Naturaleza de la Ciencia (NOS) en Chile y el mundo: ¿Qué ha pasado en los últimos 10 años?*

Hernán Cofré Mardones
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
hernan.cofre@pucv.cl

Carolina Parraguez Morgado
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
carolinapaaz97@gmail.com

Resumen

En este comentario, hacemos una revisión crítica del desarrollo de la actividad de investigación en el tema de la naturaleza de la Ciencia (NOS, por su abreviación en inglés). Comenzamos revisando la historia de la conceptualización de NOS describiendo el programa de investigación de la visión general y parte de las diferentes propuestas desarrolladas en la última década, con especial énfasis en la propuesta de parecido familiar o FRA. Luego, realizamos una síntesis de los hallazgos empíricos más importantes sobre las investigaciones sobre comprensión y aprendizaje de NOS en estudiantes desde la primera infancia hasta fines de la educación escolar, realizando una propuesta de progresión basada en la evidencia empírica. Finalmente, revisamos los aspectos más destacados sobre la enseñanza de NOS, describiendo dos ejemplos de material curricular desarrollado para enseñar NOS de forma explícita y reflexiva, incluyendo tanto la indagación y el análisis de datos, como la discusión de diferentes hipótesis para responder a un problema. Ambos ejemplos son en contextos socio-ambientales. Concluimos que el análisis de este desarrollo nos permite visualizar aspectos de NOS como la tentatividad, el peso de la teoría y la influencia social en la creación y consolidación del conocimiento científicos sobre Educación en ciencias y NOS.

Palabras clave: Naturaleza de la Ciencia, NOS, NdC, Enseñanza de NOS, Comprensión de NOS

* *Este manuscrito es dedicado a Norman Lederman, amigo y mentor, creador de un exitoso programa de investigación sobre NOS en la Educación Científica Internacional* *

Introducción

Hace 10 años uno de los autores publicó un comentario sobre naturaleza de la ciencia (NOS del inglés, nature of science), luego de una charla sobre el tema en la Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación (Cofré, 2012). Ese trabajo permitió acercar el tema a los profesores de ciencia de Chile, tanto en formación como en ejercicio. En este nuevo comentario, 10 años después, esperamos poder aportar con nuevos antecedentes y nuevas reflexiones para que se pueda renovar la conversación sobre el tema. Nuestro currículo ha cambiado desde entonces, la literatura nacional e internacional también han cambiado (véase por ejemplo el libro de Quiroz, 2015), se crearon los estándares para la formación de profesores (Mineduc, 2012) y también la comunidad científica de didactas

dedicados al estudio de la enseñanza y aprendizaje de NOS se ha renovado (e.g., Erduran y Dagher, 2014; García-Carmona, 2018; Mesci y Schwartz, 2017). Sin embargo otras cosas se han mantenido, como la importancia que se le da a la NOS para la alfabetización científica, la democracia y la justicia social (Yacoubian y Hansson 2020) o el hecho de que aún estudiantes y profesores de ciencia alrededor del mundo no comprenden muy bien cuál es la forma en que los científicos y las científicas realizan su trabajo (Cofré et al., 2019).

Pero antes de continuar vale la pena preguntarse, ¿Qué entendemos por naturaleza de la ciencia? Al parecer esta pregunta no es tan fácil de responder, ya que, por ejemplo, si uno busca esta definición en el excelente libro: "naturaleza de la ciencia para todos" (Quiroz, 2015) no la vamos a encontrar. Sin embargo, al leer el libro podremos inferir que NOS tiene que ver con la estructura de la naturaleza que estudia la ciencia, la estructura del conocimiento científico que se genera sobre ella y con las formas de cómo se generan dichos saberes. Por otro lado, siguiendo las definiciones de algunos didactas de las ciencias, se podría decir que la NOS (o NdC de su nombre en español): *"es un meta-conocimiento sobre la ciencia, que surge de las reflexiones interdisciplinares realizadas desde la filosofía, la historia y la sociología de la ciencia por expertos en estas disciplinas, y por algunos científicos"* (Acevedo-Díaz y García-Carmona, 2016, p. 3). No obstante, algo tan complejo creemos que es mejor abordarlo con un ejemplo sobre el quehacer científico que más conozco, la ecología y la evolución.

Por mucho tiempo se ha creído que los machos de los pájaros cantores (oscinos paserinos) cantan para atraer a las hembras y competir con sus rivales (Darwin, 1859; Andersson, 1994). Desde los tiempos de Darwin, se ha reconocido que estas vocalizaciones han evolucionado a través de la selección sexual. Sin embargo, en las últimas dos décadas se ha acumulado una gran cantidad de evidencia de que el canto femenino también está muy extendido entre las especies y que incluso es un rasgo ancestral en las aves cantoras (Odom et al., 2014). Es decir, el conocimiento científico (en zoología, ecología conductual y evolución) ha ido cambiando al respecto. De hecho, si el canto de las hembras es un rasgo común, surge la pregunta, ¿Podemos explicar el canto de las hembras también por selección sexual? ¿O podría estar asociado a otras funciones como la comunicación con sus crías, la defensa del territorio o la comunicación entre pares? (Rose et al., 2019). Y la otra pregunta que surge es, ¿Por qué los ornitólogos estuvieron equivocados tanto tiempo? Algunas explicaciones para esto es que los muestreos realizados desde los tiempos de Darwin tenían un sesgo geográfico importante, sub-representando a las aves cantoras de regiones tropicales donde se ha descrito que existe mucha más presencia de hembras cantoras (Odom et al., 2014; Price, 2015; Riebel et al., 2019; Haines et al., 2020). Además, recientemente Haines et al., (2020) han mostrado evidencia de otro tipo de sesgo. En una revisión de los estudios realizados los últimos 20 años, las autoras mostraron que había una diferencia significativa en el género de los investigadores que describían hembras cantoras vs. aquellos que investigaban especies de aves cantoras donde los machos eran los principales focos del estudio. Según la revisión, los

primeros autores de artículos sobre hembras cantoras fueron mujeres en un 68%, mientras que las mujeres sólo representaron el 44% de los primeros autores de artículos sobre cantos de pájaros en general (Haines et al., 2020).

Este ejemplo nos muestra varios aspectos relacionados con el quehacer científico, muchos de los cuales se han descrito en la literatura de educación científica como parte de la NOS (e.g., Lederman, 2007; McComas 1996; Cofré et al., 2019, ver Tabla 1). En este caso, el conocimiento científico cambió a través de la presencia de nuevas evidencias (***tentatividad***). Nuevos datos recolectados desde otras regiones y de otras especies, nos muestran la importancia de las ***evidencias empíricas*** en la generación de nuevo conocimiento. Además, podemos reconocer como el ***contexto de los investigadores*** (e.g., género, región geográfica) influye en el conocimiento que generan y como dentro de la generación de este conocimiento existen ***valores sociales*** involucrados como lo es el sesgo de género dentro de la investigación como por muchos años un mismo conocimiento prevaleció sin mucho cuestionamiento (***guiado por la teoría*****).** Sin embargo, también podemos darnos cuenta como el quehacer científico es un proceso ***comunitario y autorregulado,*** en el cual existe revisión y cuestionamiento de las ideas que existen sobre cómo funciona la naturaleza. Cuando nos damos cuenta de todo esto, de cómo se construye el conocimiento científico y cuáles son sus características, estamos estudiando y conociendo la naturaleza de la ciencia (NOS). Nótese que estos aspectos o características no cumplen la función de demarcar la ciencia de otras actividades humanas como la política, el arte o la religión. Lo que hacemos como profesores es tratar y develar estos aspectos de forma explícita en clases para desafiar las preconcepciones de los estudiantes (como pensar que el conocimiento no cambia o que se genera por la genialidad de un puñado de científicos solitarios) y hacerlos reflexionar sobre estos temas (McComas, 1996; Lederman, 2007).

Desarrollo

El legado de Norman Lederman, las nuevas propuestas y la controversia sobre las listas

Aunque la conceptualización de NOS se discutió por primera vez en 1907 (Central Association of Science and Mathematics Teachers, 1909), la investigación sobre la comprensión de NOS no se llevó a cabo de forma sistemática hasta finales de la década de 1950 en que los investigadores generaron instrumentos para evaluar aspectos o temas específicos relacionados con la NOS. Por ejemplo, Cooley y Klopfer (1963) desarrollaron el instrumento TOUS (Test on Understanding Science), que incluía la comprensión sobre (1) la empresa científica, (2) los científicos, y (3) los métodos y objetivos de la ciencia. Después se desarrolló la Escala de la Naturaleza del Conocimiento Científico (NSKS) (Rubba, 1976) el cual evaluaba seis aspectos de la naturaleza del conocimiento científico: **1) amoral** (el conocimiento científico en sí mismo no puede ser juzgado como bueno o malo), **2) creativo** (el conocimiento científico es, en parte, un producto de la imaginación creativa humana), **3)**

evolutivo (el conocimiento científico es provisional), **4. parsimonioso** (el conocimiento científico intenta la simplicidad en oposición a la complejidad), **5) contrastable** (el conocimiento científico es susceptible de contrastación empírica) **y 6) unificado** (las ciencias especializadas contribuyen a una red interrelacionada de leyes, teorías y conceptos).

