



PRÁCTICAS DE ARGUMENTACIÓN PARA LA ENSEÑANZA Y EL APRENDIZAJE DE LA BIODIVERSIDAD: UNA INVESTIGACIÓN BASADA EN EL DISEÑO

Argumentation practices for teaching and learning biodiversity: a design-based research

Gonzalo Miguel Angel Bermudez [gbermudez@unc.edu.ar]

Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

*Universidad Nacional de Córdoba – CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas)
Avenida Vélez Sarsfield, 1611, Córdoba, Provincia de Córdoba, Argentina*

Lía Patricia García [liapgarcia@gmail.com]

Institutos Provinciales de Enseñanza Media y Técnica (IPEMyT)

Ministerio de Educación de la Provincia de Córdoba

Rosario de Santa Fe, 650, Córdoba, Provincia de Córdoba, Argentina

María Emilia Ottogalli [emilia.ottogalli@unc.edu.ar]

Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

*Universidad Nacional de Córdoba – CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas)
Avenida Vélez Sarsfield, 1611, Córdoba, Provincia de Córdoba, Argentina*

Resumen

La argumentación es una práctica científica que puede desarrollarse a través de la formación específica en el marco de problemáticas sociocientíficas, para lo que el Esquema del Argumento de Toulmin (EAT) resulta un instrumento lógico y dialéctico privilegiado. En una investigación basada en diseño buscamos contribuir a una educación en biodiversidad que aporte al posicionamiento y toma de decisiones sobre problemáticas que vinculan sus componentes con las características estructurales y funcionales de los ecosistemas locales. Los resultados se analizaron a partir de los datos obtenidos en la fase definitiva y muestran avances en el conocimiento conceptual de la biodiversidad y, además, de plantas y animales autóctonos, aunque la valoración de los componentes de la biodiversidad indica la persistencia de un centrismo en las especies y en los árboles. Los estudiantes elaboraron esquemas EAT, pero con dificultad para movilizar información de gráficas cartesianas con evidencias científicas y para los elementos reserva y justificación de EAT. Los resultados señalan que este tipo de intervención didáctica ofrece ayudas para el desarrollo de los conocimientos y habilidades involucradas, y corroboran el interés de la educación en ciencias por la argumentación sobre cuestiones sociocientíficas como práctica epistémica.

Palavras-Chave: Investigación basada en diseño; Práctica epistémica; Esquema del Argumento de Toulmin; Flora y fauna nativa; Educación secundaria.

Abstract

Argumentation is a scientific practice that can be developed through specific training within the framework of socio-scientific issues, for which Toulmin's Argument Pattern (TAP) is a privileged logical and dialectical instrument. In a design-based research, we sought to contribute to a biodiversity education that plays a role in positioning and decision-making on problems that link its components with the structural and functional characteristics of local ecosystems. The results were analyzed from the data obtained in the final phase and show progress in the conceptual knowledge of biodiversity and, in addition, of native plants and animals, although the valuation of biodiversity components indicates the persistence of a species- and tree-centeredness. Students elaborated TAP schemes but with difficulty in mobilizing information from Cartesian graphs with scientific evidence and for the rebuttals and warrants of TAP. The findings reveal that this type of didactic intervention offers aids for the development of the knowledge and skills involved, and corroborate the interest of science education in argumentation on socio-scientific issues as an epistemic practice.

Keywords: Design-based research; Epistemic practice; Toulmin's Argument Pattern; Native flora and fauna; Secondary education.

INTRODUCCIÓN

La argumentación, entendida como la evaluación del conocimiento mediante el uso de evidencias, es una reconocida práctica científica, junto con la indagación y la construcción de explicaciones y modelos (Crujeiras Pérez, & Jiménez Aleixandre, 2015). En los últimos años, el énfasis puesto en ella radica en que las declaraciones de conocimiento sobre la idoneidad de un diseño experimental, la interpretación de pruebas o evidencias y la validez de las afirmaciones son fundamentales en el discurso científico (Erduran, Simon, & Osborne, 2004). La argumentación promueve oportunidades para confirmar y extender los conocimientos previos, así como construir un nuevo conocimiento a través de las ideas de otros (Revel Chion, Díaz Guevara, & Adúriz-Bravo, 2021). Por ello, como actividad social guiada racionalmente, la argumentación se compone principalmente de enunciados o actos de habla que, desde una perspectiva sociocultural, promueven una fuerte imbricación entre el discurso, la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias naturales (Freitas, Nascimento, Castro, Motokane, & Reis, 2023).

En el aula, la práctica de articular el saber propio con el ajeno en la construcción del conocimiento escolar conlleva un reconocimiento de la dimensión epistémica de la argumentación, dado que la confrontación con los argumentos de los otros nos obliga a revisar los propios (Leitao, 2000; Molina & Padilla, 2018). Ello lleva a Revel Chion *et al.* (2021) a asumir que la argumentación científica escolar es un pilar fundamental de la naturaleza de la ciencia y un modo de apropiación y uso de los modelos teóricos con los cuales busca otorgar sentido al mundo.

Sin embargo, ya es sabido que en las aulas tradicionales el conocimiento se ofrece como algo acabado, en cierta forma inobjetable, y al que no se lo evalúa frente a otras ideas o contraargumentos (González-Howard & McNeill, 2020; Henderson, McNeill, González-Howard, Close, & Evans, 2018). Es más, muchos estudiantes evitan una implicación disciplinar productiva cuando otras personas con una autoridad epistémica superior (ya sea un compañero con rendimiento académico alto o el mismo profesor/a) resuelve o aporta los saberes necesarios, sorteando la posibilidad de dar una mirada crítica y reflexiva, para concentrarse en las declaraciones de conocimiento de manera taxativa (Mortimer & Araújo, 2014; Velasco & Buteler, 2023).

Sumado a lo anterior, algunos autores afirman que determinado uso de los libros de texto, la instrucción directa y la sobrecarga de contenidos en los diseños curriculares también favorecen formas de enseñar enfocadas en hechos y datos (por sobre principios y teorías), retener información en el corto plazo (para una evaluación sumativa), priorizar lo que sabemos por sobre cómo lo conocemos, y formas de conversación no productivas, como las acumulativas y disputacionales (por las que se acuerda o litiga de manera acrítica, respectivamente) (González-Howard & McNeill, 2019, 2020; Resnick, Asterhan, & Clarke, 2018; Soysal, 2019).

Por otro lado, cuando nos referimos a las ciencias naturales, los medios masivos de comunicación han popularizado una noción acerca de que la diversidad biológica desempeña un papel importante en el funcionamiento de los ecosistemas, proporcionando beneficios esenciales para las personas y nuestro bienestar. Acuñado por Walter Rosen, el término biodiversidad (forma contraída de la diversidad biológica) apareció por primera vez en la planificación del Foro Nacional sobre BioDiversidad en 1985, el cual tuvo lugar en septiembre de 1986 en Washington D.C. Las memorias o *Proceedings* de este foro fueron publicadas dos años más tarde por Edward Wilson como editor principal, y es por ello que a pesar de que Wilson reconoce la autoría de Rosen, es frecuente encontrar en la bibliografía ecológica y en manuales escolares la atribución a Wilson de la creación del término biodiversidad (Bermudez, 2022; Bermudez & Lindemann-Matthies, 2020). Recientemente, un conjunto de acciones internacionales en plataformas intergubernamentales ha retomado los desarrollos del convenio de la diversidad biológica firmado en 1992 (Convention on Biological Diversity, 1992), y reconceptualizado la biodiversidad como:

“[...] la variabilidad entre los organismos vivos de todas las fuentes, incluidos los ecosistemas terrestres, marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte. Esto incluye la variación en atributos genéticos, fenotípicos, filogenéticos y funcionales, así como también los cambios en la abundancia y distribución en el tiempo y el espacio dentro y entre especies, las comunidades biológicas y los ecosistemas” (Díaz et al., 2015, p. 12).

La renovada atención en la extinción de la biodiversidad ha puesto sobre la mesa la discusión de que corre el riesgo de reducirse a eslóganes vacíos de contenidos y valores, y atarse a conceptualizaciones simplistas. En este sentido, y sin ánimos de restar importancia, el hecho de que la amenaza de especies esté creciendo a un ritmo sin precedentes ha puesto un énfasis excesivo en el componente específico,

tradicionalmente el más conspicuo, pero ha dejado de lado otras expresiones de la biodiversidad. Además, aunque conceptualizaciones científicas actuales superen la noción de riqueza (= número de especies) y la trilogía basada en diversidad genética, específica y ecosistémica (Bermudez, 2022; Bermudez & Lindemann-Matthies, 2020), los libros didácticos raramente incluyen estos componentes (Bermudez, De Longhi, Díaz, & Gavidia Catalán, 2014; Bermudez & Nolli, 2015).

La educación en biodiversidad también hoy se ve amenazada por orientaciones negacionistas o propulsoras de *fake news* (Azevedo & Nascimento Borba, 2020) -por ejemplo, del efecto deletéreo de actividades humanas en el clima y otras causas de extinción-, embates curriculares neoliberales por los que la disciplina escolar Biología llega a desaparecer (Selles & de Oliveira, 2022), y por el lobby de empresas biotecnológicas y mineras, cuando desarrollan contenidos y materiales para la enseñanza obligatoria de temas relacionados al ambiente y el uso sustentable de recursos naturales (Bermudez, García, & Cisnero, 2020). Ello representa una afrenta a una educación científica que sea solidaria con el pensamiento crítico y la emancipación de las personas, y atenta contra una didáctica en el territorio que problematice los diseños curriculares desde las cuestiones socialmente vivas (Bermudez *et al.*, 2020). También interpela al profesorado a actuar con una postura crítica, política y democrática (Pedreira & de Souza, 2023; Vilela & Selles, 2020), que lleva a alejarse del rol de un simple replicador o relator de un “*curriculum karaoke*” (Hargreaves, 2007, p. 65).

Teniendo en cuenta lo anterior, y dado que Buty y Plantin (2008, en Molina & Padilla, 2018) plantean que, para argumentar legítimamente, de manera autónoma y no manipulada, los estudiantes necesitan conocimientos suficientes, tanto conceptuales como prácticos, al mismo tiempo que métodos argumentativos, buscamos contribuir a una educación en biodiversidad desde la enseñanza de la construcción de argumentos científicos como oportunidad de aportar al posicionamiento y toma de decisiones de problemáticas ambientales cercanas a la realidad de los estudiantes. En este sentido, este trabajo tiene como propósito diseñar, desarrollar y evaluar, con base en resultados de investigación, una propuesta de intervención para la enseñanza de la biodiversidad con prácticas argumentativas, que posibilite:

- 1) Identificar y describir dificultades relativas al desarrollo de las actividades, los tiempos y los malentendidos sobre la biodiversidad y la argumentación científica.
- 2) Identificar los argumentos de biodiversidad que construye el estudiantado para la toma de decisiones sobre problemáticas sociocientíficas.
- 3) Determinar cómo cambian los conocimientos sobre biodiversidad (componentes, estatus de las especies, flora y fauna nativa) de los estudiantes al participar de la unidad didáctica.

MARCO TEÓRICO

Argumentación científica

La concepción de que una argumentación científica escolar es posible y deseable se relaciona con un modelo cognitivo de ciencia escolar (Izquierdo & Adúriz-Bravo, 2003), en el que la argumentación científica escolar es entendida como la producción de un texto, oral o escrito, en el que se explica con base en *evidencias* (Revel Chion *et al.*, 2021). Así, la capacidad de evaluar modelos científicos se relaciona con identificar evidencias que respalden o refuten la información científica disponible, ya sea en libros didácticos, noticias, las opiniones de los compañeros o el discurso mismo del docente.

Las nociones del contenido de un argumento y del contexto en el que este es organizado; es decir, en función de qué ideas y a quienes están orientadas, llevan a Jiménez-Aleixandre y Erduran (2008) a reconocer que la argumentación comprende básicamente dos dimensiones. Por un lado, el aspecto *estructural* refiere a cómo está compuesto un argumento; es decir, una afirmación que esté sustentada por evidencias y el razonamiento científico (González-Howard & McNeill, 2020). Concentrarse en lo estructural de la argumentación ayuda a considerar cómo estamos justificando las ideas y a elaborar argumentos fuertes que se justifiquen en evidencias lo suficientemente sólidas. Por otro lado, la dimensión *dialógica* pone de relieve los procesos por el que las personas se involucran para evaluar la validez de explicaciones o conclusiones sobre fenómenos naturales, por ejemplo, revisar la evidencia disponible, hacerse preguntas unos a otros, buscar la debilidad de las declaraciones de conocimiento, debatir sobre la fortaleza de los argumentos, etc. (González-Howard & McNeill, 2020; Jiménez-Aleixandre & Erduran, 2008). En cualquier caso, los estudios han sugerido que la habilidad de la argumentación científica no surge espontáneamente

en muchas personas, sino sólo a través de la formación específica y la práctica, especialmente si la pensamos como práctica epistémica en las instituciones educativas (Revel-Chion *et al.*, 2021; Sá, Kasseboehmer, & Queiroz, 2014).

Tradicionalmente, los aspectos estructurales de un argumento se asocian con una *perspectiva lógica*, que entiende a la argumentación como un instrumento para la construcción de conocimientos apoyados por razones (Mejía, Abril, & Martínez, 2013; Molina & Padilla, 2018). En este marco, uno de los aportes más significativos que fueron adoptados por el campo de la educación científica para analizar la estructura y validez de un argumento (Álvarez García & García Martínez, 2023) es el de Stephen Toulmin (1958), el cual describe la argumentación monológica como una “constelación de enunciados ligados en un sistema, que otorga al discurso una forma de racionalidad” (Plantin, 2012, p. 8, citado por Buitrago Martín, Mejía Cuenca, & Hernández Barbosa, 2013). Si bien Toulmin afirma que él mismo no pretendió teorizar sobre la argumentación ni tenía interés en la lógica informal (Toulmin, 2003, citado por Álvarez García & García Martínez, 2023), su modelo conocido como Esquema de Argumentación de Toulmin ([EAT], o *Toulmin's Argument Pattern* [TAP], en inglés) (Toulmin, 1958) toma como punto de partida una distinción entre la afirmación o conclusión, cuyo valor se pretende establecer, así como los elementos que justifican la afirmación realizada (Erduran *et al.*, 2004; Marafioti, 2003). Así, el esquema EAT está formado por datos o evidencias (*data*), sobre los que se formula una conclusión (*claim, opinion* o *hypothesis*) vinculada a una garantía o justificación (*warrant*) que, a su vez, se apoya en un respaldo o fundamento teórico (*backing*) (Marafioti, 2003; Toulmin, 1958). Las conclusiones en el modelo también admiten ciertas objeciones, reservas o excepciones (*rebuttals*), a la vez que limitaciones o restricciones de la conclusión, que se conocen como condicionantes o calificadores (*qualifiers*).

Dado el gran impacto que tuvo el esquema EAT en el ámbito de la enseñanza de las ciencias, al permitir comprender cómo ocurre la elaboración de argumentos en la construcción del conocimiento escolar (Ratz & Motokane, 2016), varios estudios han utilizado EAT para analizar la calidad de los argumentos de los estudiantes en contextos de actividades relacionadas con cuestiones sociocientíficas (Freitas *et al.*, 2023; Evagorou & Osborne, 2013; Martínez Bernat, García Ferrandis, & García Gómez, 2019; Ratz & Motokane, 2016; Sá *et al.*, 2014). Sin embargo, de acuerdo con Nielsen (2013), el modelo EAT no ayuda adecuadamente a distinguir a un analista entre los elementos constitutivos del argumento, especialmente en las secuencias argumentativas dadas en el marco de la oralidad, ya que los aspectos discursivos dependen del contexto en que fueron usados y, así, los elementos de EAT pueden perderse o identificarse de modo diferente (por ejemplo, justificación por respaldo). A pesar de ello, el esquema EAT sigue siendo una estructura teórica principal en la construcción de argumentos para la toma de decisiones y la enseñanza y aprendizaje actuales, incluso de la biodiversidad (Freitas *et al.*, 2023; Martínez Bernat *et al.*, 2019). Considerando las críticas de Nielsen (2013), en este trabajo empleamos el esquema EAT sin que los investigadores codifiquemos porciones de argumentos escritos u orales a partir de las producciones del estudiantado. Por el contrario, en el presente estudio, EAT forma parte de los contenidos de enseñanza y objetivos de aprendizaje de los estudiantes y, consecuentemente, se analizan los esquemas EAT que los mismos estudiantes escriben en el contexto de la evaluación de evidencias para la toma de decisiones de conservación de la biodiversidad.

El hecho de acercarnos a la argumentación como instrumento didáctico para aprender contenidos y desarrollar el pensamiento crítico (Molina & Padilla, 2018) también nos ubica en una macro-noción *dialéctica* de la argumentación. Históricamente, el uso del término *dialéctica* ha estado vinculado al diálogo, de allí su relación con la mirada dialógica (González-Howard & McNeill, 2020; Jiménez-Aleixandre & Erduran, 2008), que hace referencia a la interacción entre dos interlocutores (un proponente y un oponente), quienes poseen puntos de vistas contrastantes (Mejía *et al.*, 2013). De acuerdo con Buitrago Martín *et al.* (2013), la dialéctica nace en los diálogos de Platón, para quien se debe aplicar el método socrático de preguntas y respuestas, y en donde la dialéctica sirve de apoyo para encontrar las definiciones que aporten a la verdad. Para otros modelos más actuales, como el de argumentación de Van Eemeren, la dimensión dialéctica se fundamenta en que hay un intento por resolver las diferencias de opiniones a través de intercambios por los que, en una serie de pasos, se confronta al oponente explicitando las posiciones para luego, en la fase de argumentación, ofrecer las pruebas que permitan resolver la discrepancia (Álvarez García & García Martínez, 2023).

De la mano de esta perspectiva dialéctica, la consideración de otra persona o de la idea de otro nos permite pensar en la argumentación como una práctica social que implica la negociación de puntos de vista. Ello contribuye de manera situada a la construcción de un conocimiento compartido por los interlocutores, como, por ejemplo, entre el docente y los estudiantes (González-Howard & McNeill, 2020; Molina & Carlino, 2013). En este marco, la escritura escolar constituye otra práctica social en la que, en tanto comunicación diferida, estimula una mirada del propio saber para poder estructurarlo, objetivarlo y destinarlo a un otro

internalizado, con una posición potencialmente diferente. Así, el sentido orientado de un texto oral o escrito a una audiencia determinada implica una concepción dialógica y dialéctica de la argumentación en la que se unen el contexto social y disciplinar de producción y circulación de saberes (Molina & Carlino, 2013).

Teniendo en cuenta lo anterior, en el presente estudio ponemos en diálogo las perspectivas *lógica* y *dialéctica* de la argumentación al proponer el esquema EAT (Toulmin, 1958) como contenido para aprender a argumentar científicamente en aulas de Ecología en el marco de problemáticas sociocientíficas sobre la biodiversidad (ver próxima sección). Esta mirada integradora de dos perspectivas tradicionalmente abordadas de forma separada está apuntalada también por la consideración de la argumentación como *herramienta didáctica* para aprender ciencia y desarrollar el pensamiento crítico (González-Howard & McNeill, 2020; Molina & Carlino, 2013; Molina & Padilla, 2018), y como pilar de la naturaleza de la ciencia (Buitrago Martín *et al.*, 2013; Crujeiras-Pérez *et al.*, 2020; Jiménez-Aleixandre & Erduran, 2008). Por último, si bien reconocemos el trabajo de Sá *et al.* (2014), quienes enseñan el uso del esquema EAT para la argumentación en un curso universitario de química, según nuestro conocimiento, no ha sido reportado aún un estudio sobre cómo estudiantes de escuela secundaria emplean EAT para la construcción de argumentos escritos y la evaluación de afirmaciones relacionadas con la biodiversidad.

