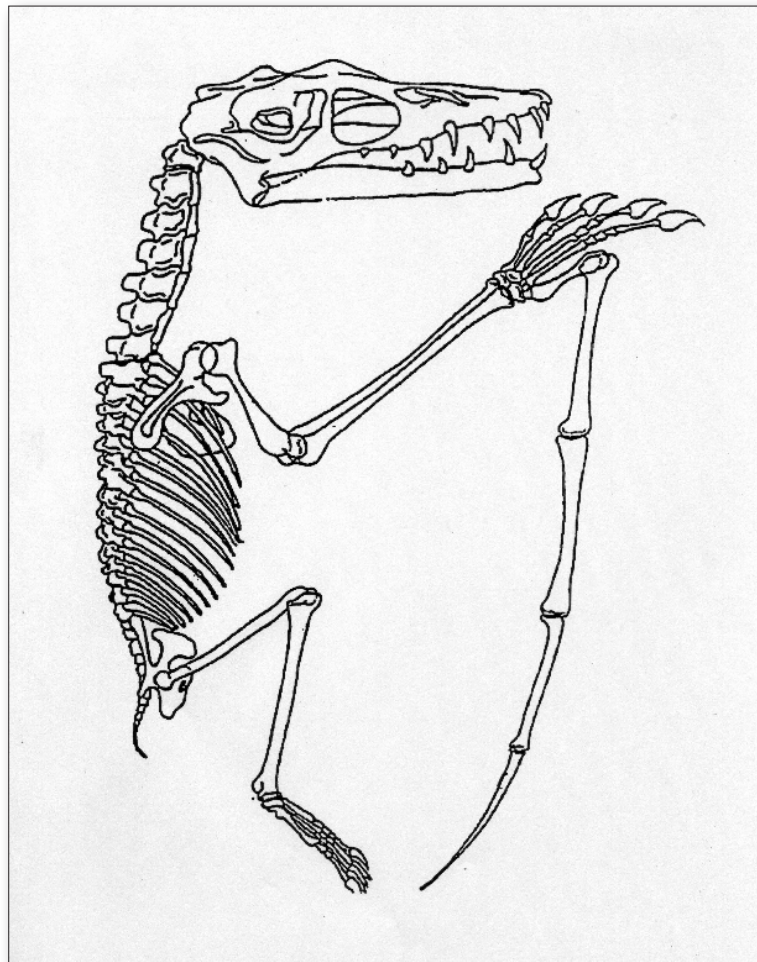


Fig. 6. Esqueleto reconstruido de *Scaphoenathus crassirostris*.



Fig. 7. Inferencia de un paleontólogo sobre el *Scaphoenathus crassirostris* representado con piel.

10. El profesor explica que se cree que este organismo es uno de los primeros animales del tipo «dinosaurios» que podía volar (en realidad se deslizaban para desplazarse). Su parecido con un reptil se enfatiza, porque los dinosaurios, en ese momento, se creía que estaban relacionados con los reptiles.
11. Luego se informa a los estudiantes, que en las últimas décadas, los científicos han decidido que en lugar del primer dedo (véase figura 6), es el segundo dedo el que sirve de soporte para los huesos que conforman el ala.
12. La figura 8 se revela junto con la figura 9.