Fue este último instrumento el primero en ocupar para su tesis doctoral Norman Lederman, quien lo aplicó a un grupo de profesores y sus respectivos estudiantes con el fin de investigar qué factores de la clase se relacionaban con el cambio en las concepciones de NOS de los estudiantes (Lederman y Druger, 1985). Luego, Lederman y O'Malley (1990) propusieron una primera versión del cuestionario VNOS-A, el cual era un instrumento de preguntas abiertas, a diferencia del NSKS que incluía 48 items de escala Likert. Junto con el desarrollo de nuevas versiones de este nuevo cuestionario VNOS, Lederman realizó una revisión critica de NOS el año 1992, la cual se convirtió en referente en el área y posiciona al tema de NOS como una de las líneas centrales dentro de la educación científica (e.g., Medina-Jerez, 2018; Tosun, 2022). Tras más de 18 años de investigación científica empírica y teórica, Lederman y su grupo llegan a la conclusión de que existen 8 aspectos de NOS importantes y factibles de ser enseñados en la escuela (Lederman, Abd-El-Khalick, Bell, y Schwartz 2002). A la misma conclusión llegan un grupo diferente de investigadora/es en didáctica de las ciencias (e.g., McComas, 1996; Osborne et al., 2003; Smith et al., 1997; Southerland et al., 2006). Esta conceptualización se ha denominado "aspectos generales" de NOS (Kampourakis, 2016) o como la "visión de consenso" (McComas, 2020). Según este punto de vista "pedagógico" y no filosófico, existen algunos aspectos generales de NOS (normalmente entre siete y diez, según los autores) que se pueden enseñar en el contexto escolar. El principal objetivo de esta conceptualización es abordar las concepciones alternativas de los estudiantes sobre cómo funciona la ciencia y qué es el conocimiento científico (Tabla 1). No es un "consenso arbitrario" es solo el desarrollo de conocimiento científico sobre el tema.

Tabla 1. Ejemplo de aspectos de naturaleza de la ciencia reconocidos como importantes de enseñar por diferentes autores que trabajan con la visión general de NOS.

Aspecto o tema	Definición *(preconcepciones asociadas)*	Referencias
1. Empírico	Las afirmaciones científicas se derivan de, y/o son consistentes con, observaciones de fenómenos naturales, provenientes del mundo material *(La ciencia se basa en opiniones, no es necesario recolectar datos del mundo real).*	Abd-El-Khalick et al. (2008); Lederman et al., (2002); Quiroz (2015); McComas (2020)
2. Inferencial	Existe una distinción crucial entre observaciones e inferencias. Las observaciones son declaraciones descriptivas sobre fenómenos naturales y sobre los cuales los observadores pueden llegar a un consenso con relativa facilidad. Las inferencias, son afirmaciones sobre fenómenos que no son directamente accesibles a los sentidos, pero que están basadas en evidencias. Los constructos científicos, como los electrones, las especies, o Pangea, son inferenciales *(La ciencia no incluye ideas, solo son datos, las inferencias son menos importantes que las observaciones).*	Abd-El-Khalick et al. (2008); Lederman et al., (2002); McComas (2020)

3. Creativo	Generar conocimiento científico implica creatividad humana en el sentido de que los científicos inventen explicaciones y entidades teóricas, diseñan experimentos y crean instrumentos para describir y comprender la realidad *(La creatividad no es necesaria en la ciencia por su carácter objetivo y por tener un solo método establecido).*	Abd-El-Khalick et al. (2008); Lederman et al., (2002); McComas (2020)
4. Guiado por la teoría (subjetividad)	Los compromisos teóricos y disciplinarios, las creencias, los conocimientos previos, la formación y las expectativas de los científicos influyen en su trabajo. Estos factores de fondo afectan la elección de los científicos sobre los problemas que investigan y los métodos que usan. La ciencia rara vez comienza con observaciones neutrales, ya que éstas generalmente están guiadas y adquieren significado a la luz de preguntas derivadas de ciertas perspectivas teóricas *(La ciencia es infalible por su carácter objetivo. Si hay diferentes puntos de vista en la ciencia es porque alguien está equivocado o hay conflicto de intereses).*	Abd-El-Khalick et al. (2008); Lederman et al., (2002); McComas (2020)
5. Tentativo	El conocimiento científico es fiable y duradero, pero nunca absoluto o seguro. Todas las categorías de conocimiento ("hechos", teorías, leyes, etc.) están sujetas a cambios. Las afirmaciones científicas cambian a medida que se aportan nuevas pruebas gracias a los avances conceptuales y tecnológicos; cuando la evidencia existente se reinterpreta a la luz de ideas teóricas nuevas o revisadas *(El conocimiento científico se descubre en algún momento y luego ya no cambia).*	Abd-El-Khalick et al. (2008); Lederman et al., (2002); McComas (2020)
6. Diversidad de métodos científicos	Existen diversos métodos para generar conocimiento científico, muchas veces dependiendo de la disciplina científica que se cultiva. Los científicos observan, describen, comparan, miden, prueban, experimentan, plantean hipótesis, argumentan, crean ideas y modelos, y construyen teorías y explicaciones *(Existe un solo método con pasos temporales secuenciales. Cuando falta uno no se puede hacer ciencia y siempre existen experimentos dentro de estos pasos).*	Abd-El-Khalick et al., (2008); Quiroz (2015); McComas, (2020)
7. Teoría, leyes, modelos e hipótesis	El conocimiento científico se organiza en hipótesis, modelos, teorías y leyes, siendo cada uno ellos, conocimientos con su propia validez, alcance y función *(Las teorías son iguales que las hipótesis, carentes de evidencia, en comparación con las leyes que son irrefutables y de mayor estatus que las teorías).*	Cofré, (2012); McComas (2020)
8. Dimensiones sociales del quehacer científico	El conocimiento científico se construye en comunidad. Esto, a través de la colaboración y competencia entre grupos de científicos y también en los espacios establecidos para la comunicación y la crítica dentro de la empresa científica. Esto mejora la objetividad del conocimiento científico examinado colectivamente al disminuir el impacto de las idiosincrasias y subjetividades de los científicos individuales, por ejemplo, a través del proceso de revisión por pares doble ciego utilizado por las revistas científicas *(El conocimiento científico lo generan científicos solitarios, geniales, que comunican sus conocimientos directamente a los libros).*	Abd-El-Khalick et al. (2008); Cofré (2012).
9. Relación de la ciencia con la	La ciencia es una empresa humana integrada y practicada en el contexto de un medio cultural más amplio. Por tanto, la ciencia afecta y es afectada por diversos elementos y esferas culturales,	Abd-El-Khalick et al. (2008); Lederman

sociedad y la cultura	incluido el tejido social, la cosmovisión, las estructuras de poder, la filosofía, la religión y los factores políticos y económicos. Tales efectos se manifiestan, entre otras cosas, a través de la financiación pública o privada para la investigación científica *(La sociedad no afecta la ciencia porque esta es inmune a la cultura)*.	et al., (2002); McComas (2020)

Esta lista de aspectos de NOS incluye aspectos epistémicos, centrados en el **proceso de construcción** de conocimiento científico y sus características (tentativo, cargado teóricamente y creativo), y aspectos no epistémicos, centrados en las **circunstancias y contextos** socioculturales de la ciencia y su desarrollo (procesos de negociación y que está mediado cultural y socialmente) (Acevedo-Díaz et al. 2017; García-Carmona 2018; Cuellar y Marzábal 2020).

A pesar de la gran cantidad de conocimiento generado por este programa de investigación, desde sus inicios ha sido criticado por ser demasiado simple e insuficiente para describir la empresa científica, creándose enfoques alternativos (e.g., Allchin, 2011; García-Carmona y Acevedo-Díaz, 2017; Irzik y Nola, 2011; van Dijk, 2011). Por ejemplo, Allchin (2011) defiende la necesidad de perspectivas más amplias sobre la NOS. Propone la "ciencia integral" y sostiene que las NOS en la ciencia escolar deben ser sensibles a todas las dimensiones de la práctica científica. Propuso que muchos aspectos relacionados con la ciencia como empresa -financiamiento, motivación, revisión por pares, fraude y otros- deben ser enfatizados para los estudiantes, los cuales quedan invisibilizados en la propuesta de aspectos generales. Irzik y Nola (2011), por su parte, critican a la visión de consenso por mostrar una imagen estrecha de la ciencia y proporcionar una visión uniforme de la misma. Para superar estas limitaciones estos autores propusieron el enfoque de semejanza familiar (FRA), el que se basa en la idea de que, aunque existan algunas características comunes a todas las ciencias naturales, estas características no pueden utilizarse para definir la ciencia en sí. Los autores sugirieron cuatro categorías específicas abiertas: (a) procesos de indagación, (b) objetivos y valores, (c) métodos y regla metodológica, y (d) productos. Aunque interesante, se ha reconocido que este enfoque sería mucho más complejo de aplicar en el contexto escolar (Erduran y Dagher, 2014). La Tabla 2 muestra cuáles son los componentes de la propuesta de FRA modificada o RFN de Reconceptualización de FRA (véase Kaya y Erduran, 2016).

Esta propuesta, así como la de García-Carmona y Acevedo-Díaz, (2017) y otras se distinguen de la visión general de NOS por incluir de forma más explícita y detallada aspectos sociales, políticos y económicos del quehacer científico (e.g., fuentes de financiamiento), así como por incluir el proceso de generación de conocimiento o prácticas científicas (e.g., observación, argumentación o experimentación). En mi opinión, estas dos características pueden complicar aun más la comprensión y enseñanza de la NOS en el contexto escolar y también el proceso de investigación dentro de la didáctica de las ciencias. Por ejemplo, el

incluir las habilidades científicas dentro de la NOS llevaría a que deberíamos revisar nuestro currículo actual el cual incluye Objetivos de Aprendizaje específicos para ellas. Por otro lado, existe un marco conceptual bastante desarrollado sobre la indagación científica (véase Vergara y Cofré 2021 para una revisión), la cual incluye el desarrollo de habilidades científicas como uno de sus objetivos. Por otro lado, la inclusión más detallada de aspectos políticos y económicos dentro de la relación entre ciencia y sociedad, también se puede sobreponer con el marco teórico de los temas socio científicos o SSI (Socioscientific issues), tanto en su tratamiento en el aula como en la investigación. No obstante, más que opiniones, lo que necesitamos es evidencia empírica que nos muestre si estos programas alternativos de NOS pueden generar conocimiento sobre la comprensión de ella en estudiantes y profesores. Afortunadamente, en los últimos años algunos de los proponentes de estas visiones alternativas han comenzado a generar evidencia sobre su viabilidad y pertinencia en contexto de formación inicial docente, aunque no aun en contextos escolares (e.g., García-Carmona y Acevedo-Díaz, 2017; Cheung y Erduran, 2022).