La enseñanza de la biodiversidad

La enseñanza de la biodiversidad debería considerarse una problemática sociocientífica ya que posee intrincados vínculos con las decisiones individuales y sociales (Lee, Grace, Rietdijk, & Lui, 2019) y porque involucra aspectos morales, éticos, estéticos, ecológicos, económicos, culturales, religiosos, educativos y recreativos (Díaz Moreno, 2019). La incorporación de estas problemáticas en el aprendizaje de las ciencias crea la oportunidad para que los estudiantes analicen los puntos de vista de los demás, enfatiza el razonamiento crítico sobre la memorización, promueve la práctica de la toma de decisiones, permite a los estudiantes evaluar críticamente, argumentar, discutir y debatir afirmaciones científicas contrapuestas y promueve el carácter y la sensibilidad moral de los estudiantes a las cuestiones éticas (Karisan & Zeidler, 2017; Zeidler, Herman, & Sadler, 2019).

La enseñanza basada en cuestiones sociocientíficas se enfoca específicamente en los vínculos entre la actividad científica y la vida cotidiana, buscando que los estudiantes consideren cómo los problemas basados en la ciencia y las decisiones que se toman al respecto reflejan, en parte, los principios morales y virtudes que abarcan sus propias vidas, así como el mundo físico y social que los rodea (Evagorou, Jimenez-Aleixandre, & Osborne, 2012). La toma de decisiones sobre problemáticas sociocientíficas es un medio importante para desarrollar y profundizar la comprensión de los estudiantes sobre el conocimiento ecológico a través del análisis de datos y la construcción de argumentos basados en evidencias (Lee *et al.*, 2019).

En un estudio reciente, Yli-Panula, Jeronen, Lemmetty y Pauna (2018) revelaron que las estrategias de enseñanza de la biodiversidad en la mayoría de los 317 artículos científicos revisados promueven los niveles más bajos de habilidades de pensamiento en los estudiantes, como recordar, comprender y aplicar; mientras que los niveles más altos (por ejemplo, síntesis y evaluación) recibieron escasa consideración. Paralelamente, numerosas investigaciones que han recopilado una gran variedad de conocimientos sobre componentes y atributos de la biodiversidad (Bermudez, Pérez-Mesa, & Ottogalli, 2022; Valbuena Ussa, Castro Moreno, & Roa Acosta, 2022) señalan que existe un marcado centrismo en la familiaridad y concepciones de las personas que homologan la biodiversidad al número de especies. Más aún, la subvaloración de componentes y atributos científicamente reconocidos de la biodiversidad (tamaño de la población, rasgos funcionales, equitatividad de especies y diversidad de especies a escala local) (Bermudez *et al.*, 2022) pone sobre la mesa la necesidad de que las estrategias de enseñanza promuevan una comprensión más profunda y abarcadora de la biodiversidad y el funcionamiento del ecosistema. Por ejemplo, la diversidad funcional, entendida como los valores y el rango de caracteres funcionales (es decir, los rasgos morfológicos, comportamentales, etc. que tienen un *efecto en* o que *responden* de determinada manera a los cambios en los procesos ecosistémicos) determina más fuertemente el funcionamiento del ecosistema que el número de especies *per se* (ciclo de nutrientes, fijación de carbono atmosférico, polinización, etc.) (Díaz *et al.*, 2015).

A su vez, para relevar los conocimientos de determinados grupos de organismos, destacan los estudios en enseñanza de las ciencias que solicitan a los encuestados o entrevistados una lista de especies, para que luego, los investigadores las clasifiquen como nativas y no nativas, lo que generalmente arroja porcentajes muy bajos para las especies nativas (por ejemplo, < 10 %) (Campos *et al.*, 2012). Sin embargo, cuando se solicita a los estudiantes el reconocimiento mediante fotografías o listado libre de especies, con la condición de que sean nativas, los “aciertos” y la proporción de autóctonas nombradas

aumentan considerablemente ($\leq 60\%$) (Bermudez, Battistón, Capocasa, & De Longhi, 2017; Bermudez, Díaz, & De Longhi, 2018; Dias & dos Reis, 2018; Schaaf, Alcalde, Rivera, & Politi, 2018; Zanini, Vendruscolo, Milesi, Zanin, & Zakrzewski, 2020).

Por último, Robles-Piñeros y Abella (2021) proponen una enseñanza de la Ecología superadora de la unidimensionalidad y las tradicionales clasificaciones de los ecosistemas y relaciones ecológicas (por ejemplo, ecosistema terrestre, depredación, etc.) para centrar la mirada más sobre los sistemas y procesos ecológicos, pero de manera integrada a los procesos socioambientales, para lo que las problemáticas sociocientíficas adquieren significatividad. En este sentido, la enseñanza de la biodiversidad debería fomentar en el estudiantado una comprensión profunda de las relaciones entre la biodiversidad y los procesos y patrones de los ecosistemas, por ejemplo, el rol de la biodiversidad en la retención y fertilidad de los suelos, la captura de agua en las cuencas y su disponibilidad en el tiempo, la expansión urbana y de la frontera agropecuaria y los cambios en la composición de especies y las conexiones entre los relictos de bosque, el efecto de disturbios ambientales como los incendios forestales y el sobrepastoreo en los procesos mencionados, etc.

En este artículo, buscamos promover una enseñanza de la biodiversidad situada en coordenadas locales y relacionada a las problemáticas socioambientales más relevantes de la sociedad, recontextualizando conocimientos científicos y cotidianos para aportar al posicionamiento y toma de decisiones ante cuestiones sociocientíficas. Ello permitiría superar una enseñanza monumentalista y utilitarista de la biodiversidad, que prioriza el estudio y la valoración “*porque sí*” del entorno natural (Bermudez, De Longhi, & Gavidia, 2015, p. 685) y descuida las dimensiones epistemológicas, éticas, sociales y culturales de la biodiversidad.

METODOLOGÍA

Tipo y diseño metodológico

La investigación es de corte cualitativo y se basó en la realización de un *estudio de diseño* (Investigación basada en diseño, IBD), especialmente frecuentado en el campo educativo y en las didácticas específicas como la de las ciencias naturales (Guisasola, Ametller, & Zuza, 2021; Leach & Scott, 2002; Lozano, Adúriz-Bravo, & Bahamonde, 2020; Méheut & Psillos, 2004). Las investigaciones de diseño poseen el propósito de producir contribuciones teóricas, ya sea para precisar, extender, convalidar o modificar teoría existente o para generar nueva teoría (Rinaudo & Donolo, 2010). En este sentido, los estudios de diseño no se reducen a la elaboración y prueba de un diseño o intervención particular porque se entienden como concreciones de modelos teóricos que también son objeto de investigación. Así, Guisasola *et al.* (2021) plantean que la finalidad de los estudios de diseño es la caracterización de las situaciones más que el control de variables (lo que es característico de los diseños quasi- o experimentales) y, sobre esta base, desarrollar una teoría de intervención áulica que caracterice el diseño didáctico en una práctica situada. Ello implica, en general, más de un ciclo o fase de diseño, desarrollo y evaluación (de análisis retrospectivo: evaluación y rediseño) (Rinaudo & Donolo, 2010). La investigación llevada a cabo contó con dos ciclos: una fase preliminar y una definitiva, desarrolladas en 2014 y 2017, respectivamente. Esta última implicó una adaptación y rediseño de la UD a partir de los datos obtenidos de la fase preliminar, y su realización en el aula con otro grupo de estudiantes de la misma institución educativa. Los resultados que se exponen en este trabajo se elaboraron a partir de los datos obtenidos en la fase definitiva.

Cuando el docente es la figura del investigador en los estudios de diseño, o desarrollan en conjunto las etapas de la investigación, el modelo se asemeja al de investigación-acción (Latorre, 2007). Sin embargo, aun dentro del marco de las investigaciones basadas en diseño, encontramos esta combinación de roles (Lozano *et al.*, 2020; Revel Chion *et al.*, 2021), que es la perspectiva asumida en esta investigación.

Contexto

La investigación se llevó adelante en una escuela secundaria de gestión estatal de la ciudad de Malvinas Argentinas, provincia de Córdoba, país Argentina. La localidad está ubicada en un llano hacia el oriente del Departamento Colón, a 14 km al Este de la ciudad capital. La población que asiste a la escuela mencionada es de carácter urbano-marginal, así como de poder socioeconómico medio-bajo. El paisaje local está gobernado por las prácticas agropecuarias (monocultivo de soja, con rotación de maíz y trigo) y la extracción de suelo para la fabricación de ladrillos. La ecorregión original de la zona es una de las más castigadas del país y prácticamente ha desaparecido.

Las fases preliminar y definitiva del estudio de diseño fueron realizadas conjuntamente por el primer y la segunda autora. Esta última es la profesora titular del grupo de alumnos de la asignatura Ecología, que es un espacio curricular ubicado en el quinto año (16-17 años de edad) de los seis que posee la educación secundaria obligatoria en el país, y cuenta con 24 años de experiencia docente y 22 en la institución en cuestión. La carga horaria de la asignatura es de 120 minutos semanales, distribuidos en un día a la semana. Participaron en la fase definitiva 32 estudiantes. El primer autor fue el principal enlace del equipo de investigación con la profesora y la clase, co-diseñando las lecciones y, muchas veces, coenseñando con la segunda autora. La tercera autora colaboró con las notas de campo y el análisis de los registros. Si bien no se contó con observadores externos, el docente de la dupla que no estaba a cargo de la clase registraba en su diario de modo pormenorizado los eventos de las situaciones didácticas, los que luego se ponían en diálogo con los propios del docente implementador, a modo de triangulación interna.

Etapas de investigación de la fase definitiva

Diseño

Siguiendo a Guisasola *et al.* (2021), esta etapa contempló el (a) análisis del contexto educativo y de los aspectos epistemológicos del tema; (b) de las concepciones alternativas de las y los estudiantes y dificultades conceptuales y de razonamiento; y (c) la planificación de actividades y tareas para la concreción de los propósitos de enseñanza y expectativas de logro del estudiantado. Sobre el ítem (a), definimos características de relevancia de la biodiversidad para su transposición educativa, tales como el origen del término, concepto e historia reciente de su desarrollo, marcos y convenios internacionales y otras estrategias de establecimiento de regulaciones intergubernamentales, la producción de conocimiento en Ecología a través de las publicaciones científicas en revistas nacionales e internacionales, las problemáticas ambientales relacionadas con la diversidad biológica que circulan en los medios de comunicación local, etc.

En cuanto a (b), las líneas de investigación del grupo sobre las concepciones alternativas de la biodiversidad y las dificultades para su enseñanza y aprendizaje actuaron como un mapa para cartografiar desde sus ideas iniciales a las finales. Si bien gran parte de las cuestiones involucradas en este ítem se encuentran publicadas en Bermudez *et al.* (2022) y Bermudez y Lindemann-Matthies (2020), aportamos aquí los puntos principales: reduccionismo de los componentes de la biodiversidad a las especies, aunque los estudiantes poseen ideas de variación biológica (como número y divergencia en) que utilizan para expresar la importancia de proteger una gama más amplia de entidades biológicas que las especies *per se* (como los “tipos de especies”, “relaciones entre especies”, “individuos” y “formas de los árboles”). Esta gama se relaciona con los conceptos de riqueza (cantidad de especies), interacciones biológicas, diversidad genética y la divergencia funcional (valores y rango de caracteres funcionales). Sin embargo, la biodiversidad posee componentes que suelen ser infravalorados por el estudiantado, tales como el rango dentro de un carácter funcional, la uniformidad o equitatividad de especies, la diversidad alfa y el tamaño poblacional. En cuanto a las cualidades de las especies, existe un reconocido centrismo en los animales (especialmente los considerados carismáticos o amigables, como muchos mamíferos). En cambio, las actitudes hacia las plantas son más neutras o negativas, lo que lleva a una *ceguera hacia las plantas* por la falta de su reconocimiento, variedad o por la atención específica a los caracteres morfológicos. A su vez, las plantas y animales exóticos introducidos, naturalizados o adventicios, es decir, que se reproducen espontáneamente en un lugar, suelen ser considerados nativos (autóctonos), especialmente las especies exóticas invasoras (como el Pino, Siempre verde, Liebre europea, etc.). Por último, destacamos aquí que los estereotipos de género que asocian lo masculino a lo *exterior* y lo femenino a lo *privado y doméstico* influyen en las percepciones de la biodiversidad, ya que los varones poseen una familiaridad más alta con animales nativos y plantas silvestres que las niñas, quienes mencionan más plantas ornamentales y animales llamativos que los niños.

Para la estructura general de las SEA (c) tomamos como base la estipulada por Sanmartí (2000) y diseñamos actividades de complejidad creciente, que incluyeran el conocimiento del entorno próximo, las problemáticas ambientales locales (no siempre reflejadas en libros de texto, —Bermudez & Nollí, 2015) y con estrategias que representan una innovación para el contexto y grupo, como son las prácticas de campo y la argumentación científica.

Implementación

La implementación de las SEA puede considerarse un experimento de enseñanza y tiene como propósito no sólo ensayar un tratamiento instructivo y demostrar que es factible, sino también probar y mejorar la teoría que fue planteada en la primera etapa y desarrollar una mejor comprensión de su

funcionamiento (Guisasola *et al.*, 2021; Rinaudo & Donolo, 2010). Para cumplir con este propósito, el equipo de investigación conduce una secuencia integrativa de microciclos de diseño y análisis (Gravemeijer & Cobb, 2006). El *microciclo de diseño* se refiere a las conjeturas que se elaboran acerca del modo en que las actividades propuestas se podrían desarrollar en una clase particular, así como de los aprendizajes que pueden lograr los estudiantes. El *microciclo de análisis* tiene lugar durante la implementación de las actividades de enseñanza y una vez que la clase ha concluido. Lo propio de este ciclo es el análisis del proceso real de participación (como actividad y aprendizaje) que siguió el estudiantado. En este sentido, en la Tabla 1 presentamos un esquema de la SEA implementada en 11 clases o sesiones (más un pre- y un postest), según el tema, objetivos de aprendizaje de los estudiantes, descripción de las actividades principales y su modalidad, así como los recursos y materiales empleados. La Tabla 1 también muestra que algunas actividades duran dos sesiones (ej., 6 y 7), mientras que, en otras ocasiones, aunque los objetivos sean los mismos para más de una sesión, las actividades pueden ser diferentes y ubicarse en sesiones consecutivas (ej., 8 y 9).

Luego de la fase preliminar decidimos que era necesario ampliar las actividades en las prácticas de campo y en las de argumentación, ofreciendo no sólo materiales derivados del análisis y transposición de investigaciones ecológicas locales, sino también variadas oportunidades para el análisis, reflexión, discusión y elaboración progresiva de argumentos científicos.

Tabla 1. Elementos de la unidad didáctica o SEA en su fase definitiva.

Sesión	Tema	Objetivos de aprendizaje	Actividades (modalidad) y recursos
Pretest			
1	¿De qué se trata la diversidad biológica?	-Reconocer las expresiones de la biodiversidad. -Conceptualizar la biodiversidad, identificando componentes y atributos.	(Grupo-clase) 1.1 Reconocer en un conjunto de fotografías si lo que se muestra tiene relación con la biodiversidad y por qué, describiendo e identificando lo que observan. Recursos: diapositivas y cañón. 1.2 Leer un apunte teórico de la biodiversidad, interpretando entre todos las vinculaciones y alcances conceptuales. Recurso: material impreso.
2	¿De qué se trata la diversidad biológica? ¿Por qué importa el origen de las especies, en cuanto a si son nativas o exóticas?	-Conceptualizar la biodiversidad, identificando sus componentes. -Problematizar las nociones de especie nativa y exótica.	2.1 Continúa 1.2 (En grupos de 2-3 integrantes) 2.2 Reconocer en fotografías cómo se expresa la biodiversidad y justificarlo desde los marcos conceptuales. Recursos: diapositivas y fotografías impresas (Grupo-clase) 2.3 Leer una nota periodística, identificar las ideas principales y reconocer las posiciones de distintos actores sociales. Recurso: material impreso
3	¿Cuáles son las adaptaciones de las plantas y cómo se relacionan con las condiciones y recursos ambientales? ¿Cuáles son las adaptaciones de la flora autóctona? ¿Cuáles son los bienes y servicios que aporta la naturaleza a las personas? ¿Cómo usamos claves dicotómicas para la identificación de fauna y flora, y a quiénes	-Recuperar y resignificar conocimientos de la morfología y función en plantas, analizando su impacto en procesos ecosistémicos. -Reconocer y valorar los bienes y servicios ecosistémicos, reflexionando sobre el impacto de las actividades. -Conocer, identificar, describir y comprender los usos y simbolismos de ejemplares de la flora y fauna nativa. -Tomar conciencia de las distintas formas de percibir el ambiente y reconocer su influencia en nuestras emociones.	Visita a reserva urbana (Grupo-clase) 3.1 Participar en la exposición dialogada sobre relaciones morfología-función en plantas, especialmente sobre la forma de copa, tamaño, tipo y caducidad de hoja, presencia y tipo de flores, presencia y tipos de frutos, raíces, etc. Recursos empleados: diapositivas, cañón y materiales herborizados 3.2 Participar en la exposición dialogada sobre los bienes y servicios ecosistémicos, aportar ejemplos y vivencias sobre lo que la naturaleza y la biodiversidad nos brinda. Recursos empleados: diapositivas y cañón 3.3 Realizar la práctica de campo para sensibilizarnos con la naturaleza, recolectar materiales de interés y reconocer las especies (animales y vegetales) presentes. Recursos empleados: bolsas de papel, binoculares, apunte, clave dicotómica y guía de aves

Sesión	Tema	Objetivos de aprendizaje	Actividades (modalidad) y recursos
	identificamos? ¿Qué nos sensibiliza del ambiente (por ejemplo, lo que nos llama la atención)?		(En grupos de 4-5 integrantes) 3.4 Observar elementos recolectados en lupas binoculares, realizar dibujos e interpretar las estructuras, funciones y escalas de observación. Recursos empleados: lupas binoculares, materiales recolectados, carpetas, lápices y lapiceras. (Grupo-clase) 3.5 Aportar experiencias y alcances de la jornada en el plenario de cierre.
4	¿Por qué importa el origen de las especies? ¿Cuándo una especie o taxón es nativa, exótica o invasora, y qué implicancias tiene para los ecosistemas?	-Revisar nuestras representaciones y vivencias acerca del origen de las especies. -Conocer las clasificaciones científicas sobre el origen y valorar su uso en el marco de discusiones de problemáticas socio-ambientales locales. -Reconocer características generales de las especies según su origen y concienciar las implicancias en el funcionamiento del ecosistema.	(Grupo-clase) 4.1 Continúa 2.3. 4.2 Participar en la exposición dialogada sobre las clasificaciones de las especies según su origen: nativas, exóticas, naturalizadas, invasoras, aportando ejemplos de experiencias y conocimientos derivados de nuestras experiencias cotidianas. Recursos empleados: diapositivas y cañón.
5	¿Qué ocurre con el agua de lluvia que cae al suelo según la cobertura vegetal, y cómo se relaciona con la biodiversidad? ¿A qué conclusiones se arriba y qué decisiones de manejo podrían tomarse a partir de las evidencias? ¿Qué es un argumento científico y cuáles son sus componentes?	-Recuperar el concepto de biodiversidad y analizar evidencias de cómo los cambios en el paisaje modifican la biodiversidad y los procesos eco-sistémicos. -Conocer y usar los componentes del esquema del argumento de Toulmin (EAT), analizando evidencias de una problemática que vincula la pérdida de la biodiversidad con las inundaciones. -Valorar la argumentación como una actividad típica de la ciencia, que aporta a la toma de decisiones sobre cuestiones socioambientales.	(Grupo-clase) 5.1 Discutir lo que sucede con la lluvia que cae al suelo con distintos tipos de cobertura vegetal, identificando procesos, estructuras y componentes. Recurso empleado: pizarrón. 5.2 Comparar lo anterior con los resultados de una investigación realizada en campos cultivados y en bosques nativos y reflexionar acerca las recomendaciones de manejo y conservación. Recursos empleados: pizarrón, diapositivas y cañón. 5.3 Participar en la exposición dialogada sobre el esquema EAT, aportando ejemplos. Recursos empleados: diapositivas y cañón. 5.4 Justificar lo que recomendarían hacer para conservar la biodiversidad de Córdoba y evitar que los ríos disminuyan su caudal en el invierno. Recursos empleados: diapositivas, cañón, hojas y lapicera 5.5 Poner en común y armar un esquema EAT para el caso analizado. Recursos: diapositivas, cañón proyector, pizarrón, hojas y lapicera
6 y 7	¿Cuáles son algunas problemáticas ambientales locales que se relacionan con la biodiversidad y sus efectos en la estructura y el funcionamiento ecosistémico? ¿Qué conclusiones y decisiones de manejo se pueden tomar con base en las evidencias que aportan investigaciones locales sobre las problemáticas estudiadas?	-Reconocer cómo se relacionan los componentes de la biodiversidad con la estructura y funcionamiento del ecosistema. -Justificar decisiones de manejo sobre la biodiversidad y el ecosistema en función de evidencias científicas. -Valorar la argumentación como una actividad científica y como aporte a la toma de decisiones socioambientales.	(Grupo-clase) 6.1 Continúa 5.5. (En grupos de 3-5 integrantes) 6.2 Analizar los resultados de las investigaciones, reflexionar sobre sus implicancias, elaborar conclusiones y recomendaciones para el problema planteado. Grupo 1: supervivencia del "Siempre verde" bajo especies nativas y exóticas. Grupo 2: Expansión urbana y de la cobertura del "Siempre verde" desde 1983 a 2006. Grupo 3: Cambios en la cobertura del suelo (bosque cerrado, vegetación cultural, etc.). Grupo 4: Tasa de descomposición de hojarasca según el origen de las plantas. Grupo 5: Cobertura del suelo (bosque, arbustal, etc.) según el relieve del terreno. Grupo 6: Pérdida de suelo y viabilidad de plántulas de una especie nativa. Grupo 7: Rendimiento hídrico de cuencas bajo pastizales y plantaciones de Pino. Grupo 8: Pérdida o ganancia de suelo según disturbios como los incendios y el pastoreo.

