



Fotografía
Viviana Consuelo Vargas Valbuena

APRENDER SOBRE BIODIVERSIDAD A TRAVÉS DE PRÁCTICAS CIENTÍFICAS Y PROGRAMACIÓN

Learning About Biodiversity through Scientific Practices and Computer Programming

Aprender sobre biodiversidade através de práticas científicas e programação

Gimena Betina Fussero* 
 Paola Murua** 
 Maricel Ocelli*** 

Fecha de recepción: 6 de junio del 2024
 Fecha de aprobación: 10 de diciembre del 2024

Cómo citar:

Betina Fussero, G., Murua, P. y Ocelli, M. (2025). Aprender sobre biodiversidad a través de prácticas científicas y programación. *Bio-grafía*, 18(34), 91-112. <https://doi.org/10.17227/bio-grafia.vol.18.num34-21673>

Resumen

La escuela constituye un ámbito propicio para abordar cuestiones sociocientíficas desde perspectivas integradoras que permitan comprender la complejidad de estas cuestiones y contribuir así a su alfabetización científica. Un concepto que permite este tipo de planteos es el de *biodiversidad*, por tratarse de un constructo en el cual se entrecruzan diversas dimensiones. La biodiversidad se ve afectada por especies exóticas, más aún cuando se vuelven invasoras y ocasionan alteraciones en los ecosistemas. Una manera de abordar esta temática es a través de actividades que incluyan prácticas científicas, como la argumentación y la modelización. En relación con esta última, la programación cobra relevancia porque posiciona al estudiantado frente a problemáticas cuya resolución requiere de la elaboración de representaciones, lo cual promueve el desarrollo de habilidades como el pensamiento crítico y el trabajo colaborativo. Considerando lo anterior, en este trabajo se presenta una investigación basada en diseño que se realizó en una escuela ProA (Programa Avanzado de Educación Secundaria en TIC) de la ciudad de Córdoba (Argentina) en los espacios de Biología y el Club de Ciencias, con el objetivo de integrar las prácticas científicas y la programación en la escuela secundaria y caracterizar los aprendizajes del estudiantado que surgen en este escenario. Los principales resultados indican que la secuencia diseñada contribuyó a la alfabetización científica y computacional del

-
- 1 Magíster en Educación en Ciencias Experimentales y Tecnología. Integrante del grupo Educeva-Cienciatic, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Becaria Conicet. gimenafussero@unc.edu.ar
 - 2 Profesora de Educación Secundaria en Biología, Escuela ProA. Sede Pucará Centro. Córdoba, Argentina. pmurua@escuelasproa.edu.ar
 - 3 Doctora en Ciencias de la Educación. Integrante del grupo Educeva-Cienciatic. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Investigadora Conicet. Orcid. maricel.ocelli@unc.edu.ar

estudiantado ya que les permitió aproximarse al concepto de biodiversidad, identificar cómo puede verse afectada por las especies exóticas, modelizar una invasión biológica en Scratch y argumentar acerca de esta problemática.

Palabras clave: modelización; argumentación; escuela secundaria; informática

Abstract

Schools provide a suitable environment for addressing socio-scientific issues from integrative perspectives that help students understand the complexity of these topics, contributing to their scientific literacy. One concept that allows for such an approach is *biodiversity*, as it encompasses multiple dimensions. Biodiversity is impacted by exotic species, especially when they become invasive and disrupt ecosystems. One way to explore this topic is through activities incorporating scientific practices, such as argumentation and modelling. Regarding the latter, computer programming plays a crucial role, as it engages students in problem-solving scenarios that require the development of representations, fostering skills such as critical thinking and collaborative work. This study presents a design-based research project conducted at a *ProASchool* (*Programa Avanzado de Educación Secundaria en TIC*) in the city of Córdoba, Argentina, within the subjects of Biology and the Science Club. The aim was to integrate scientific practices and programming into high school education and to characterise the learning processes that emerged in this context. The main findings indicate that the designed sequence contributed to students' scientific and computational literacy by enabling them to explore the concept of biodiversity, to identify how it is affected by exotic species, to model a biological invasion using Scratch, and to construct arguments about this issue.

Keywords: modelling; argumentation; high school; computer science

Resumo

A escola é um ambiente propício para abordar questões sociocientíficas a partir de perspectivas integradoras que possibilitem a compreensão da complexidade desses temas, contribuindo assim para a alfabetização científica dos estudantes. Um conceito que permite esse tipo de abordagem é a biodiversidade, pois envolve diversas dimensões. A biodiversidade é impactada por espécies exóticas, especialmente quando se tornam invasoras e causam alterações nos ecossistemas. Uma forma de explorar essa temática é por meio de atividades que incluam práticas científicas, como a argumentação e a modelagem. Em relação a esta última, a programação assume um papel relevante, pois coloca os estudantes diante de problemas cuja resolução exige a criação de representações, promovendo o desenvolvimento de habilidades como pensamento crítico e trabalho colaborativo. Diante disso, este estudo apresenta uma pesquisa baseada em design realizada em uma escola *ProA* (*Programa Avanzado de Educación Secundaria en TIC*) da cidade de Córdoba, Argentina, nos espaços de Biología e no Clube de Ciências. O objetivo foi integrar as práticas científicas e a programação no ensino médio e caracterizar as aprendizagens dos estudantes que emergem nesse contexto. Os principais resultados indicam que a sequência didática desenvolvida contribuiu para a alfabetização científica e computacional dos estudantes, permitindo-lhes explorar o conceito de biodiversidade, identificar como ele pode ser impactado por espécies exóticas, modelar uma invasão biológica no Scratch e argumentar sobre essa problemática.

Palavras-chave: modelagem; argumentação; escola secundária; ciência da computação



Introducción

La inclusión de las prácticas científicas en los ámbitos educativos brinda oportunidades para que las y los estudiantes desarrollen razonamientos y habilidades propias de las ciencias acercándose a cómo se genera y cómo se valida el conocimiento científico (Crujeiras Pérez y Jiménez Aleixandre, 2015; Duschl y Jiménez Aleixandre, 2012; Jiménez Aleixandre y Crujeiras Pérez, 2017; Osborne, 2014). Se entienden como prácticas científicas aquellas utilizadas por la comunidad científica para construir y evaluar el conocimiento científico; en ellas confluyen aspectos epistémicos, cognitivos y socioculturales (Erduran y Dagher, 2014). En este contexto se considera que la actividad científica comprende tres procesos: investigación, evaluación y elaboración de explicaciones (Crujeiras Pérez y Cambeiro, 2018), los cuales se asocian a tres prácticas científicas: indagación, argumentación y modelización (Jiménez Aleixandre y Crujeiras Pérez, 2017). Del mismo modo que ocurre en los ámbitos científicos, cuando las prácticas científicas se trasladan a contextos educativos, las destrezas que se asocian a cada una se solapan entre sí, por lo que en este trabajo nos centraremos en el desarrollo de las prácticas científicas de la argumentación y la modelización.

Esta investigación se plantea desde la perspectiva del aprendizaje situado, en la cual el aprendizaje tiene lugar dentro del contexto de comunidades de práctica (Wenger, 2001). Así, a través de las prácticas científicas se pretende que el estudiantado no solo desarrolle determinadas destrezas procedimentales, sino también de razonamiento, para propiciar una participación reflexiva en la construcción y la evaluación del conocimiento (Berland *et al.*, 2016). Al respecto, varias investigaciones (Duschl y Jiménez Aleixandre, 2012; Jiménez Aleixandre y Crujeiras Pérez, 2017; Osborne, 2014) indican la importancia de involucrar al estudiantado en actividades cognitivas, discursivas y sociales que les permitan desarrollar razonamientos, habilidades y argumentaciones propias de la ciencia. En este sentido, existe un amplio acuerdo sobre la necesidad de considerar cómo se produce y cómo se valida el conocimiento científico en el diseño de secuencias didácticas (Crujeiras Pérez y Jiménez Aleixandre, 2012, 2015; Duschl y Jiménez Aleixandre, 2012; Jiménez Aleixandre y Crujeiras Pérez, 2017; Osborne, 2014).

Si bien las actividades que producen la construcción de la ciencia escolar son diferentes a las que realiza la comunidad científica para construir conocimiento, enseñar prácticas científicas ofrece nuevas realidades en los espacios educativos y promueve comunidades que producen conocimiento científico escolar (Lehrer y

Schauble, 2006). En consecuencia, se advierte la importancia de promover situaciones escolares que incluyan las prácticas asociadas a la indagación, la argumentación y la modelización del mismo modo que se encuentran presentes en las actividades de la comunidad científica, como sostiene Osborne (2014). Este mismo autor (Osborne, 2023) plantea una visión humanista del mundo en la cual se considera que la ciencia es un producto cultural. Esta perspectiva de la alfabetización científica requiere que las y los estudiantes se comprometan con controversias sociocientíficas, tomen conciencia y desarrollen el pensamiento crítico para participar activamente en la toma de decisiones que afectan a la humanidad (Jiménez-Aleixandre y Puig, 2022). En este contexto, la educación científica no busca crear nuevos conocimientos, sino más bien ayudar al estudiantado a comprender un cuerpo de conocimiento existente, consensuado y acordado (Osborne, 2014). Esta perspectiva significa ir más allá del aprendizaje de teorías y conceptos hacia una participación de las prácticas a través de las cuales se construye el conocimiento biológico (Jiménez Aleixandre y Evagorou, 2018).

En el caso particular de la biodiversidad, la revisión y caracterización de artículos científicos relacionados con las concepciones sobre dicho constructo permite ubicarlo como uno de los temas trascendentales en los debates contemporáneos, tanto en el ámbito de la didáctica de la ciencia como en las propias disciplinas científicas (Bermudez *et al.*, 2022; Pérez-Mesa, 2013). En consonancia con lo anterior, la biodiversidad actualmente es uno de los principales temas de interés social por las diferentes problemáticas que surgen como consecuencia de la degradación de las relaciones entre la naturaleza y la especie humana (Ottogalli y Bermudez, 2023). Esta situación dio lugar a que el concepto de *biodiversidad* no se circunscriba solo al ámbito científico, sino que pase a integrarse en ámbitos sociopolíticos y culturales (Díaz *et al.*, 2015). Se observa un elevado número de publicaciones en la última década del siglo *xx* y comienzos del *xxi* que dan cuenta de la importancia que se otorga al tema en ámbitos económicos, tecnocientíficos, políticos, culturales y educativos cuando se empieza a asentar la idea de una pérdida de la biodiversidad a nivel global (Pérez-Mesa, 2013). Este enfoque multidimensional de la biodiversidad permite entenderla como un constructo complejo, elaborado a partir de los aportes de diferentes campos de conocimiento (Castro Moreno *et al.*, 2021). Además de las dimensiones antes mencionadas, los abordajes y enfoques sobre educación ambiental y biodiversidad comienzan a considerar los aspectos emocionales implicados en los aprendizajes de diferentes problemáticas socioambientales (Palombo *et al.*, 2021).

La biodiversidad como constructo social emergió a mediados de la década de los ochenta en el escenario político de Estados Unidos asociado a los trabajos de Lovejoy, Norse y McManus, quienes utilizan el término *biodiversidad biológica* sin plantear una definición clara de este (Pérez-Mesa, 2013). Luego de varias instancias de intercambio y reflexión, se sientan las bases para el Convenio sobre la Diversidad Biológica (Río de Janeiro, 1992) en la cual se logró un reconocimiento oficial sobre la importancia de la biodiversidad en el planeta. En este trabajo nos referiremos a la biodiversidad según la definición enunciada en el 2015 por la Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos (IPBES, por sus siglas en inglés), dado que en ella se abordan las distintas dimensiones de la biodiversidad, lo que facilita comprender la complejidad con concepto:

[La biodiversidad es] La variabilidad de los organismos vivos a todos los niveles, incluyendo, entre otros, ecosistemas terrestres, marinos y otros sistemas acuáticos, y los complejos ecológicos de los que forman parte. Esto incluye variación en las características genéticas, fenotípicas, filogenéticas y funcionales, así como también cambios en abundancia y distribución en el tiempo y el espacio dentro y entre especies, comunidades biológicas y ecosistemas.