Tabla 2: Categorías de FRA según Erduran y Dagher (2014) y una síntesis de sus principales elementos.

Aspectos de NOS	Elementos principales
Objetivos y valores	La empresa científica se sustenta en la adhesión a un conjunto de valores que guían las prácticas científicas. Estos objetivos y valores suelen estar implícitos y pueden incluir precisión, objetividad, coherencia, escepticismo, racionalidad, simplicidad, adecuación empírica, novedad, compromiso con la lógica, viabilidad y poder explicativo, entre otros.
Prácticas científicas	La empresa científica abarca una amplia gama de aspectos cognitivos, epistémicos y prácticas discursivas. Las prácticas científicas como la observación, la clasificación y la experimentación utilizan una variedad de métodos para recopilar datos observacionales, históricos o experimentales. Las prácticas cognitivas, como explicar, modelar y predecir, están estrechamente vinculadas con las prácticas discursivas que implican argumentación.
Métodos y reglas metodológicas.	Los científicos realizan investigaciones disciplinadas utilizando una variedad de métodos de observación, métodos de investigación y análisis para generar evidencia confiable y construir teorías, leyes y modelos en una disciplina científica determinada, que se guían por reglas metodológicas.
El conocimiento científico	Las teorías, leyes y modelos (TLM) son productos interrelacionados del conocimiento científico. Certificación y difusión social Empresa que genera y/o valida conocimiento científico y proporciona explicaciones lógicas y consistentes para desarrollar la comprensión científica. El conocimiento científico es holístico y relacional.
Actividades profesionales	Los científicos participan en actividades profesionales que les permiten comunicar su investigación como la presentación en conferencias, la redacción de artículos para revistas revisadas por pares, el envío de proyectos para la obtención de financiación, entre otros.
Ethos científico	Se espera que los científicos respeten un conjunto de normas tanto en su propio trabajo como durante sus interacciones con colegas y científicos de otras instituciones. Estas

	normas pueden incluir escepticismo organizado, universalismo, honestidad intelectual, respeto por los sujetos de investigación y por el medio ambiente.
Certificación y difusión social	Al presentar su trabajo en conferencias y escribir manuscritos para revistas revisadas por pares, sus pares revisan y evalúan críticamente el trabajo de los científicos. Esta forma de control de calidad social ayuda a la validación de nuevos conocimientos científicos por parte de la comunidad científica en general.
Valores sociales de la ciencia	La empresa científica encarna varios valores sociales, incluida la utilidad social, respetar el medio ambiente, la libertad, descentralizar el poder, la honestidad, abordar las necesidades humanas y la igualdad de autoridad intelectual.
Organizaciones e interacciones sociales	La ciencia está socialmente organizada en diversas instituciones, incluidas universidades y centros de investigación. La naturaleza de las interacciones sociales entre los miembros de un equipo de investigación que trabaja en diferentes proyectos se rige por una jerarquía organizacional. La Ciencia también se ha vinculado a la industria y las fuerzas de defensa.
Estructuras de poder político	La empresa científica opera dentro de un entorno político que impone sus propios valores e intereses. La ciencia no es universal y sus resultados no siempre son beneficiosos para los individuos, grupos, comunidades o culturas.
Sistemas financieros	Los científicos requieren financiamiento para llevar a cabo su trabajo, y los órganos rectores a nivel estatal y nacional proporcionan gran parte de este financiamiento a universidades y centros de investigación. Como tales, estas organizaciones influyen en los tipos de investigación científica que se financian.

Comprender NOS: Propósitos y Desafíos

Al menos en los últimos 30 años, la NOS se ha vinculado a la alfabetización científica tanto desde la academia (e.g., Osborne et al., 2003; Höttecke y Allchin 2020) como en el ámbito de las políticas públicas (e.g. Millar y Osborne 1998; NGSS Lead States 2013; Mineduc 2015, 2019). En estas tres décadas, se ha descrito que tanto profesores como estudiantes no manejan una visión informada de este tema, a pesar de que existen estrategias efectivas para lograr su aprendizaje (Lederman, 2007; Cofré et al., 2019). Una hipótesis que puede explicar esta falta de eficacia es que, en muchos de los documentos curriculares alrededor del mundo, el tema de NOS no aparece asociado explícitamente a los objetivos de aprendizaje (Olson, 2018) y por otra parte, aun es escaso encontrar este elemento en la formación de profesores de ciencia (Cofré et al., 2015). Por otro lado, las investigaciones empíricas sobre el tema han mostrado que aún no conocemos claramente cuál es la relación entre la comprensión de NOS de los estudiantes y la toma de decisiones informadas sobre cuestiones sociales y personales con base científica (Bell y Lederman 2003; Bell et al., 2011; Sadler et al., 2004).

Por ejemplo, Bell y Lederman (2003), después de separar a los participantes de su estudio en dos grupos en función de su comprensión de NOS, no encontraron diferencias significativas

en sus decisiones sobre SSI, ya que ambos grupos usaron más sus valores personales y su preocupación social, que el conocimiento de NOS para tomar sus decisiones. Del mismo modo, Walker y Zeidler (2007), al relacionar la comprensión de NOS de estudiantes con sus capacidades de tomar decisiones también en SSI tampoco encontraron una relación positiva. Sin embargo, Sadler et al. (2004), en un estudio que incluyó a 84 estudiantes de secundaria, encontraron que existía una relación parcial entre la comprensión de tres aspectos de NOS de los estudiantes y sus decisiones luego de leer información contradictoria relacionada con el calentamiento global. Es decir, asumir o suponer que la comprensión de NOS lleva directamente a una mayor alfabetización científica de los estudiantes es algo que aun está en discusión.

También se ha propuesto que la NOS debería enseñarse en las aulas ya que puede tener un rol importante en la comprensión de contenido científico especialmente dado que los estudiantes muchas veces presentan las mismas visiones de científicos del pasado que, a través de evidencias empíricas se dieron cuenta de sus errores (McComas et al., 1998). Sin embargo, esta relación también es una hipótesis que pocas veces se pone a prueba (Lederman, 2007). En uno de los pocos estudios que han presentado evidencia de esta relación, Peters (2012), mostró que el grupo de estudiantes que reflexionó sobre NOS de forma explícita, superó significativamente al grupo control en las evaluaciones de conocimiento sobre electricidad y magnetismo. El estudio incluyó 246 estudiantes de octavo grado, y se trabajaron cuatro aspectos de NOS: teoría vs. ley, empírico, revisión por pares, y creatividad.

Por otra parte, la literatura ha propuesto que la comprensión de NOS puede estar ligada a la comprensión de la teoría evolutiva, ya que se han descrito varias preconcepciones sobre NOS que se relacionan con el conocimiento evolutivo, por ejemplo, que la evolución es “solo una teoría” (e.g., Glaze y Goldston, 2015; Cofré et al., 2021). En nuestra experiencia la relación entre comprensión de NOS y conocimiento sobre evolución es más compleja (Cofré et al., 2018), ya que también se incluye en este escenario la aceptación de la evolución (Glaze y Goldston, 2015; Cofré et al., 2021). Por ejemplo, en un estudio cuasi experimental, realizado con estudiantes de tercero medio (16-17 años) encontramos que el grupo control, al cual no se le enseñó sobre NOS, desarrolló un conocimiento similar al grupo experimental, sin embargo, los estudiantes que no revisaron los aspectos de NOS presentaron, en promedio, un nivel más bajo de aceptación de la teoría (Cofré et al., 2018). De esta forma, tanto la relación entre NOS y alfabetización científica, como la relación entre NOS y comprensión de contenidos científicos aún necesitan ser investigadas.

En términos de la comprensión de NOS, las investigaciones de los últimos años nos han mostrado un escenario no mucho más halagüeño que los trabajos de comienzos de siglo (Cofré et al., 2019). Es decir, a pesar de los esfuerzos, la mayoría de los estudiantes y profesores de ciencia presentan una visión más bien ingenua del quehacer científico antes de la enseñanza. Una de las posibles hipótesis para esta realidad es que, si bien la investigación

reconoce la importancia de enseñar y aprender NOS, los documentos curriculares (e.g., Olson, 2018; Mineduc, 2015, 2019) y la formación inicial de profesores de ciencia alrededor del mundo (Olson et al., 2015; Pavez et al., 2016), rara vez incluyen explícitamente este tema, al menos durante las primeras dos décadas de este siglo (Cofré et al., 2019).

Lo que si hemos aprendido o confirmado, es que existen ciertos aspectos de NOS que parecen ser más difíciles de comprender que otros (Mesci y Schwartz 2017). Según estos autores, la diferencia entre teoría y ley y la interacción de la ciencia con aspectos socio-culturales parecen ser temas más complejos de aprender (o sus preconcepciones más difíciles de cambiar), que los aspectos empírico e inferencial de la Ciencia, así como el aporte de la creatividad y la subjetividad del investigador. Si bien las preconcepciones de la existencia de un solo método científico y de que el conocimiento no cambia se clasifican también como fácil y difícil respectivamente por Mesci y Schwartz (2017), en nuestra experiencia, y de acuerdo con la revisión sistemática de investigaciones de casi 20 años (Cofré et al., 2019), parece que estos aspectos presentan una dificultad, más bien intermedia entre estos dos grupos (e.g., McComas et al., 2020). Mención especial deberíamos anotar sobre el aspecto de que el conocimiento científico se genera por la suma de aportes de diferentes científicos y científicas o por el trabajo en comunidad con más o menos colaboración, y que no son individuos aislados los que descubren y generan solos el conocimiento, ya que es uno de los temas que más y mejor recepción hemos encontrado tanto entre profesores como entre estudiantes (ver Tabla 1; Cañete et al., 2022).