Sesión	Tema	Objetivos de aprendizaje	Actividades (modalidad) y recursos
			Recursos empleados: guía de actividades, diapositivas, cañón, hojas y lapicera. (Grupo-clase) 6.3 Poner en común.
8	¿Cuáles problemáticas relacionadas con la biodiversidad y el funcionamiento eco-sistémico se ponen en juego en los marcos legales recientes?	-Integrar las evidencias científicas vistas y aplicar la argumentación a un nuevo problema socio-ambiental. -Valorar la argumentación como una actividad típica de la ciencia, que aporta a la toma de decisiones sobre problemas socio científicos.	(Grupo-clase) 8.1 Continúa 6.3. 8.2 Leer la presentación del caso “La ley de bosques nativos y la ley agroforestal: aplicando el esquema de la argumentación científica a problemáticas socioambientales” y (tarea para la casa) realizar es esquema EAT integrando todo lo trabajado en la unidad. Recursos empleados: guía de actividades, cañón, hojas, afiches, lapiceras y fibrones.
9			(Grupo-clase) 9.1 Poner en común los esquemas EAT, exponiendo los alcances del trabajo grupal. (En grupos de 3-5 integrantes, tarea para la casa) 9.2 Escribir una carta a las autoridades gubernamentales sobre las problemáticas de la biodiversidad y el funcionamiento del ecosistema que se suscitan con las reformas de las leyes vistas. Recursos empleados: compendio de diapositivas, hojas y lapiceras.
10	Idem. ¿Qué otros componentes y atributos de la biodiversidad son importantes para reconocer y considerar para su conservación?	Idem -Reconocer el valor de la conservación de la variedad entre y dentro de un grupo funcional, de la equitatividad y la abundancia de las poblaciones biológicas.	(Grupo-clase) 10.1 Poner en común las producciones epistolares e integrar los aportes de todos los grupos. Recursos empleados: cartas y pizarrón. 10.2 (Tarea para la casa) Socializar la producción que integre los aportes de toda la clase en medios de comunicación local. 10.3 Participar de la exposición dialogada sobre la ampliación de los componentes que reconocemos de la biodiversidad. Recursos empleados: diapositivas y cañón.
11	¿Qué aspectos trabajados en las clases podemos recuperar y sobre ellos reflexionar como cierre de la unidad?	-Integrar los contenidos y actividades realizadas, reflexionando a partir de las primeras explicaciones dadas acerca de la biodiversidad y su conservación.	(Grupo-clase) 11.1 Participar de la exposición dialogada sobre lo que entendemos ampliamente por biodiversidad y cómo cambiaron nuestras ideas e interpretaciones desde el inicio. Recursos empleados: diapositivas, cañón, carpetas y cuadernos.
Postest			

Las actividades de registro de la SEA fueron las respuestas dadas al pre- y postest (plantas y animales nativos nombrados, opciones marcadas y sus justificaciones sobre escenarios de conservación de la biodiversidad; y definiciones de biodiversidad, especies nativas, exóticas e invasoras), la planificación de clase, el diario del profesor, los intercambios verbales entre docentes y estudiantes (D-Es) y entre pares (Es-Es), los dibujos y otras producciones de los estudiantes (carpetas, afiches, etc.) y entrevistas individuales a estudiantes. Para transcribir los intercambios discursivos y expresarlos en la sección de resultados, se utilizaron los siguientes códigos: AA: Alumna, AO: Alumno, Docente1: profesora titular y segunda autora, Docente2: primer autor, AXn: “n” identifica a la o el estudiante dentro de una clase o grupo de trabajo (siempre que habla una misma persona aparece el mismo código, por ejemplo, AO1), N AXn: el primer número (N) es el turno de habla, consecutivamente ascendente dentro de la clase o dentro de cada grupo de trabajo (por ejemplo, el primer turno de una clase es el 1), (): comentarios o descripciones contextuales (por ejemplo, risas, señala al pizarrón, etc.), salvo dentro de “”, que indica lectura o dictado textual de un original. (n): números enteros entre paréntesis indican pausas de silencio en segundos. MAYÚSCULA: señala énfasis, es una palabra, una parte o un grupo de palabras que tienen tono más fuerte en la voz del emisor. MAYÚSCULA: la tipografía subrayada da más énfasis que la mayúscula; es una

palabra, una parte o un grupo de palabras que tienen un énfasis relativamente muy superior a las palabras adyacentes.

Análisis

En este artículo, nos enfocaremos en las siguientes dimensiones de análisis:

Dificultades relativas al desarrollo de las actividades, los tiempos y los malentendidos sobre la biodiversidad y la argumentación científica (objetivo 1)

Según el procedimiento en dos dimensiones de Guisasola *et al.* (2021) para la etapa de evaluación de los estudios de diseño, orientamos nuestro análisis en función de los ejes: (1) el análisis de la calidad de la SEA: Problemas relacionados con la claridad de las actividades de aprendizaje; tiempo necesario para completar la secuencia y con imprevistos inherentes al escribir la SEA; y problemas imprevistos inherentes al desarrollo innovador. (2) Análisis de los resultados del aprendizaje (individual y grupal). De acuerdo con nuestro enfoque de investigación y considerando la totalidad de los registros y unidades de análisis (actividades y producciones de los estudiantes, interacciones entre pares y con docentes -a partir de grabaciones fónicas-, actividades y producciones docentes, diario del profesor), generamos un conjunto de categorías de análisis iniciales en interacción con los datos. A ello arribamos como parte del trabajo principal de los tres autores (la tercera no formó parte del diseño ni implementación), y de la socialización en el grupo de investigación.

Los aprendizajes sobre argumentación y biodiversidad (objetivos 2 y 3)

a. Complejidad de los argumentos elaborados por los estudiantes. Con el fin de analizar los argumentos científicos elaborados por los estudiantes (objetivo 2), empleamos los elementos del esquema EAT (Erduran *et al.*, 2004; Martínez Bernat *et al.*, 2019; Ratz & Motokane, 2016), y que es usado por los estudiantes en el contexto de la evaluación de evidencias para la toma de decisiones de manejo y recomendaciones de gestión ambiental. A diferencia de los trabajos publicados en el tema, en nuestro caso, tomamos como unidades de análisis los esquemas EAT que construyen los mismos estudiantes en actividades de enseñanza y aprendizaje destinadas a tal fin. Así, nuestro uso de EAT tiene sentido como contexto didáctico en el que la argumentación es entendida desde las dimensiones estructurales y dialógicas (González-Howard & McNeill, 2020), lógicas y dialécticas (Molina & Padilla, 2018), y por lo que se espera que los estudiantes compartan ideas, cuestionen supuestos y reestructuren sus conocimientos a partir de las interacciones en sus grupos (Evagorou & Osborne, 2013). Por razones de espacio, analizaremos un diálogo que surge como ejemplo de argumentación científica y en los esquemas EAT de dos grupos de estudiantes, que permiten ilustrar los alcances en los aprendizajes de la argumentación en el marco de problemáticas sociocientíficas sobre la biodiversidad.

b, c y d. Definición de biodiversidad, componentes de la biodiversidad y conocimiento de flora y fauna nativa. Para cumplimentar con el objetivo 3, el conocimiento conceptual de la biodiversidad fue valorado a través cuestionarios pretest y postest siguiendo el instrumento y análisis ideográfico y nomotético de Bermudez y Lindemann-Matthies (2020). Una primera pregunta, de carácter abierto, solicitaba a los respondientes que conceptualizaran la biodiversidad. En una segunda actividad del cuestionario, se presentaron diez escenarios diferentes a los estudiantes en los que se representaban dos entornos que diferían en determinados componentes de la biodiversidad. La consigna de trabajo para los estudiantes pedía que elijan y justifiquen cuál de ellos debía elegirse para la conservación de la mayor biodiversidad. Según nuestra definición operativa de biodiversidad, ésta se interpreta como la riqueza genética, de grupos funcionales y de especies (locales y entre hábitats), así como la uniformidad, la variedad de rasgos funcionales, las interacciones entre especies y el tamaño de una población. A partir de ella, los entornos de los escenarios difieren en la riqueza de especies en y entre los hábitats (diversidad alfa y beta), la riqueza genética y de grupos funcionales, la equitatividad, la variedad de rasgos funcionales, las interacciones entre especies y el tamaño poblacional de las especies. Otras dos opciones que se ofrecieron para cada escenario fueron: ambos entornos son igual de importantes para proteger, y las características descritas no están relacionadas con la biodiversidad y no debe tomarse ninguna decisión sobre este tema para su protección.

Las variables respuesta se expresan en recuentos y frecuencias (%) de las opciones elegidas por los estudiantes y las categorías elaboradas por los autores a partir de sus justificaciones. Cuando se consideran las opciones y justificaciones más correctas según nuestro modelo operativo de biodiversidad, la variable *integridad biológica* fue calculada como la sumatoria de las opciones y justificaciones correctas de cada escenario del cuestionario (Bermudez & Lindemann-Matthies, 2020). Por otro lado, las

conceptualizaciones de biodiversidad, especies nativa, exótica e invasora fueron categorizadas inductivamente, a partir de las respuestas obtenidas. A su vez, el conocimiento de las especies animales y de plantas nativas fue indagado y analizado siguiendo a Bermudez *et al.* (2017, 2018), empleando la técnica de listado libre con diez lugares en cada caso y analizando las respuestas en función de las categorías de nativa local, nativa del país, exótica (incluye el origen doméstico para animales), naturalizada o adventicia (para animales y plantas, respectivamente), y mixta. Por último, se realizaron análisis de tablas cruzadas entre las variables involucradas para los resultados obtenidos en el pre- y postest. Los análisis fueron realizados con el programa IBM SPSS® 22 para Windows e Infostat (<http://www.infostat.com.ar>, versión libre). Por una cuestión de foco y espacio, decidimos presentar los resultados sobre b y c (objetivo 3) como gráficos de barras obtenidos para el pre- y postest de las definiciones de biodiversidad y de algunos componentes de la biodiversidad (equitatividad, número de grupos funcionales, tamaños poblacionales, rango para un carácter funcional, número de interacciones entre especies y composición genética) (Bermudez & Lindemann-Matthies, 2020). Por otro lado, los conocimientos de especies animales y de plantas nativos de los estudiantes (d) se muestran como tablas, conteniendo los valores medios y el error estándar de cada categoría de respuesta.

Recaudos éticos

En cuanto a los recaudos éticos, las fases preliminar y definitiva contaron con los avales institucionales necesarios para la realización de las actividades en el colegio y fuera del mismo. Especialmente, por el ingreso del primer autor, ajeno a la institución, ello implicó la autorización desde el área de inspección ministerial. Por otro lado, todos los estudiantes tomaron conocimiento de los propósitos didácticos e investigativos de la SEA y dieron su consentimiento para el uso de los grabadores de voz y para el registro fotográfico. Toda información relativa a los estudiantes fue anonimizada.

RESULTADOS

Un aspecto fundamental de una IBD es la evaluación explícita de los diferentes aspectos de la SEA, en este caso, sobre la enseñanza y aprendizaje de la biodiversidad y la argumentación. Tomando como referencia a Guisasola *et al.* (2021), presentamos un análisis retrospectivo de la implementación de la SEA para las dimensiones referenciadas en la calidad de la secuencia (objetivo 1) y los logros en cuanto a los aprendizajes del estudiantado (objetivos 2 y 3).

Dificultades relativas al diseño de las actividades, los tiempos y los malentendidos (objetivo 1)

Las actividades de argumentación generaron variadas dificultades relacionadas con (a) el carácter novedoso de la tarea de evaluación de evidencias y (b) la terminología asociada a los elementos del esquema EAT y componentes y atributos de la biodiversidad, las que incidieron en el surgimiento de malentendidos y obstáculos.

a. Atribuidas a lo novedoso de las actividades

En las primeras clases de la SEA, en las que se realizó una salida de campo, la lectura de notas periodísticas y el uso de fotografías e imágenes para explorar la identificación de especies y componentes de la biodiversidad, no se evidenciaron dificultades en la claridad de las consignas. Sin embargo, desde la sesión 5 (Tabla 1), en el análisis de las evidencias científicas, la interpretación de gráficos se reveló como una actividad poco conocida por los estudiantes, lo que en términos de alfabetización científica conlleva importantes condicionantes para el pensamiento crítico. Si bien gran parte de las informaciones ofrecidas habían sido adaptadas de las fuentes científicas elegidas para el proceso de transposición, representó un verdadero desafío para el estudiantado analizar casos como: dos o más variables a la vez, tratamientos con interacción (por ejemplo, suelos con fuego, con pastoreo y suelos con ambos disturbios a la vez), expresiones con valores negativos (como el de la pérdida de suelo, que entonces implica lo opuesto; es decir, creación de suelo) y variables respuesta con comportamientos no lineales (oscilaciones, etc.) o sin una clara proporcionalidad. Ello llevó al equipo docente a trabajar la interpretación de las gráficas detenidamente, explicando cómo y qué podía interpretarse en los materiales entregados (por ejemplo, actividad 5, episodio 57, 363 Docente2: “*El gráfico. ¿Qué parte del gráfico, A01? ¿Podés levantarte y señalarlo?*”, 365 Docente2: “*Bien (1). Ese es el proceso que hay que hacer, (1) analizar qué tan grandes son las barras que representan pinares, que son las barras negras, y los pastizales, que son las barras blancas*”). Esto trajo un retraso en el tiempo estipulado para las actividades.

Otras dificultades se encontraron específicamente vinculadas a lo novedoso de los elementos del esquema EAT: la diferenciación entre (i) datos y evidencias, y (ii) justificación y marco o respaldo teórico. Sobre i, algunos grupos tomaban las evidencias científicas como dato, cuando en el contexto de la actividad, correspondían a elementos del respaldo teórico. En cuanto a ii, la vinculación de datos con teoría (justificación) resultó dificultosa a lo largo de las prácticas de argumentación en la mayoría de los grupos de estudiantes. En ambos casos, las orientaciones y apoyos docentes buscaban establecer las distinciones necesarias según los esquemas EAT de cada grupo, ya que los enlaces (*dado que, ya que, debido a, a menos que*, etc.) usados como fórmulas no permiten arribar necesariamente a los elementos del esquema de manera segura.

b. Surgimiento y tratamiento de malentendidos y obstáculos

En cuanto al desarrollo del concepto de biodiversidad, en la sesión 2 (actividad 2.2) se buscaba analizar con el grupo clase imágenes y fotografías para que los estudiantes las asocien a la biodiversidad y sus componentes. Cuando se mostró una fotografía del lagarto de Achala (episodio 28), los estudiantes aplicaron el concepto de equitatividad, lo que hubiera requerido comparar hábitats con comunidades diferentes para hablar de qué es más o menos biodiverso (líneas 32 y 33) (Cuadro 1). Sin embargo, lo que tenía sentido desde el conocimiento escolar era emplear el concepto de abundancia poblacional, la diversidad genética y los endemismos para comparar las características del lagarto con las de otras como los flamencos. En el mismo episodio, cuando el docente avanza en la comparación entre estas especies, los estudiantes usan el término taxonómico para referirse a la abundancia poblacional.

Cuadro 1 – Fragmento del episodio 28 (sesión 2, actividad 2.2). Referencias en la metodología.

32 AA1: Es el lagarto de Achala, pertenece a la diversidad funcional, según su rango morfológico, fisiológico (1) y comportamiento. Eh... (1) Tiene diversidad (1) biológica según su equitatividad... y según su especie está solo en ese lugar
33 Docente1: Y ahí cuando vos decís equitatividad, en realidad, cuando hablamos de equitatividad estamos (1) COMPARANDO con (1) OTRO hábitat o con otra comunidad. ¿Con qué lo estarían (1) comparando? (...)
54 Docente1: Y... ¿Qué es lo que podemos comparar?
55 AO2: Taxonómicamente, o sea la cantidad que hay de cada uno, (1) podemos ver que hay un solo lagarto en la imagen y por lo menos... (1) diez líquenes ahí, en la imagen, por lo cual decimos que predominan más los líquenes que los lagartos, hay más cantidad en ese lugar.

En cuanto al surgimiento de malentendidos y obstáculos sobre EAT, en la actividad 5.4 de la sesión 5, destaca un malentendido surgido por el significado del término *reserva* que, en este contexto y como era supuesto por los docentes, funciona como sinónimo de excepción (Cuadro 2). Sin embargo, los estudiantes lo asociaban a una zona de conservación, lo que resultaba en una barrera para lograr una comprensión compartida. Esto se puso en evidencia en las líneas 215 a 254 del episodio 56, entre lo que destaca el esfuerzo de los docentes por entender un ejemplo de reserva que aporta un estudiante (líneas 215 y 221-224) (Cuadro 2). Esto culmina con la descripción del docente de la representación mental que elabora en el proceso de interpretar los dichos del estudiante, y que tiene como propósito construir una plataforma común de entendimiento de lo que significa *reserva*. Al finalizar, los docentes señalan las diferencias entre los significados y ofrecen un contexto de validez al concepto de reserva (= excepción, reparo) en el marco de la actividad escolar de argumentación científica.

Cuadro 2 – Fragmento del episodio 56 (sesión 5, actividad 5.4). Referencias en la metodología.

215 Docente2: ¿En el agua? (con desconcierto) (2) ¿Por ejemplo? No te entiendo el ejemplo
216 AO1: (inaudible)
217 Docente2: ¿En el lago?
218 Avarios: En el AGUA
219 Docente2: (5) No entiendo
220 AA: Que en un río, ponéle, siempre hay plantas. Y eso...

221 Docente1: A ver AO1, ¿cómo sería? ¿Podés explayarte un poquito más?

222 AO1: (sin respuesta)

223 Docente2: Es que si no, no logro entender lo que querés decir, eso me pasa

224 Docente1: No es que vos digas que esté mal, es que (2) no podemos entenderte. Entonces no podemos decirte más si no nos explicás

225 Docente2: (4) Bueno, como quiera (comentario a la clase). A ver si era como yo pensé, si vos hablas dentro de un río o lago que hay plantas, ¿no? Bueno, entonces en esa condición (1) no estaríamos hablando DE (1) cuando llueve y los campos se inundan porque ya ese suelo ya está cubierto de agua (1) ¿Es esa la situación que vos querías plantear o es otra?