De la definición anterior se desprende que la biodiversidad incluye tres componentes: diversidad genética, diversidad de especies y diversidad de ecosistemas, concepto conocido como la *trilogía de la biodiversidad* (Kaennel, 1998).

Dentro de la biología, la biodiversidad es un concepto estructurante que pasó por procesos de construcción y revisión a lo largo de los años, lo que tuvo impacto en su enseñanza y aprendizaje (Bermudez *et al.*, 2015). La definición de *biodiversidad* más utilizada en los medios de comunicación es la acordada en el Convenio sobre la Diversidad Biológica firmado en 1992 (Río de Janeiro, Brasil), en la que se describe como constituida por todos los organismos terrestres y acuáticos en todas las escalas, es decir, desde la diversidad genética dentro de las poblaciones hasta la diversidad de especies y la diversidad de comunidades a través de los paisajes. Sin embargo, en el ámbito científico, el concepto se ha ampliado para incluir la riqueza de especies, la composición, la abundancia relativa, las interacciones y la distribución espacial de genotipos, especies, comunidades, grupos funcionales y unidades de paisaje (Díaz *et al.*, 2006).

Además, se trata de un constructo que permite vincular la ciencia con cuestiones económicas, culturales, esté-

ticas y éticas (Grace, 2009). Sin embargo, su aprendizaje plantea dificultades debido a su carácter multidimensional relacionado con las interacciones sociales, económicas y ambientales (Eriksson *et al.*, 2023). En este sentido, se destaca que algunas investigaciones mostraron cómo estudiantes de la escuela secundaria suelen considerar a la biodiversidad equivalente a la riqueza de especies (número de especies) subestimando otros componentes (Bermudez y De Longhi, 2015; Kilinc *et al.*, 2013; Lindemann-Matthies, 2006; Menzel y Bögeholz, 2009).

En el caso particular de la provincia de Córdoba (Argentina), la biodiversidad está disminuyendo fuertemente como consecuencia de la deforestación, la fragmentación de hábitat asociada a grandes cultivos, la propagación de especies leñosas exóticas que influyen en los procesos y estructuras de los ecosistemas y diferentes animales que fueron introducidos en la provincia y tuvieron un fuerte impacto en los ecosistemas que, finalmente, invadieron (Cáceres, 2016; Giorgis y Tecco, 2014; Vázquez y Simberloff, 2003). Al respecto, la invasión por especies exóticas, tanto vegetales como animales, es uno de los principales problemas que afecta al bosque nativo cordobés (Giorgis *et al.*, 2011). Por *especie exótica* se entiende aquellas cuya presencia en un sitio obedece a la introducción, intencional o accidental, como consecuencia de la actividad humana y, a la larga, pueden volverse invasoras si logran establecerse, aumentar su abundancia y mantener constante su población durante varios ciclos de vida sin intervención humana directa (Richardson *et al.*, 2000). Al ocurrir estas invasiones biológicas, las especies nativas —aquellas que son propias de un lugar y, por lo tanto, tienen una historia ecológica y evolutiva común con el ambiente y los demás organismos de la región (Baranzelli *et al.*, 2014)— comienzan a ser desplazadas de sus ecosistemas, lo que provoca una alteración de estos (Vilches *et al.*, 2016, 2022). En resumen, las especies exóticas invasoras causan pérdida de la biodiversidad al reducir la diversidad local, alterar las estructuras comunitarias y la composición de los ecosistemas nativos, competir con las especies autóctonas por los recursos y cambiar el curso evolutivo de las especies nativas a través de la exclusión competitiva, el desplazamiento de nichos, la depredación y la extinción (De Sa Dechoum *et al.*, 2018, Vilches *et al.*, 2022).

En el estudio de la dinámica de invasión de las especies exóticas se han desarrollado modelos computacionales que permiten realizar análisis, inferencias y proyecciones. Estos modelos constituyen una herramienta potente para proyectar áreas en las cuales una determinada especie podría expandirse a través de pronósticos iterativos, en lugar de predicciones estáticas, lo

que permitiría a los responsables de la conservación y gestión ambiental tomar decisiones más consistentes (Jones *et al.*, 2021).

Por otra parte, desde la perspectiva de las ciencias de la computación se desarrolló el concepto de *alfabetización computacional*. Este implica una serie de enfoques –conocidos también como *informática para todos*, *programación informática para todos* y *pensamiento computacional*—basados en las ideas de Papert, Kemeny y Kurtz sobre las potencialidades de la programación en el aprendizaje, no solo de la informática, sino en otros campos (Vee, 2013). Según los informáticos, la alfabetización computacional es una habilidad que debería enseñarse y sostenerse más ampliamente (Lee *et al.*, 2014). Partiendo de dicha premisa, se sostiene que la escritura y la programación han seguido trayectorias históricas y sociales que permitieron formas de comunicación y de conexiones similares a las tecnologías materiales. En este sentido, las investigaciones sobre la alfabetización computacional pueden ayudar a comprender mejor las dinámicas social, técnica y cultural que se crean mediante la programación, siendo esta similar a la alfabetización textual, que les permite a las personas representar e interpretar ideas. En este contexto, la programación se está alejando del dominio exclusivo de la informática y se está volviendo más relevante en otros campos, por ejemplo en la biología (Vee, 2013). De hecho, en la construcción del conocimiento científico la relación entre las computadoras y las simulaciones reorientó las prácticas de la comunidad científica al introducir nuevas formas de producción científica (Lenhard *et al.*, 2007). Este aspecto podría incluirse en las clases de ciencias ya que ambos campos (la biología y las ciencias de la computación) buscan contribuir a la formación de las personas garantizando el desarrollo de saberes digitales y científicos para que puedan desenvolverse plena y sustentablemente en el mundo. La programación hace varias décadas se ha incorporado en los ámbitos escolares, y en los últimos años su adhesión ha aumentado. Se percibe como una herramienta significativa de incluir en los diferentes niveles educativos ya que no se trata solo de una competencia cognitiva para diseñar códigos, sino también de una competencia social y cultural (Kalelioğlu y Gülbahar, 2014). Al respecto, hay variados estudios en los que se documenta la primera aproximación a la programación utilizando lenguajes visuales como Scratch y Alice (García Monsálvez, 2017). Aunque no toda la comunidad informática valora Scratch, reconocen que se pueden construir proyectos interesantes solo con algunos conceptos de la programación (Guzdial, 2018).

Scratch se desarrolló en el Lifelong Kindergarten del Media Laboratory del MIT. Se trata de un entorno de pro-

gramación que permite la construcción de proyectos en forma de historias interactivas, juegos y secuencias animadas que se comparten en una de las comunidades más grandes de programación (Puttick y Tucker-Raymond, 2018; Weintrop y Wilemsky, 2015). Uno de los principales objetivos de Scratch es que la programación se incluya en los diferentes escenarios educativos para el desarrollo de habilidades y para mejorar el aprendizaje en otras disciplinas (Resnick *et al.*, 2009). A fin de cumplir con los propósitos de Scratch, sus creadores establecieron tres principios básicos: que estimule la creatividad, y que sea más significativo y social que otros entornos de programación. Scratch está siendo introducido en el currículo de diversos países porque fomenta el pensamiento creativo y promueve diferentes aprendizajes en el estudiantado (Resnick y Rusk, 2020). Además, se puede utilizar como una herramienta de programación para construir patrones, visualizar conceptos y resolver problemas que de otra manera no se podrían materializar (Hacıoğlu y Dönmez Usta, 2020). Varias investigaciones muestran resultados favorables con relación a la inclusión de Scratch en diversos ámbitos educativos (Calder, 2018; Erol y Kurt, 2017; Fields *et al.*, 2017; Hermans y Aivaloglou, 2017; Kafai *et al.*, 2015; Meerbaum-Salant *et al.*, 2013; Moreno-León *et al.*, 2015) y a experiencias puntuales para la enseñanza de la biología (Alp y Bulunuz, 2023; Fussero *et al.*, 2021; Fussero y Ocelli, 2022; Puttick y Tucker-Raymond, 2018).

A partir de los referentes teóricos expuestos, se puede deducir que la inclusión de las prácticas científicas en la educación en ciencias naturales permite construir conocimientos que contribuyen a la alfabetización científica de la ciudadanía. A su vez, la programación con Scratch se presenta como una herramienta potencial para fomentar la alfabetización computacional. Entonces, surge el interés por estudiar la sinergia que se produce al integrar las prácticas científicas y la programación en la escuela secundaria para abordar temáticas complejas caracterizando los aprendizajes del estudiantado.

Metodología

Para este trabajo se utilizó la metodología conocida como *investigaciones basadas en diseño* (DBR, por sus siglas en inglés), que se orientan a producir conocimientos tendientes a mejorar las prácticas de enseñanza (Rinaudo y Donolo, 2010). En otras palabras, la meta es comprender la ecología de aprendizaje y desarrollar conocimientos que permitan analizar y transformar otros espacios educativos (Gravemeijer y Cobb, 2006).

Las investigaciones de este corte se caracterizan por responder a dos tipos de metas: una meta pedagógica,

vinculada a los procesos que se buscan promover con el estudiantado que participa del diseño, y una meta teórica, referida al conocimiento que se espera construir con base en el análisis de los datos obtenidos (Ponte *et al.*, 2016). En este estudio, la meta pedagógica fue promover, mediante la programación en Scratch, aprendizajes en torno a la conservación de las especies nativas y cómo estas son afectadas por las especies exóticas que provocan cambios ecosistémicos en la provincia de Córdoba. En cuanto a la meta teórica, se buscó aportar conocimiento acerca de la construcción de conceptos, argumentos y modelos referentes a la biodiversidad a partir de situaciones contextualizadas que integran los espacios de Biología y el Club de Ciencias.

Se organizó la DBR en fases que difieren en cantidad y nombre entre diferentes posicionamientos. En todos los casos, lo que se realiza es un diseño didáctico para un grupo particular de estudiantes con el fin de que aprendan algunos contenidos en particular (Scott *et al.*, 2020).

Las tres fases en las cuales se estructuró la investigación fueron preparación, implementación y análisis en torno a dos ciclos iterativos (Rodríguez, 2023). El primer ciclo (2022) permitió realizar un análisis retrospectivo considerando los principios epistémicos de este tipo de investigaciones y, a partir de ahí, rediseñar la secuencia didáctica que se implementó como segundo ciclo (2023) y que conforma los resultados que se comunican en este artículo (figura 1).

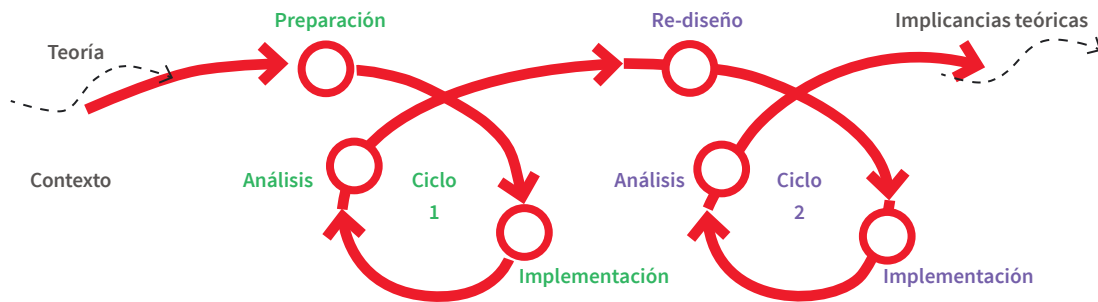


Figura 1. Esquema en el cual se grafican las diferentes fases de la investigación y sus correspondientes ciclos según las DBR. En este trabajo se presenta el análisis del segundo ciclo.