También se ha comenzado a generar evidencia de que puede haber conexión entre la comprensión de distintos aspectos de NOS y que incluso algunos de ellos pueden mejorar, sin que haya una planificación explicita de su enseñanza (Seung et al. 2009; Pavez et al., 2016). Esto no quiere decir que la NOS se pueda aprender implícitamente en términos generales, sino que, cuando se planifican y enseñan premeditadamente ciertos aspectos (e.g., creatividad en la generación de conocimiento), al evaluar la comprensión de otros aspectos (e.g. existe un único método), también se obtienen mejores resultados. En este ejemplo, puede ser que al revisar un pasaje histórico donde se revisa la creatividad de un científico para responder su pregunta, los profesores y también los estudiantes pueden asociar que esta creatividad promueve la búsqueda de diferentes métodos para responder las preguntas de investigación.

Como conclusión de esta parte se puede decir que, de acuerdo con la investigación de los últimos años, no existe un mínimo de conocimiento científico para aprender NOS ya que esto lo pueden lograr, estudiantes de Kínder y primeros años de escolaridad (e.g., Bartels y Lederman, 2022), y también profesores de estos niveles que no tienen un vasto conocimiento de contenido científico (Cofré et al., 2019). Se podría proponer inicialmente, una progresión de aprendizaje para los aspectos de NOS que va, desde la enseñanza de lo empírico y creativo,

para lo que hay evidencia de su aprendizaje desde estudiantes de pre-escolar hasta enseñanza básica (e.g., Bartels y Lederman, 2022), pasando por aspectos como la inferencia, el peso de la teoría, la tentatividad y el trabajo en comunidad, que usualmente se han trabajado en niveles de enseñanza básica, aunque con un éxito variado, hasta llegar a una enseñanza de aspectos como los múltiples métodos, teoría y ley y el aspecto socio-cultural en estudiantes secundarios (e.g., Cuellar y Marzabal, 2020; McComas et al., 2020). En la Figura 1 se muestra esta propuesta de progresión de enseñanza de acuerdo con la literatura y la experiencia de nuestro grupo en los últimos 10 años. Como último paso en la progresión se propone incluir aspectos sociales o no epistémicos como los sugeridos por FRA (e.g., el rol del financiamiento en la creación de conocimiento o la revisión por pares), siguiendo también la sugerencia de Kampourakis (2016).

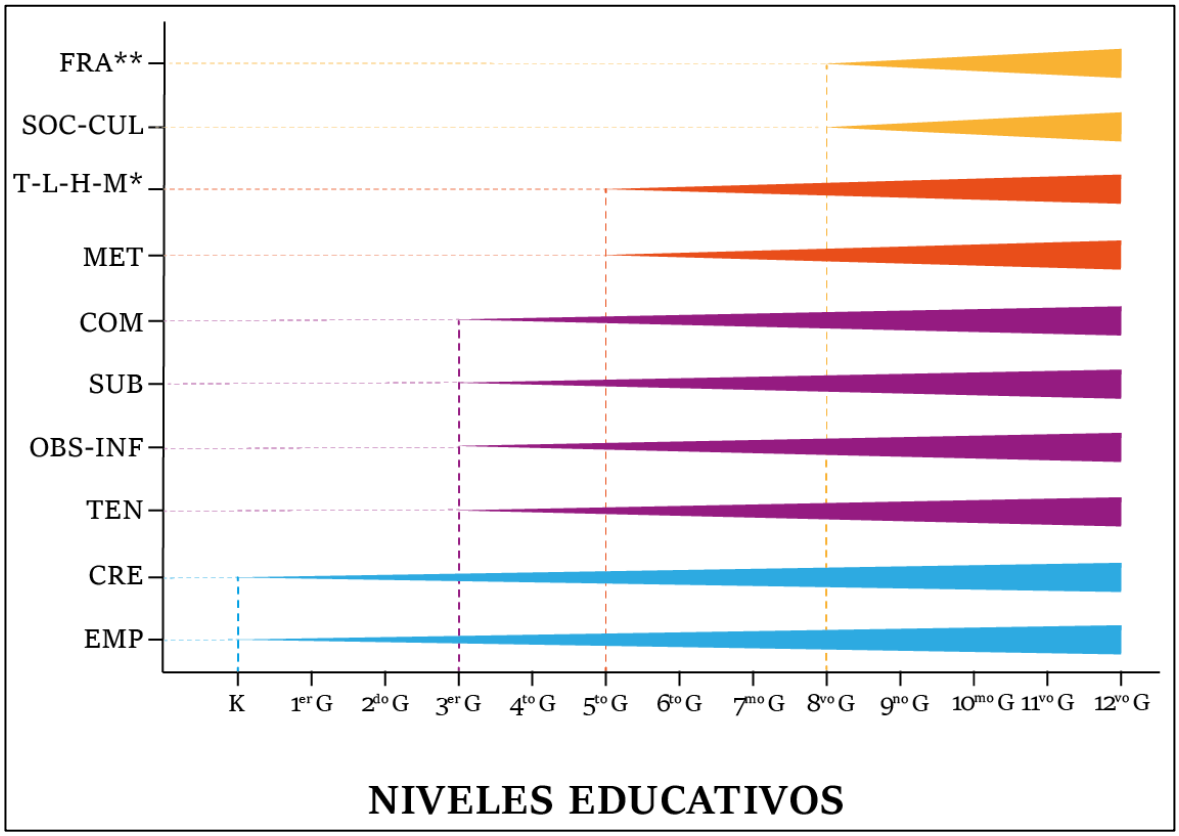

Figura 1. Propuesta de progresión de enseñanza de NOS de acuerdo con la evidencia empírica sobre los aspectos más estudiados en diferentes niveles educativos y el éxito relativo para la comprensión de cada uno según la literatura y nuestra experiencia sobre su enseñanza (e.g., Bartels y Lederman, 2022; Cofré et al., 2018, 2019, datos no publicados; Cuellar y Marzabal, 2020). * Aunque el aspecto de comprender Teoría y Ley se ha estudiado principalmente en nivel secundario y se describe como uno de los más complejos de aprender (Mesci y Schwartz, 2017), proponemos comenzar su enseñanza en quinto grado asumiendo que se inicia con conceptos como hipótesis y modelos, en una visión más amplia del aspecto (Ver Tabla 1). ** La inclusión de FRA al final de la progresión se basa en la propuesta teórica de Kamapourakis (2016), no en datos empíricos.

Un ejemplo de esta propuesta se ve avalada por el trabajo de Cuellar y Marzabal (2020), realizado en Chile con estudiantes de entre 14 y 17 años, el cual mostró que se aprendía más sobre aspectos epistémicos que sobre aspectos sociales de la ciencia. De todas formas, el tema de la progresión se debería ir aclarando en el futuro cuando más estudios longitudinales se puedan realizar en las aulas de los diferentes niveles escolares.

Enseñar NOS: 10 años de experiencia con algún grado de éxito

Existe un amplio consenso en la literatura internacional que la enseñanza de NOS debe concebirse como la de un contenido curricular específico, cuyo desarrollo en la clase de ciencias requiere de una planificación didáctica con sus propios objetivos de aprendizaje. Por lo tanto, el diseño de las actividades debe promover que los alumnos piensen y discutan reflexivamente sobre los aspectos de NOS. Idealmente, esta enseñanza debe ir acompañada de un proceso de evaluación para determinar el grado de comprensión alcanzado por los estudiantes, detectar sus dificultades de aprendizaje y determinar la retroalimentación necesaria para ayudarles a mejorar su comprensión de NOS (Acevedo y García-Carmona 2016; Lederman, 2007, 2021; McComas et al., 2020).

Sin embargo, de la sección anterior, sabemos que un grupo menor de profesores y profesoras comprenden NOS y son capaces de enseñarlo en sus aulas. No obstante, nuestra experiencia de los últimos 10 años también nos muestra que a través de programas de desarrollo profesional se puede mejorar la comprensión de este tema, tanto en profesores en formación como en ejercicio, e incluso se puede desarrollar su Conocimiento Pedagógico del Contenido de NOS (Acevedo et al., 2016; Cofré et al., 2017; Pavez et al., 2016).

En el caso del PCK de NOS, la investigación clásica ha mostrado que muchos factores median entre el conocimiento de NOS y las capacidades para enseñarla (Lederman, 2007). Estos factores incluyen: la preocupación de los maestros novatos con los problemas de supervivencia (por ejemplo, la gestión del aula); disponibilidad de materiales de enseñanza y evaluación; las creencias de los maestros sobre la importancia de que sus estudiantes aprendan sobre NOS, entre otros (e.g., Abd-El-Khalick et al., 1998; Lederman, 1999). Sin embargo, en los últimos 10 años no hemos avanzado un poco más en la comprensión sobre cómo se desarrolla el PCK de los profesores de ciencias para NOS. Algunos resultados interesantes de dichos estudios son: 1) Los aspectos de NOS que se incorporan con menos frecuencia son el mito del método científico, la naturaleza de las teorías y las leyes, y los aspectos socioculturales (Wahbeh y Abd-El-Khalick, 2014; Pavez et al., 2016); 2) los maestros no incorporan NOS explícitamente en el contenido científico enseñado (Pavez et al., 2016) y no incluyen las conexiones entre los aspectos de NOS en sus clases (Akerson et al., 201); 3) los profesores necesitan seguridad en su comprensión de NOS para enseñar NOS (Demirdögen et al., 2016; Mesci, 2020); 4) es más fácil para las y los profesores desarrollar

el conocimiento de las estrategias de enseñanza NOS, que el conocimiento de los estudiantes (Hanuscin, 2013); 5) los maestros son capaces de traducir aspectos de NOS a términos comprensibles para sus estudiantes si poseen un sólido conocimiento disciplinar (Mesci, 2020); 6) los profesores valoran y utilizan tanto actividades sin contexto como con contexto científico (Donnelly y Argyle 2011; Cofré et al., 2014; Pavez et al., 2016), y 7) los profesores usualmente enseñan NOS a través de la indagación y la historia de la ciencia (Hanuscin et al., 2011; Faikhamta 2013; Cofré et al., 2018; Cuellar y Marzabal, 2020). En la Figura 2 se muestran los aspectos de la enseñanza que más se usan para enseñar NOS y que, por lo tanto, parecen ser los contextos más efectivos.