226 AO1: Sí

227 Docente2: BIEN, sí, sería una reserva, pero no tiene nada que ver con el ejemplo en el que nos estamos basando, ¿sí? Entonces (1) dentro del argumento forma parte de una reserva, pero está tan alejada de la situación estudiada porque es río, es un ecosistema distinto, ¿sí? Y no califica tanto como reserva en este caso. (...)

235 Docente2: Bien (...). Piensen entonces ahora otro ejemplo de una reserva (4)

236 Docente1: Recuerden lo que era una reserva

237 AO: (inaudible)

238 Docente1: ¿Cómo, cómo? ¿Qué significa RESERVA?

239 AO1: Algo cuidado (1) algo que se cuida, mantiene

240 AA1: Que retiene

241 AO2: (inaudible, a AA1)

242 AA2: Una reserva de agua

243 Docente1: ¿Pero en ESTE contexto? (2) Estamos hablando de la ARGUMENTACIÓN. ¿Qué es la argumentación?

En la actividad 6.2 (sesión 6), el episodio 61 pone en evidencia el obstáculo de que los estudiantes del grupo 3 entendían al bosque como un conjunto de árboles (Cuadro 3). Esta misma noción persiste en el episodio 62 (grupo de trabajo 5) de la sesión 7 (actividad 6.3), cuando una estudiante recontextualiza el trabajo grupal indicando cómo en una evidencia fotográfica se explica la desaparición del bosque como la tala de árboles: 56 AA1: *“Eh... (2) Hay más... se muestra que... en el otro hay como más más urbanización, más áreas deforestadas ya que han talado árboles, todo eso, para hacer la ciudad. Igual que...”*. El docente rectificó, aclarando que las diferencias entre un conjunto de árboles y un bosque, como comunidad: 57 Docente2: *“No talaron árboles sino EL BOSQUE ENTERO”*. Luego de que la estudiante afirmara lo dicho por el docente, este agregó: 59 Docente2: *“Bien. El bosque no sólo es árboles, bien (continúa con otro tema)”*.

Cuadro 3 – Fragmento del episodio 61.3 (sesión 6, actividad 6.2). Referencias en la metodología.

398 AA3: Si sacamos los pinos va... va a ocurrir una inundación

399 Docente2: ¿Cómo sabés eso?

400 AA3: Porque... el ingreso (infiltración) del agua...

401 Docente2: (2) ¿Y el pastizal no lo va a hacer?

402 AA3: Y, pero no a la misma cantidad

403 Docente2: Bien, y (inaudible) Bien. Entonces no lo podés decir

404 AA3: (inaudible)

405 Docente2: Salvo que haya un respaldo teórico fuerte de algún... otro estudio. Está BIEN lo que vos

decís de que cuando hay árboles hay más infiltración, como vimos la otra clase. Pero hablamos de BOSQUE, no necesariamente ÁRBOLES ni de PINO. (inaudible) ¿Bien?

Por último, en la actividad 10.2 de la clase 10, cuando se buscaba reinterpretar las imágenes del comienzo de la unidad didáctica y trabajar específicamente la noción de rango, aparece un malentendido asociado a la polisemia del término. Cuando el docente pregunta por el *rango* (363 Docente2: (...)) “A ver, ¿qué idea les da el término, la palabra... RANGO?”, los estudiantes activan representaciones asociadas a las divisiones de los escalafones (370 AO: “En el ejército hay distintos rangos, cabo, teniente, coronel, y así”) y al alcance de un proyectil (376 Docente2: “¿Como alcance, perfecto! ¿Por ejemplo?”, 377 AO2: “Eh... eh... (risas) el rango de alcance de una granada (risas, inaudible)”). Sin embargo, en el marco de la enseñanza de la biodiversidad, el *rango* se refiere al concepto estadístico de diferencia entre los valores extremos (máximo y mínimo) de una variable. Consecuentemente, el docente diferenció el uso cotidiano del escolar del rango para una variable de la biodiversidad y ofreció ejemplos que permitían, primero, comparar cómo era el rango en dos conjuntos de frutos (378 Docente 2: (...)) “Tengo naranjas, bananas y... no, bananas no, tengo naranjas, limones y mandarinas... o tengo bananas, manzanas y kiwi. (2) ¿Dónde son más diferentes las frutas?” y, segundo, calcular el rango para las alturas hipotéticas de las personas del curso:

“384 Docente2: Pero son más distintas entre sí. Esa es la idea de rango. Piensen, a ver, rango, abanico de... o valores diferentes. Uno puede decir que el rango también es, por ejemplo, para la estatura, es el valor mínimo y el máximo. Supongamos, voy a inventar valores, que en este curso la persona más baja mide 1 metro y la persona más alta mide 1 metro cincuenta. El rango es la diferencia entre estos dos valores. O sea, el rango es 1.5 menos 1 igual 0.50”.

Los aprendizajes sobre argumentación y biodiversidad (objetivos 2 y 3)

A continuación, presentamos los resultados del proceso de elaboración de los esquemas EAT producidos por dos grupos de estudiantes con distinto grado de resolución de la actividad (a, objetivo 2). A su vez, analizamos las diferencias entre el pre- y postest sobre diferentes conceptos de la biodiversidad (objetivo 3), tales como su definición (b), los componentes que incluye (c) y los representantes de flora y fauna autóctonos (d).

a. Los argumentos EAT elaborados por los estudiantes durante el aprendizaje de la biodiversidad (objetivo 2)

En el proceso de construcción de argumentos con el esquema EAT, los docentes partieron de abordar grupalmente la discusión de lo que ocurre cuando el agua de lluvia es interceptada por la vegetación y el suelo desde conocimientos cotidianos y evidencias científicas (sesión 5, actividad 5.4). Arribar a conclusiones a partir de justificaciones y respaldos, no resultó claro para todos. Sin embargo, en el Cuadro 4 se presenta un fragmento del episodio 56, en el que un estudiante explica a un compañero cómo llegar a conclusiones a partir de evidencias desde un ejemplo cotidiano, como puede ser la acusación de una persona ante la desaparición de un teléfono celular. Luego, los docentes elaboraron el esquema en el pizarrón con el ejemplo y el aporte de toda la clase.

Cuadro 4 – Fragmento del episodio 56 (sesión 5, actividad 5.4). Referencias en la metodología.

280 Docente2: ¿Por qué? A ver, esta forma de argumentación nos ayuda a no decir cualquier (1) cosa, a no hablar de forma descabellada. En general, en general, en las noticias o en los medios de comunicación estamos acostumbrados a (1) hay un dato, llegar a una conclusión (va señalando el esquema de argumentación en el pizarrón) y decir “sí, sacá, cortalo”, cualquier decisión que se tome, sin pensar (1) en qué respaldo teórico, en qué evidencias se está respaldando esa conclusión. (1) Entonces, si no hablamos de esta parte de abajo (señala nuevamente el esquema), estamos aportando o contraponiendo conclusiones que no guardan relación con evidencia alguna. (...) ¿Se entiende?

281 AA: No

282 Docente2: ¿Alguien me entiende? Vos mismo AO5, explicale a la compañera, por favor, cómo sería

283 AO5: Yo puedo llegar a la conclusión sin ningún dato anterior, o sea, (2) un ejemplo, por ejemplo, yo

digo que AA1 me robó el celular, pero yo no tengo ninguna evidencia que diga que ella fue (1), a eso se refiere, creo...

284 Docente2: Perfecto, ¿y cómo sería una evidencia para apoyar esa conclusión?

285 AO5: Por ejemplo, que AA1 haya hecho anteriormente esa cosa y que alguien la haya visto (2)

286 Docente2: Bien, por ejemplo, transformando eso acá yo diría (1) a ver (1) el dato sería, lo vamos a escribir (escribe en el pizarrón) “me robaron el celular” (3). La justificación sería. Vamos a poner X para no poner un nombre, ¿sí? (1) “anteriormente (1) me robó el celular” (2) ¿Bien? Acá (señala esquema en el pizarrón) yo voy a buscar pruebas (1) pruebas que tengan que ver con la conducta humana, algún estudio psicológico que diga que

287 AA: (a la vez, inaudible)

288 Docente2: en general, bien, las personas que ya robaron una vez tienden a hacerlo constantemente, más de una vez (1) y son como comportamientos reiterados, sí? (1) Y acá tendría que buscar evidencias, no sé, de que los que roban, roban mucho, o lo hacen todo el tiempo, pero no porque yo lo invente o me parezca, sino porque busco una evidencia científica que me lo diga, ¿no? (1) POR LO TANTO, X me robó el celular

289 AA: Ah, claro, ya entendí

290 Docente2: (3) SALVO, A MENOS QUE (1), la palabra es excepción (1) una reserva es una EXCEPCIÓN (mientras la escribe en el pizarrón), ponganla por favor en sus esquemas (2) porque es más fácil pensarlo en esos términos (1), a menos o es lo mismo decir que, SALVO (1) que...

291 AA: (3) Que se me haya perdido

292 Docente2: Bien, ¿cómo podría ser AA2, una reserva, una excepción?

293 AA2: Que me lo haya dejado en algún lado sin querer

293 Docente2: Bien

294 AO: Que se le haya caído o no haya venido

295 Docente2: (3) (escribe en el pizarrón lo que responden los estudiantes) Salvo que X no haya venido ese día

296 Avarios: Claro

297 Docente2: Bien, esa sería la reserva “X no vino ese día” (3) ¿Está claro?

298 Avarios: Sí

299 AA: (a los compañeros) ¿Entienden o no?

300 Avarios: ¡Sí!

301 Docente2: ¿El resto? (1) Bueno, como ahora sí lo entendieron, anoten el ejemplo. Este que acabamos de escribir (luego se discute cuál podría ser el respaldo teórico).

Uno de los grupos de estudiantes tenía que discutir sobre la cuestión de que cada vez era más frecuente observar en las sierras ejemplares de Piracanta (*Pyracantha angustifolia*, especie arbustiva invasora), Piquillín (*Condalia montana*, arbustiva nativa) y, sobre todo, ejemplares de Siempre verde (*Ligustrum* spp., arbórea invasora) (datos). Ante el problema planteado a los estudiantes (¿qué recomendarían hacer con las especies para conservar la biodiversidad en las sierras?), las evidencias aportadas, adaptadas de Tecco *et al.* (2007), mostraban que la supervivencia de los retoños de *L. lucidum* era mayor bajo el dosel de *Pyracantha*, intermedia bajo *Condalia* y más baja en ausencia de cobertura arbustiva. Para llegar a una conclusión basada en evidencias científicas, era necesario que los estudiantes movilizan, entre otros, conocimientos de la identidad y biología de las especies involucradas (morfología, etc.), de clasificación de especies según su origen (nativa, etc.), de grupos funcionales (árbol y arbusto), de relaciones interespecíficas (facilitación de *Condalia* y, especialmente, de *Pyracantha*), abundancia poblacional y equitatividad (alto número de ejemplares de invasoras y dominancia de éstas frente a la especie autóctona), y de los efectos de los caracteres funcionales de las especies involucradas en el ecosistema (por ejemplo, tamaño, reproducción, fenología, etc. en el ciclo del agua, fertilidad del suelo,

etc.). De acuerdo con Tecco *et al.* (2007), las evidencias representaban el efecto de planta nodriza (interacción positiva entre dos especies) de *Pyracantha* y, en menor medida, *Condalia*, sobre *Ligustrum*, con lo que para controlar la fuerte expansión de *Ligustrum*, lo que representa una amenaza a la biodiversidad, se debería tener en cuenta también la de *Pyracantha*.

En la Figura 1, el esquema EAT elaborado por los estudiantes muestra el uso apropiado de todos los elementos del argumento científico como parte de su proceso de aprendizaje respecto a la biodiversidad, el empleo de varios conceptos vistos en la IBD para sustentar el marco teórico (por ejemplo, las especies invasoras como amenaza a la biodiversidad de los ecosistemas locales, la marcada supervivencia y el carácter perenne de la fenología del Siempre verde para considerar sus potenciales daños, etc.) y, en lo particular, la modificación de la opción de conclusión y la incorporación de una reserva (en azul). Es importante destacar que algunos grupos de estudiantes, como este, consideraron un modelo de decisión más complejo que el ofrecido como opción en las conclusiones de la consigna y, sin limitarse a las evidencias presentadas, recuperaron fundamentos teóricos más amplios y ricos, aun estableciendo sus límites (reserva).

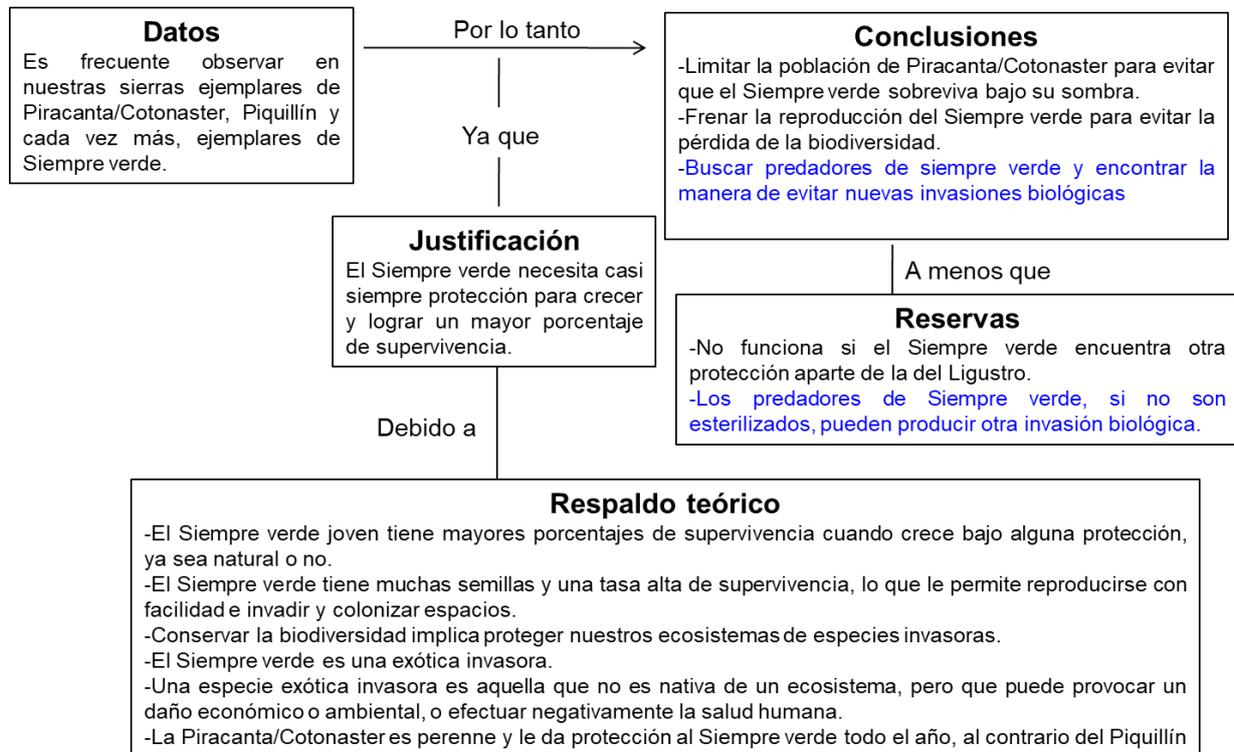


Figura 1 – Esquema del argumento de Toulmin elaborado por los autores a partir de lo preparado por los estudiantes del grupo 1.

Otro grupo de estudiantes (grupo 3, Figura 2) trabajó sobre un dato que apuntaba a la escasez de agua en los cursos y cuerpos de agua en las estaciones secas de la provincia. Para responder a la problemática de qué recomendarían hacer con las plantaciones de Pino y con los pastizales para conservar la biodiversidad y cuidar el agua de los ríos en las sierras, los estudiantes evaluaron una adaptación de las evidencias publicadas por Jobbágy, Acosta y Nosetto (2013), quienes estudiaron la transformación del rendimiento hídrico de pequeñas cuencas serranas ocupadas por pastizales naturales y plantaciones de *Pinus ellioti* (árbol invasor). En el sector estudiado de Córdoba, la afectación es tal que, en promedio, el rendimiento hídrico promedio de las cuencas forestadas fue 48 % inferior al de las cuencas con pasturas naturales, aunque los datos mostraban grandes oscilaciones, propias de la estacionalidad pluvial en la zona. Otras variables estudiadas, como el índice verde, señalaban una mayor vitalidad de las plantaciones de Pino a lo largo del año, especialmente en el invierno, con respecto a los pastizales, cuya productividad primaria y evapotranspiración era menor. Como en el caso del grupo 1, el estudiantado del grupo 3 era desafiado a hacer funcionales conocimientos de biodiversidad como, entre otros, la identidad y caracteres funcionales de las especies vegetales consideradas (tamaño, forma de vida, reproducción, fenología, forma y profundidad de las raíces, respuesta ante disturbios ambientales, etc.), su origen (exótica, autóctona, etc.), la abundancia poblacional, y los bienes y servicios ambientales involucrados en los procesos ecosistémicos estudiados (obtención de madera, regulación del ciclo del agua, etc.).

En la Figura 2, el esquema EAT de los estudiantes del grupo 3 muestra el uso de todos los elementos del argumento científico y la movilización de conceptos teóricos relativos a los procesos de invasión biológica no provistos en la evidencia, pero ya abordados en la asignatura (en azul, la relación entre especies conocida como depredación y su implicancia en las redes tróficas). Sin embargo, la justificación no logra vincular datos con teoría, sino que, más bien, introduce otros conceptos como el uso de minerales y el empobrecimiento del suelo que supuestamente generan las plantaciones de Pino para culminar con un escenario prometedor de recuperación de la biodiversidad. Por otro lado, la reserva destaca por no invalidar de lleno a la conclusión y porque permite distinguir una noción de preferencia por árboles nativos antes que los pastizales. Por último, si bien este mismo grupo había presentado la dificultad de encontrar un patrón en los resultados de la evidencia científica, más allá de los valores para cada eje del gráfico mostrado (asociados al factor estacional de las lluvias), lograron tomar una decisión sobre la tendencia general, que tiene implicancias a la hora de decidir dónde plantar una especie con interés maderero pero que produce una gran afectación a los procesos ecosistémicos (Jobbágy *et al.*, 2013).

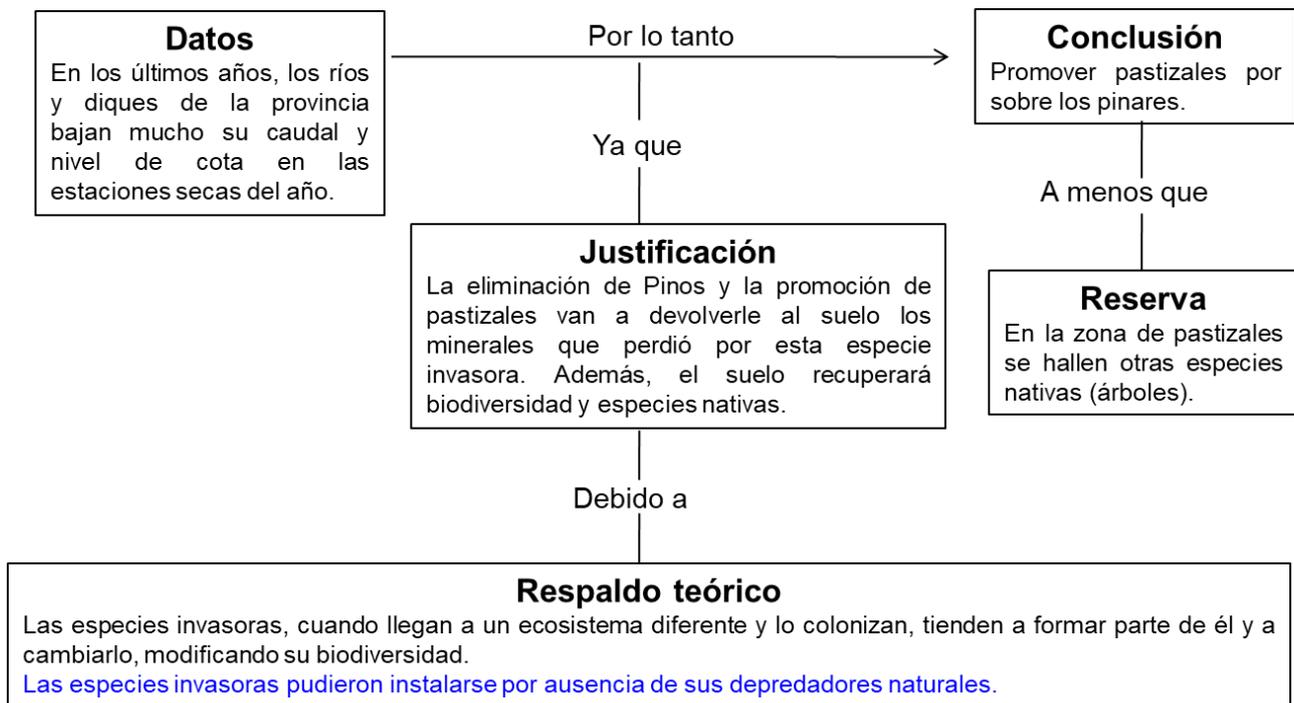


Figura 2 – Esquema del argumento de Toulmin elaborado por los autores a partir de lo preparado por los estudiantes del grupo 3.

