

Evaluación de un proyecto STEAM enfocado hacia la ciudadanía ambiental en una escuela secundaria

Evaluation of a STEAM Project focused on Environmental Citizenship in a Secondary School

Maricel Ocelli¹ , Mónica Villarreal² , Nicolás Baudino Quiroga³ 

María Soledad Allier⁴ , Agustín Disca⁵ , Claudia Ferrari⁶ , Martha Jorgelina Ríos Leiva⁷ , Ligia del Carmen Quse⁸ 

Ocelli, M. et al. (2025). *Evaluación de un proyecto STEAM enfocado hacia la ciudadanía ambiental en una escuela secundaria*. Nuevas Perspectivas, 4 (8), 1-17.

Fecha de recepción: 30/08/2024

Fecha de aceptación: 13/12/2024

Resumen: Ante la crisis ambiental actual resulta imperioso que la educación se oriente hacia la formación de una ciudadanía comprometida con el ambiente y que lleve adelante acciones transformadoras que promuevan el desarrollo sostenible. El enfoque STEAM (por sus siglas en inglés de Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Artes y Matemática) permite abordar problemáticas complejas en la escuela de modo integrado y favorece el desarrollo de prácticas científicas y de ingeniería. En este trabajo se realizó una Investigación Basada en Diseño (DBR por sus siglas en inglés) a partir de la cual se describe un diseño didáctico y se evalúa su calidad en base al primer ciclo de implementación. El proyecto estuvo orientado a la construcción de ciudadanía ambiental a través de la elaboración de compost con residuos de origen familiar o escolar, fue implementado en dos cursos de primer año de una escuela secundaria e involucró a cuatro espacios curriculares: Biología, Física, Tecnología y

¹ Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Argentina. maricel.occelli@unc.edu.ar

² Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación. Universidad Nacional de Córdoba. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Argentina. Contacto: monica.ester.villarreal@unc.edu.ar

³ Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. Contacto: nicolas.baudino@unc.edu.ar

⁴ Instituto de Educación Córdoba. Contacto: soleallier@gmail.com

⁵ Instituto de Educación Córdoba. Contacto: aguu.disk@gmail.com

⁶ Instituto de Educación Córdoba. Contacto: claudiaferrari@live.com.ar

⁷ Instituto de Educación Córdoba. Contacto: marthariosleiva@gmail.com

⁸ Instituto de Educación Córdoba. Contacto: lquse@unc.edu.ar

Matemática. Para la evaluación del diseño se consideraron tres dimensiones: validez (coherencia teórica y coherencia interna), utilidad (practicidad y productividad) y confiabilidad (nivel de eficacia). A partir de este análisis se identifican aspectos favorables y se discuten los desafíos que se plantean para el siguiente ciclo de implementación.

Palabras Clave: Investigación Basada en Diseño, prácticas científicas, indagación, compost, interdisciplina

Abstract: In the face of the current environmental crisis, it is imperative that education be oriented towards the formation of citizens committed to the environment and that they carry out transforming actions that promote sustainable development. The STEAM approach (Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics) makes it possible to address complex problems in the school in an integrated manner and favors the development of STEAM practices. The project was oriented to the construction of environmental citizenship through the elaboration of compost with family or school waste, which was implemented in two first year courses of a high school that included four subjects: Biology, Physics, Technology and Mathematics. Three dimensions were considered for the evaluation of the design: validity (theoretical coherence and internal consistency), usefulness (practicability and productivity) and reliability (efficacy level 1). From this analysis, favorable aspects are identified and the challenges for the next implementation cycle are discussed.