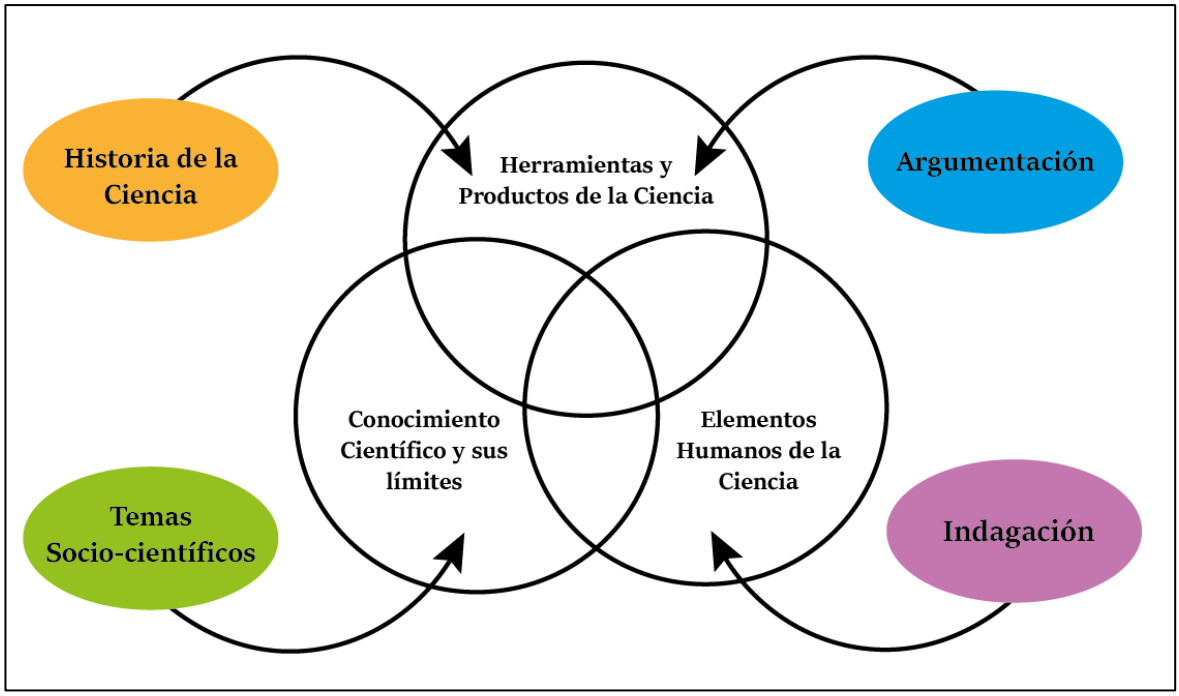

Figura 2. Estrategias de enseñanza y elementos curriculares más ampliamente descritos como efectivos para la enseñanza de NOS (Fuente: Tomado y modificado de McComas et al., 2020).

En cuanto a la indagación científica como estrategia de enseñanza de NOS, existe una amplia cantidad de literatura que muestra su eficiencia y recientemente hemos publicado un REINNEC, que trae dos actividades que pueden incluir fácilmente preguntas enfocadas en NOS (Vergara y Cofré, 2021). Una en contexto de una investigación en ecología con datos históricos (pinzones) y otra en contexto socio científico con datos actuales sobre Covid-19 y su efecto diferencial dependiendo del estatus socio económico de las comunas de Santiago.

En el anexo 1 de este trabajo, ahora incluyo un ejemplo de análisis de una investigación real en contexto de ecología, la cual puede llevar a que los estudiantes se pongan en el rol de los investigadores y puedan reflexionar a través del análisis de datos en tablas y gráficos sobre diferentes aspectos de NOS. En esta actividad se propone que los y las estudiantes puedan generar hipótesis, analizar datos, hacer inferencias, comparar sus propias conclusiones con

las de los autores y evaluar si el estudio genera conocimiento nuevo que modifica el ya existente en el área, reflexionando así, sobre los diferentes aspectos epistémicos y sociales que implica llevar a cabo una investigación.

Por otra parte, la estrategia de la argumentación ha sido descrita como una forma natural para reflexionar sobre NOS, dada su conexión directa con la ciencia al ser parte de las prácticas científicas más utilizadas por los investigadores (Osborne, 2010; Larraín, 2021). Estudios a lo largo de la última década han demostrado una relación directa entre las mejoras de ciertas concepciones sobre algunos aspectos de NOS (e.g., subjetividad, tentatividad o empirismo) y las prácticas argumentativas de los estudiantes (Khishfe 2012, 2014, 2020). El anexo 2 muestra una actividad que une un tema socio científico sobre contaminación y cambios ecológicos producto de cambios ambientales y datos empíricos reales que se pueden analizar a través de la indagación, con una estructura de argumentación, que propicia la discusión y el dialogo entre estudiantes sobre diferentes aspectos de la NOS. En este caso, los estudiantes deben elegir una de las alternativas como posible respuesta al problema estando cada una de ellas asociadas a un aspecto de NOS (guiada por la teoría, diversidad de métodos científicos y el efecto de aspectos socio-culturales y políticos en la ciencia, respectivamente). Ambas actividades se han implementado con éxito, tanto en la formación inicial y continua de profesores (tanto de biología como de educación básica con mención), como en la enseñanza escolar asociados al contenido de ecología.

Conclusiones y Futuras direcciones

En este comentario, hemos querido recopilar, analizar y discutir los avances del tema de la enseñanza y comprensión de NOS en los últimos 10 años en Chile y el mundo. Un aspecto interesante de esta reflexión es que, analizar el desarrollo del conocimiento científico en esta área, nos permite reconocer de forma explícita algunos aspectos del quehacer científico en sí. Por ejemplo, hemos visto como la conceptualización hacia NOS se ha diversificado, como ya se puede proponer una primera propuesta de progresión de aprendizaje y como ciertas estrategias de enseñanza como los SSI o la argumentación se reconocen como las más efectivas (Cofré et al., 2019). Es decir, reconocemos la tentatividad del conocimiento científico, como en su construcción participa una comunidad completa de investigadores e investigadoras, y como estos grupos hacen propuestas que se basan en ideas y datos utilizando diferentes métodos para responder sus preguntas (Quiroz, 2015).

Por otro lado, nos damos cuenta de lo complejo que es que el conocimiento sea reconocido y adoptado por la sociedad (en este caso conocimiento de NOS), incluso dentro de grupos especializados como aquellos que desarrollan el currículum en educación científica. Más de 30 años de investigación que demuestra la necesidad de enseñar NOS de forma explícita en las aulas, no ha bastado para que, quienes crean los documentos oficiales en el mundo (Olson, 2018), y también en Chile, (especialmente los OA u Objetivos de Aprendizaje) incluyan de forma explícita este contenido (Mineduc, 2015, 2019).

Esperamos que la revisión de nuevos aspectos y propuestas conceptuales (Tablas 1 y 2), así como nuestra síntesis de progresión (Fig. 1) y los ejemplos de enseñanza explicita, reflexiva incluyendo la argumentación y la indagación (Anexos 1 y 2), sean un aporte para que más profesoras y profesores se atrevan a incluir NOS en sus clases de ciencia, desde los primeros años de escolaridad hasta la formación inicial y continua de profesores.

Para terminar, quisiéramos citar a Naomi Oreskes, (2022), quien en su libro ¿Por qué confiar en la ciencia?, responde esta pregunta de la siguiente forma: ¿Por qué confiar en la Ciencia?, "[porque] tenemos una base general para confiar en los procesos de investigación científica, fundada en el carácter social de la investigación científica y la evaluación crítica colectiva de las afirmaciones del conocimiento. Y es por ello que, *ex ante*, está justificado que aceptemos los resultados de los análisis científicos realizados por científicos como algo que probablemente esté justificado" (pp. 87). Es decir, debemos confiar en que las vacunas nos protegen de enfermedades o que el aumento de los gases invernadero producto de la acción humana están calentando el planeta más rápido de lo esperado, porque sabemos cómo se genera y cómo se valida el conocimiento científico. Esto último, al menos a nosotros, nos parece que es naturaleza de la ciencia.

Agradecimientos

A las y los colegas del grupo Bioeducanos que investigan y/o enseñan NOS. Esta revisión y todos los trabajos citados del grupo se han nutrido de su experiencias, datos e ideas. Este artículo se escribió gracias al financiamiento del Proyecto Fondecyt 1211920 (ANID), Gobierno de Chile.

Bibliografía

Abd-El-Khalick, F., Waters, M., & Le, A. (2008). Representation of nature of science in high school chemistry textbooks over the past four decades. Journal of Research in Science Teaching, 45, 835–855.

Acevedo-Díaz, J. A., & García-Carmona, A. (2016). «Algo antiguo, algo nuevo, algo prestado». Tendencias sobre la naturaleza de la ciencia en la educación. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 13 (1), 3-19.

Acevedo-Díaz, J., García-Carmona, A., & M. Aragón (2017). Historia de la ciencia para enseñar naturaleza de la ciencia: una estrategia para la formación inicial del profesorado de ciencia. *Educación Química* 28, 3, 140–146.

Allchin, D. (2011). Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. *Science Education*, *95*, 518–542.

Andersson, M. (1994). *Sexual Selection*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

Bartels, S. & Lederman, J. (2022). What do elementary students know about science, scientists and how they do their work? *International Journal of Science Education*, 44:4, 627-646.