Fuente: Modificado de Antunes y Mendes (2018).

El trabajo de campo se realizó en la ciudad de Córdoba Capital (Argentina) en la escuela Programa Avanzado de Educación Secundaria en TIC (ProA) Sede Capital Pucará, la cual tiene como orientación el desarrollo de *software* y se constituyó en un contexto propicio para esta investigación, por incluir la programación en su diseño curricular. Si bien en Argentina, mediante la Resolución Ministerial 1410/2018 se incorporaron la programación y la robótica a la educación obligatoria, su implementación en las instituciones educativas del país es desigual en todos los niveles.

Para realizar este estudio se pidió a cada estudiante participante que su familia firmara un consentimiento informado. En cumplimiento de este acuerdo, la información aportada por el estudiantado se comparte de modo anónimo y en las fotografías no se exponen sus rostros. Por otra parte, las personas participantes de esta experiencia se distribuyeron de la siguiente manera: una docente de Biología y del Club de Ciencias que llevó adelante la propuesta junto a su grupo de estudiantes, una investigadora que registró la información

como observadora de las situaciones y una investigadora que participó en el análisis y la triangulación de los datos de modo colaborativo entre todos los miembros del equipo.

Durante mayo del 2023, junto a la docente de Biología se implementó una secuencia didáctica que se codiseñó siguiendo la Guía Planea (Unicef), por solicitud de la institución educativa. Las actividades se desarrollaron en primer año de la escuela secundaria con treinta estudiantes de entre once y trece años, en los espacios curriculares de Biología y Club de Ciencias (ambos a cargo de la misma docente). En estos se trabajaron conceptos relacionados con las especies nativas exóticas invasoras y su impacto en la biodiversidad de la provincia de Córdoba.

Durante la fase de preparación se elaboró el diseño instructivo por implementar, que incluyó la secuencia didáctica (objetivos, contenidos, actividades y evaluación), los recursos y el tiempo requeridos para su implementación. Se planificó de manera colaborativa

con la docente que tenía a cargo los espacios curriculares de Biología y Club de Ciencias. En primer lugar, se acordaron los contenidos por tratar, esto es, la biodiversidad, en particular el impacto de las especies exóticas invasoras en la provincia de Córdoba. En esta instancia también se diseñaron los diferentes instrumentos para la recolección de datos, que incluyeron actividades de seguimiento, cuestionarios a modo de pre- y postest y los proyectos de Scratch realizados por las y los estudiantes. En conjunto, estas herramientas de instrucción crearon un entorno de aprendizaje hipotético que permitió avanzar sobre las cuestiones teóricas y prácticas de la investigación (Barab, 2014).

La fase de implementación se desarrolló durante tres semanas en mayo del 2023. En esta, además de la puesta en marcha propiamente dicha y la recolección de los datos, se llevó a cabo una secuencia iterativa de microciclos de diseño y de análisis (Gravemeijer y Cobb, 2006).

La última fase implicó un análisis en profundidad que se realizó a través de ciclos recursivos (Weiss, 2017) entre los datos que surgieron y los referentes teóricos. El principal propósito de esta etapa es la reconstrucción de los componentes teóricos de la didáctica de las ciencias. Se escogieron diferentes categorías y herramientas de análisis dado que se recolectaron datos que implicaron métodos analíticos cualitativos y cuantitativos. Se realizó también una triangulación metodológica a partir de la información aportada por las diferentes estrategias de recolección utilizadas durante la fase de implementación, lo que permitió construir categorías que emergieron de la regularidad de los datos y de los referentes teóricos considerados.

Para analizar el desarrollo de las prácticas científicas se modificaron dimensiones propuestas por Jiménez Aleixandre y Crujeiras Pérez (2017), con los siguientes indicadores para cada una:

- Argumentación: implica actividades como registrar e interpretar datos y evidencias a través de experimentos u observaciones y construir argumentos a partir de datos y evidencias.
- Modelización: requiere representar e interpretar fenómenos, formular predicciones y construir y usar teorías y modelos.

Para analizar los conocimientos que las y los estudiantes construyeron en torno al concepto de biodiversidad se modificaron las categorías propuestas por Bermudez y Lindemann-Matthies (2018) y se construyeron las siguientes dimensiones:

- Variedad como cantidad/número de especies/seres vivos.
- Tipo de organismo: planta, animal, hongo o microorganismo.
- Equilibrio: distribución y redes tróficas.

A las categorías adaptadas de Bermudez y Lindemann-Matthies (2018) se le agregó la dimensión de análisis, en la cual se define la biodiversidad según la etimología de la palabra.

En relación con las especies exóticas invasoras, se consideró el modelo de las invasiones biológicas (Williamson, 1999), que consta de las siguientes fases (figura 2):

- Introducción. El proceso comienza cuando una especie es transportada (de manera intencional o accidental) desde su área de origen a un territorio nuevo.
- Establecimiento. Luego, la especie encuentra condiciones favorables para sobrevivir y reproducirse por sus propios medios en el nuevo territorio.
- Propagación/Expansión. Finalmente, la especie se reproduce mucho más rápido que las especies nativas de ese sitio, lo que provoca una alteración del ecosistema. De esta manera, la especie se convierte en una especie exótica invasora.

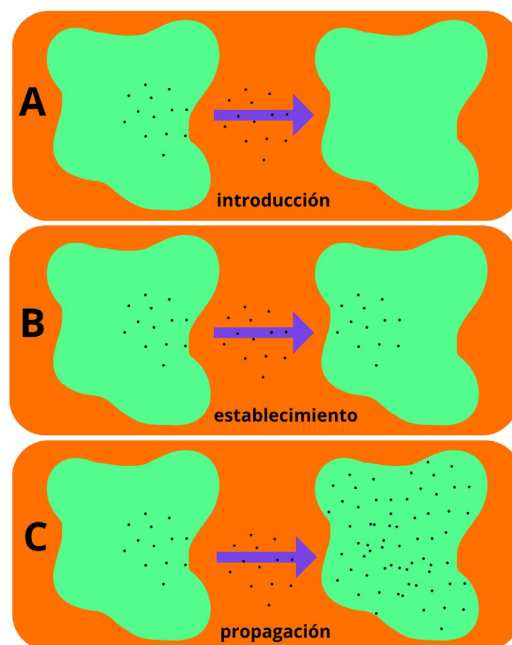


Figura 2. Esquema de las diferentes fases de una invasión biológica. A. Introducción. B. Establecimiento. C. Propagación o expansión.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, para analizar los saberes construidos por las y los estudiantes en relación con la programación se utilizó Dr. Scratch (Moreno León *et al.*, 2015), una aplicación de código libre que permite analizar proyectos de Scratch utilizando *plug-ins* de Hairball. El *software* también provee una retroalimentación a las y los *scratches*, lo que les permite analizar y modificar sus proyectos.

La información que aporta la evaluación en Dr. Scratch consiste en un puntaje que va de 0 a 21. Al momento de otorgar dicho puntaje, el *software* analiza el nivel de competencia alcanzado para diferentes habilidades: paralelismo, pensamiento lógico, control de flujo, interactividad con el usuario, representación de la información, abstracción y sincronización. Cada habilidad puede obtener un puntaje de entre 0 y 3 de acuerdo con el desarrollo alcanzado en cada proyecto. El puntaje 0 corresponde al nivel nulo, el puntaje 1 al nivel básico, el puntaje 2 al nivel en desarrollo y, finalmente, el puntaje 3 al nivel competente. Una vez otorgado el puntaje a cada habilidad se realiza una sumatoria para obtener un puntaje final e informar el nivel alcanzado para el proyecto analizado. Los proyectos se clasifican según el puntaje obtenido: nivel básico (entre 0 y 7), nivel medio (entre 8 y 14) y nivel alto (entre 15 y 21). Cabe mencionar que, si bien Dr. Scratch fue propuesto para analizar habilidades del pensamiento computacional, coincidimos con Bonello y Schapachnik, quienes afirman que “El pensamiento computacional no es ni más ni menos que otro nombre para la enseñanza escolar de las ciencias de la computación” (2020, p. 158). En su lugar, sostienen que “Preferimos utilizar ciencias de la computación, informática, computación u otros términos relacionados porque

hacen referencia a un área del conocimiento perfectamente delimitada y reconocida con prácticas definidas; de esa manera, queda claro de qué se está hablando” (Bonello y Schapachnik, 2020, p. 160).

Resultados y discusión

Secuencia didáctica

El diseño instructivo incluyó tres sesiones que se desarrollaron en los espacios curriculares de Biología y el Club de Ciencias. Los contenidos desarrollados fueron la biodiversidad en la provincia de Córdoba y las especies exóticas invasoras (invasiones biológicas). Recordando la meta pedagógica de esta investigación -promover aprendizajes en torno a la conservación de las especies nativas y cómo las mismas son afectadas por las especies exóticas provocando cambios ecosistémicos en la provincia de Córdoba al programar en Scratch- se diseñaron consignas en torno a las prácticas científicas de la argumentación y la modelización, en las cuales las y los estudiantes tenían que interpretar datos y evidencias, comparar explicaciones, construir argumentos a partir de datos y evidencias, representar fenómenos, formular predicciones y revisar modelos. Las actividades implicaron ver videos, analizar situaciones problemáticas, leer y analizar una historieta (adaptada de Baranzelli *et al.*, 2014) y programar proyectos en Scratch (figura 3). Como ejemplo de especies exóticas invasoras que tienen impacto en la provincia de Córdoba se incluyeron el pino (*Pinus sylvestris*), el crataegus (*Pyracantha angustifolia*), el siempreverde (*Myoporum laetum*), el jabalí (*Sus scrofa*) y la ardilla de vientre rojo (*Callosciurus erythraeus*).