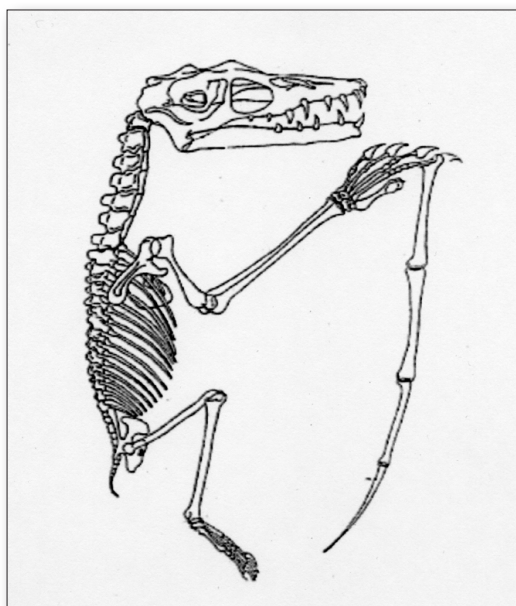


Fig. 8. Esqueleto reconstruido de un *Pterosaur sp.*



Fig. 9. Otra inferencia de un paleontólogo sobre *Pterosaur sp.*

13. El profesor pregunta a los estudiantes sobre la apariencia de la figura 9 en comparación con la figura 7. Los estudiantes rápidamente notan que la figura 9 es más parecida a un pájaro que a un reptil. El profesor explica que actualmente tenemos una mejor comprensión sobre las relaciones entre los dinosaurios, los reptiles y las aves. Si se trata de una clase de la escuela secundaria que ha estudiado o está estudiando la evolución, el docente podría preguntar a los estudiantes por qué ha cambiado la apariencia inferida.

En resumen, esta actividad encaja muy bien dentro de una clase de biología durante el estudio de vertebrados, sistemas esqueléticos y la forma y función de los huesos. No es una actividad que esté muy lejos del currículo típico de biología de la escuela secundaria.

La actividad descrita involucra claramente a los estudiantes en las *Prácticas de la Ciencia, Ideas Centrales Disciplinarias y Conceptos Transversales* de una manera auténtica y significativa. La pregunta principal es cómo desarrollarán o reforzarán los estudiantes sus comprensiones de la NDC especificados en los NGSS. Hay lugares obvios, y no tan obvios, en los que los estudiantes podrían participar en discusiones relacionadas con la NDC. La pregunta más importante es: ¿se realizarán estas conexiones? Dado que no hay estándares o expectativas de rendimiento especificados para la NDC, hacer que esta sea explícita se deja al capricho del profesor. Una vez más, sin una atención explícita a la NDC, la investigación indica claramente que es poco probable que los estudiantes lleguen a comprender la NDC (Abd-El-Khalick y Lederman, 2000), y mucho menos que puedan usarla en situaciones de la vida real. Es probable que aprendan sobre las diversas formas de huesos, las distintas funciones que realizan y cómo los sistemas esqueléticos se «unen» en el vertebrado en cuestión. Desafortunadamente, tal como se presentó, esta actividad es una oportunidad perdida para que los estudiantes desarrollen una comprensión de aspectos de la NDC.

Los NGSS son una mejora de los *Benchmarks* y NSES. La NDC y la indagación científica están integradas en los resultados de otras ciencias y parece que los profesores que siguen la visión de los NGSS tendrán menos probabilidades de enseñar NDC como un tema o unidad por separado. Sin embargo, los NGSS representan un paso atrás en los esfuerzos de reforma curricular anteriores porque no hay resultados o evaluaciones claramente establecidos con respecto a la NDC. Los NGSS tienen la ventaja de contar con una base de investigación empírica mucho más extensa en el aprendizaje de los estudiantes sobre la NDC que la que estuvo disponible para quienes desarrollaron los *Benchmarks* y NSES, pero parece que han ignorado esa investigación.

QUO VADIS?

¿Esto es «mucho ruido y pocas nueces»? ¿El análisis proporcionado aquí tiene algunas implicaciones significativas para la educación científica? ¿Realmente importa si los estudiantes aprenden sobre NDC? Estas son preguntas importantes y dan una vuelta completa a los trabajos de la NSTA (1982) y de Showalter (1974), entre otros. Al final, queremos que los estudiantes no solo aprendan a realizar las *Prácticas de la Ciencia y de Ingeniería*, comprendan las *Ideas Básicas Disciplinarias* y los *Conceptos Transversales*, sino que también deseamos que puedan aplicar lo que aprendieron para tomar decisiones informadas sobre cuestiones personales, sociales y globales. Ciertamente existen fuertes argumentos sobre el valor de conocer la ciencia y la ciencia en sí misma (Driver, Leach, Millar y Scott, 1996). En última instancia, estos son argumentos del valor inherente de la educación (Green, 1971).