Bell, R. L., & Lederman, N.G. (2003). Understanding of nature of science and decision making in science and technology based issues. *Science Education* 87(3), 352-377.

Bell, R. L., Matkins, J. J., & Gansneder, B. M. (2011). Impacts of contextual and explicit instruction on preservice elementary teachers' understandings of the nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(4), 414–436.

Cañete, C., Gonzalez, E., & J. Pino (2022). Cambios en el conocimiento de Naturaleza de la Ciencia y nutrición en un grupo de estudiantes de tercer año medio en la asignatura de Ciencias para la Salud: El rol de la argumentación científica. Tesis de grado. Pedagogía en Biología. PUCV.

Central Association for Science and Mathematics Teachers. (1909). A Consideration of the Principles that Should Determine the Courses in Biology in Secondary Schools. *School Science and Mathematics*, 9, 241–247.

Cofré, H. L. (2012). La enseñanza de la naturaleza de la ciencia en Chile: del currículo a la sala de clases *Revista Chilena de Educación Científica*, 11, 12–21.

Cofré, H. L., C. A. Vergara, N. G. Lederman, J. S. Lederman, D. P. Santibáñez, J. E. Jiménez, & M. A. Yancovic (2014). Improving Chilean in-service elementary teachers' understanding of nature of science using self-contained NOS and content embedded min-courses. *Journal of Science Teacher Education* 25:759–783.

Cofré, H., González–Weil, C., Santibáñez, D., Ahumada, G., Furman, M., Podesta, M. E., Camacho, J., Gallego, R., & Pérez, R. (2015). Science teacher education in South America: The case of Argentina, Chile, and Colombia. *Journal of Science Teacher Education*, 26(1), 45– 63.

Cofré, H. L., Santibáñez, D., Jiménez, J. P., Spotorno, A., Carmona, F., Navarrete, K., & C. A. Vergara, (2018). The effect of teaching the nature of science on students' acceptance and understanding of evolution: myth or reality? *Journal of Biological Education*, 52(3), 248–261.

Cofré, H., Núñez, P., Santibáñez, D., Pavez, J. M., Valencia, M., & Vergara, C. (2019). A critical review of students' and teachers' understandings of nature of science. *Science & Education*, *28*(3–5), 205–248.

Cofre, H. L., Vergara, C., & Sportorno, A. (Eds.). (2021). Enseñar evolución y genética para la alfabetización científica. Ediciones Universitarias de Valparaíso.

Cooley, W. W., & Klopfer, L. E. (1963). The evaluation of specific educational innovations. *Journal of Research in Science Teaching*, 1(1), 73–80.

Cuellar, L., & Marzábal, A. (2020). Visiones de estudiantes de secundaria sobre Naturaleza de la Ciencia en ambientes de discusión, cuando se incorporan biografías a la clase de ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 17(3), 310201-310219. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2020v17.i3.3102

Cheung, K. C., & Erduran, S. (2022). A systematic review of research on family resemblance approach to nature of science in science education. *Science & Education*. https://doi.org/10. 1007/s11191-022-00379-3

Darwin, C. (1859). The Origin of Species. London: J. Murray.

Demirdöğen, B., Hanuscin, D. L., Uzuntiryaki-Kondakci, E., & Köseoğlu, F. (2016). Development and nature of preservice chemistry teachers' pedagogical content knowledge for nature of science. *Research in Science Education*, 46(4), 575–612.

Donnelly, L. A., & Argyle, S. (2011). Teachers' Willingness to Adopt Nature of Science Activities Following a Physical Science Professional Development. *Journal of Science Teacher Education*, *22*(6), 475–490.

Erduran, S., & Dagher, Z. R. (2014). Reconceptualizing nature of science for science education: scientific knowledge, practices, and other family categories. Springer.

Faikhamta, C. (2013). The Development of In-Service Science Teachers' Understandings of and Orientations to Teaching the Nature of Science within a PCK-Based NOS Course. *Research in Science Education*, 43(2), 847–869.

García-Carmona, A. (2018). Improving pre-service elementary teachers' understanding of the nature of science through an analysis of the historical case of Rosalind Franklin and the structure of DNA. *Research in Science Education*, 51(2), 347–373.

García-Carmona, A., & Acevedo-Díaz, J. A. (2017). Understanding the nature of science through a critical and reflective analysis of the controversy between Pasteur and Liebig on fermentation. *Science & Education*, 26(1-2), 65–91.

Glaze, A., & Goldston, M. (2015). US science teaching and learning of evolution: A critical review of literature 2000–2014. *Science Education*, 99(3), 500–518.

Haines, C. D. Rose E.M., Odom, K.J., & Omland, K.E. (2020) The role of diversity in science: a case study of women advancing female birdsong research. *Animal Behaviour* 168 19e24 https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2020.07.021

Yacoubian, H.A., & Hansson, L. (eds) (2020). Nature of Science for Social Justice. Science: Philosophy, History and Education. Springer, Cham.

Hanuscin, D., Lee, M., Camp & Akerson, V. (2011). Elementary teachers' pedagogical content knowledge for teaching the nature of science. *Science Education*, 95(1), 145–167.

Höttecke, D., & Allchin, D. (2020). Reconceptualizing nature-of-science education in the age of social media. *Science Education*, 104(4), 641–666.

Irzik, G., & Nola, R. (2011). A family resemblance approach to the nature of science for science education. *Science & Education*, 20(7), 591–607.

Kaya, E., & Erduran, S. (2016). From FRA to RFN, or how the family resemblance approach can be transformed for curriculum analysis on nature of science. *Science & Education, 25*(9–10), 1115–1133.

Khishfe, R. (2012), Relationship between nature of science understandings and argumentation skills: A role for counterargument and contextual factors. *Journal of Research in Science Teaching*, 49: 489-514.

Khishfe, R. (2014). Explicit Nature of Science and Argumentation Instruction in the Context of Socioscientific Issues: An effect on student learning and transfer. *International Journal of Science Education*, 36(6), 974-1016.

Khishfe, R. (2020). Explicit Instruction and Student Learning of Argumentation and Nature of Science. *Journal of Science Teacher Education, 32*(3), 325–349.

Kampourakis, K. (2016). The "general aspects" conceptualization as a pragmatic and effective means to introducing students to nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(5), 667–682.

Larrain, A. (2021). Argumentar para enseñar y aprender biología. En: Cofré, H. L., Vergara, C., & Sportorno, A. (Eds.). Enseñar evolución y genética para la alfabetización científica. (pp. 105–124). Ediciones Universitarias de Valparaíso.

Lederman, N. G. (2007). Nature of science: Past, present, and future. En: S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), Handbook of research on science education (pp. 831–879). Lawrence Erlbaum.

Lederman, N. G. (2021). La Biología y la Naturaleza del conocimiento científico. En: Cofré, H. L., Vergara, C., & Sportorno, A. (Eds.). Enseñar evolución y genética para la alfabetización científica. (pp. 85–104). Ediciones Universitarias de Valparaíso.

Lederman, N. G., & Druger, M. (1985). Classroom factors related to changes in students' conceptions of the nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 22(7), 649–662.

Lederman, N. G., & O'Malley, M. (1990). Students' perceptions of tentativeness in science: Development, use, and sources of change. *Science Education, 74*(2), 225–239.

Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R., & Schwartz, R. (2002). Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 497–521.

McComas, W. F. (1996). Ten myths of science: Reexamining what we think we know about the nature of science. *School Science and Mathematics*, 96(1), 10–16.

McComas, W. F. (2020). Considering a consensus view of nature of science content for school science purposes. En: W. F. McComas (Ed.), *Nature of science instruction: Rationales and strategies* (pp. 35–66). Springer International Publishing.

McComas, W. F., Clough, M. P. & Almazroa, H. (1998). The Role and Character of The Nature of Science in Science Education. En: W. F. McComas (Ed.), *The Nature of Science in Science Education Rationales and Strategies* (pp. 3-41). Kluwer Academic Publisher.

McComas, W. F., Clough, M. P., & Nouri, N. (2020). Nature of science and classroom practice: A review of the literature with implications for effective NOS instruction. En: W. F. McComas (Ed.), Nature of science instruction: Rationales and strategies (pp. 67–111). Springer International Publishing.

Medina-Jerez, W. (2018). Science education research trends in Latin America. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 16(3), 465–485.

Mesci, G. (2020). The Influence of PCK-Based NOS Teaching on Pre-service Science Teachers' NOS Views. *Science & Education*, 29(3), 743–769.

Mesci, G., & Schwartz, R. S. (2017). Changing preservice science teachers' views of nature of science: why some conceptions may be more easily altered than others. *Research in Science Education, 47*(2), 329–351.

MINEDUC (2012). Estandares para la Formación Inicial Docente, Santiago, Chile.

MINEDUC (2015). Bases Curriculares 7° básico a 2° medio, Santiago, Chile.

MINEDUC (2019). Bases Curriculares 3° y 4° medio. Santiago, Chile.

Millar, R., & Osborne, J. (1998). Beyond 2000: Science education for the future: The report of a seminar series funded by the Nuffield Foundation. King's College London.

NGSS Lead States. (2013). Next generation science standards: For states, by states. The National Academy Press.

Odom KJ, Hall, M.L., Riebel, K., Omland, K.E., & Langmore, N. E. (2014). Female song is widespread and ancestral in songbirds. *Nature Commun.* 5:3379.

Olson J.K., Tippett, C.D., Milford, T.M., Ohana, C., Clo, M.P. (2015). Science Teacher Preparation in a North American Context. *Journal of Science Teacher Education*. 26(1), 45– 63

Olson J.K. (2018). The inclusion of the nature of science in nine recent international science education standards documents. *Science Education.* 27(7-8) 637–660.

Oreskes, N. (2022). ¿Por qué debemos confiar en la Ciencia? Ediciones Universitarias de Valparaíso.