Keywords: Design-Based Research, Scientific Practices, Inquiry, Compost, Interdisciplinary

Introducción

La crisis ambiental global ha sido tratada en cumbres internacionales que destacan la necesidad de promover conocimientos, valores y actitudes ambientales desde la infancia (UNESCO, 2017). Al incluir esta perspectiva en la educación, se busca formar una ciudadanía ambiental capaz de defender, preservar y mejorar el entorno, participando activamente en asuntos socioambientales. La ciudadanía ambiental implica un comportamiento responsable, donde las personas actúan como agentes de cambio mediante acciones individuales y colectivas para resolver problemas ambientales, prevenir nuevas problemáticas, lograr la sostenibilidad y desarrollar una relación saludable con la naturaleza (Hadjichambis y Reis, 2020). Para ello, no alcanza con tener conocimientos, sino que es necesario que cada persona logre percibirse con el derecho y la potencialidad para intervenir y contribuir en la solución de estos problemas tomando la iniciativa en acciones individuales o colectivas que permitan una sociedad más justa (Monte y Reis, 2024).

Una problemática ambiental local de Córdoba (Argentina) es la gestión de los residuos sólidos urbanos debido principalmente al constante aumento de su producción (Antonini et al., 2021). Su abordaje exige una formación ciudadana orientada a comprender el impacto que nuestras actividades y residuos tienen sobre el ambiente, conocer modos de disminuir nuestra huella ecológica y llevar adelante acciones que permitan a cada persona visualizarse como agente de cambio (Palombo et al., 2021). En este sentido, es posible intervenir en la gestión de los residuos sólidos urbanos y, específicamente en los residuos orgánicos a través del compostaje (Antonini et al., 2021). A su vez, si

la experiencia del compost se desarrolla en el marco de propuestas educativas, se generan nuevos entornos de aprendizaje (Radloff et al., 2019).

Las cuestiones ambientales se caracterizan por su complejidad, por lo tanto, su abordaje exige propuestas interdisciplinarias que ofrezcan herramientas y aportes conceptuales desde diversas perspectivas para su análisis e intervención. En este marco, el enfoque STEAM integrado (por sus siglas en inglés de Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Artes y Matemática) resulta una oportunidad para resolver problemas, desafíos o retos que tengan sentido en el contexto de cada comunidad a través de propuestas interdisciplinarias (Ortiz et al., 2022). Desde nuestra posición teórica, comprendemos que STEAM es una perspectiva interdisciplinaria y humanista que busca el desarrollo de una ciudadanía plena, comprometida, responsable y empática, con herramientas para entender, resolver, tomar decisiones y actuar para lograr un mundo más sostenible y justo (Autores, 2024).

A su vez, estos proyectos se constituyen en escenarios para el desarrollo de prácticas STEAM, las cuales se vinculan con las prácticas científicas (Osborne, 2014) y con las prácticas de ingeniería (Simarro y Couso, 2022). La alfabetización científica, en general, enfatiza tres prácticas científicas: indagación, modelización y argumentación. En este trabajo abordamos específicamente la indagación la cual implica identificar problemas, plantear interrogantes, formular hipótesis y predicciones, diseñar experiencias para ponerlas a prueba, registrar datos, y establecer conclusiones basadas en pruebas (González y Crujeiras 2016; Jiménez, 2020). Por su parte, las prácticas de ingeniería refieren tanto a aquellas vinculadas con los productos como así también con los procesos tecnológicos y sus correspondientes actividades cognitivas, sociales y discursivas. Incluyen desde la delimitación del problema, el análisis de posibles soluciones, la materialización de la solución ideada, su evaluación y comunicación (Simarro y Couso, 2022).

Considerando nuestra perspectiva hacia la formación de una ciudadanía ambiental, y en el marco de una investigación basada en diseño DBR (Design Based Research), propusimos el desarrollo de un proyecto interdisciplinario con enfoque STEAM integrado para las dos divisiones de primer año (12-13 años de edad) de una escuela secundaria de la ciudad de Córdoba (Argentina). El proyecto se orientó a promover aprendizajes referidos a la gestión sustentable de residuos orgánicos a través de la elaboración de compost y se trabajó en conjunto entre cuatro espacios curriculares: Biología, Física, Matemática y Tecnología. A su vez, para cada espacio curricular se plantearon aprendizajes vinculados a los contenidos específicos. A partir de ello, desde la DBR planteada buscamos caracterizar los aprendizajes que tienen lugar a partir de un trabajo STEAM integrado enfocado hacia la ciudadanía ambiental. En este trabajo presentamos el diseño de la experiencia y evaluamos su calidad a partir de las tres dimensiones propuestas por Tena y Couso (2023): validez, utilidad y confiabilidad.