En el caso de otros grupos de estudiantes (datos no mostrados), también se acentuó la dificultad de establecer reservas o excepciones a las conclusiones en el contexto analizado al explicitar una excepción que tendría sentido lógico pero que no se ajusta apropiadamente al marco ambiental y científico de la controversia. Por ejemplo, para una conclusión del tipo “evitar la presencia de incendios y pastoreo en las cuencas de los ríos para disminuir la pérdida del suelo”, la reserva “salvo que el campo se incendie” (grupo 2); o ante la decisión de “evitar la habilitación de construcciones o desmontes en zonas de bosque cerrado”, establecer como excepción “a menos que los incendios hayan diezmado los bosques” (grupo 5). En ambas instancias, la eliminación del recurso biológico (bosques nativos) para la protección de la biodiversidad, en el contexto de los argumentos ofrecidos, habilitaría al avance de los disturbios ambientales (construcciones, incendios y pastoreo), ya que no habría que sostener la conservación si desaparece el objeto de la misma.

b. Definición de biodiversidad (objetivo 3)

En el pretest, la mayoría de las respuestas de los estudiantes se categorizaron como correspondientes a la noción de “variedad de especies de un lugar” (50 %), y en menores proporciones, definiciones de tipo genéricas, asociando la biodiversidad a la diversidad de vida y al lugar donde las especies viven (Figura 3). En conjunto, estas tres categorías ponen de relieve el centrismo en el componente específico, que alcanza a más de un 70 % de las respuestas. En el postest, aparecen categorías que dan cuenta de la trilogía de la biodiversidad y más componentes que lo genético, específico y ecosistémico. Las respuestas genéricas y las referidas únicamente a la diversidad de especies disminuyen del pre- al postest. Consideramos que, al analizar los importantes cambios en las frecuencias de distribución

de las ideas de los estudiantes entre el pre- y el postest, de acuerdo con Scott, Wenderoth y Doherty (2020), podríamos explicar que las mejoras en las respuestas estudiantiles se apoyan en el conjunto de herramientas instruccionales de la IBD. En lo particular, la revisión progresiva de imágenes y fotografías que mostraban diferentes expresiones de la biodiversidad (sesiones 1-3, 10 y 11), y las prácticas de argumentación, en las que la discusión entre pares y la conformación de esquemas EAT (sesiones 5-10), promovieron el uso de nociones teóricas relevantes para avalar las conclusiones sobre las problemáticas de la biodiversidad estudiadas.

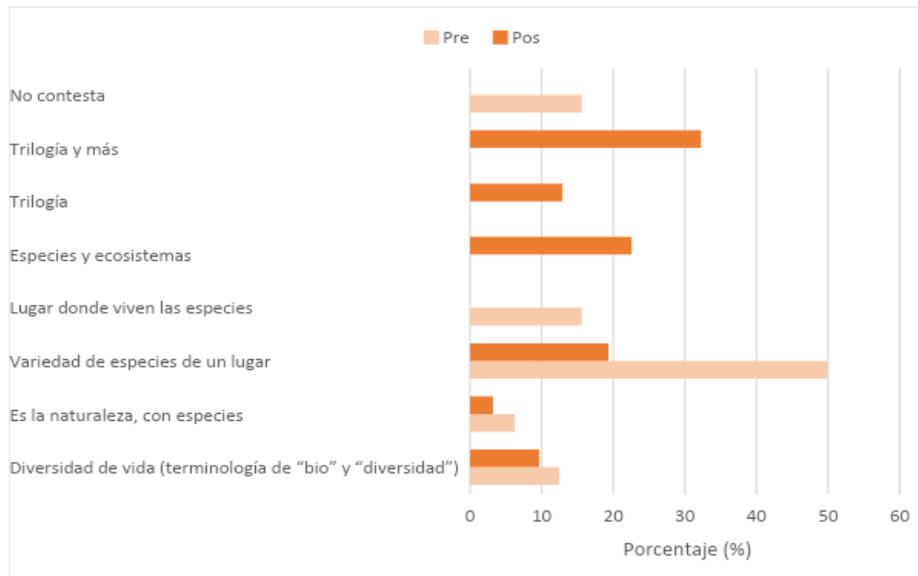


Figura 3 – Categorías de respuesta sobre la definición de biodiversidad en el pre- y postest.

c. Componentes de la biodiversidad (objetivo 3)

Misma riqueza, diferente equitatividad. Si bien la opción correcta (“a”) fue la más elegida tanto en el pre- como en el postest, en este último, las justificaciones más aceptables (en color blanco) alcanzaron un 33,3 % de las respuestas, frente a un 6,5 % en el pretest (Figura 4). Si bien las justificaciones erróneas disminuyeron en el postest, un alto porcentaje de estudiantes sigue centrado en el número de especies (opciones c y d, justificación “*misma riqueza*”).

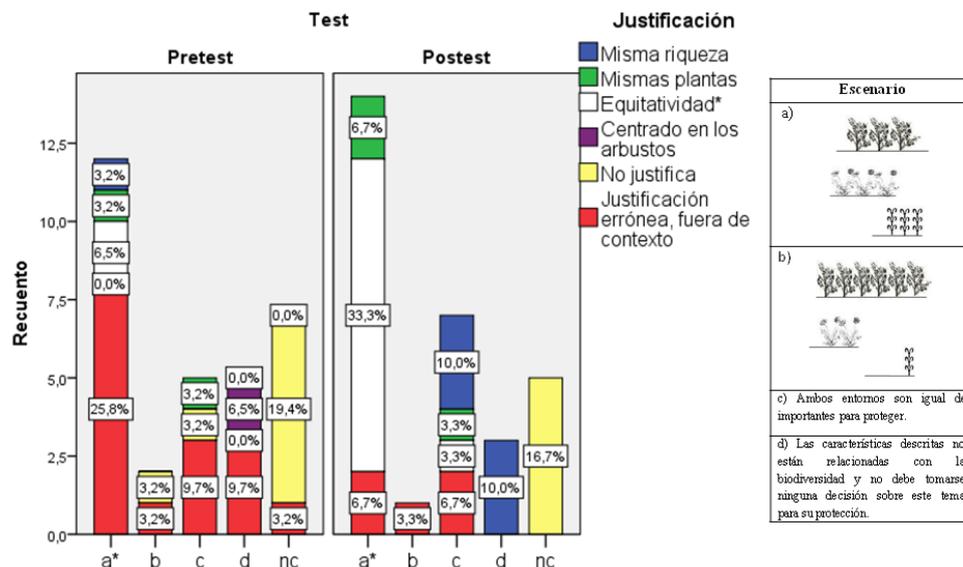


Figura 4 – Tablas cruzadas para las opciones elegidas y justificaciones dadas en el pre- y postest sobre la conservación de dos ambientes con la misma riqueza, pero con diferente equitatividad. *: respuesta correcta y justificación más aceptable. nc: no contesta.

Misma riqueza, diferente número de grupos funcionales. Un creciente número de estudiantes optó por las opciones a y b (respuesta correcta “b”) en el postest, aunque solo un bajo porcentaje justificó de la forma más válida; es decir, aludiendo a los conceptos tanto de riqueza como de grupos funcionales (en color blanco) (Figura 5). Aun así, un 20 % de los estudiantes (que marcaron la respuesta “b”) reconoció la importancia de los grupos funcionales para la conservación de la biodiversidad (en color verde).

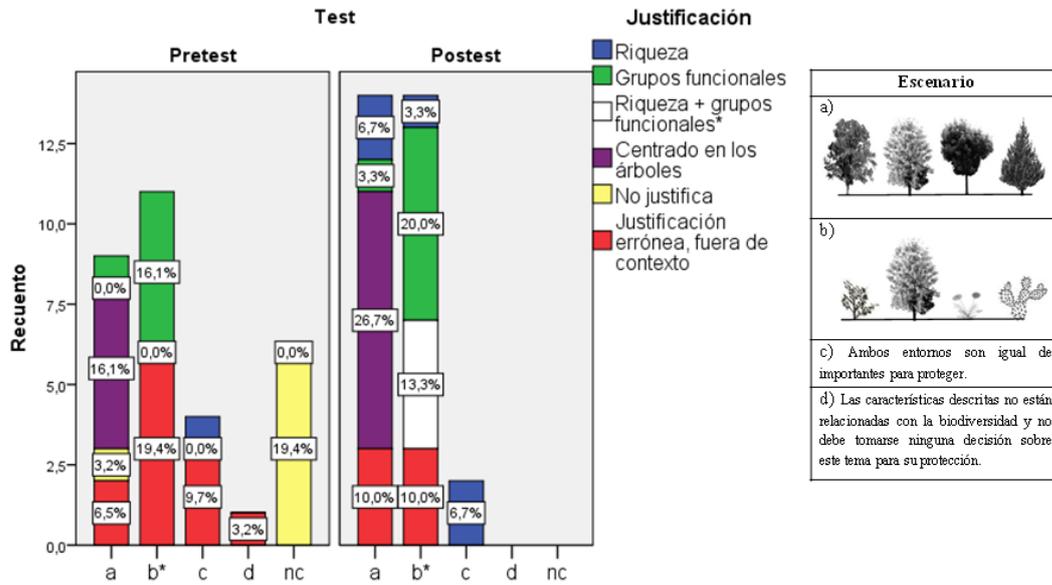


Figura 5 – Tablas cruzadas para las opciones elegidas y justificaciones dadas en el pre- y postest sobre la conservación de dos ambientes con la misma riqueza, pero con diferente número de grupos funcionales. *: respuesta correcta y justificación más aceptable. nc: no contesta.

Misma riqueza, diferentes tamaños poblacionales. La mayoría de los estudiantes respondió la opción correcta (“b”) tanto en el pre- como en el postest, aunque en un porcentaje mayor en este último, tanto como las justificaciones más completas (en color blanco), que crecieron de un 9,7 % a un 26,7 % (Figura 6). Otras justificaciones de la opción correcta señalan centrismos en la riqueza de especies o de grupos funcionales (color verde y azul).

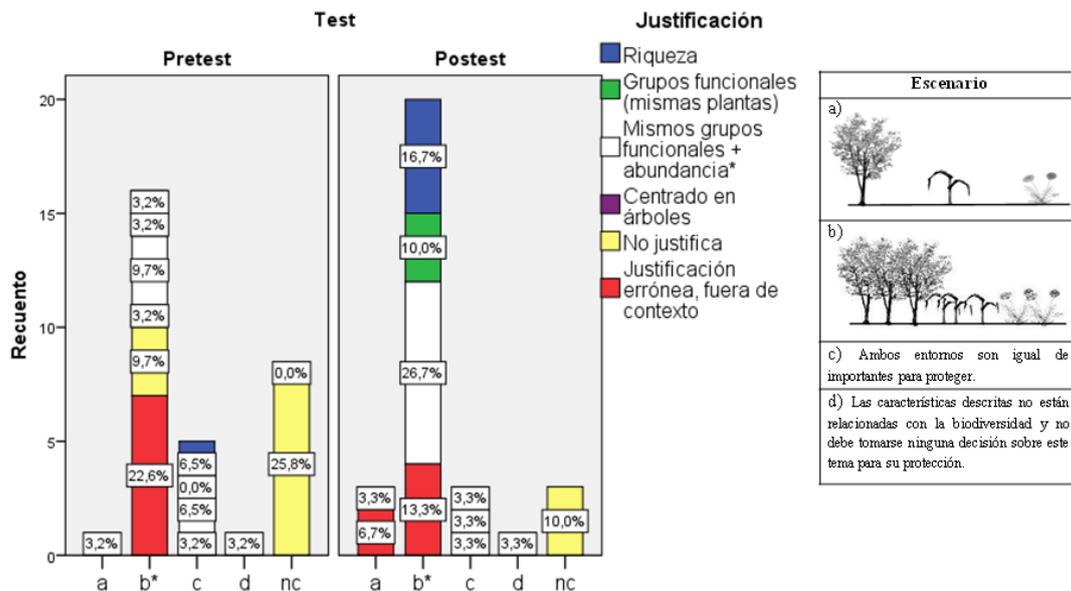


Figura 6 – Tablas cruzadas para las opciones elegidas y justificaciones dadas en el pre- y postest sobre la conservación de dos ambientes con la misma riqueza, pero con diferentes tamaños poblacionales. *: respuesta correcta y justificación más aceptable. nc: no contesta.

Misma riqueza, diferente rango para un carácter funcional (estructura del dosel). Una amplia mayoría de los estudiantes que se había inclinado por la opción “c” en el pretest (Figura 7), eligió la respuesta correcta en el postest (“b”) y justificó la necesidad de conservar el ambiente te con un mayor rango dentro del grupo funcional “árbol” (en color blanco).

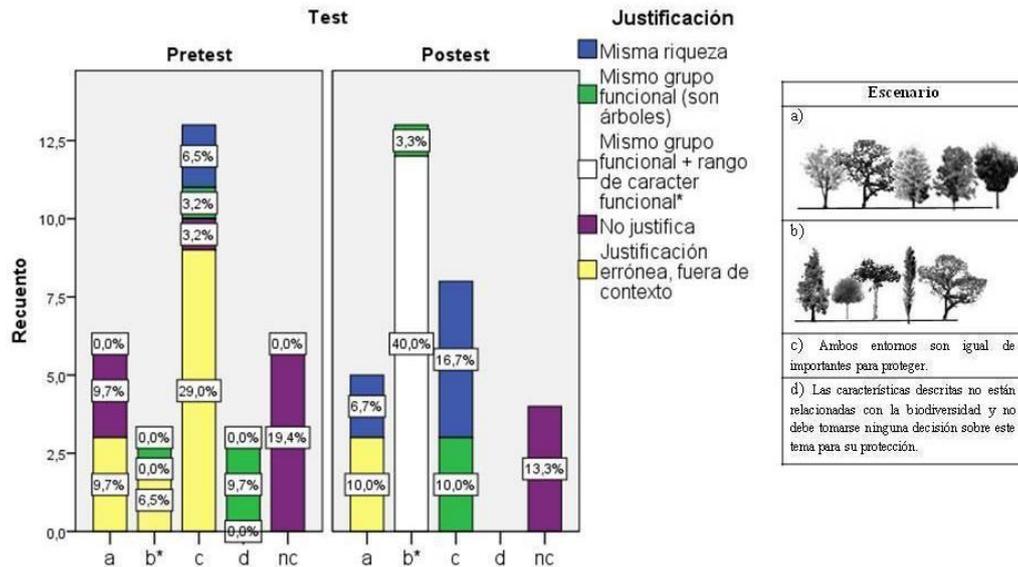


Figura 7 – Tablas cruzadas para las opciones elegidas y justificaciones dadas en el pre- y postest sobre la conservación de dos ambientes con la misma riqueza, pero con diferente rango para un carácter funcional (estructura del dosel). *: respuesta correcta y justificación más aceptable. nc: no contesta.

Misma riqueza de especies, diferente número de interacciones en las redes alimentarias. La mayoría de los estudiantes que consideraba sólo la importancia de la riqueza en el pretest (respuesta “c”) eligió la opción correcta (“a”) en el postest (Figura 8). A su vez, la mayoría de las justificaciones (40 %) en esta instancia pusieron en valor la variedad de interacciones alimentarias (color blanco), cuando en el pretest sólo unos pocos estudiantes alcanzaban a reconocer que el gráfico mostraba una cadena o red alimentaria (en verde).

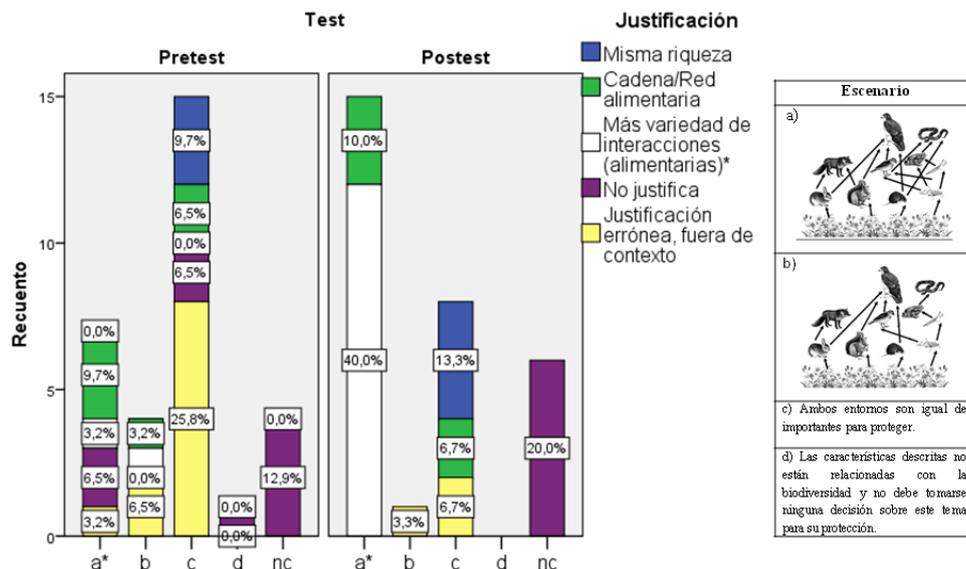


Figura 8 – Tablas cruzadas para las opciones elegidas y justificaciones dadas en el pre- y postest sobre la conservación de dos ambientes con la misma riqueza, pero diferente número de interacciones en las redes alimentarias. *: respuesta correcta y justificación más aceptable. nc: no contesta.

Diferente composición genética. Si bien la respuesta correcta (“b”) siempre fue la más elegida, en el pretest, las justificaciones sólo eran correctas en un tercio de los conteos de dicha opción (color blanco, 19,4 %), aumentando al 40 % del total en el postest (Figura 9). Conviene destacar también que un 30 % de las respuestas del postest se focalizaron en reconocer las diferencias en la composición genética como variedad de especies (color verde).