Osborne, J. (2010). Arguing to Learn in Science: The Role of Collaborative, Critical Discourse *Science*, 328, 463-466.

Osborne, J., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R., & Duschl, R. (2003). What "ideas-about-science" should be taught in school science? - A delphi study of the expert community. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(7), 692–720.

Pavez, J., Vergara, C. A., Santibáñez, D., & Cofré, H. L. (2016). Using a professional development program for enhancing Chilean biology teachers' understanding of Nature of Science (NOS) and their perceptions about using history of science to teach NOS. *Science & Education*, 25 (3-4), 383–405.

Peters, E. (2012). Developing Content Knowledge in Students through Explicit Teaching of the Nature of Science: Influences of Goal Setting and Self-monitoring. *Science & Education*, 21, 881–898.

Price, J. J. (2015). Rethinking our assumptions about the evolution of bird song and other sexually dimorphic signals. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 3, Article 40. https://doi.org/10.3389/fevo.2015.00040

Quiroz, W. (2015). Naturaleza de la Ciencia para todos. Ediciones Universitarias de Valparaíso.

Riebel, K., Odom, K. J., Langmore, N. E., & Hall, M. L. (2019). New insights from Female bird song: Towards an integrated approach to studying male and female communication roles. *Biology Letters*, 15, Article 20190059.

Rose, EM, Coss, D., Haines, CD., Danquah, S.A., Studds, C.E., & Omlanda, K.E. (2019). Why do females sing?–pair communication and other song functions in eastern bluebirds. *Behavioral Ecology*, 30(6), 1653–1661.

Rubba, P. (1976). Nature of scientific knowledge scale, school of education. Indiana University, Bloomington.

Sadler, T. D., Chambers, F.W., & Zeidler, D. L. (2004) Student conceptualizations of the nature of science in response to a socioscientific issue. *International Journal of Science Education*, 26,4, 387–409.

Seung, E., Bryan, L., & Butler, M. (2009). Improving preservice middle grades science teachers' understanding of the nature of science using three instructional approaches. *Journal of Science Teacher Education*, 20, 157–177.

Smith, M. U., Lederman, N. G., Bell, R. L., McComas, W. F., & Clough, M. P. (1997). How great is the disagreement about the nature of science? A response to Alters. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(10), 1101–1104.

Southerland, S. A., Johnston, A., & Sowell, S. (2006). Describing teachers' conceptual ecologies for the nature of science. *Science Education*, 90(5), 874–906.

Tosun, C. (2022). Analysis of the last 40 years of science education research via Bibliometric Methods. *Science & Education,* https://doi.org/10.1007/s11191-022-00400-9

Van Dijk, E. (2011). Portraying real science in science communication. *Science Education*, 95(6), 1086–1100. https://doi.org/10.1002/sce.20458

Vergara, C., & Cofré, H.L. (2021). Las múltiples facetas de la Indagación Científica: de lo teórico a lo práctico. *Revista de Innovación en Enseñanza de las Ciencias* 5(1), 118-136.

Walker, K., & D., Zeidler (2007). Promoting Discourse about Socioscientific Issues through Scaffolded Inquiry', *International Journal of Science Education*, 29:11, 1387—1410.

Anexo 1: Taller sobre Ecología y Naturaleza de la Ciencia: "Relación entre los eventos de "El NIÑO" y la abundancia de aves acuáticas en la zona central de Chile.

Antecedentes

El nombre de "El Niño", acuñado por pescadores peruanos debido a su ocurrencia cerca de la navidad, indica que personas sin mayor educación conocían sobre las apariciones periódicas de este fenómeno oceanográfico y sobre sus secuelas (particularmente en las pesquerías artesanales) desde hace mucho tiempo. Los científicos, sin embargo, no parecieron interesarse mayormente en estudiarlo con sus herramientas hasta la aparición del **formidable El Niño de 1982-83,** cuyos efectos económicos y sociales fueron catastróficos en varias partes del cono sur.

El efecto sobre el ecosistema marino y las aves acuáticas.

En 1985 se publicó en Chile un volumen completo de la revista Investigación Pesquera, detallando cuáles fueron los efectos de El Niño 1982-83 en cuanto a fenómenos meteorológicos, oceanográficos, biológico-marinos y pesqueros. Entre otros, se observó que los mayores efectos se dieron entre Arica (latitud 19 Sur) y Chañaral (latitud 26 Sur), incluyendo una gran mortalidad de algas pardas y de invertebrados litorales, así como cambios en la composición del fitoplancton, ictiofauna y recursos pesqueros. *Uno de los efectos más inmediatos de la aparición de El Niño son las migraciones y posteriores mortalidades masivas de aves marinas*. Esto, porque al alejarse de la costa los peces que ellas consumen, no logran alimentarse adecuadamente y mucho menos reproducirse. Las aves terrestres que habitan islas oceánicas también sufren grandes mortalidades. Cuando sobreviene El Niño, el exceso de precipitaciones produce muchas fallas reproductivas y las sequías que le siguen (el fenómeno inverso de La Niña), resulta en grandes mortalidades por falta de alimento. Una década después, Vilina y Cofré estudiaron la abundancia y distribución de cuatro especies de aves acuáticas en la reserva Nacional El Yali (V región), desde 1994 hasta 1998, con el objetivo de determinar si existía algún patrón de relación entre los cambios ambientales asociados a "El Niño" y la abundancia y la preferencia de hábitats de cuatro especies de Zambullidores. ***(El Niño" Effects on the Abundance and Habitat Association Patterns of Four Grebes Species in Chilean Wetlands. [2000] Yerko A. Vilina & Hernán Cofre Waterbirds: Vol. 23, No. 1, pp. 95–101).***

Desarrollo

A partir de los antecedentes y los resultados del estudio realice las siguientes actividades:

1) Proponga cual debería haber sido la hipótesis del estudio de Vilina y Cofré (2000) con respecto a las abundancias de aves y las precipitaciones (ENSO).

2) De acuerdo con la Tabla 1 describa dos observaciones de los datos recolectados y proponga dos inferencias que se desprendan de los datos.

3) De acuerdo con la siguiente Figura del artículo ¿Cuál es la relación (si existe) entre las precipitaciones y la abundancia total de especies de zambullidores? Las columnas corresponden a las precipitaciones y los puntos a la abundancia total mensual de todas las especies de zambullidores.

4) Lea el resumen y compare su conclusión con la de los autores. ¿Son iguales? Si difieren en algo, ¿Cómo se explica que ustedes no concluyan lo mismo que los autores si ambos analizaron los mismos datos?

5) De acuerdo con los datos obtenidos en esta investigación ¿qué pasó con el conocimiento científico que establecía que el evento "El Niño" producía efectos negativos en las comunidades de aves?

6) Identifique 3 aspectos sobre funcionamiento de quehacer científico que se pueden reconocer en esta investigación y explíquelos en base a la información que se da en el estudio

Tabla 1. Abundancia estacional entre 1993 y 1997 de las cuatro especies de zambullidores en el área de estudio (Tabla traducida y modificada por el autor).

Especies	1993		1994				1995				1996				1997			
	A	N	F	M	A	N	F	M	A	N	F	M	A	N	F	M	A	N
Pimpollo	317	273	588	453	0	83	22	_	20	_	_	4	5	4	10	1	4	7
Blanquillo	207	464	14	6	0	106	80	_	24	_	_	31	253	208	0	0	73	91
Picurio	7	7	14	3	0	1	8	_	1	_	_	1	0	0	1	0	2	1
Huala	40	31	10	10	0	140	74	_	102	_	_	0	3	0	0	3	27	5
Total	571	775	626	472	0	330	184	_	147	_	_	36	261	212	11	4	103	104

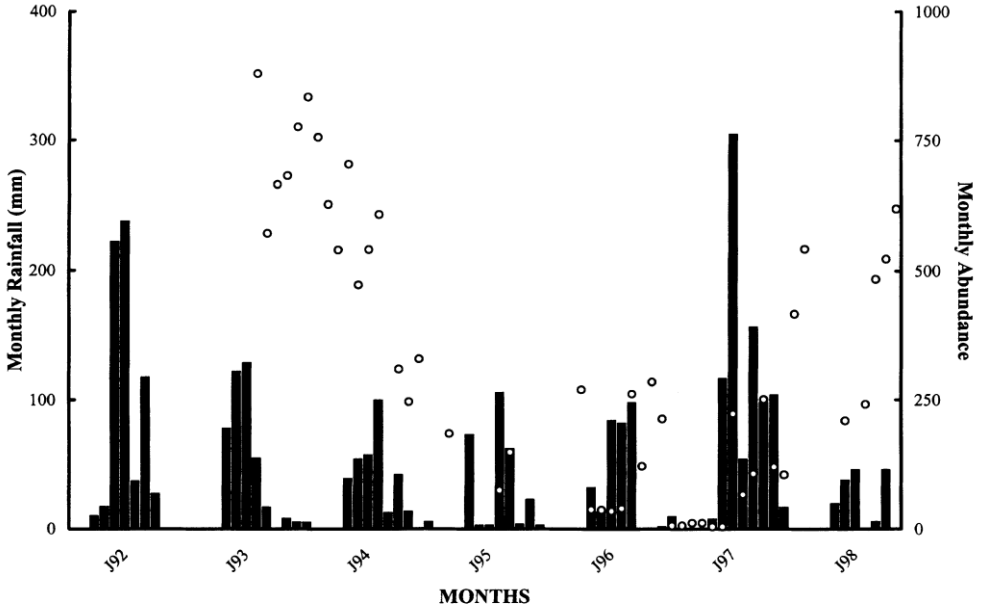

Figura 2 (en el artículo original). Lluvias mensuales (columnas) y abundancias mensuales de las cuatro especies de zambullidores (puntos abiertos) en toda el área de estudio

Resumen: Desde julio de 1993 hasta noviembre de 1998 los autores estudiaron la distribución, abundancia y patrones de distribución de cuatro especies de zambullidores, el pimpollo (*Rollandia rolland*), el blanquillo (*Podiceps occipitalis*), la huala (*Podiceps major*), y el picurio (*Podilymbus podiceps*), en un humedal de la zona Mediterránea de Chile. Las posibles relaciones entre estos patrones y el aumento de las precipitaciones asociado a El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) también fueron estudiados. El estudio se llevó a cabo en cuatro hábitats de humedales durante 47 meses. Los resultados mostraron una correlación positiva entre la abundancia media primaveral de estas especies y las precipitaciones totales del año anterior. Las poblaciones de zambullidores aumentaron en el verano del año del evento ENSO y alcanzaron su máximo en la primavera del año posterior al ENSO

Anexo 2: Taller sobre Ecología y Naturaleza de la Ciencia: “Cambios poblacionales de la población de cisnes cuello negro en el Sur de Chile.