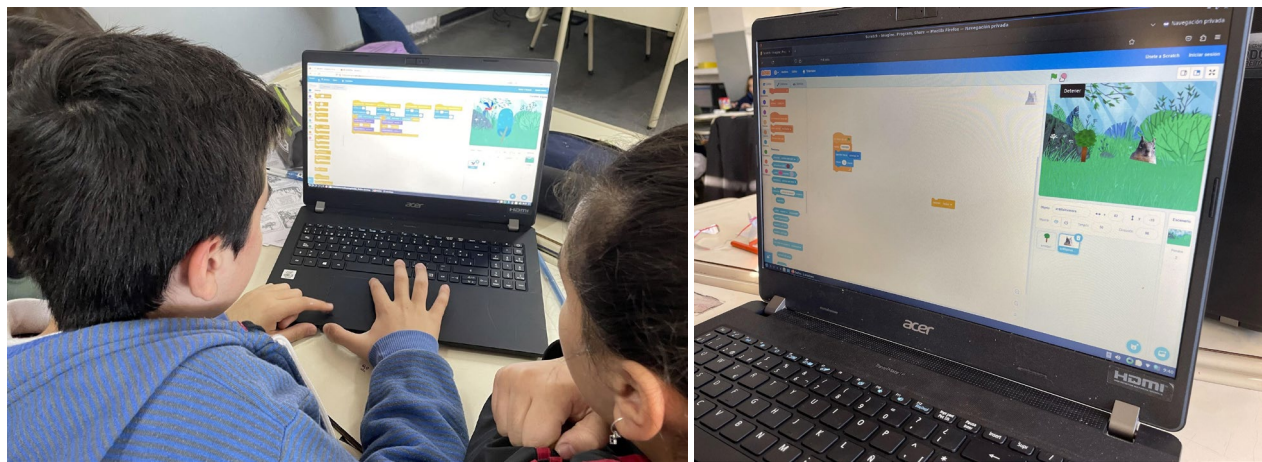


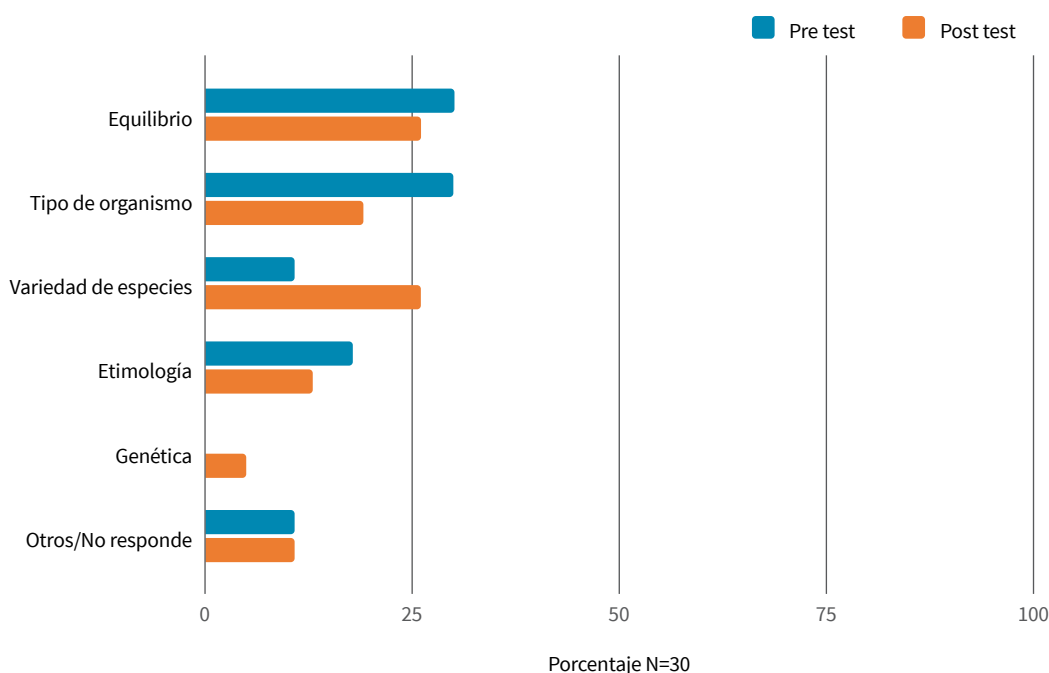
Figura 3. Estudiantes programando las invasiones biológicas en Scratch.

Fotografía: Archivo particular de Gimena Fussero.

Concepto de biodiversidad y el impacto de las invasiones biológicas

Con relación al concepto de biodiversidad (gráfica 1), encontramos en porcentajes similares en el pre- y postest (30 % y 26 % respectivamente) que las y los estudiantes en sus definiciones hacían referencia a la categoría Equilibrio: distribución y redes tróficas (“Un ambiente que tiene mucha vida terrestre, acuática y aérea”). La categoría Tipo de organismo se encontró representada en un 30 % en el pretest y en un 19 % en el postest (“Es la vida, la mayor parte animales y plantas”). La categoría Variedad/número de especies/seres vivos se encontró en el 11 % de las respuestas en el pretest y en el 26 % en el postest (“Cuando hay muchos tipos de forma de vida u organismos”). La dimensión de análisis en la cual se

define la biodiversidad según la etimología de la palabra estuvo presente en un 18 % de respuestas en el pretest y en un 13 % en el postest (“La biodiversidad *bio* es vida y *diversidad* diverso”). Además, en el postest, en un 5 % de las respuestas aparecieron cuestiones relacionadas a la genética (“El conjunto de genes, especies y ecosistemas”). Estos resultados coinciden con los reportados por Bermudez y Lindemann-Matthies (2018) y por Menzel y Bögeholz (2009), quienes señalan que el estudiantado suele centrarse fuertemente en la riqueza de las especies, o directamente considerar que la biodiversidad es sinónimo de variedad de especies. Sin embargo, se destaca que luego de participar de la secuencia una parte del estudiantado pudo acercarse al componente genético de la biodiversidad y su conceptualización desde la etimología de la palabra fue menor.



Gráfica 1. Conceptualización de la biodiversidad según el estudiantado.

Fuente: Elaboración propia.

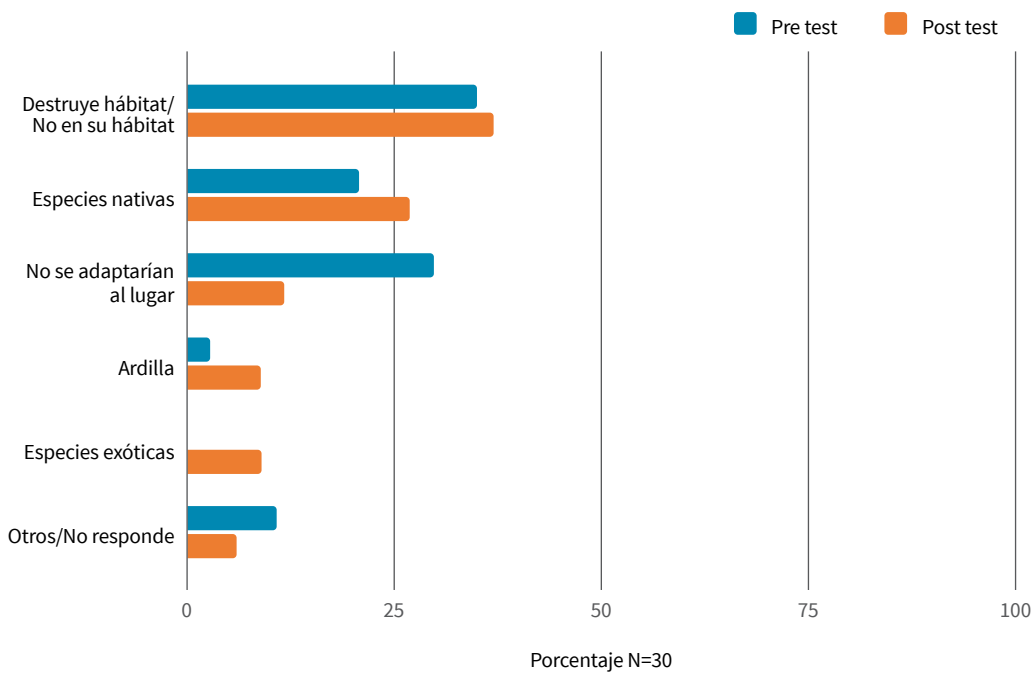
Argumentaciones nativas

Con el propósito de que las y los estudiantes construyan argumentos a partir de evidencias, se les preguntó: ¿Cómo argumentarías que no es aconsejable introducir especies de otros lugares del mundo a los ecosistemas de la provincia? Las y los estudiantes hicieron referencia a diferentes aspectos (gráfica 2). En porcentajes similares en el pre- y el postest (35 % y 37 % respectivamente) señalaron que no es recomendable ya que no

es su hábitat o que destruirían estos hábitats (“No es recomendable ya que pueden hacer daño al ambiente nativo”, “Porque si se traslada una especie a un ecosistema distinto al suyo terminará de encontrar la forma de adaptarse y a veces cuando se adapta suceden consecuencias malas”). Otras explicaciones giraron en torno a las especies nativas en un 21 % en el pretest y en un 27 % en el postest (“Es probable que las especies nativas mueran o sean afectadas por las invasoras”, “Porque pueden dañar o afectar a las especies nativas del ecosistema”).

En un 30 % en el pretest y en un 12 % en el postest hicieron referencia a que esas nuevas especies no se acostumbrarían al nuevo ecosistema (“Yo argumentaría que no se puede sacar animales de su hábitat a otro hábitat que no se acostumbrará”, “Y la verdad tendrían que ver que no es aconsejable liberar animales no acostumbrados a ese hábitat”). Un estudiante, en el pretest, construyó sus argumentos citando al caso de la ardilla de vientre rojo, mientras que en el postest este tipo de respuestas representó el 9 % (“No es aconsejable traer especies de otros ambientes. Ya que por ejemplo las ardillas de vientre rojo en La Cumbrecita hoy es un problema porque se alimenta de huevos de aves nativas, descortezas

tabaquillos (árbol nativo) para construir nidos provocando que los árboles mueran de pie”). A su vez, en el postest se identificó una categoría que no emergió en el pretest y son las argumentaciones construidas con relación a las especies exóticas que representan el 9 % (“Porque es una especie exótica que mataría la vida”, “Diría que no lo haga porque invadiría el lugar”). Estos resultados indicarían que las y los estudiantes pudieron construir argumentos con base en datos y evidencias, actividad característica de la argumentación en ciencias según señalan Jiménez Aleixandre y Crujeiras Pérez (2017), lo que acerca a las y los estudiantes no solo a un concepto en particular, sino a cómo la comunidad científica construye conocimientos.



Gráfica 2. Argumentos construidos por los estudiantes para explicar por qué no es aconsejable introducir especies de otros lugares del mundo a los ecosistemas de la provincia de Córdoba

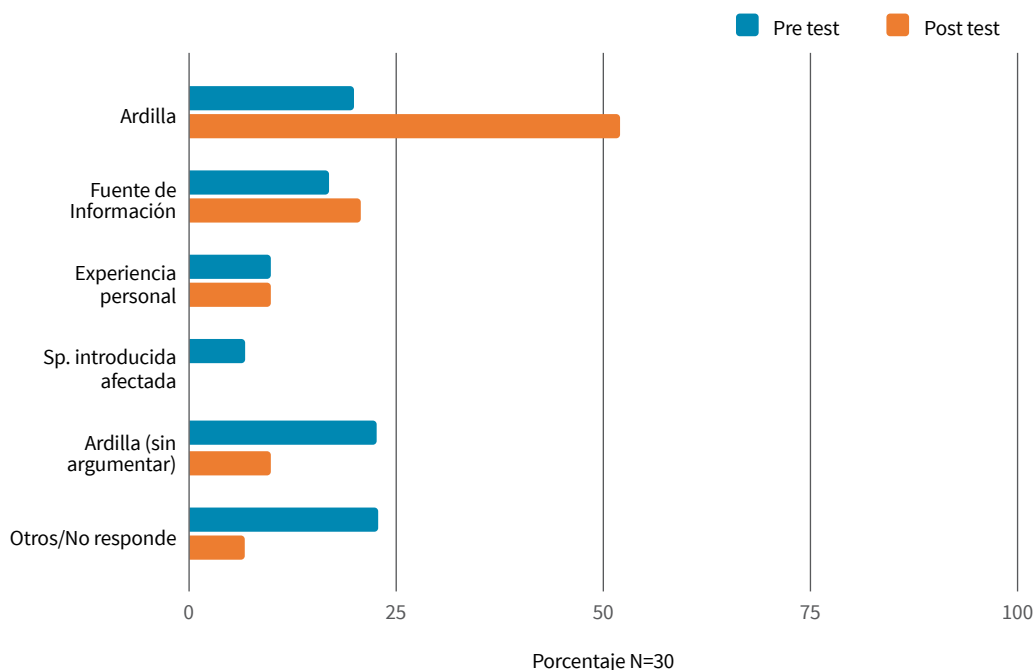
Fuente: Elaboración propia.