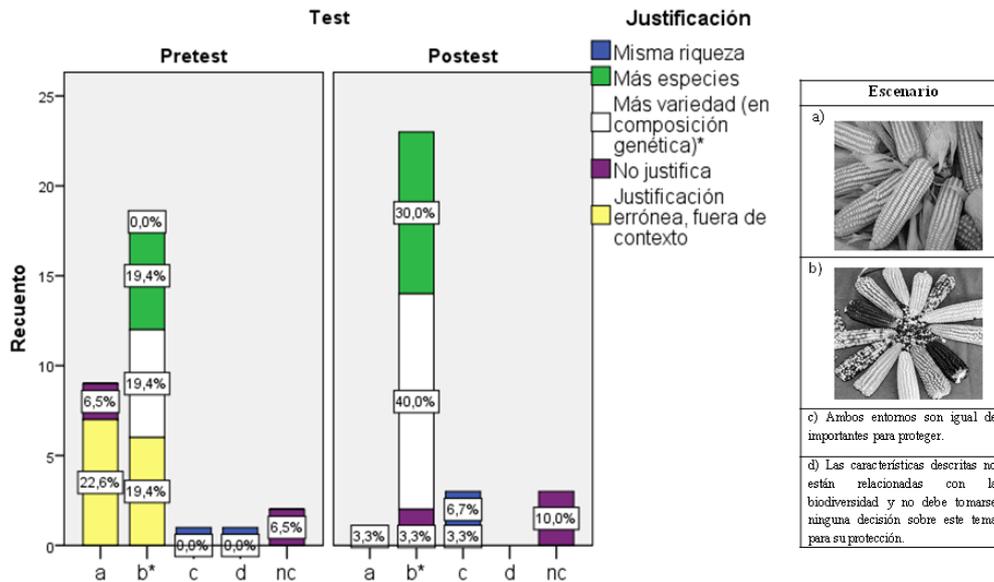


Figura 9 – Tablas cruzadas para las opciones elegidas y justificaciones dadas en el pre- y postest sobre la conservación de dos ambientes con diferente composición genética. *: respuesta correcta y justificación más aceptable. nc: no contesta.

Integridad biológica. La variable que agrega los componentes de la biodiversidad previamente expresados, tuvo una media de 0,5 en el pretest, siendo el valor de 0 (cero) el modo (rango entre 0 y 4), y de 2,8 en el postest, con modo igual a 3 y rango entre 0 (cero) y 6. Esto señala un aumento en el valor expresado y un corrimiento en el rango hacia valores más altos de opciones correctas y justificaciones más aceptables en el postest.

Resumen del análisis de componentes de la biodiversidad (objetivo 3). En conjunto, los resultados de la sección c, que muestran importantes incrementos en las frecuencias de distribución de las respuestas correctas y justificaciones más aceptables de las decisiones de conservación de la biodiversidad tomadas por los estudiantes entre el pre- y el postest (Figuras 4 a 9), según Scott *et al.* (2020), nos habilita a explicar que dichas mejoras se basan en la incidencia de la propuesta de enseñanza. En lo particular, el análisis detallado de fotografías e imágenes que representaban diferentes aspectos del modelo teórico de biodiversidad (sesiones 1-3, 10 y 11 de la IBD) puede haber influido en que el estudiantado haya enriquecido progresivamente su modelo mental inicial, apropiándose de nociones disciplinares sobre la composición genética, las interacciones entre especies, la diversidad funcional (número y rango dentro de un grupo funcional), la equitatividad y la abundancia poblacional. A ello también contribuyeron las prácticas argumentativas realizadas entre las sesiones 5 a 10 de la IBD, por las que los estudiantes movilizaron conocimientos de las relaciones entre los componentes de la biodiversidad y los procesos ecosistémicos ante problemáticas ambientales reales y cercanas a sus contextos, tales como el avance de la frontera agropecuaria, urbana, los incendios, el pastoreo, la invasión de especies exóticas, etc.

d. Conocimiento de flora y fauna nativa (objetivo 3)

Plantas nativas. En el pretest, las tres especies más listadas (Espinillo, Algarrobo y Quebracho colorado) tienen estatus de nativas locales. Luego apareció una especie indeterminada en la posición 4°, el espinal (que es una ecorregión), y una adventicia en la 5° posición, la Ruda. En el postest, las 10 especies más listadas tienen estatus de nativas locales, siendo el Espinillo, el Tala y el Algarrobo las más salientes. En Tabla 2, la comparación de las categorías de respuesta analizadas señala que se registraron en el postest listados más numerosos de especies (media 8 respuestas) y el doble de plantas nativas locales comparado con el pretest.

Tabla 2 – Análisis de las respuestas dadas por los estudiantes en el pre- y postest al solicitarles completar un listado libre de 10 especies de plantas nativas locales.

Variable respuesta para plantas	Pretest		Postest	
	Media	Error Estándar	Media	Error Estándar
Número de respuestas	5,1	0,4	8,0	0,4
Nativa local (%)	33,2	4,2	62,5	4,1
Nativa del país (%)	0,3	0,3	1,3	0,6
Exótica (%)	4,2	1,2	4,1	1,1
Adventicia (%)	7,1	1,6	7,5	1,7
Exótica s.l. (%)	11,3	2,2	11,6	2,2
Mixta (%)	0	0	1,6	0,6

Animales nativos. Las tres especies más listadas en el pretest (Zorro gris, Bicho palo y Cóndor) y el postest (Puma, Lagarto overo, Cuis) tienen estatus de nativas locales, así como el resto de las 10 especies más salientes en cada instancia. En la Tabla 3, la comparación de las categorías de respuesta analizadas muestra que se registraron en el postest listados más numerosos de especies (media 8,59 respuestas) y casi un 70 % de animales nativos locales. El porcentaje de animales exóticos en sentido amplio (s.l.) bajó en el postest, pero, dentro de éstas, se incrementó el de especies domésticas.

Tabla 3 – Análisis de las respuestas dadas por los estudiantes en el pre- y postest al solicitarles completar un listado libre de 10 especies de animales nativos locales.

Variable respuesta para animales	Pretest		Postest	
	Media	Error Estándar	Media	Error Estándar
Número de respuestas	5,4	0,5	8,6	0,4
Nativa local (%)	41,3	4,8	68,6	5,3
Nativa del país (%)	3,5	1,6	1,9	0,7
Exótica (%)	2,6	0,9	1,9	0,8
Naturalizada (%)	4,2	1,4	1,9	0,8
Exótica s.l. (%)	6,7	2,0	3,9	1,1
Doméstica (% calculada sobre las exóticas)	59,3	16,5	75,0	17,1

Por último, al igual que para b y c, como sugieren Scott *et al.* (2020) para esta fase de análisis de la IBD, los resultados positivos en los conocimientos estudiantiles sobre plantas y animales nativos (d, objetivo 3) podrían atribuirse a la propuesta didáctica (IBD). En su desarrollo, las imágenes y fotografías usadas en las diapositivas, la salida de campo, las notas periodísticas leídas y las cuestiones sociocientíficas discutidas para justificar afirmaciones con base en evidencias movilizaron significativamente y dieron sentido a las clasificaciones de las especies según su origen y las problemáticas emergentes, así como también, permitieron un enriquecimiento de los saberes estudiantiles sobre la flora y fauna autóctonas.

DISCUSIONES

Este estudio fue desarrollado con la intención de caracterizar las situaciones que la IBD generó en el contexto escolar particular de aplicación y *“desarrollar una teoría humilde de intervención en el aula que*

caracterice el diseño en la práctica” (Guisasola *et al.*, 2021, p. 5). Específicamente, la IBD se centró en ofrecer una propuesta de enseñanza de la biodiversidad situada en problemáticas sociocientíficas locales y perspectivas didácticas y ecológicas actuales (Bermudez *et al.*, 2020; Revel Chion *et al.*, 2021; Robles-Piñeros & Abella, 2021; Zeidler *et al.*, 2019). Para ello, se diseñó una SEA que, entre otras actividades, articuló una perspectiva lógica y dialéctica de la argumentación para convertir al esquema del argumento de Toulmin (EAT) en un instrumento *estructural y didáctico*, que permitiera a los estudiantes aprender a argumentar sobre problemáticas socioambientales relacionadas con la biodiversidad. A continuación, discutimos los resultados de la IBD en función de las dificultades relativas al desarrollo de las actividades, los tiempos y los malentendidos sobre la biodiversidad y la argumentación científica (objetivo 1), así como los del aprendizaje de los estudiantes, que incluyen la apropiación de habilidades para la construcción de argumentos (objetivo 2) y el avance de los conocimientos sobre biodiversidad entre las instancias del pre- y postest (objetivo 3), (Guisasola *et al.*, 2021).

Las representaciones en general, y las gráficas cartesianas en particular, son de gran utilidad para expresar las relaciones entre dos o más variables, como ocurre en el análisis de fenómenos complejos (Artola, Mayoral, & Benarroch, 2016). Las dificultades de los estudiantes registradas en este trabajo para el entendimiento de las gráficas se relacionan con cuestiones ya descritas en el ámbito de la didáctica de las ciencias naturales, tales como el reconocimiento de los términos incluidos en la gráfica, la identificación de la relación entre las variables, las escalas, la elaboración de explicaciones, conclusiones y predicciones (García García & Perales Palacios, 2007), así como el desconocimiento de los conceptos involucrados (Artola *et al.*, 2016). Para superarlas, es importante tener en cuenta para futuros desarrollos el tratamiento específico de las gráficas cartesianas y facilitar la coordinación de diferentes registros semióticos. Con ello, se favorecerá la transferencia del conocimiento representado que, sin ser inmediata, implica para el estudiante la movilización de habilidades cognitivas como la abstracción, la identificación, la traducción a diferentes lenguajes (por ejemplo, de gráfico a tabla y viceversa), la comparación y la resolución de problemas.

Los esquemas EAT elaborados por los estudiantes (Figuras 1 y 2) mostraron la movilización de conocimientos de la biodiversidad, tales como su conceptualización, sus componentes y representantes de la flora y fauna, destacando el análisis de los caracteres funcionales de algunas especies (autóctonas versus exóticas) con fuerte impacto en procesos ecosistémicos (facilitación de invasiones biológicas y afectación del rendimiento de cuencas hídricas). Ello indica que una educación en biodiversidad actualizada es capaz promover visiones problematizadas y situadas de las relaciones sociedad-biodiversidad e incluir componentes tradicionalmente no abordados en las propuestas de enseñanza de la ecología, tales como la diversidad funcional (Bermudez *et al.*, 2020, 2022; Díaz *et al.*, 2015). Al centrar la mirada en la complejidad de los esquemas EAT de los estudiantes, la inclusión de los elementos y los conectores fue menos efectiva para para la justificación y la reserva, ya sea por inadecuación al problema o por ausencia, lo que coincide con lo hallado por Aziz y Johari (2023) en Brunei y Crujeiras-Pérez, Martín-Gámez, Díaz-Moreno y Fernández-Oliveras (2020) en España. Estos resultados pueden explicarse por una dificultad a la hora de establecer los límites de validez de un argumento, ya que construir contraargumentos requiere que los estudiantes evalúen sus opiniones y defiendan y justifiquen su idea para componer las refutaciones (Kuhn, 2010). Esto representa una tarea poco común en las aulas en las que las declaraciones de conocimiento se toman sin cuestionamiento y reparo alguno, y por lo que es necesario fomentarlo en el contexto de prácticas epistémicas (González-Howard & McNeill, 2020; Henderson *et al.*, 2015). En este sentido, como ha sostenido Kock (2007, citado en Nielsen, 2013), hay muchos casos de deliberación en los que sería erróneo sugerir que sólo porque un argumento “*no se refuta, tal argumento es lo suficientemente fuerte como para imponer inmediatamente la decisión (aunque sea de forma presunta)*” (p. 93), tanto como que “*es igual de erróneo sugerir que si se plantea una cuestión crítica pertinente sobre el argumento, entonces se refuta y [...] se trata*” (p. 93). Así, se vuelve imprescindible abrir el espacio discursivo para abordar explícitamente la problematización del conocimiento escolar desde el apoyo al trabajo colaborativo, al establecimiento de críticas (González-Howard & McNeill, 2020) y al involucramiento genuino en la crítica de los datos, las evidencias y las justificaciones de los argumentos propios y ofrecidos por los demás (Mortimer & Araújo, 2014), evitando caer en diálogos disputacionales (Resnick *et al.*, 2018). Además, la discusión de los criterios establecidos por los estudiantes para la declaración de excepciones podría aportar a la problemática actual de que los sectores económicos con intereses en los territorios de áreas naturales y protegidas dañan *ad hoc* los ecosistemas (desmontes, incendios, loteos) para avanzar sobre comunidades que han perdido, bajo determinadas clasificaciones, la cobertura arbórea (Salizzi, 2020).

Por otro lado, el valor de la justificación entendida como relación entre la conclusión (*claim*) y los datos radica en que, como afirman Kuhn y Lerman (2021), “*sin esta conexión, la prueba pretendida se reduce meramente a información aislada ausente de función o propósito*” (p. 1037). Son las garantías (*warrants*) las que otorgan el principio de pertinencia entre las ideas y cuya función es asegurar la incidencia

del primer enunciado (dato fáctico) sobre el segundo (conclusión) (Marafioti, 2003). En línea con la importancia estructural y retórica de la justificación, nuestros resultados relacionados con la dificultad de expresar las garantías se podrían relacionar con la complejidad de distinguirlas funcional y contextualmente del respaldo teórico (Nielsen, 2013) y al uso de la justificación como sinónimo de argumentación escolar, al solicitarles a los estudiantes justifiquen sus respuestas desarrollando las razones de un fenómeno desde determinado modelo teórico (Custodio, Márquez & Sanmartí, 2015). De modo similar, Revel-Chion *et al.* (2021) alertan que también la *argumentación* escolar ha de distinguirse de la *explicación*, ya que mientras la última responde a un *¿por qué?* y busca una mayor comprensión de un fenómeno, las argumentaciones intentan justificar afirmaciones con base en evidencias. Así, Custodio *et al.* (2015) agregan que la justificación se fundamenta en las teorías científicas y en otras fuentes, como las pruebas generadas a partir de la realización de experimentos, tales como las usadas en esta investigación (evidencias científicas) y que implica fundamentar lo anterior con base *“en conocimientos o puntos de vista aceptados por los receptores”* (p. 135). Este carácter situado de considerar la audiencia y la validez del respaldo teórico adquiere relevancia en el contexto de prácticas epistémicas enmarcadas en discusiones sobre problemáticas sociocientíficas (Aziz & Johari, 2023). Sin embargo, Sanmartí (2008) advierte que el estudiantado suele justificar a partir de una tautología; es decir, *“escribe lo mismo que se le preguntaba, pero con otras palabras, o se refiere a razones poco relevantes”* (p. 30).

El avance en la concepción de biodiversidad como conocimiento declarativo (Figura 3) señala que el abordaje específico de las actuales definiciones científicas (como las de la Plataforma Intergubernamental de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos [IPBES], Díaz *et al.*, 2015) y el desarrollo de actividades destinadas a reconocer y valorar más componentes que el específico permiten alcanzar expresiones de la trilogía de la biodiversidad y más complejas aún. En este sentido, las categorías de respuesta del postest del presente estudio son superadoras de las encontradas por Vilches, Legarralde, Ramírez y Darrigran (2018) en Argentina y De La Cruz y Pérez (2020) en Colombia, que resultaron similares a las centradas en la riqueza y la variedad de organismos vivos del pretest (*“diversidad y variedad de especies o seres vivos en la Tierra”* y *“número de especies”*; Vilches *et al.*, 2018, p. 364).

La baja consideración de la *equitatividad* para tomar decisiones de conservación en el pretest y quienes no la identifican en el postest (Figura 4) se vincula a lo diagnosticado por Bermudez y Lindemann-Matthies (2020) y pone de relieve la dificultad de comprender la dominancia de las especies, ya sea por su abundancia o por la biomasa, y su influencia en la estructura y procesos ecosistémicos (Chapin, Matson, & Mooney, 2002). La importancia del conocimiento de la equitatividad, como la homogeneidad existente en las abundancias relativas de las especies, radica en que, según la composición de las especies que componen el paisaje, esta influencia la estabilidad especial y temporal de la comunidad en términos de su condición de ser invadida (Hillebrand, Bennett, & Cadotte, 2008), lo que involucra la pérdida de biodiversidad a escala local, regional y global (Jaureguiberry *et al.*, 2022). A su vez, la equitatividad de una comunidad vegetal podría conducir a una mayor productividad con una mayor riqueza de especies (Hooper *et al.*, 2005), otro de los factores que ha sido ampliamente reconocido por los estudiantes. De hecho, un estudio de psicología ambiental conducido por Southon, Jorgensen, Dunnett, Hoyle y Evans (2018) ha encontrado que la riqueza de especies percibida por las personas al observar parcelas de pasturas correlaciona positivamente con la equitatividad, la altura y el colorido de la vegetación, lo que sugiere que estas propiedades actúan como señales para la valoración de las personas de la riqueza de especies. Estos resultados podrían indicar la existencia de un sesgo que favorece la percepción de la riqueza de especies por sobre otros componentes de la biodiversidad. Los sesgos cognitivos refieren a predisposiciones psicológicas que operan de manera automática o por una vía de pensamiento no consciente y que pueden conducir a decisiones no basadas en un pensamiento racional y reflexivo (González Galli, 2019).

La valoración del *tamaño poblacional* (Figura 6) para elegir la conservación de especies con abundancia de individuos es significativa porque cuando una población disminuye de tamaño, se pierde la diversidad genética y se reduce sustancialmente su robustez frente a los cambios ambientales y su capacidad para sobrevivir (Zedler & Lindig-Cisneros, 2013). Estos procesos se magnifican en los cuellos de botella, es decir, cuando las poblaciones contienen un número reducido de individuos con muy pocos genotipos (Zedler & Lindig-Cisneros, 2013). En este sentido, si bien el tamaño poblacional tiene relación directa con la diversidad genética, aunque los estudiantes valoraron el atributo *composición genética* (Figura 9), también se incrementaron las justificaciones centradas en la riqueza. Este resultado revela la necesidad de repensar la enseñanza de los procesos ecológicos que, desde una perspectiva evolutiva, tienen sus fundamentos en las teorías que justifican el cambio, la adaptación, la selección, la deriva y el efecto cuello de botella, entre otras (Pérez, Gómez-Galindo, & González-Galli, 2018). Además, nuestro estudio muestra que, aunque los estudiantes o, incluso, profesores de biología en formación, no consideren a la diversidad genética como parte de la biodiversidad (Kilinc, Yeşiltaş, Kartal, Demiral, & Eroğlu, 2013; Vilches, Acosta,

Barra, & Fernández, 2018; Vilches *et al.*, 2016), es posible revertir esta tendencia con una enseñanza que tenga como propósito superar ese obstáculo.

Los conocimientos de los efectos de determinados caracteres de las especies o de grupos de especies en el ecosistema, movilizados en la confección de esquemas EAT, se relaciona con la evidencia ecológica, que viene mostrando que la composición funcional de la biodiversidad (es decir, la identidad, abundancia y variedad de rasgos de las especies) causa efectos más significativos en los procesos ecosistémicos (ciclo de nutrientes, fijación de carbono atmosférico, resiliencia, polinización, etc.) que la riqueza de especies en sí misma (Díaz, Fargione, Chapin, & Tilman, 2006). Por ejemplo, una alta divergencia funcional, expresada por una amplia gama de rasgos funcionales, sugiere un uso eficiente y variado de los recursos en una comunidad biológica, lo que se traduce en un mayor funcionamiento del ecosistema (Díaz *et al.*, 2006; Mason, Mouillot, Lee, & Wilson, 2005). Aun así, los resultados del postest sobre la intención y explicación de los estudiantes de proteger la divergencia funcional arrojan resultados contrastantes. Por un lado, el *número de grupos funcionales* (Figura 5) valorado en el postest puede relacionarse con que muchas respuestas se justificaron por un *centrismo en las especies arbóreas*. Por otro lado, la positiva consideración del *rango dentro de un carácter funcional* (Figura 7) para la conservación de la biodiversidad destaca por su influencia en procesos ecosistémicos como el secuestro de carbono y, por lo tanto, en la regulación del clima, un bien ambiental común de gran importancia y que ha recibido gran atención científica y educativa en los últimos años (Asshoff, Düsing, Winkelmann, & Hammann, 2020; Düsing, Asshoff, & Hammann, 2019). En esta línea, las investigaciones sobre la comprensión del cambio global por parte de los estudiantes también han demostrado que la diversidad funcional de las plantas apenas era reconocida como un factor impulsor del funcionamiento de los ecosistemas (Ratinen *et al.*, 2013). A su vez, el tamaño y la arquitectura del dosel vegetal también pueden influir en la provisión de refugio y hábitat a diferentes especies, influyendo así también en las interacciones entre especies y la riqueza.