Ser educado es valioso en sí mismo y no es necesariamente un medio para un fin. Alternativamente, eruditos como Bertrand Russell (1940, 1950) fueron más allá y sintieron que relegar a los profesores a simplemente facilitar el desarrollo de la comprensión de los estudiantes sobre el conocimiento, valores y costumbres de una sociedad, era antitético considerando lo que en realidad debería ser el papel del profesor. Russell sentía que ese enfoque conducía al fanatismo y al aislamiento de la comunidad global. Consideraba, además, que el desarrollo de la libertad y el pensamiento crítico aumentó y mejoró nuestra sociedad. Escritas hace más de 80 años, las ideas de Russell sobre educación no pueden estar más alineadas con la meta de desarrollar un público alfabetizado científicamente.

No hace falta decir que la amplia mayoría de los estudiantes en nuestras clases de ciencias no se convertirán en científicos profesionales. Igualmente es justo reconocer que nuestras vidas se ven y verán impactadas por el cada vez mayor avance del conocimiento científico y tecnológico, junto con los problemas personales y sociales que este conocimiento conlleva. Nuestra ciudadanía necesita, y necesitará, ser consumidora informada de la ciencia y tomar decisiones informadas sobre estos temas. Después de graduarse en la escuela secundaria o la universidad, a menos que un individuo persiga una carrera en un campo STEM, probablemente nunca volverá a realizar una investigación científica. Sus decisiones deberán basarse en su capacidad para dar sentido a las afirmaciones hechas por la comunidad científica. Tendrá que saber cómo se desarrolló el conocimiento científico detrás de los problemas y cómo sopesar el estado de la evidencia existente. Esta habilidad está íntimamente relacionada con la comprensión sobre indagación científica que poseen las personas (no el *hacer* indagación científica) y la NDC (Sadler, Chambers y Zeidler, 2004; Walker y Zeidler, 2003; Zeidler, Walker, Ackett y Simmons, 2002). En los NGSS, las comprensiones sobre indagación están incluidas dentro de la conceptualización de la NDC, y actualmente son solo conexiones que un profesor puede ayudar a hacer a los estudiantes. No son estándares y no hay resultados o logros que evaluar.

En resumen, aunque los NGSS han promovido la fusión de la indagación científica y la NDC al posicionar esta última como un subconjunto de las dimensiones referidas a las *Prácticas de la Ciencia*, representan un retroceso en términos de lo que la investigación empírica nos dice sobre cómo los estudiantes llegan a aprender sobre NDC y llegan a ser individuos científicamente alfabetizados. Es