Metodología

En función del problema de investigación que nos propusimos estudiar desarrollamos este trabajo desde el enfoque DBR. Si bien en las escuelas secundarias se llevan adelante algunos proyectos interdisciplinarios de modo colaborativo, la perspectiva STEAM integrada no tiene un lugar formal en

el curriculum de la escuela secundaria argentina. Por lo tanto, para estudiar los aprendizajes que se generan a partir de una experiencia STEAM integrada se requirió un diseño didáctico específico que fue desarrollado en una escuela secundaria de la ciudad de Córdoba (Argentina) de gestión privada y se trabajó con dos divisiones de primer año, integradas por 33 estudiantes en cada curso (12-13 años de edad). Las familias firmaron un consentimiento informado del proceso de investigación planteado y se aseguró el tratamiento de la información recolectada preservando la identidad de cada estudiante. El equipo docente estuvo compuesto por 4 integrantes cada una/o responsable de un espacio curricular: Biología, Física, Matemática y Tecnología. La experiencia fue acompañada por 3 investigadoras/es que tomaron notas de campo, registros fotográficos de las situaciones áulicas, así como también de las notas y carpetas de estudiantes.

Entendemos que las DBR se caracterizan por su dinámica iterativa, la cual permite refinar el diseño y profundizar en las preguntas de investigación propuestas (Plomp, 2013). Sin embargo, este carácter iterativo no solo refiere a sucesivas implementaciones del diseño en el aula, sino que también requiere una evaluación de la calidad del propio diseño didáctico a partir de dimensiones y criterios específicos (Jiménez et al., 2023). Tena y Couso (2023) plantean un circuito para la evaluación y validación ascendente de los diseños a partir de tres dimensiones y siete criterios que ofrecen la posibilidad de identificar correspondencias del diseño con los referentes teóricos y la práctica. Tomando como referencia esta perspectiva de la evaluación de los diseños que se requieren en las DBR, en este artículo presentamos las características que tomó el diseño didáctico a partir del primer ciclo de implementación y exponemos el análisis de la calidad de este diseño para aportar a la iteración recursiva entre el diseño, su práctica y sus fundamentos teóricos.

Para evaluar la calidad del diseño se tomaron en cuenta las dimensiones de validez, utilidad y confiabilidad propuestas por Tena y Couso (2023) junto con sus criterios de realización (Tabla 1). Para la validez se consideró su coherencia teórica, es decir su adecuación a los principios teóricos que le dan sustento y su coherencia interna, esto es la correspondencia entre objetivos, materiales educativos diseñados y herramientas didácticas. En la utilidad se distinguieron dos criterios, la practicidad considerando si es apropiado el diseño planteado para el contexto de origen y la productividad que refiere a su posible aplicación a otros contextos. El análisis de la confiabilidad se realiza según tres niveles de eficacia. El primero se refiere al grado en que la implementación siguió el diseño didáctico. El segundo nivel indica la correspondencia entre los objetivos de aprendizaje propuestos y los resultados alcanzados, y el tercer nivel refiere al grado en que los resultados de aprendizaje se constituyen en evidencias empíricas para los principios teóricos en los que se basa el diseño. En este estudio, el análisis de confiabilidad se llevó adelante considerando solo el primer nivel de eficacia. Se espera analizar el segundo y tercer nivel de eficacia en publicaciones posteriores que coloquen como objeto de estudio los aprendizajes alcanzados a partir de este diseño didáctico.