De acuerdo con Díaz *et al.* (2006), el número y la fuerza de las conexiones mecánicas entre la biodiversidad y los procesos de los ecosistemas justifican claramente la protección de la integridad biótica de los ecosistemas, tanto como su inclusión como criterio para el diseño de ecosistemas protegidos y gestionados. En el presente estudio, el valor medio del pretest de la variable *Integridad biológica* coincide con lo publicado por Bermudez y Lindemann-Matthies (2020) para su aproximación aditiva de las respuestas estudiantiles a los mismos escenarios. Si bien un incremento del promedio de 0,5 a 2,8 puede parecer menor, en realidad revela un aumento de más de 5 veces en la valoración global de los componentes de la biodiversidad, es decir, para las opciones y justificaciones correctas de cada uno de los escenarios presentados a los estudiantes. En este proceso, los estudiantes debieron sortear algunos obstáculos o centrismos, *centrismo en el número de especies* y *centrismo en los árboles*.

El centrismo en la riqueza de especies (manifestado en la Figura 4 y Figura 9) coincide con estudios previos (Bermudez & Lindemann-Matthies, 2020; Barbosa, Calderan, de Souza, & Guedes, 2019; Ferreira Fonseca, 2007; Vilches *et al.*, 2018). La riqueza representa una métrica simple y valiosa como moneda común para expresar la diversidad biológica, pero siempre debe integrarse con otras variables para capturar plenamente la complejidad de la biodiversidad (Millennium Ecosystem Assessment [MEA], 2005); por ejemplo, la divergencia funcional. Sin embargo, los libros didácticos no han actualizado sus abordajes de la biodiversidad y suelen presentar definiciones que muchas veces no alcanzan a cubrir, siquiera, la trilogía (diversidad genética, específica y ecosistémica) (Bermudez & Noll, 2015; Bermudez *et al.*, 2014). Más allá de esto, estudios de psicología medioambiental dan cuenta que la percepción de las personas de la riqueza de especies de plantas se correlaciona con la riqueza real del ambiente y que se asocia positivamente con la satisfacción y la sensación de conexión con la naturaleza (Southon *et al.*, 2018). Así, los sitios con biodiversidad pueden aumentar la satisfacción, el sentido general de salud y promover sentimientos de estabilidad y continuidad. Esto podría representar un sesgo cognitivo (González Galli, 2019) que actúa como obstáculo para reconocer y valorar otros componentes y atributos de la biodiversidad. Esta noción de obstáculo va en línea con Astolfi (2003), quien sostiene que el obstáculo no es el vacío de la ignorancia, sino que es *“constitutivo del acto de conocer”* (p. 34), por lo que representa una forma de conocimiento como cualquier otra. Debido a que el obstáculo *“es una forma de pensar con la mente sentada en el sofá”* y forma un *“tejido de errores contruidos, tenaces y solidarios”* (Astolfi, 2003, p. 36) entre sí, son resistentes a la refutación o ruptura epistemológica.

Otro potencial sesgo consta del centrismo en los árboles (Cuadro 3, Figura 2 -reserva- y Figura 5) que, de acuerdo con Bermudez *et al.* (2018), se trata de un mecanismo por el que se los considera como la forma de vida vegetal de más alta prioridad para la conservación de la biodiversidad. En primer lugar, debemos diferenciar el *error* de los estudiantes al entender al bosque como un conjunto de árboles, ya que *“los bosques no son sólo árboles, sino también las distintas especies de plantas y animales que habitan en el suelo, el sotobosque y el dosel”* (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la

Agricultura [FAO] y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA] (FAO & UNEP, p. 36) y para la regeneración de los bosques tampoco basta con plantar árboles (Bannister, 2015). La configuración de este ecosistema no sólo incluye a los de tipo primario, dominados por el estrato arbóreo, pero incluyendo al estrato herbáceo y arbustivo, sino que también, a los bosques secundarios. Estos bosques pueden carecer de árboles maduros tras haber sufrido un disturbio ambiental, pero que potencialmente o por sucesión podrían desarrollarlos. En segundo lugar, el *centrismo en los árboles* podría vincularse con que la riqueza de especies percibida es directamente proporcional a la altura de la vegetación (Southon *et al.*, 2018), y al conocimiento ecológico de que las especies grandes (en unidades de masa, por ejemplo) son consideradas las más influyentes, en términos de dominancia y de funcionamiento del ecosistema (Bermudez *et al.*, 2018; Lückmann & Menzel, 2014; Villarroel, Antón, Zuazagoitia, & Nuño, 2018). También los libros didácticos presentan a los árboles como los principales organismos que sustentan los procesos ecológicos y proporcionan bienes y servicios ecosistémicos (Hadzigeorgiou, Prevezanou, Kabouropoulou, & Konsolas, 2011).

Los fuertes incrementos en el conocimiento de plantas y animales nativos (Tablas 2 y 3, respectivamente), siendo las categorías de respuesta sobre el estatus de las especies de más alta frecuencia, indica que la enseñanza *ad hoc* de la biota autóctona y la funcionalización de saberes de fauna y flora en el marco de justificar conclusiones de manejo de los ecosistemas con base en evidencias científicas (confección de esquemas EAT, Figuras 1 y 2) puede revertir la baja consideración estudiantil de los representantes autóctonos en distintos países (Almeida, García Fernández, & Strecht-Ribeiro, 2020; Barrutia, Ruiz-González, Sanz-Azkue, & Díez, 2022; Bermudez *et al.*, 2022; Campos *et al.*, 2012; Pedrera, Ortega-Lasuen, Ruiz-González, Díez, & Barrutia, 2023). Estos resultados sugieren también que los estudiantes identifican mejor las especies de plantas cuando han experimentado contacto directo y creado recuerdos con ellas (Nyberg, Brkovic, & Sanders, 2019), para lo que es fundamental que alguien las señale y enseñe su nombre (Pedrera *et al.*, 2023). Sin embargo, las fuentes de conocimiento de las especies que reconocen los estudiantes no suelen incluir a las actividades escolares ni a los docentes, sino a la familia y a las experiencias personales (Jaun-Holderegger, Lehnert, & Lindemann-Matthies, 2021), los sitios de educación no formal (como zoológicos) y los medios de comunicación (libros, internet, revistas, televisión) (Campos *et al.*, 2012; Jaun-Holderegger *et al.*, 2021; Patrick *et al.*, 2013; Torres-Merchán, Salcedo-Plazas, Becerra-Niño, & Valderrama, 2018). Por ello, en tiempos de baja percepción de la biodiversidad entre las personas, la degradación ambiental y la erosión de los conocimientos tradicionales, la escuela debería ser un lugar privilegiado para fomentar la alfabetización sobre las especies nativas y afianzar el arraigo al patrimonio ambiental y cultural (Jaun-Holderegger *et al.*, 2021). Por último, y a diferencia de otros trabajos que registraron un centrismo en especies animales, en detrimento de las especies listadas de plantas (Bermudez *et al.*, 2017, 2018; Barrutia *et al.*, 2022; Campos *et al.*, 2012; Pedrera *et al.*, 2023), los resultados de este estudio muestran que los conocimientos de plantas y animales (número de respuestas y % de especies nativas) en el pre- y postest fueron similares entre estos grupos de organismos.

CONCLUSIONES

Con base en una IBD, este trabajo se propuso probar una propuesta de enseñanza de la biodiversidad situada en problemáticas sociocientíficas locales articulando, entre otras estrategias, la enseñanza del esquema de Toulmin (EAT) para aprender a argumentar y, así, acercar al estudiantado a una de las prácticas científicas que más interés ha generado en el ámbito didáctico en el último tiempo. Con base en las indicaciones de Scott *et al.* (2020) para la fase de reflexión del análisis retrospectivo de la IBD, organizamos las conclusiones en tres ejes: (a) *hallazgos teóricos*, (b) *prácticos* y (c) *de diseño*.

En cuanto a las *contribuciones teóricas* (a), los resultados corroboran el énfasis de la educación en ciencias en la argumentación sobre cuestiones sociocientíficas como acciones concretas para una formación ciudadana crítica y la alfabetización científica al movilizar, en este caso, conocimientos de múltiples dimensiones atravesadas en la conservación de la biodiversidad. En lo particular, esta IBD aporta al campo didáctico la posibilidad de la enseñanza del esquema EAT para elaborar argumentos en la escuela secundaria y el empleo de instrumentos novedosos para relevar conocimientos declarativos de la biodiversidad, que estén de acuerdo con su definición más actual.

Sobre el eje *práctico* (b), las herramientas didácticas de la IBD apoyaron el aprendizaje de los estudiantes sobre la biodiversidad (tanto en su conceptualización, como sus componentes y en los representantes autóctonos de flora y fauna). En este marco, se han detectado, descrito y, en parte, concretado cambios en los conocimientos y concepciones estudiantiles sobre el centrismo en las especies, el centrismo en los árboles y en la valoración de la diversidad funcional. A su vez, fue posible detectar y

explicar las dificultades estudiantiles singulares en la conformación de esquemas EAT, tales como las reservas (excepciones) y las justificaciones.

Por último, en cuanto a los *principios del diseño* (c) que respaldaron el aprendizaje de los estudiantes y pueden ser adaptados por otros investigadores y educadores a sus contextos, se pone de relieve la importancia de hacer transparentes los fundamentos que informan las prácticas argumentativas; es decir, la justificación de declaraciones de conocimiento con base en evidencias. Ello no solo puede representar un aporte concreto a las prácticas científicas como la argumentación, sino también, incidir en la alfabetización científica, el pensamiento crítico y el involucramiento disciplinar en el aula de Ecología. Sin embargo, analizar evidencias muchas veces requiere del estudio de gráficas complejas, lo que trae aparejadas dificultades adicionales que el estudiantado necesita trabajar específicamente. Por último, se pone de relieve que una enseñanza de la biodiversidad enriquecida con prácticas científicas exige la identificación, disposición y transposición de evidencias ecológicas en recursos didácticos con coordenadas locales; es decir, que puedan ser trabajados en las aulas empapadas de las problemáticas socioambientales cercanas. Esto conlleva capacidades para el profesorado que superan la simple lectura de los diseños curriculares, y la elección de un libro didáctico. Por el contrario, la tarea implica desde la producción de materiales, la traducción de artículos y la vinculación con investigadores locales. Para ello, reconocemos la potencialidad de aproximarnos a un modelo de construcción de conocimiento didáctico en equipos mixtos de formadores de formadores, profesores, investigadores y profesores en formación inicial, abordando *“los problemas del aula como problemas de investigación [con el fin de] producir prácticas sensibles a la problemática de las poblaciones para las cuales fueron formuladas”* (Meinardi, 2009, p. 3).

Agradecimientos

Agradecemos a las agencias de financiamiento (SECYT de la Universidad Nacional de Córdoba y a FONCYT, Agencia Nacional de Promoción de la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación, Proyecto PICT-2021-108) y, especialmente, a la institución educativa y las y los estudiantes participantes.

REFERENCIAS

- Almeida, A., García Fernández, B., & Strecht-Ribeiro, O. (2020). Children's knowledge and contact with native fauna: a comparative study between Portugal and Spain. *Journal of Biological Education*, 54(1), 17-32. <https://doi.org/10.1080/00219266.2018.1538017>
- Álvarez García, L. M., & García Martínez, Á. (2023). Modelos de argumentación aplicados en la enseñanza de las ciencias: Una revisión sistemática. *Papeles*, 15(29), e1424/146-167. <https://doi.org/10.54104/papeles.v15n29.e1424>
- Artola, E. C., Mayoral, L. E., & Benarroch, A. (2016). Dificultades de aprendizaje de las representaciones gráficas cartesianas asociadas a biología de poblaciones en estudiantes de educación secundaria. Un estudio semiótico. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(1), 36-52. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2016.v13.i1.04
- Asshoff, R., Düsing, K., Winkelmann, T., & Hammann, M. (2020). Considering the levels of biological organisation when teaching carbon flows in a terrestrial ecosystem. *Journal of Biological Education*, 54(3), 287-299. <https://doi.org/10.1080/00219266.2019.1575263>
- Astolfi, J. P. (2003). *El “error”, un medio para enseñar*. Sevilla, España: Diada.
- Azevedo, M., & Nascimento Borba, R. C. (2020). Educação em Ciências em tempos de pós-verdade: pensando sentidos e discutindo intencionalidades. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 37(3), 1551-1576. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2020v37n3p1551>
- Aziz, A. A., & Johari, M. (2023). The effect of argumentation about socio-scientific issues on secondary students' reasoning pattern and quality. *Research in Science Education*, 53, 771–789. <https://doi.org/10.1007/s11165-023-10099-5>
- Bannister, J. R. (2015). Recuperar bosques no es solo plantar árboles: Lecciones aprendidas luego de 7 años restaurando bosques de *Pilgerodendron uviferum* (D. Don) Florin en Chiloé. *Anales del Instituto de la Patagonia (Chile)*, 43(1), 35-51. <https://www.scielo.cl/pdf/ainpat/v43n1/art04.pdf>

- Barbosa, L. T., Calderan, A. M. P., de Souza, C. C., & Guedes, N. M. R. (2019). Conservação da biodiversidade: avaliação da percepção dos alunos do ensino médio. *Revista Brasileira De Educação Ambiental (RevBEA)*, 14(1), 362-376. <https://doi.org/10.34024/revbea.2019.v14.2591>
- Barrutia, O., Ruiz-González, A., Sanz-Azkue, I., & Díez, J. R. (2022). Secondary school students' familiarity with animals and plants: Hometown size matters. *Environmental Education Research*, 28(10), 1564-1583. <https://doi.org/10.1080/13504622.2022.2086689>
- Bermudez, G.M.A. (2022). Una didáctica para la enseñanza de la biodiversidad: explicitar concepciones, recuperar la historia y realizar prácticas científicas de modelización. En E.O. Valbuena Ussa, J. A. Castro Moreno & R. Roa Acosta (Comp.), *Educación en biodiversidad. Perspectivas y retos* (pp. 291-323). Serie Cátedra Doctoral N° 10. Bogotá, Colombia: Universidad Pedagógica Nacional. Recuperado de <http://repository.pedagogica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12209/17198/Versi%C3%B3n%20Preliminar%20Catedra%2010%20Educaci%C3%B3n%20en%20biodiversidad-Rp.pdf?sequence=1>
- Bermudez, G. M., Battistón, L. V., Capocasa, M. C. G., & De Longhi, A. L. (2017). Sociocultural variables that impact high school students' perceptions of native fauna: a study on the species component of the biodiversity concept. *Research in Science Education*, 47(1), 203-235. <https://doi.org/10.1007/s11165-015-9496-4>
- Bermudez, G. M. A., De Longhi, A. L., Díaz, S., & Gavidia Catalán, V. (2014). La transposición del concepto de diversidad biológica. Un estudio sobre los libros de texto de la educación secundaria española. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 285-302. Recuperado de <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/287572>
- Bermudez, G. M. A., De Longhi, A. L., & Gavidia, V. (2015). La enseñanza monumentalista y utilitarista de las causas de la biodiversidad y de las estrategias para su conservación: un estudio sobre la transposición didáctica de los manuales de la Educación Secundaria española. *Ciência & Educação (Bauru)*, 21, 673–691. <https://doi.org/10.1590/1516-731320150030010>
- Bermudez, G. M., Díaz, S., & De Longhi, A. L. (2018). Native plant naming by high-school students of different socioeconomic status: Implications for botany education. *International Journal of Science Education*, 40(1), 46-66. <https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1397297>
- Bermudez, G.M.A., García, L.P., & Cisnero, K.G. (2020). Didáctica de las ciencias naturales para una ciudadanía crítica y democrática. Reflexiones y prácticas en el contexto de problemáticas sociocientíficas. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)*, 22, e16190. <https://doi.org/10.1590/21172020210132>
- Bermudez, G. M. A., & Lindemann-Matthies, P. (2020). "What matters is species richness"—High school students' understanding of the components of biodiversity. *Research in Science Education*, 50, 2159–2187. <https://doi.org/10.1007/s11165-018-9767-y>
- Bermudez G.M.A., & Nollí L.C. (2015) Los diseños curriculares y los libros de texto como niveles de transposición del contenido de la biodiversidad: ¿Cómo presentan y cómo tratan su conceptualización? En G. M. A. Bermudez, & A. L. De Longhi (Eds.), *Retos para la enseñanza de la biodiversidad hoy. Aportes para la formación docente* (pp. 259-292). Córdoba, Argentina: Universidad Nacional de Córdoba. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/283267323_Los_diseños_curriculares_y_los_libros_de_texto_cómo_niveles_de_transposicion_del_contenido_de_la_biodiversidad_cómo_presentan_y_cómo_tratan_su_conceptualizacion
- Bermudez, G.M.A., Pérez-Mesa, R., & Ottogalli, M.E. (2022). Biodiversity knowledge and conceptions in Latin American: Towards an integrative new perspective for education research and practice. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 10(1), 175-217. <https://doi.org/10.46328/ijemst.2105>
- Buitrago Martín, A. R., Mejía Cuenca, N. M., & Hernández Barbosa, R. (2013). La argumentación: De la retórica a la enseñanza de las ciencias. *Innovación Educativa*, 13(63), 17-39. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-26732013000300003&lng=es&tlng=es.