Luego se les consultó respecto a las evidencias que habían utilizado para responder a la pregunta anterior con el objetivo de conocer si pudieron reconocer dichas evidencias (gráfica 3). Un 17 % en el pretest y un 21 % en el postest hizo referencia a la fuente de información (“Me base en documentales, noticias, videos y periódicos”, “En las del texto”) en lugar de la evidencia. En igual porcentaje en el pre- y el postest (10 %) indicaron como evidencia alguna experiencia personal, o el caso de alguna especie exótica invasora que conocían (“Me basé en la historia del jabalí europeo”, “De una lagartija que tuve y lo cambié de su hábitat y se murió”). En un 20 % en el

pretest y un 52 % en el postest se citó como evidencia a la ardilla de vientre rojo y sus efectos al ser introducida en La Cumbrecita (“Me base en la historia de cuando liberaron a las ardillas de vientre rojo en La Cumbrecita porque le hizo daño al ambiente”, “Me base en el caso de la liberación de ardillas exóticas invasoras en Córdoba con fines turísticos”). En el pretest un 7 % hizo alusión a cómo la especie introducida se vería afectada (“La ardilla moriría de hambre y para sobrevivir comería a otros animales y se ahogarían al no poder pasar la comida”), mientras que nadie en el postest hizo referencia a este tipo de evidencia. Otros ejemplos de evidencia incluían

a la ardilla, pero sin indicar el porqué (“En la ardilla que venía de otro hábitat”) en un 23 % en el pretest y un 10 % en el postest. Estos resultados mostrarían que si bien en algunos casos se confunde la fuente de información con la evidencia, el grupo de estudiantes pudo interpretar los datos y de esa manera formular sus argumentos. En este sentido, Bravo *et al.* (2009) indican que el uso de pruebas no necesariamente se asocia a los trabajos empíricos, sino que estas forman parte de otras actividades de construcción del conocimiento científico, de manera

que tendría que incluirse en las aulas, como ocurre con las actividades aquí presentadas. Por ejemplo, la fuente de información aporta no solo la prueba, sino también el contexto necesario para su interpretación, cuestión relevante para construir argumentos en torno a una determinada situación que involucre un concepto científico, como la biodiversidad en este caso. Además, tanto la identificación de fuentes como el reconocimiento y uso de pruebas son necesarias para que las y los estudiantes argumenten a través de una participación discursiva.



Gráfica 3. Evidencias utilizadas por las y los estudiantes para construir sus argumentaciones

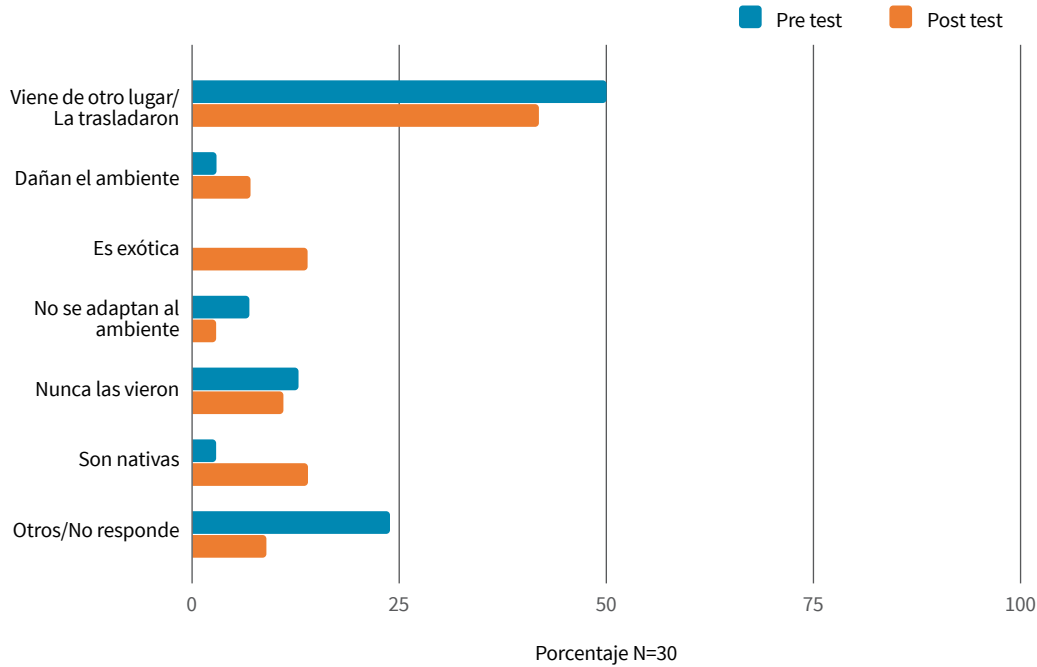
Fuente: Elaboración propia.

Con la intención de brindar otro espacio para que el estudiantado construya argumentos, se les preguntó: “La ardilla, ¿se trata de una especie nativa de la provincia de Córdoba? Explica tu respuesta” (gráfica 4). En un 50 % en el pretest y un 42 % en el postest las y los estudiantes indicaron que las ardillas no son nativas de Córdoba porque vienen de otro lugar o las trasladaron, (“No, se trata de una ardilla que proviene de otro país y lugar”, “No, las liberaron con fines turísticos”). Un 3 % en el pretest y un 7 % en el postest indicaron que no son especies nativas porque dañan el ambiente (“La ardilla no es una especie nativa de la provincia de Córdoba porque hace mal al ambiente”). En el postest, en un 14 % aparecieron respuestas relacionadas con el carácter exótico de la ardilla (“No, la ardilla es una especie exótica de Córdoba”). En otros casos, indican que no

es una especie nativa porque no se adapta al ambiente por su alimentación (7 % en el pretest y un estudiante en el postest) (“No, no es nativa de Córdoba ya que no tienen comida para sobrevivir porque comen bellotas y nada más”). Con un punto de vista distinto, en el pretest y el postest señalan en cantidades similares que no son nativas porque nunca vieron una ardilla (13 % y 11 % respectivamente) (“No, nunca he visto por Córdoba”). Estos resultados siguen la línea de lo mencionado por Patrick y Tunnicliffe (2011), quienes sostienen que para identificar si una especie es nativa o no, las y los estudiantes analizan si están en contacto directo con ella. De hecho, cualquier especie exótica que haya sido introducida en un ecosistema podría considerarse nativa si se la observa con frecuencia y se reproduce rápidamente en la naturaleza. Si es así, la voluntad de protegerlo podría

ser incluso mayor si es una especie carismática, es decir, con apariencia agradable, como el caso de la ardilla de vientre rojo (Bermudez *et al.*, 2015). Sin embargo, las actividades propuestas se diseñaron en torno al contexto

ambiental local del grupo de estudiantes, lo que les permitió construir argumentos respecto a las situaciones presentadas, como algunas investigaciones recomiendan (Barahona *et al.*, 2023).

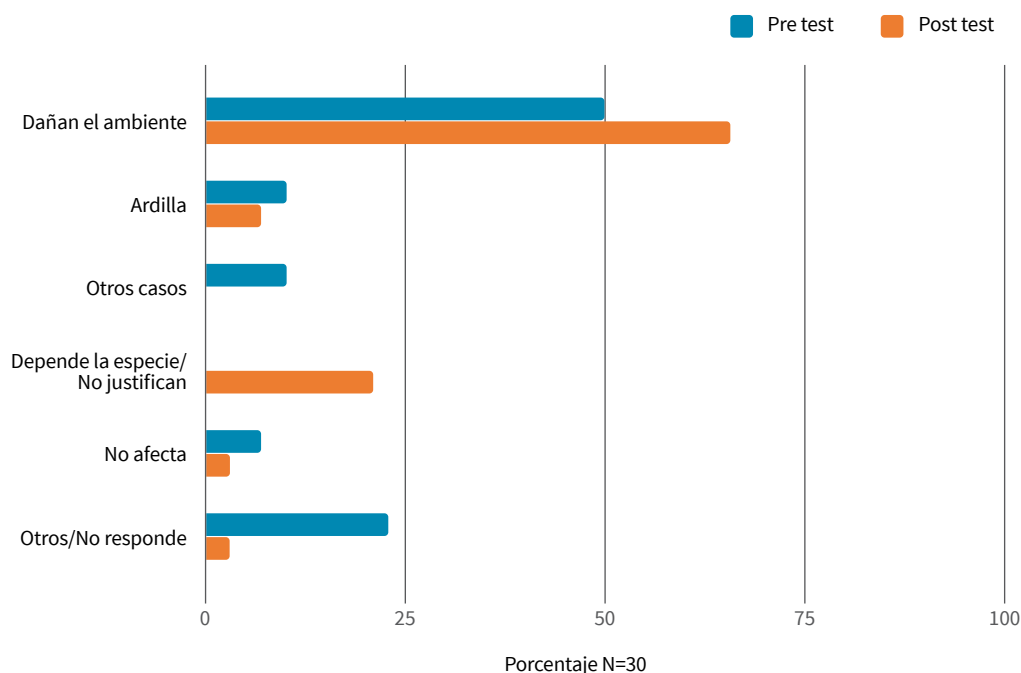


Gráfica 4. Explicaciones brindadas por el estudiantado al ser consultado respecto a si la ardilla es nativa de la provincia de Córdoba

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, con el propósito que los y las estudiantes pongan en juego las evidencias desarrolladas en las clases y argumenten, se les interrogó acerca de si consideran que la biodiversidad se ve afectada por la introducción de especies (gráfica 5). Con un 50 % en el pretest y un 66 % en el posttest se ubicaron las respuestas que hacían referencia a si la introducción de especies podría afectar la diversidad porque estas dañan el ambiente (“Sí, al haber nuevos individuos se tiene [sic] que alimentar de algo, por lo tanto, algunas especies de la zona se verán afectadas por la adaptación de la nueva especie introducida”, “Sí, ya que esas especies pueden afectar a las especies nativas”). Otras respuestas mencionaron el caso de la ardilla (10 % en el pretest y 7 % en el posttest (“Sí, la biodiversidad se vio afectada porque la especie introducida se alimenta de los huevos de aves nativas y descortezaba a los tabaquillos”). En el pretest, en el 10 % de las respuestas argumentaron con otros casos, lo que no se evidenció en el posttest (“Si, si nosotros trajéramos castores destruirían todos los árboles”). Sin embargo, en el posttest se encontraron respuestas que indican que introducir especies afecta a

la biodiversidad, pero el 21 % no justificó su respuesta o afirmó que depende de la especie introducida (“Sí, en algunos animales afecta y en otros no”, “Sí, pero dependería de la especie introducida”). En el 7 % de los casos en el pretest y uno en el posttest respondieron que introducir especies no afecta la biodiversidad (“No, toda vida hay/es vida”). Estos resultados, tal como lo señalan Bermudez y Lindemann-Matthies (2018), muestran que la relación entre especies exóticas invasoras y redes tróficas —como se observa en las argumentaciones del estudiantado en las diferentes categorías de análisis— puede ser un punto de partida para ayudar a las y los estudiantes a comprender más componentes del concepto de biodiversidad. Lo anterior podría relacionarse con la categoría Equilibrio: distribución y redes tróficas, utilizada para analizar el concepto de biodiversidad y abordar la noción de equilibrio de la naturaleza desde varias perspectivas. En cuanto a la argumentación como práctica científica, Garcia Romano *et al.* (2016) sostienen que utilizar evidencias y pruebas para argumentar y el trabajo colaborativo se potencian cuando se utilizan recursos tecnológicos, como en esta experiencia.



Gráfica 5. Argumentos construidos por las y los estudiantes poniendo en juego las evidencias desarrolladas a lo largo de la secuencia didáctica.