decir, el pensamiento actual ilustrado por los NGSS es que los objetivos finales de la educación científica deberían ser tener una comprensión conceptual del conocimiento fundamental de la ciencia y la capacidad de realizar las prácticas que los científicos realizan en su trabajo diario. Sin embargo, si el objetivo final de la educación científica en nuestra comunidad global es la alfabetización científica, hacer ciencia es una plataforma pedagógica dentro de la cual es factible facilitar la comprensión de la NDC por parte de los estudiantes. Hacer ciencia (prácticas/indagación) es un medio para un fin (comprender la NDC y la indagación científica), pero debemos evitar la aparente tentación de transformar los medios en fines, comprometiendo así el logro del objetivo de la alfabetización científica en nuestra comunidad global.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABD-EL-KHALICK, F. y LEDERMAN, N. G. (2000). Improving science teachers' conceptions of the nature of science: A critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 22(7), pp. 665-701.
<https://doi.org/10.1080/09500690050044044>
- AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE (AAAS) (1993). *Benchmarks for science literacy: A Project 2061 report*. New York: Oxford University Press.
- CENTRAL ASSOCIATION OF SCIENCE AND MATHEMATICS TEACHERS (1909). A consideration of the principles that should determine the courses in biology in the secondary schools. *School Science and Mathematics*, 7(3), pp. 241-247.
<https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.1909.tb03028.x>
- COOLEY, W. W. y KLOPFER, L. (1963). The history of science cases for high schools in the development of student understanding of science and scientists. *Journal of Research in Science Teaching*, 1(1), pp. 33-47.
<https://doi.org/10.1002/tea.3660010112>
- CRAWFORD, B. A. (2014). From inquiry to scientific practices in the science classroom. In N. G. Lederman y S. K. Abell (Eds.), *Handbook of research on science education*, Volume II (pp. 515-541). New York: Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9780203097267.ch26>
- DEWEY, J. (1916). *Democracy and education*. New York: The Free Press.
- DRIVER, R., LEACH, J., MILLAR, R. y SCOTT, P. (1996). *Young peoples' images of science*. Buckingham, UK: Open University Press.
- DUSCHL, R. A. y GRANDY, R. (2013). Two views about explicitly teaching nature of science. *Science & Education*, 22(9), pp. 2109-2139.
<https://doi.org/10.1007/s11191-012-9539-4>
- DWYER, C. A. (1998). Assessment and classroom learning: Theory and practice. *Assessment in Education*, 5(1), pp. 131-137.
<https://doi.org/10.1080/0969595980050109>
- GREEN, T. F. (1971). *The activities of teaching*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- HURD, P. D. (1958). Science literacy: Its meaning for American schools. *Educational Leadership*, 16, pp. 13-16. Disponible en línea: <http://ascd.com/ASCD/pdf/journals/ed_lead/el_195810_hurd.pdf>.
- LEDERMAN, N. G. (2007). Nature of science: Past, present, and future. In S. K. Abell y N.G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 831-880). Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

- LEDERMAN, N. G. y LEDERMAN, J. S. (2014). Research on teaching and learning of nature of science. In N. G. Lederman y S. K. Abell (Eds.), *Handbook of research on science education*, Volume II (pp. 600-620). New York: Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9780203097267.ch30>
- LEDERMAN, N. G. y LEDERMAN, J. S. (2014). Is nature of science going, going, going, gone? *Journal of Science Teacher Education*, 25(3), pp. 235-238.
<https://doi.org/10.1007/s10972-014-9386-z>
- NATIONAL EDUCATION ASSOCIATION (1918). *Cardinal principles of secondary education: A report of the commission on the reorganization of secondary education* (U.S. Bureau of Education Bulletin No. 35). Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office.
- NATIONAL EDUCATION ASSOCIATION (1920). *Reorganization of science in secondary schools: A report of the commission on the reorganization of secondary education* (U.S. Bureau of Education Bulletin No. 20). Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office.
- NATIONAL SOCIETY FOR THE STUDY OF EDUCATION (1960). *Rethinking science education*. Yearbook of the National Society for the Study of Education. University of Chicago Press. v59, 113.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996). *National science education standards*. Washington, DC: The National Academies Press.
<https://doi.org/10.17226/4962>
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (2007). *Taking science to school*. Washington, DC: The National Academies Press.
<https://doi.org/10.17226/11625>
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, DC: National Academies Press.
<https://doi.org/10.17226/13165>
- NATIONAL SCIENCE TEACHERS ASSOCIATION (1982). *Science-technology-society: Science education for the 1980s*. Washington, DC: Author.
- NGSS LEAD STATES (2013). *Next generation science standards: For states, by states*. Washington, DC: National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/18290>
- OSBORNE, J. F. (2014). Scientific practices and inquiry in the science classroom. In N. G. Lederman y S. K. Abell (Eds.), *Handbook of research on science education*, Volume II (pp. 579-599). New York: Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9780203097267.ch29>
- PETERS-BURTON, E. (2014). Is there a «nature of stem»? *School Science and Mathematics*, 114(3), pp. 99-101.
<https://doi.org/10.1111/ssm.12063>
- ROBERTS, D. A. (2007). Scientific literacy/Science literacy. In S. K. Abell y N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 729-780). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- ROBERTS, D. A. y BYBEE, R. W. (2014). Scientific literacy, science literacy, and science education. In N. G. Lederman y S. K. Abell (Eds.), *Handbook of research on science education*, Volume II (pp. 545-558). New York: Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9780203097267.ch27>
- RUBBA, P. A. y ANDERSEN, H. O. (1978). Development of an instrument to assess secondary school students' understanding of the nature of scientific knowledge. *Science Education*, 62(4), pp. 449-458.
<https://doi.org/10.1002/sce.3730620404>
- RUSSELL, B. (1940). The functions of a teacher. *Harper's Magazine*, 181(1081), pp. 11-16.
- RUSSELL, B. (1950). *Unpopular essays*. New York: Simon & Schuster, Inc.