ANTECEDENTES

Durante los últimos dos años se está dando un fenómeno preocupante para el equipo de guardaparques del Santuario de la Naturaleza Río Cruces, ubicado en Valdivia, respecto a una de sus especies emblemáticas: el cisne de cuello negro. Este equipo de profesionales ha registrado una fuerte baja en el número de cisnes que usualmente habitan el humedal, y también han podido registrar una muy baja reproducción y número de crías. El monitoreo que se tiene de la población de cisnes en este humedal es de larga data, iniciándose en el año 1999, donde el número de cisnes oscilaba en torno a los 5 mil individuos (Figura 1).

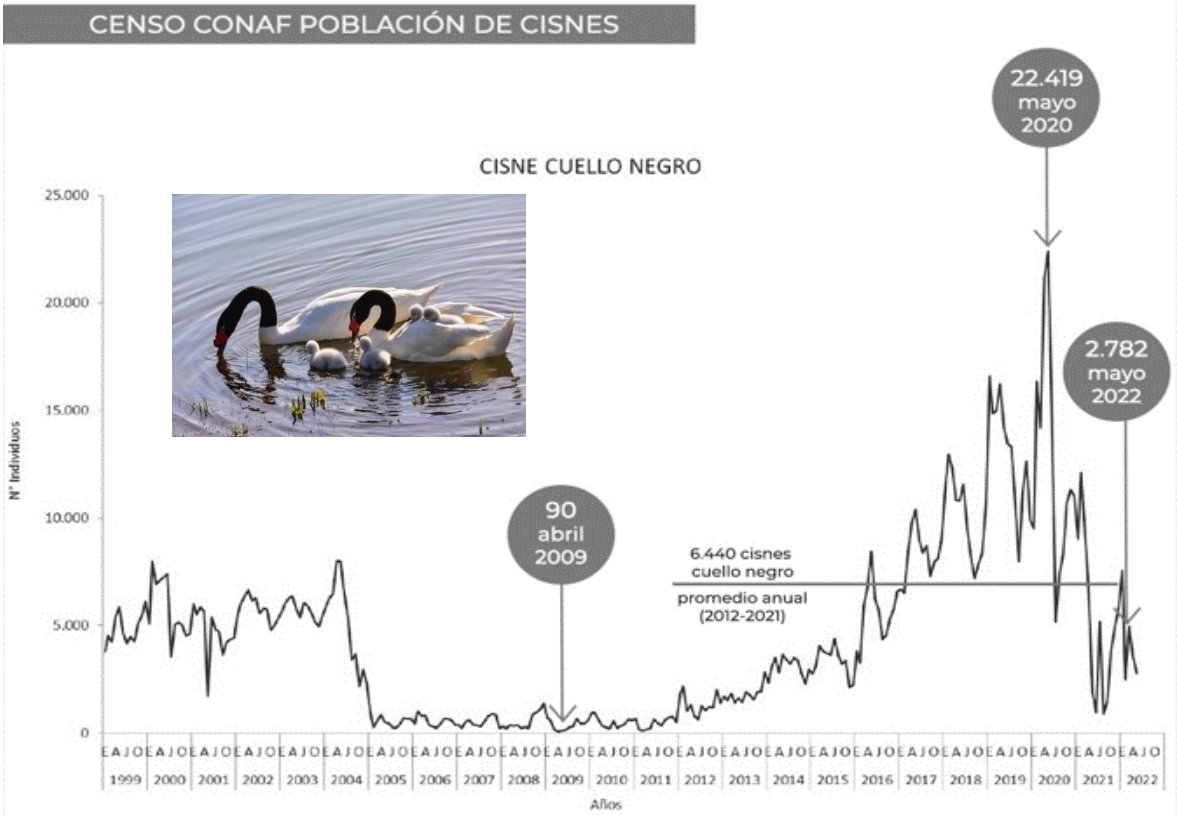

Figura 1: Censo histórico de cisnes de cuello negro. Fuente: Corporación Nacional Forestal (CONAF)

Luego del desastre ambiental por contaminación industrial de la planta de celulosa Arauco en el río Cruces el año 2004, la población de esta especie se redujo casi completamente, llegando a un mínimo de 90 individuos. Pasaron más de diez años para que esta especie comenzara a recuperarse, superando los 5 mil individuos en 2016, y alcanzando 22.419 en mayo del 2020. A partir de ese momento, la disminución de la población ha sido sostenida, llegando en mayo del 2022 a no más de 2800 ejemplares censados.

¿Qué estaría causando esta disminución?

Si bien la migración es un factor que afecta y varía anualmente las poblaciones residentes, son varias las amenazas que pesan sobre el Santuario de la Naturaleza y que podrían explicar la disminución en la población de cisne. Entre ellas se cuenta la presencia del visón americano, especie invasora que se caracteriza por no tener depredadores nativos y por alimentarse de peces, huevos y aves. En zonas como el Seno Almirantazgo (Tierra del Fuego), la presencia del visón americano ha sido considerada como la responsable de cesar por completo la reproducción y nacimiento de nuevas crías en una colonia completa de otra ave acuática, el albatros de ceja negra. Otra amenaza, es el relativamente reciente fenómeno de depredación de lobo marino sobre los cisnes debido a un "choque de hábitats", ya que el lobo marino desde el año 2018 presenta comportamiento errático en la zona, producto de las faenas que se comenzaron a realizar en la costanera de Valdivia, causando que un grupo de ellos se trasladara al sector del santuario del río las cruces, registrándose cientos de cisnes depredados por lobos marinos. Pero por sobre todas las amenazas, la contaminación industrial y urbana, parece ser la más grave amenaza para la vida del humedal. Esta puede tener su origen en la planta de celulosa Arauco, pisciculturas e, incluso, en las ciudades cercanas como Loncoche, Valdivia, Lanco y Mariquina. Esta contaminación estaría condicionando altas e inusuales concentraciones de hierro que se han podido registrar en el agua, acumulándose en plantas acuáticas y animales, suceso que ya ocurrió en el año 2004, cuando el luchecillo, que es la planta acuática preferida de la que se alimentan los cisnes, se volvió escasa por efectos de contaminación. Posteriormente se realizaron análisis a los cisnes fallecidos revelando una gran baja en el peso de esta especie, en conjunto con altos índices de hierro en su organismo, y, además, estos índices también estaban presentes en los restos de luchecillos que sobrevivieron en esa oportunidad.

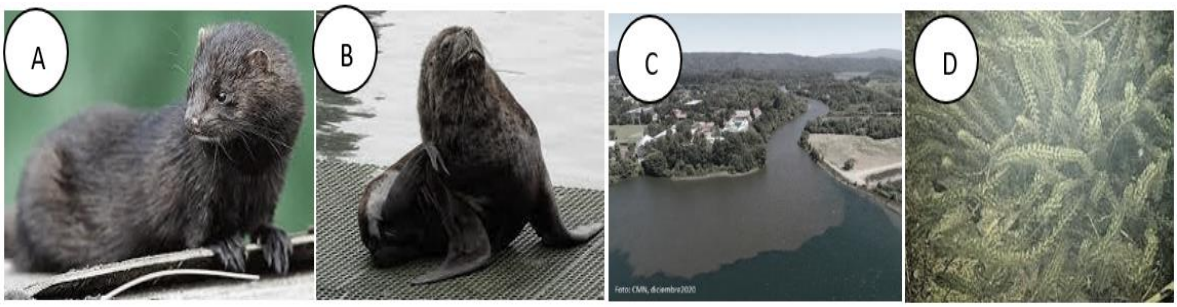

Figura 2: (A) fotografía visón americano, (B) fotografía lobo marino, (C) Mancha de sedimento en el río Cruces y (D) Fotografía de luchecillo. A, B, C y D podrían estar vinculada con la disminución de los cisnes.

Actividad N°1: Según la información entregada, ¿Por qué los científicos que estudian la disminución de los cisnes en el santuario aun no resuelven el problema? Selecciona individualmente la alternativa que responde esta pregunta de mejor forma y fundamenta tu elección.

a) No se ha resuelto el problema, porque los científicos tienen distintas interpretaciones de los datos según sus conocimientos y experiencias, algunos están más vinculados al área de la ecología, otros a la zoología e incluso a áreas más aplicadas como las ciencias ambientales, lo que hace que sea difícil estar de acuerdo en un 100%.

b) No se ha resuelto el problema, porque lamentablemente, el estudio de las poblaciones de especies no se puede hacer mediante experimentos, que es el método de investigación que permite concluir con certeza cuál es la causa de un efecto dañino sobre una especie como en este caso.

c) No se ha resuelto el problema porque una de las posibles hipótesis (contaminación) afectaría directamente a la economía de las ciudades aledañas por lo que los científicos pueden estar presionados para no identificar a la planta de celulosa como la responsable.

Elección individual y fundamentación:

Ahora **en grupo**, compartan sus respuestas y lleguen a un consenso sobre cuál explicación es la mejor. Para ello da argumentos y contraargumentos que los llevó a tomar esa decisión.

La respuesta consensuada fue: (Deben indicar los argumentos considerados)