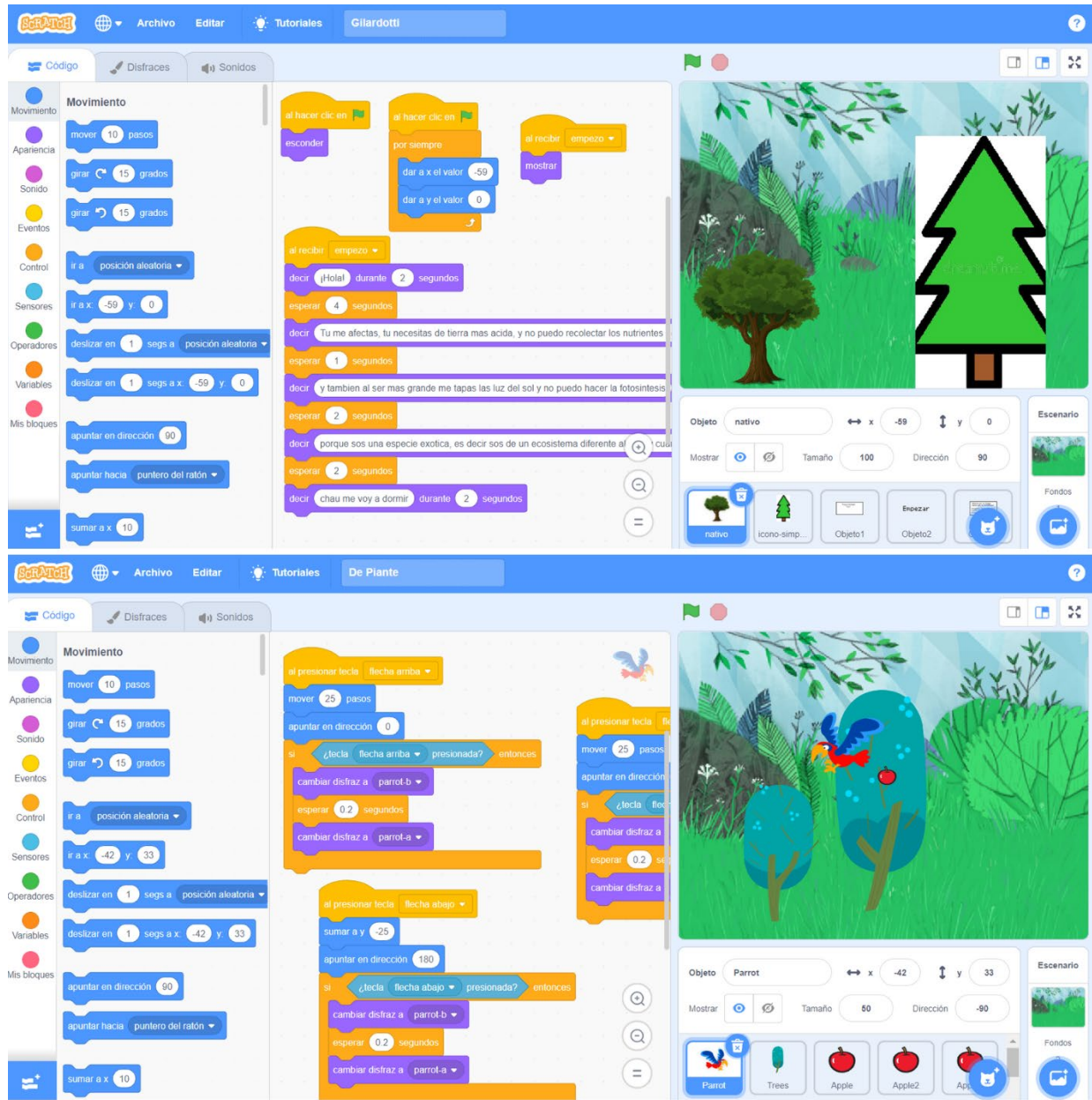
Fuente: Elaboración propia.

Modelización de una invasión biológica

El grupo de estudiantes programó un total de seis proyectos en Scratch en equipos de entre tres y cuatro integrantes (gráfica 6). En el 100 % de los casos, se representó alguna especie nativa y alguna especie exótica, lo que indicaría que reconocen a ambos tipos de especies en este tipo de dinámicas ecosistémicas.

Con relación al modelo de invasión biológica, al preguntarles a las y los estudiantes si en su proyecto se encontraban representadas todas las fases de una invasión biológica, el 84 % respondió que no, mientras que

el 16 % restante afirmó que sí. Cuando se les pidió que señalaran cuál o cuáles fases se encontraban ausentes en sus proyectos, el 14 % indicó que no representó las fases de introducción y establecimiento (“Porque nosotros solo pusimos que se reproducen rápido”), el 32 % señaló como ausente la introducción (“Porque el pino no está ahí de la nada”) y, finalmente, el 48 % afirmó que no se encontraban presentes ni el establecimiento ni la propagación (“Se representa sólo la fase de llegada de la especie”). Estos resultados indicarían que brindarle al estudiantado momentos para que puedan revisar y evaluar sus modelos les permite reflexionar sobre ellos y proponer alternativas para mejorarlos.



Gráfica 6. Captura de pantalla de algunos de los proyectos de Scratch realizado por el grupo de estudiantes para modelar las invasiones biológicas.

Fuente: Elaboración propia.

Para acercar a las y los estudiantes al carácter predictivo de los modelos, se les preguntó qué le sucedería a la especie nativa en su proyecto de Scratch si la especie exótica invasora fuera eliminada. El 32 % respondió que le permitiría obtener más recursos para poder crecer y desarrollarse (“El resto de las plantas tendrían luz solar, agua y se podrían reproducir”, “La flora y la fauna crecería y se expandiría más ya que quedaría mucho espacio que

anteriormente ocupaban las especies exóticas”). Un 24 % señaló que las especies nativas podrían completar su ciclo de vida (“Lo que pasaría es que la especie nativa podría nacer, crecer, desarrollarse, reproducirse y morir”). En el 20 % de las respuestas se señala que la especie nativa se vería beneficiada, pero no se especificó de qué manera (“Lo que sucede es que ya no estarían en peligro”). Finalmente, el 24 % restante hizo referencia a otras cuestiones.

Estos resultados van en la misma línea que los reportados por Fussero y Ocelli (2022), quienes analizaron la modelización de la construcción de una molécula de ADN recombinante —a través de la programación en Scratch— y encontraron que las y los estudiantes podían construir modelos, aunque en ellos no se encuentren todas las fases y procesos necesarios desde un punto de vista biológico, y luego realizar predicciones a partir de ellos. Por su parte, Puttick y Tucker-Raymond (2018) señalan que la programación con Scratch en la escuela secundaria permitió a las niñas modelizar cuestiones relacionadas con el cambio climático global al tiempo que ponían en juego la abstracción, la gestión de la complejidad, el diseño creativo y la representación de datos. A su vez, en este trabajo se señala que una inmersión más prolongada en la programación habría respaldado niveles más profundos de modelado, como bien podría ser el caso aquí presentado. Por su parte, Alp y Bulunuz (2023) indican que las y los estudiantes utilizaron los procesos de cambiar y controlar variables, crear y resolver problemas y tomar decisiones cuando programaban en Scratch sobre biodiversidad, siendo estos procesos promotores del pensamiento crítico.

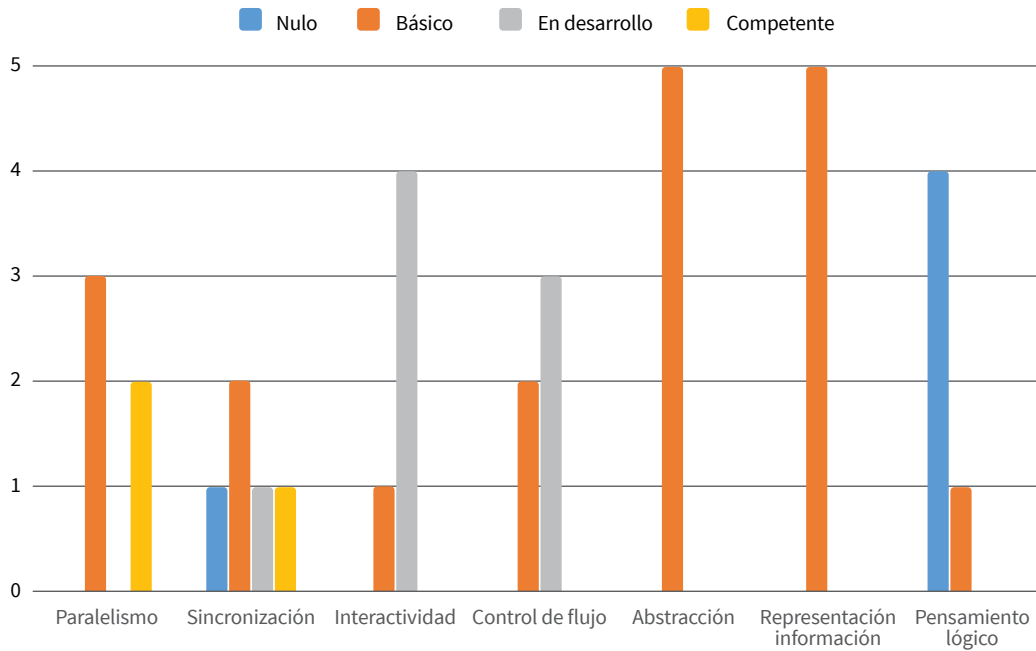
Habilidades relacionadas con las ciencias de la computación

Los proyectos en Scratch fueron construidos por las y los estudiantes en grupos compuestos por tres o cuatro integrantes. En total fueron seis proyectos, pero uno de ellos no se pudo analizar por incompatibilidad con el *software* de Dr. Scratch.

De los proyectos analizados, el 60 % correspondía al nivel medio, mientras que el 40% restante se encontraba dentro del nivel bajo. Estos resultados coinciden con otras investigaciones (Fussero *et al.*, 2021; Meerbaum-Salant *et al.*, 2013) en las cuales se reporta que los niveles de rendimiento de las y los estudiantes al programar en Scratch no siempre son altos, pero les permiten hacer sus primeras programaciones.

En cuanto a las habilidades relacionadas con las ciencias de la computación, no se observó un patrón definido en su desarrollo (gráfica 7). El paralelismo fue la habilidad que evidenció un mayor desarrollo; en el 60 % de los proyectos se alcanzó el nivel básico mientras que el

40 % restante se ubica en el nivel competente. Le sigue la sincronización, con la particularidad de que esta fue la única habilidad que se vio desarrollada en los cuatro niveles en los proyectos (20 % nivel nulo, 40 % básico, 20 % en desarrollo y 20 % competente). La sincronización se basa en establecer un orden determinado, por ejemplo, que un personaje en Scratch realice una acción cuando otro finaliza, de manera que se conforme una cadena ordenada de acciones. Esta habilidad se encuentra relacionada con la secuenciación, que implica llegar a una solución a través de una definición clara de pasos ordenados para seguir (Hoppe y Werneburg, 2019). Lo anterior podría asociarse con el modelo de invasión biológica que representaron las y los estudiantes en Scratch, el cual cuenta con fases que deben sucederse de manera secuencial para que se produzca una invasión. La interactividad con el usuario se encuentra presente en el 20 % de los proyectos en el nivel básico y en un 80 % en el nivel en desarrollo. Siguiendo con el control de flujo, el nivel básico se vio representado por el 40 %, mientras que el 60 % restante se sitúa en el nivel en desarrollo. En el caso de la abstracción y la representación de la información, en el 100 % de los proyectos se alcanzó el nivel básico. Finalmente, en relación con el pensamiento lógico, no se desarrolló esta habilidad en el 80% de los proyectos, y en el 20% restante se ubicó en el nivel básico. Estos resultados son similares a los reportados por Meerbaum-Salant *et al.* (2013) y por Fussero *et al.* (2021), quienes en sus investigaciones encontraron que las y los estudiantes que participaron de secuencias didácticas de programación en Scratch desarrollaron algunas de las habilidades que caracterizan las ciencias de la computación, lo cual podría deberse a que algunas habilidades, como la abstracción y el pensamiento lógico, implican mayores desafíos cognitivos. También podría pensarse que la secuencia didáctica aquí presentada no brindó oportunidades para que se desarrollen todas las habilidades de las ciencias de computación consideradas en este trabajo. Sin embargo, a pesar de este dispar desarrollo de habilidades, mientras las y los estudiantes programaron en Scratch lograron trabajar de manera colaborativa, aspecto relevante según el equipo que desarrolló el lenguaje (Resnick *et al.*, 2009). En esta misma línea, Hacıoğlu y Dönmez Usta (2020) sostienen que codificar en Scratch con contenidos que se estén desarrollando en la escuela puede enseñar a analizar problemas y encontrar soluciones en consecuencia.