- SADLER, T. D., CHAMBERS, F. W. y ZEIDLER, D. L. (2004). Student conceptualizations of nature of science in response to a socioscientific issue. *International Journal of Science Education*, 26(4), pp. 387-409.
<https://doi.org/10.1080/0950069032000119456>
- SALTER, I. Y. y ATKINS, L. J. (2014). What students say versus what they do regarding scientific inquiry. *Science Education*, 98(1), pp. 1-35.
<https://doi.org/10.1002/sce.21084>
- SHOWALTER, V. M. (1974). What is unified science education? Program objectives and scientific literacy. *Prism II*, 2(3-4), pp. 1-6.
- WALKER, K. A. y ZEIDLER, D. L. (2003, March). *Students understanding of the nature of science and their reasoning on socioscientific issues: A web-based learning inquiry*. Paper presented at the annual meeting of National Association of Research in Science Teaching, Philadelphia, PA. Disponible en línea: <<https://eric.ed.gov/?id=ED474454>>.
- ZEIDLER, D. L, WALKER, K. A., ACKETT, W. A. y SIMMONS, M. L. (2002). Tangled up in views: Beliefs in the nature of science and responses to socioscientific dilemmas. *Science Education*, 86(3), pp. 343-367. <https://doi.org/10.1002/sce.10025>

The ever changing contextualization of nature of science: Recent science education reform documents in the U.S. and its impact on the achievement of scientific literacy

Norman G. Lederman
Mathematics and Science Education Department
Illinois Institute of Technology
Chicago, IL, USA
ledermann@iit.edu

Many have expressed concerns over the marginalization of nature of science (NOS) in the *Next Generation Science Standards* (NGSS). However, a careful conceptual analysis of how the *NGSS* addresses NOS relative to previous U.S. reform documents reveals a complex situation related to how NOS is contextualized and apparent assumptions about how NOS is best taught and learned. A historical perspective of the emergence of NOS as an important educational outcome is provided before discussing the role of NOS in the *NGSS* and in previous reform documents. NOS is most commonly justified as an important outcome in science education because it is a critical component of scientific literacy. In particular, citizens are unable to make informed decisions concerning personal and societal issues that are science based unless they have an in depth knowledge of the limits and characteristics of scientific knowledge and claims. The conceptual analysis of how NOS is situated in reform documents illustrates how NOS is sometimes integrated within traditional subject matter, while at other times it is treated as a separate and independent topic. The major problem with the *NGSS* (the most recent U.S. reform document) is that it has seemingly ignored the extensive empirical research base with respect to how NOS is best taught. That is, the *NGSS* seems to assume that students will come to understand NOS by simply engaging in science. Three decades of research clearly documents that this assumption is false. There is currently much debate concerning how NOS is conceptualized (i.e., through consensus or family resemblance). It would be incorrect to assume that these debates defuse the arguments made here. Regardless of how one conceptualizes NOS, it needs to be taught explicitly, just as any other science subject matter. It needs to be planned for in instruction and carefully assessed as well.