- Buty, C., & Plantin, C. (2008). Variété des modes de validation des arguments en classe de sciences. En C. Buty, & C. Plantin (Eds.), *Argumenter en classe de sciences. Du débat à l'apprentissage* (pp. 235-280). Lyon, France: Institut National de Recherche Pédagogique.
- Campos, C. M., Greco, S., Ciarlante, J. J., Balangione, M., Bender, J. B., Nates, J., & Lindemann-Matthies, P. (2012). Students' familiarity and initial contact with species in the Monte desert (Mendoza, Argentina). *Journal of Arid Environments*, 82, 98-105. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.02.013>
- Chapin III, F. S., Matson, P. A., & Mooney, H. D. (2002). *Principles of terrestrial ecosystem ecology*. New York, New York, United States of America: Springer.
- Convention on Biological Diversity (1992). *Text of the Convention*. Recuperado de <https://www.cbd.int/convention/text/>
- Crujeiras Pérez, B., & Jiménez Aleixandre, M.P. (2015). Desafíos planteados por las actividades abiertas de indagación en el laboratorio: articulación de conocimientos teóricos y prácticos en las prácticas científicas. *Enseñanza de las Ciencias*, 33(1), 63-84. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1469>
- Crujeiras-Pérez, B., Martín-Gámez, C., Díaz-Moreno, N., & Fernández-Oliveras, A. (2020). Trabajar la argumentación a través de un juego de rol: ¿Debemos instalar el cementerio nuclear? *Enseñanza de las Ciencias*, 38(3), 125-142. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2888>
- Custodio, E., Márquez, C., & Sanmartí, N. (2015). Aprender a justificar científicamente a partir del estudio del origen de los seres vivos. *Enseñanza de las Ciencias*, 33(2), 133-155. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1316>
- De La Cruz, L., & Pérez, N. (2020). El saber escolar en biodiversidad en clave para resignificar su enseñanza. *Praxis & Saber*, 11(27), 1-17. <https://doi.org/10.19053/22160159.v12.n28.2021.11167>
- Dias, R. I., & dos Reis, B. E. (2018). Conhecer para conservar: Reconhecimento da fauna nativa do Cerrado por alunos do Distrito Federal. *Revista Brasileira de Educação Ambiental*, 13(4), 260-280. <https://doi.org/10.34024/revbea.2018.v13.2540>
- Díaz Moreno, N., (2019). Caracterizando controversias sociocientíficas en la prensa escrita. Una herramienta para el desarrollo de la alfabetización científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16(1), 2-13. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i1.1102
- Díaz, S., Fargione, J., Chapin, F. S., & Tilman, D. (2006). Biodiversity loss threatens human well-being. *PLoS Biology*, 4(8), e277. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0040277>
- Díaz, S., Demissew, S., Carabias, J., Joly, C., Lonsdale, M., Ash, N., ... Zlatanova, D. (2015). The IPBES Conceptual Framework—connecting nature and people. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.11.002>
- Düsing, K., Asshoff, R., & Hammann, M. (2019). Students' conceptions of the carbon cycle: Identifying and interrelating components of the carbon cycle and tracing carbon atoms across the levels of biological organisation. *Journal of Biological Education*, 53(1), 110-125. <https://doi.org/10.1080/00219266.2018.1447002>
- Erduran, S., Simon, S., & Osborne, J. (2004). TAPping into argumentation: Developments in the application of Toulmin's argument pattern for studying science discourse. *Science Education*, 88, 915-933. <https://doi.org/10.1002/sce.20012>
- Evagorou, M., & Osborne, J. (2013). Exploring young students' collaborative argumentation within a socioscientific issue. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(2), 209-237. <https://doi.org/10.1002/tea.21076>
- Evagorou, M., & Puig Mauriz, B. (2017). Engaging elementary school pre-service teachers in modeling a socioscientific issue as a way to help them appreciate the social aspects of science. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 5(2), 113-123. Recuperado de <https://www.ijemst.org/index.php/ijemst/article/view/113/114>

- Evagorou, M., Jimenez-Aleixandre, M. P., & Osborne, J. (2012). 'Should we kill the grey squirrels?' A study exploring students' justifications and decision-making. *International Journal of Science Education*, 34(3), 401-428. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.619211>
- FAO, & PNUMA. (2020). *El estado de los bosques del mundo 2020. Los bosques, la biodiversidad y las personas*. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca8642es>
- Ferreira Fonseca, M. D. J. D. C. (2007). A biodiversidade e o desenvolvimento sustentável nas escolas do ensino médio de Belém (PA), Brasil. *Educação e Pesquisa*, 33(1), 63-79. <https://doi.org/10.1590/S1517-97022007000100005>
- Freitas, A. C., Nascimento, L. A., Castro, R. G., Motokane, M. T., & Reis, P. (2023). Biodiversity and citizenship in an argumentative socioscientific process. *Sustainability*, 15(4), 2987. <https://doi.org/10.3390/su15042987>
- García García, J. J., & Perales Palacios, F. J. (2007). ¿Comprenden los estudiantes las gráficas cartesianas usadas en los textos de ciencias?. *Enseñanza de las Ciencias*, 25(1), 107-132. Recuperado de <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/87865/216399>
- González Galli, L. (2019). Enseñanza de la Biología y pensamiento crítico: la importancia de la metacognición. *Revista de Educación En Biología*, 22(2), 4–24. Recuperado de <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaadbia/article/view/28528>
- González-Howard, M., & McNeill, K. L. (2019). Teachers' framing of argumentation goals: Working together to develop individual versus communal understanding. *Journal of Research in Science Teaching*, 56, 821-844. <https://doi.org/10.1002/tea.21530>
- González-Howard, M., & McNeill, K. L. (2020). Acting with epistemic agency: Characterizing student critique during argumentation discussions. *Science Education*, 104, 953-982. <https://doi.org/10.1002/sc.21592>
- Gravemeijer, K., & Cobb, P. (2006). Design research from a learning design perspective. En J. van den Akker, N., K. Gravemeijer, S. McKenney, & N. Nieven (Eds.), *Educational design research* (pp. 17-51). London, England: Routledge.
- Guisasola, G., Ametller, J., & Zuza, K. (2021). Investigación basada en el diseño de Secuencias de Enseñanza-Aprendizaje: una línea de investigación emergente en Enseñanza de las Ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(1), 1801-1801. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1801
- Hadzigeorgiou, Y., Prevezanou, B., Kabouropoulou, M., & Konsolas, M. (2011). Teaching about the importance of trees: A study with young children. *Environmental Education Research*, 17(4), 519–536. <https://doi.org/10.1080/13504622.2010.549938>
- Hargreaves, A. (2007). El cambio educativo: entre la inseguridad y la comunidad. *Propuesta Educativa*, 27, 63-69. Recuperado de http://propuestaeducativa.flacso.org.ar/wp-content/uploads/2019/12/Entrevista_PE27.pdf
- Henderson, J. B., McNeill, K. L., González-Howard, M., Close, K., & Evans, M. (2018). Key challenges and future directions for educational research on scientific argumentation. *Journal of Research in Science Teaching*, 55(1), 5–18. <https://doi.org/10.1002/tea.21412>
- Hillebrand, H., Bennett, D. M., & Cadotte, M. W. (2008). Consequences of dominance: A review of evenness effects on local and regional ecosystem processes. *Ecology*, 89, 1510-1520. <https://doi.org/10.1890/07-1053.1>
- Hooper, D. U., Chapin, F. S. III, Ewel, J. J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., ..., & Wardle, D. A. (2005). Effects of biodiversity on ecosystem functioning. *Ecological Monographs*, 75, 3-35. <https://doi.org/10.1890/04-0922>

- Izquierdo, M., & Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological foundations of school science. *Science & Education*, 12(1), 27-43. <https://doi.org/10.1023/A:1022698205904>
- Jaun-Holderegger, B., Lehnert, H. J., & Lindemann-Matthies, P. (2021). How children get to know and identify species. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 18(1), em2061. <https://doi.org/10.29333/ejmste/11443>
- Jaureguiberry, P., Titeux, N., Wiemers, M., Bowler, D. E., Coscieme, L., Golden, A. S., Guerra, C., Jacob, U., Takahashi, Y., Settele, J., Díaz, S., Molnár, Z., & Purvis, A. (2022). The direct drivers of recent global anthropogenic biodiversity loss. *Science Advances*, 8(45), eabm9982. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abm9982>
- Jiménez-Aleixandre, M. P., & Erduran, S. (2008). Argumentation in science education: An overview. En S. Erduran, & M. P. Jimenez-Aleixandre (Eds.), *Argumentation in science education: Perspectives from classroom-based research* (pp. 3–28). Dordrecht, The Neatherlands: Springer.
- Jobbágy, E. G., Acosta, A. M., & Nosetto, M. D. (2013). Rendimiento hídrico en cuencas primarias bajo pastizales y plantaciones de pino de las sierras de Córdoba (Argentina). *Ecología Austral*, 23(2), 87–96. <https://doi.org/10.25260/EA.13.23.2.0.1164>
- Karisan, D. & Zeidler, D. L. (2017). Contextualization of nature of science within the socioscientific issues framework: A review of research. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 5(2), 139-152. Recuperado de <https://ijemst.net/index.php/ijemst/article/view/115/116>
- Kilinc, A., Yeşiltaş, N. K., Kartal, T., Demiral, Ü., & Eroğlu, B. (2013). School students' conceptions about biodiversity loss: definitions, reasons, results and solutions. *Research in Science Education*, 43, 2277-2307. <https://doi.org/10.1007/s11165-013-9355-0>
- Kock, C. (2007). Is practical reasoning presumptive? *Informal Logic*, 27(1), 91-108. <https://doi.org/10.22329/il.v27i1.466>
- Kuhn, D. (2010). Teaching and learning science as argument. *Science Education*, 94(5), 810-824. <https://doi.org/10.1002/sce.20395>
- Kuhn, D., & Lerman, D. (2021). Yes but: Developing a critical stance toward evidence. *International Journal of Science Education*, 43(7), 1036-1053. <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.1897897>
- Latorre, A. (2007). *La investigación-acción. Conocer y cambiar la práctica educativa*. Barcelona, España: Graó.
- Leach, J., & Scott, P. (2002) Designing and evaluating science teaching sequences: an approach drawing upon the concept of learning demand and a social constructivist perspective on learning. *Studies in Science Education*, 38(1), 115-142. <https://doi.org/10.1080/03057260208560189>
- Lee, Y. C., Grace, M., Rietdijk, W., & Lui, Y. C. (2019). A cross-cultural, cross-age, and cross-gender study of Hong Kong and UK secondary students' decision making about a biological conservation issue. *International Journal of Science Education*, 41, 2696-2715. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1693662>
- Leitão, S. (2000). The potential of argument in knowledge building. *Human Development*, 43(6), 332-360.
- Lozano, E. E., Adúriz-Bravo, A., & Bahamonde, N. (2020). Un proceso de modelización de la membrana celular en la formación del profesorado en biología en la universidad. *Ciência & Educação (Bauru)*, 26, e20027. <https://doi.org/10.1590/1516-731320200027>
- Lückmann, K., & Menzel, S. (2014). Herbs versus trees: influences on teenagers' knowledge of plant species. *Journal of Biological Education*, 48(2), 80-90. <https://doi.org/10.1080/00219266.2013.837404>
- Marafioti, R. (2003). El modelo argumentativo de Stephen Toulmin. En R. Marafioti (Ed.), *Los patrones de la argumentación. La argumentación en los clásicos y en el siglo XX* (pp. 123-142). Buenos Aires, Argentina: Biblos.

- Martínez Bernat, F. X., García Ferrandis, I. & García Gómez, J. (2019). Competencias para mejorar la argumentación y la toma de decisiones sobre conservación de la biodiversidad. *Enseñanza de las Ciencias*, 37(1), 55-70. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2323>
- Mason, N. W., Mouillot, D., Lee, W. G., & Wilson, J. B. (2005). Functional richness, functional evenness and functional divergence: the primary components of functional diversity. *Oikos*, 111, 112-118. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2005.13886.x>
- Méheut, M., & Psillos, D. (2004). Teaching–learning sequences: Aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, 26(5), 515-535. <https://doi.org/10.1080/09500690310001614762>
- Mejía, L. S., Abril, J. G., & Martínez, Á. G. (2013). La argumentación en la enseñanza de las ciencias. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos (Colombia)*, 9(1), 11-28. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=134129372002>
- Meinardi, E. (2009). Desarrollo profesional docente a propósito de una educación científica de calidad en escuelas inclusivas. *Revista Iberoamericana de Educación*, 50(8), 1-9. <https://doi.org/10.35362/rie5081971>
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA) (2005). *Ecosystems and human well-being*. Washington, United States of America: Island Press
- Molina, M. E., & Carlino, P. (2013). Escribir y argumentar para aprender: las potencialidades epistémicas de las prácticas de argumentación escrita. *Texturas*, 13, 16-32. Recuperado de <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/28915>
- Molina, M. E., & Padilla, C. (2018). Escribir y argumentar académicamente en biología: ¿qué proponen hacer las consignas de los docentes?. *Lenguaje*, 46(2), 362–385. <https://doi.org/10.25100/lenguaje.v46i2.6587>
- Mortimer, E. F., & Araújo, A. O. (2014). Using productive disciplinary engagement and epistemic practices to evaluate a traditional Brazilian high school chemistry classroom. *International Journal of Educational Research*, 64, 156-169. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2013.07.004>
- Nielsen, J. A. (2013). Dialectical features of students' argumentation: A critical review of argumentation studies in science education. *Research in Science Education*, 43(1), 371-393. <https://doi.org/10.1007/s11165-011-9266-x>
- Nyberg, E., Brkovic, I., & Sanders, D. (2021). Beauty, memories and symbolic meaning: Swedish student teachers views of their favourite plant and animal. *Journal of Biological Education*, 55(1), 31-44. <https://doi.org/10.1080/00219266.2019.1643761>
- Patrick, P., Byrne, J., Tunnicliffe, S. D., Asunta, T., Carvalho, G. S., Havu-Nuutinen, S., ... & Tracana, R. B. (2013). Students (ages 6, 10 and 15 years) in six countries knowledge of animals. *Nordina*, 9(1), 18-32. <https://doi.org/10.5617/nordina.624>
- Pedreira, A. J. L. A., & de Souza, R. D. (2023). A escolha de livros didáticos de ciências da natureza no ensino médio em contexto de implementação da Base Nacional Comum Curricular: Os processos e os espaços de decisão dos docentes. *Investigações em Ensino de Ciências*, 28(2), 439-461. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2023v28n2p439>
- Pedreira, O., Ortega-Lasuen, U., Ruiz-González, A., Díez, J. R., & Barrutia, O. (2023). Branches of plant blindness and their relationship with biodiversity conceptualisation among secondary students. *Journal of Biological Education*, 57(3), 566-591. <https://doi.org/10.1080/00219266.2021.1933133>
- Pérez, G., Gómez-Galindo, A. & González-Galli, L. (2018). Enseñanza de la evolución: fundamentos para el diseño de una propuesta didáctica basada en la modelización y la metacognición sobre los obstáculos epistemológicos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(2), 2102. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i2.2102

- Ratinen, I., Viiri, J., & Lehesvuori, S. (2013). Primary school student teachers' understanding of climate change: comparing the results given by concept maps and communication analysis. *Research in Science Education*, 43, 1801-1823. <https://doi.org/10.1007/s11165-012-9329-7>
- Ratz, S. V. S., & Motokane, M. T. (2016). A construção dos dados de argumentos em uma Sequência Didática Investigativa em Ecologia. *Ciencia & Educação (Bauru)*, 22(4), 951-973. <https://doi.org/10.1590/1516-731320160040008>
- Resnick, L. B., Asterhan, C. S., & Clarke, S. N. (2018). Accountable talk: Instructional dialogue that builds the mind. *Geneva, Switzerland: The International Academy of Education (IAE) and the International Bureau of Education (IBE) of the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO)*.
- Revel Chion, A., Díaz Guevara, C.A., & Adúriz-Bravo, A. (2021). Argumentación científica escolar y su contribución al aprendizaje del tema "salud y enfermedad". *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(3), 3101. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i3.3101
- Rinaudo, M. C., & Donolo, D. (2010). Estudios de diseño. Una perspectiva prometedora en la investigación educativa. *Revista de Educación a Distancia (RED)*, 22, 1-29. <https://revistas.um.es/red/article/view/111631>
- Robles-Piñeros, J., & Abella, S. (2021). Sobre la pertinencia de una didáctica de la ecología: Una perspectiva para América Latina. En E. F. Amórtegui Cedeño, & J. A. Mosquera (Comps.), *Didáctica de las Ciencias Naturales: Perspectivas latinoamericanas. Aportes a la formación del profesorado y la educación científica* (pp. 31-43). Neiva, Colombia: Editorial Universidad Surcolombiana.
- Sá, L. P., Kasseboehmer, A. C., & Queiroz, S. L. (2014). Esquema de argumento de Toulmin como instrumento de ensino: Explorando possibilidades. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)*, 16(3), 147–170. <https://doi.org/10.1590/1983-21172014160307>
- Salizzi, E. (2020). Agronegocio, deforestación y disputas en torno al Ordenamiento Territorial de Bosques Nativos de la provincia de Córdoba (Argentina). *Territorios*, (43), 172-199. <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/territorios/a.7982>
- Sanmartí, N. (2000). El diseño de unidades didácticas. En F. J. Perales Palacios (Ed.), *Didáctica de las ciencias experimentales* (pp. 239-276). Madrid, España: Marfil.
- Sanmartí, N. (2008). Escribir para aprender ciencias. *Aula de Innovación Educativa*, 175, 29-32. Recuperado de <https://core.ac.uk/outputs/132265812>
- Schaaf, A. A., Alcalde, S., Rivera, L. & Politi, N. (2018). Conocimiento de estudiantes primarios sobre el bosque y la biodiversidad de las Yungas Australes en la ciudad de San Salvador de Jujuy, Argentina. *Ecología Austral*, 28(3), 565-571. <https://doi.org/10.25260/EA.18.28.3.0.742>
- Scott, E. E., Wenderoth, M. P., & Doherty, J. H. (2020). Design-based research: A methodology to extend and enrich biology education research. *CBE—Life Sciences Education*, 19(2), es11. <https://doi.org/10.1187/cbe.19-11-0245>
- Selles, S. L. E., & de Oliveira, A. C. P. (2022). Ameaças à disciplina escolar biologia no “novo” ensino médio (NEM): Atravessamentos entre BNCC e BNC-Formação. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, e40802, 1–34. <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2022u13531386>
- Southon, G. E., Jorgensen, A., Dunnett, N., Hoyle, H., & Evans, K. L. (2018). Perceived species-richness in urban green spaces: Cues, accuracy and well-being impacts. *Landscape and Urban Planning*, 172, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.12.002>
- Soysal, Y. (2019). Indicators of productive classroom talk and supporting discourse moves: A systematic review for effective science teaching. *Academy Journal of Educational Sciences*, 3(2), 114-137. <https://doi.org/10.31805/acjes.642246>

- Tecco, P. A., Diaz, S., Gurvich, D. E., Perez-Harguindeguy, N., Cabido, M., & Bertone, G. A. (2007). Facilitation and interference underlying the association between the woody invaders *Pyracantha angustifolia* and *Ligustrum lucidum*. *Applied Vegetation Science*, 10(2), 211-218. <https://doi.org/10.1111/j.1654-109X.2007.tb00519.x>
- Toulmin, S. (1958). The Layout of arguments. En S. Toulmin (Ed.) *The uses of argument (updated edition)* (pp. 87-134). Cambridge: Cambridge University Press.
- Torres-Merchán, N. Y., Salcedo-Plazas, L. A., Becerra-Niño, A., & Valderrama, W. (2018). Fuentes de conocimiento en la identificación y preferencias de fauna en niñez de contextos rurales y urbanos. *Revista Electrónica Educare*, 22(3), 68-84. <https://doi.org/10.15359/ree.22-3.4>
- Valbuena Ussa, E. O., Castro Moreno, J. A., & Roa Acosta, R. (2022). *Educación en biodiversidad. Perspectivas y retos*. Serie Cátedra Doctoral N° 10. Bogotá, Colombia: Universidad Pedagógica Nacional. Recuperado de <http://repository.pedagogica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12209/17198/Versi%C3%B3n%20Preliminar%20Catedra%2010%20Educaci%C3%B3n%20en%20biodiversidad-Rp.pdf>
- Velasco, N., & Buteler, L. (2023). Implicación productiva en la disciplina sobre circuitos eléctricos utilizando Investigación Basada en el Diseño. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 20(2), 280201. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2023.v20.i2.2802
- Vilches, A. M., Legarralde, T. I., Ramírez, S., & Darrigran, G. A. (2016). Conocimiento y valoración de la biodiversidad en estudiantes del último año de profesorado de biología y geografía de Argentina. *Revista de Educación en Biología*, 18(2), 46-58. Recuperado de <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaadbia/article/download/22470/22088>
- Vilches, A., Acosta, R., Barra, R., & Fernández, J. (2018). Evaluación del conocimiento sobre biodiversidad, especies exóticas y nativas en estudiantes de escuelas secundarias de la provincia de Buenos Aires. *Revista de Educación en Biología*, 1(n° extra), 362-367. Recuperado de <http://congresos.adbia.org.ar/index.php/congresos/article/view/378>
- Vilela, M. L., & Selles, S. E. (2020). É possível uma educação em ciências crítica em tempos de negacionismo científico?. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 37(3), 1722–1747. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2020v37n3p1722>
- Villarroel, J. D., Antón, A., Zuazagoitia, D., & Nuño, T. (2018). Young children's understanding of plant life: a study exploring rural–urban differences in their drawings. *Journal of Biological Education*, 52(3), 331-341. <https://doi.org/10.1080/00219266.2017.1385505>
- Yli-Panula, E., Jeronen, E., Lemmetty, P., & Pauna, A. (2018). Teaching methods in biology promoting biodiversity education. *Sustainability*, 10(10), 3812. <https://doi.org/10.3390/su10103812>
- Zanini, A. M., Vendruscolo, G. S., Milesi, S. V., Zanin, E. M., & Zakrzewski, S. B. B. (2020). Percepções de estudantes do sul do Brasil sobre a biodiversidade da mata atlântica. *Interciencia*, 45(1), 15-22. Recuperado de https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2020/02/15_6565_Com_Zakrzewski_v45n1.pdf
- Zedler, J. B., & Lindig-Cisneros, R. (2013). Restoration of biodiversity, overview. En S. A. Levin (Ed.), *Encyclopedia of biodiversity* (pp. 453-460). Amsterdam, The Netherlands: Academic Press.
- Zeidler, D. L., Herman, B. C., & Sadler, T. D. (2019). New directions in socioscientific issues research. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 1(1), 1-9. <https://doi.org/10.1186/s43031-019-0008-7>

Recebido em: 06.12.2023

Aceito em: 10.08.2024