Gráfica 7. Nivel de desarrollo para cada habilidad considerada por Dr. Scratch en los proyectos construidos por las y los estudiantes.

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

En este trabajo nos propusimos estudiar la sinergia que se produce al integrar las prácticas científicas y la programación en la escuela secundaria para abordar temáticas complejas a través de la caracterización de los aprendizajes del estudiantado.

En cuanto al concepto de biodiversidad, se evidenció que promover la argumentación a partir del uso de evidencias le permitió al estudiantado aproximarse a dicho constructo; incluso, en algunos casos lograron reconocer el componente genético de la biodiversidad, el cual se considera en recientes investigaciones en el campo de la ecología. Al tratarse este último de un concepto estructurante dentro de las ciencias biológicas y ubicarse como uno de los temas trascendentales en debates contemporáneos de interés social, abrir espacios para que el estudiantado comprenda el carácter multidimensional de la biodiversidad —a partir de situaciones problemáticas en las cuales se tuvieron en cuenta aspectos biológicos, sociales y culturales— les permite participar de manera activa en la solución a diferentes problemáticas socioambientales. Considerando el caso particular de la pérdida de la biodiversidad en la provincia de Córdoba (Argentina) debido a las invasiones biológicas, conocer cuáles son las especies exóticas invasoras —tanto vegetales como animales— posibilita que las y los estudiantes realicen diferentes análisis y construyan posicionamientos

que pongan en tensión el carácter carismático de ciertas invasoras y su impacto en los ecosistemas locales. Retomando la afirmación de Eriksson *et al.* (2023), según la cual para evitar una mayor disminución de la biodiversidad se debe promover la comprensión de dicho concepto, diseñar secuencias didácticas que incluyan a las prácticas científicas para argumentar sobre dicho saber favorecería su entendimiento, así como la alfabetización científica. En este sentido, esta propuesta podría constituirse en un camino de aproximación didáctica interdisciplinaria.

En línea con lo anterior, cuando se les brinda a las y los estudiantes oportunidades de participar en actividades que incluyan las prácticas científicas —en este caso particular la argumentación y la modelización— les permite desarrollarlas y acercarse a cómo se construye el conocimiento científico. Aquí el estudiantado logró plantear argumentos con base en evidencias, sobre todo en relación con las especies exóticas invasoras y cómo impactan en la biodiversidad local. Además, construyeron modelos en donde representaron fases de las invasiones biológicas, lo que les permitió realizar predicciones en torno a determinadas situaciones. En este sentido, existe un consenso en la comunidad científica respecto a que el impacto negativo de las invasiones biológicas en la biodiversidad debería incluirse en las clases de biología y orientar el reconocimiento de especies nativas locales para promover su conservación (Mack *et al.*, 2000).

En cuanto a las ciencias de la computación, las y los estudiantes pudieron aproximarse a algunos conceptos básicos —entre los cuales se destacan el paralelismo y la sincronización— que les permitieron modelizar a las invasiones biológicas y hacer predicciones usando los modelos construidos en Scratch. Una cuestión por destacar en este trabajo es que solo dos estudiantes del grupo que participó de la investigación fueron mujeres. Este aspecto es retomado por Puttick y Tucker-Raymond (2018), quienes diseñaron un taller de Scratch para niñas como una estrategia para involucrarlas de manera significativa en el aprendizaje de la programación y en las ciencias de la computación en general. Resaltan que experiencias de aprendizaje como la que se presentó en este artículo pueden contribuir a reducir la brecha de género que existe en la informática y acercar a las niñas y jóvenes a campos que *a priori* les puedan parecer lejanos a la luz de diferentes preconceptos sociales.

Para concluir, tal como mencionan Scott *et al.* (2020), las DBR a través de procesos iterativos permiten la mejora de los diseños didácticos, con base en la evidencia de los aprendizajes de las y los estudiantes, para generar entornos educativos significativos. En este caso en particular, la secuencia diseñada es una oportunidad para el desarrollo de la alfabetización científica y computacional en ambos campos, la biología y las ciencias de la computación. De este modo, se podría decir que se contribuyó a la formación del estudiantado a través del desarrollo de saberes digitales y científicos para que puedan desenvolverse plena y sustentablemente en el mundo.

A partir del análisis realizado, se identificaron algunas cuestiones por mejorar en los diseños instructivos, por lo que en investigaciones futuras se propondrán secuencias didácticas que aborden aspectos no profundizados en este estudio, como el incluir otros componentes de la biodiversidad (genes, poblaciones, grupos funcionales, comunidades y unidades de paisaje) y atributos (abundancia relativa, rango, distribución espacial e interacciones) que se proponen desde la ecología para evitar que la diversidad biológica se entienda como sinónimo de riqueza de especies. Asimismo, se estudiarán en detalle aspectos relacionados con la indagación, práctica científica que no fue caracterizada exhaustivamente en esta investigación. Por último, desde las ciencias de la computación, se incorporarán lenguajes textuales, dado que ofrecen nuevas potencialidades y posibilidades de construcción en comparación con los lenguajes visuales. En resumen, se propone continuar generando entornos significativos que favorezcan la formación científico-computacional del estudiantado.

Referencias

- Alp, G. y Bulunuz, N. (2023). Effect of web-based collaborative learning method with Scratch on critical thinking skills of 5th grade students. *Participatory Educational Research*, 10(2), 82-104. <https://doi.org/10.17275/per.23.30.10.2>
- Antunes, T. P. y Mendes, M. T. (2018). Desenvolvimento profissional de um professor ao (re) elaborar uma prova escrita de matemática. *Amazônia. Revista de Educação em Ciências e Matemáticas*, 14(31), 22-38.
- Barab, S. (2014). Design-based research: A methodological toolkit for engineering change. En R. K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge handbook of the learning sciences* (pp. 151-170). Cambridge University Press.
- Barahona, A. D., Llano, C. L., Diaz Isenrath, G. B., Rojas, L., Pampillón González, M. C. y Campos, C. M. (2023). Biodiversity education: Resources and sources used by school teachers and rangers in Mendoza (Argentina). *Multequina*, 30(1), 5-15.
- Baranzelli, M. C., Córdoba, S., Ferreira, G., Glinos, E., Maubecin, C., Paiaro, V. y Renny, M. (2014). ¿Quién vive ahí?: Sobre árboles nativos y exóticos. Una propuesta didáctica para conocer la importancia ecológica del bosque nativo y la problemática de las invasiones biológicas. *Revista de Educación en Biología*, 18(1), 50-64. <https://doi.org/10.59524/2344-9225.v18.n1.22455>
- Berland, L. K., Schwarz, C., Krist, C., Kenyon, L., Lo, A. S. y Reiser, B. J. (2016). Epistemologies in practice: Making scientific practices meaningful for students. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(7), 1082-1112. <https://doi.org/10.1002/tea.21257>
- Bermudez, G. M. A., Battistón, L. V., García Capocasa, M. C. y De Longhi, A. L. (2015). 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. y De Longhi, A. L. (2015). Retos para la enseñanza de la biodiversidad hoy. *Aportes para la formación docente*. Universidad Nacional de Córdoba. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1742.5369>.

- Bermudez, G. M. A y Lindemann-Matthies, P. (2018). What matters is species richness”: High school students’ understanding of the components of biodiversity. *Research in Science Education*, 50(6), 2159-2187. <https://doi.org/10.1007/s11165-018-9767-y>
- Bermudez, G. M. A., Pérez-Mesa, R. y 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>
- Bonello, M. B. y Schapachnik, F. (2020). Diez preguntas frecuentes (y urgentes) sobre pensamiento computacional. *Virtualidad, Educación y Ciencia*, 20(11), 156-167. <https://doi.org/10.60020/1853-6530.v11.n20.27453>
- Bravo, B., Puig, B. y Jiménez-Aleixandre, M. P. (2009). Competencias en el uso de pruebas en argumentación. *Educación Química*, 20(2), 137-142.
- Cáceres, D. M., Silveti, F. y Díaz, S. (2016). The rocky path from policy-relevant science to policy implementation: A case study from the South American Chaco. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 19, 57-66. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.12.003>
- Calder, N. (2018). Using Scratch to facilitate mathematical thinking. *Journal Education*, 23(2), 43-48. <https://doi.org/10.15663/wje.v23i2.654>
- Castro Moreno, J. A., Valbuena Ussa, É. O., Escobar Gil, G. I., Roa Acosta, R. y López Roa, L. M. (2021). Multidimensionalidad de la biodiversidad: Aportes a la formación inicial de profesores de biología en Colombia. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 50, 131-148. <https://doi.org/10.17227/ted.num50-11978>
- Crujeiras Pérez, B. y Cambeiro, F. (2018). Una experiencia de indagación cooperativa para aprender ciencias en educación secundaria participando en las prácticas científicas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(1), 1200-1209. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i1.1201
- Crujeiras Pérez, B. y Jiménez Aleixandre, M. P. (2012). Participar en las prácticas científicas. *Alambique*, 72, 12-19.
- Crujeiras Pérez, B. y 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>
- de Sa Dechoum M., Sampaio, A. B., Ziller, S. R. y Dudeque Zenni, R. (2018). Invasive species and the global strategy for plant conservation: How close has Brazil come to achieving Target 10? *Rodriguésia*, 69, 1567-1576. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201869407>
- Díaz, S., Demissew, S., Carabias, J., Joly, C., Lonsdale, M., Ash, N., Larigauderie, A., Adhikari, J. R., Arico, S., Báldi, A., Bartuska, A., Baste, I. A., Bilgin, A., Brondizio, E., Chan, K. M. A., Figueroa, V. E., Duraiappah, A., Fischer, M., Hill, R., Koetz, T. y 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>
- Díaz, S., Fargiones, J., Chapin, F. S. y Tilman, D. (2006). Biodiversity loss threatens human well-being. *PLOS Biology*, 4, 1300-1305. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0040277>
- Duschl, R. A. y Jiménez Aleixandre, M. P. (2012). Epistemic foundations for conceptual change. En S.M. Carver y J. Shrager (Ed.), *The journey from child to scientist: Integrating cognitive development and the education sciences* (pp. 245-262). American Psychological Association.
- Erduran, S. y Dagher, Z. (2014). *Reconceptualizing the nature of science for science education: Scientific knowledge, practices and other family categories*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9057-4_1
- Eriksson, M., Kärkkäinen, S. y Tahvanainen, V. (2023). Technology-mediated outdoor learning for primary school student teachers: Focusing on biodiversity. *Journal of Computer Assisted Learning*, 39(6), 1819-1833. <https://doi.org/10.1111/jcal.12841>
- Erol, O. y Kurt, A. A. (2017). The effects of teaching programming with Scratch on pre-service information technology teacher’s motivation and achievement. *Computers in Human Behavior*, 77, 11-18. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.08.017>
- Fields, D. A., Kafai, Y. B. y Giang, M. T. (2017). Youth computational participation in the wild: Understanding experience and equity in participating and programming in the

- online scratch community. *ACM Transactions on Computing Education*, 17(3), 1-22. <https://doi.org/10.1145/3123815>
- Fussero, G. B. y Ocelli, M. (2022) Construcción de modelos de ingeniería genética a través de la programación con Scratch. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 19(2), 2802. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2022.v19.i2.2802
- Fussero, G. B., Ocelli, M. y Chiarani, M. (2021). Pensamiento computacional y aprendizaje de la ingeniería genética: Una aproximación a través de una investigación de diseño. *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*, 30, 40-50. <https://doi.org/10.24215/18509959.30.e4>
- García Monsálvez, J. C. (2017). Python as First Textual Programming Language in Secondary Education. *Education in the Knowledge Society*, 18(2), 147-162. <https://doi.org/10.14201/eks2017182147162>
- García Romano, L., Condat, M. E., Ocelli, M. y Valeiras, N. (2016). La dimensión argumentativa y tecnológica en la formación de docentes de ciencias. *Ciência & Educação (Bauru)*, 22(4), 895-912. <https://doi.org/10.1590/1516-731320160040005>
- Giorgis, M. A., Tecco, P. A., Cingolani, A. M., Renison, D., Marcora, P. y Paiaro, V. (2011). Factors associated with woody alien species distribution in a newly invaded mountain system of central Argentina. *Biological Invasions*, 13(6), 1423-1434. <https://doi.org/10.1007/s10530-010-9900-y>
- Giorgis, M. A. y Tecco, P. A. (2014). Árboles y arbustos invasores de la provincia de Córdoba (Argentina): Una contribución a la sistematización de bases de datos globales. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 49, 581-603.
- Grace, M. (2009). Developing high quality decision-making discussions about biological conservation in a normal classroom setting. *International Journal of Science Education*, 31(4), 551-570. <https://doi.org/10.1080/09500690701744459>
- Gravemeijer, K. y Cobb, P. (2006). Design research from a learning design perspective. En J. van den Akker, K. Gravemeijer, S. McKenney y N. Nieven (Ed.), *Educational Design Research* (pp. 17-51). Routledge.
- Guzdial, M. (2018). What we care about now, what we'll care about in the future. *ACM Inroads*, 9(4), 63-64. <https://doi.org/10.1145/3276304>
- Hacıoğlu, Y. y Dönmez Usta, N. (2020). Digital game design-based STEM activity: Biodiversity example. *Science Activities*, 57(1), 1-15. <https://doi.org/10.1080/00368121.2020.1764468>
- Hermans, F. y Aivaloglou, E. (2017). To scratch or not to scratch? A controlled experiment comparing plugged first and unplugged first programming lessons. En *Proceedings of the 12th workshop on primary and secondary computing education* (pp. 49-56). <https://doi.org/10.1145/3137065.3137072>
- Hoppe, H. U. y Werneburg, S. (2019). Computational thinking: More than a variant of scientific inquiry. En S. Kong y H. Abelson (Ed.), *Computational Thinking Education* (pp. 13-30). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-6528-7>
- Jiménez Aleixandre, M. P. y Crujeiras Pérez, B. (2017). Epistemic practices and scientific practices in science education. En K. S. Taber y B. Akpan (Eds.), *Science Education: An International Course Companion* (pp. 69-80). Sense Publishers.
- Jiménez Aleixandre, M. P. y Evagorou, M. (2018). Argumentation in biology education. En K. Kampourakis y M. J. Reiss (Es.), *Teaching Biology in Schools. Global Research, Issues, and Trends* (pp. 263-274). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315110158>
- Jiménez-Aleixandre, M. P. y Puig, B. (2022). Educating critical citizens to face post-truth: The time is now. En B. Puig y M.P. Jiménez-Aleixandre (Ed.), *Critical thinking in biology and environmental education: Contributions from biology education research*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-92006-7_1
- Jones, C. M., Jones, S., Petrasova, A., Petras, V., Gaydos, D., Skrip, M. M., Takeuchi, Y., Bigsby, K. y Meentemeyer, R. K. (2021). Iteratively forecasting biological invasions with PopS and a little help from our friends. *Frontiers in Ecology Environment*, 19(7), 411-418. <https://doi.org/10.1002/fee.2357>
- Kaennel, M. (1998). Biodiversity: A diversity in definition. En P. Bachmann, M. Köhl y R. Päivinen (Ed.), *Assessment of biodiversity for improved forest planning* (pp. 71-81). Kluwer Academic.
- Kafai, Y. B., Fields, D. A., Roque, R., Burke, W. Q. y Monroy-Hernández, A. (2015). Collaborative agency in youth online and offline creative production in Scratch. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 7(2), 63-87.

- Kalelioğlu, F. y Gülbahar, Y. (2014). The effect of teaching programming via Scratch on problem solving skills: A discussion from learner's perspective. *Informatics in Education*, 13(1), 33-50.
- Kilinc, A., Yeşiltaş, N. K., Kartal, T., Demiral, Ü. y Eroğlu, B. (2013). School students' conceptions about biodiversity loss: Definitions, reasons, results and solutions. *Research in Science Education*, 43(6), 2277-2307. <https://doi.org/10.1007/s11165-013-9355-0>
- Lee, T. Y., Mauriello, M. L., Ahn, J. y Bederson, B. B. (2014). STARcade: Computational thinking with games in school age children. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 2(1), 26-33. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2014.06.003>
- Lehrer, R. y Schauble, L. (2006). Cultivating model-based reasoning in science education. En R. K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge handbook of the learning sciences* (pp. 371-387). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511816833.023>
- Lindemann-Matthies, P. (2006). Investigating nature on the way to school: Responses to an educational programme by teachers and their pupils. *International Journal of Science Education*, 28(8), 895-910. <https://doi.org/10.1080/10670560500438396>
- Lenhard, J., Küppers, G. y Shinn, T. (2007). *Simulation: Pragmatic constructions of reality*. Springer-Verlag.
- Mack, R. N., Simberloff, D., Lonsdale, W. M., Evans, H., Clout, M. y Bazzaz, F. A. (2000). Biotic invasions: Causes, epidemiology, global consequences, and control. *Ecology Applications*, 10, 689-710. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2000\)010\[0689:BICEGC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2000)010[0689:BICEGC]2.0.CO;2)
- Meerbaum-Salant, O., Armoni, M. y Ben-Ari, M. (2013). Learning computer science-concepts with Scratch. *Computer Science Education*, 23(3), 239-264. <https://doi.org/10.1145/1839594.1839607>
- Menzel, S. y Bögeholz, S. (2009). The loss of biodiversity as a challenge for sustainable development: How do pupils in Chile and Germany perceive dilemmas? *Research in Science Education*, 39, 429-447. <https://doi.org/10.1007/s11165-008-9087-8>
- Moreno-León, J., Robles, G. y Román-González, M. (2015). Dr. Scratch: Automatic analysis of Scratch projects to assess and foster computational thinking. *RED. Revista de Educación a Distancia*, 46(10).
- Osborne, J. (2014). Teaching scientific practices: Meeting the challenge of change. *Journal of Science Teacher Education*, 25(2), 177-196. <https://doi.org/10.1007/s10972-014-9384-1>
- Osborne, J. (2023). Science, scientific literacy, and science education. En L. G. Lederman, D. L. Zeidler y J. S. Lederman (Ed.), *Handbook of Research on Science Education* (pp. 785-816). Taylor & Francis. <https://doi.org/10.4324/9780367855758>
- Ottogalli, M. E. y Ángel Bermudez, G. M. A. (2023). Estrategias de enseñanza de la biodiversidad para la formación del profesorado en Latinoamérica. *Bio-grafía*, 16(30), 108-123. <https://doi.org/10.17227/bio-grafia.vol.16.num30-17824>
- Palombo, N., Silvera Ruíz, L. y Martín, R. (2021). Motivos de participación y concepciones sobre educación ambiental en un contexto de aprendizaje no formal: El caso de un taller para niños en Córdoba, Argentina. *Luna Azul*, 52, 145-167. <https://doi.org/10.17151/luaz.2021.52.8>
- Patrick, P. y Tunnicliffe, S. D. (2011). What plants and animals do early childhood and primary students name? Where do they see them? *Journal of Science Education and Technology*, 20, 630-642. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10956-011-9290-7>
- Pérez-Mesa, M. R. (2013). La biodiversidad en el contexto educativo: Múltiples miradas en el escenario mundial. *Nodos y Nudos*, 4(35), 63-75. <https://doi.org/10.17227/01224328.2266>
- Ponte, J. P., Carvalho R., Mata-Pereira J. y Quaresma, M. (2016). Investigação baseada em design para compreender e melhorar as práticas educativas. *Quadrade*, 25(2), 77-98. <https://doi.org/10.48489/quadrante.22934>
- Puttick, G. y Tucker-Raymond, E. (2018). Building systems from Scratch: An Exploratory study of students learning about climate change. *Journal of Science Education and Technology*, 27, 306-321. <http://doi.org/10.1590/1516-731320160040005>
- Resnick, M., Maloney, J., Monroy-Hernández, A., Rusk, N., Eastmond, E., Brennan, K., Millner, A., Rosenbaum, E., Silver, J., Silverman B. y Kafai, Y. B. (2009). Scratch: Programming for all. *Communications of the ACM*, 52(11), 60-67.
- Resnick, M. y Rusk, N. (2020). Coding at a crossroads. *Communications of ACM*, 63(11), 120-127. <https://doi.org/10.1145/3375546>

- Richardson, D., Pysek P., Rejmánek M., Barbour M., Panett D. y West, C. 2000. Naturalization and invasion of alien plants: Concepts and definitions. *Diversity and Distributions*, 6(2), 93-107. <https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.2000.00083.x>
- Rinaudo, M. y Donolo, D. (2010). Estudios de diseño: Una alternativa prometedora en la investigación educativa. *RED. Revista de Educación a Distancia*, 22.
- Rodríguez, B. F. C. (2023). La investigación basada en el diseño y el desarrollo curricular en la educación en ciencias. *Bio-grafía*, 16(31), 128-141.
- Scott, E. E., Wenderoth, M. P. y Doherty, J. H. (2020). Design-based research: A methodology to extend and enrich biology education research. *Life Sciences Education*, 19(3). <https://doi.org/10.1187/cbe.19-11-0245>
- Vázquez, D. P. y Simberloff, D. (2003). Changes in interaction biodiversity induced by an introduced ungulate. *Ecology Letters*, 6, 1077-1083. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2003.00534.x>
- Vee, A. (2013). Understanding computer programming as a literacy. *Literacy in Composition Studies*, 1(2), 42-64.
- Vilches, A. M., Corbacho-Cuello, I. y Esteban-Gallego, R. (2022). Las imágenes de especies exóticas e invasión biológica en libros de texto de Educación Secundaria argentina. *Bio-grafía*, 15(28), 97-116. <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/bio-grafia/article/view/16535>
- Vilches, A. M., Legarralde, T. I., Ramírez, S. y Darrigran, G. (2016). Conocimiento y valoración sobre biodiversidad en futuros profesores de biología y geografía. *Revista de Educación en Biología*, 18, 46-58. <https://doi.org/10.59524/2344-9225.v18.n2.22470>
- Weintrop, D. y Wilensky, U. (2015). Using commutative assessments to compare conceptual understanding in blocks-based and text-based programs. En *Proceedings of the eleventh annual international conference on international computing education research* (pp. 101-110). <https://doi.org/10.1145/2787622.2787721>
- Weiss, E. (2017). Hermenéutica y descripción densa versus teoría fundamentada. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 22(73), 637-654.
- Wenger, E. (2001). *Comunidades de práctica: Aprendizaje, significado e identidad*. Ediciones Paidós Ibérica.
- Williamson, M. (1999). Invasions. *Ecography*, 22, 5-12. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.1999.tb00449.x>