Dimensión	Criterios
Validez	Coherencia teórica
	Coherencia interna
Utilidad	Practicidad
	Productividad
Confiabilidad	Nivel de eficacia 1
	Nivel de eficacia 2
	Nivel de eficacia 3

Tabla 1: Adaptación de las dimensiones y criterios para la evaluación de la calidad propuestos por Tena y Couso (2023). En gris se indican los dos niveles de eficacia que no se abordan en este trabajo.

Resultados

A continuación, en primer lugar, se describe el diseño didáctico desarrollado y se ilustran sus características tomando como referencia los datos recolectados a partir del primer ciclo de implementación. Luego se presenta el análisis de la evaluación del diseño a partir de las dimensiones y criterios seleccionados.

Diseño didáctico

Se diseñó un proyecto que fue titulado “La acción ambiental es ahora” y buscó fomentar actitudes y acciones de compromiso ambiental a través de la disminución del volumen de basura orgánica familiar que se produce al realizar compost. La experiencia se estructuró a partir de preguntas generadoras de conocimiento que dieron lugar a un trabajo integrado entre cuatro espacios curriculares correspondientes al primer año de la escuela secundaria en la provincia de Córdoba: Biología, Física, Matemática y Tecnología.

Se diseñaron preguntas que orientaron el trabajo para los contenidos de cada espacio curricular (Tabla 2). Puede observarse que algunas de las preguntas se repiten, lo cual se corresponde con la naturaleza del problema seleccionado y la pertinencia del enfoque STEAM integrado para su estudio. En Biología, se buscó identificar los procesos implicados en la degradación de la materia orgánica y aproximarse al estudio del flujo de la energía en los sistemas biológicos. En Física, se trabajó con la energía, los conceptos de calor y temperatura, el uso de instrumentos de medición de la temperatura y el registro de datos. En Matemática, se trabajó en la interpretación de relaciones de magnitud y en el análisis de gráficos. Por último, en Tecnología, a partir de la situación problemática se analizaron prototipos de composteras y se realizó el diseño y la construcción buscando dar respuesta a la necesidad de contar con una compostera que pudiera ubicarse en el patio de la escuela y permitiera el seguimiento de la experiencia.

El proyecto se desarrolló durante las últimas siete semanas de clases del año 2022. Se inició en la asignatura de Biología a partir de los siguientes interrogantes ¿cómo reducir nuestra huella ecológica? Y específicamente, ¿cómo hacerlo reduciendo nuestro impacto en el ambiente a través de los

residuos? ¿podríamos acercarnos al concepto de “basura cero”? Para ello, se propuso el análisis de una noticia periodística de la ciudad de Córdoba⁹ referida a los volúmenes de residuos que se generan en la ciudad y específicamente a la problemática de los residuos orgánicos. Las discusiones generadas permitieron crear un escenario fructífero para que el estudiantado reflexionara acerca de cómo gestionamos estos residuos y surgió como alternativa la posibilidad de construir un compost y estudiar los procesos que allí tienen lugar.

Espacio curricular	Preguntas	Contenidos
Biología	¿Qué y cuánta basura generamos? ¿Cómo está compuesta? ¿Qué proporción de esa basura es orgánica? ¿Cuál es la problemática de los residuos orgánicos? ¿Cómo se reciclan los residuos orgánicos? ¿Cómo funciona un compost? ¿Qué procesos biológicos tienen lugar? ¿cómo interviene el oxígeno? ¿Cómo se relaciona la actividad microbiana con la temperatura?	Aproximación a la función de nutrición a nivel celular identificando los intercambios de materiales y energía. Identificación de los intercambios de materiales y energía en los sistemas ecológicos e interpretación de las relaciones tróficas inherentes a los mismos. Manifestación de sensibilidad y respeto hacia los seres vivos y el medio en que viven.
Física	¿Cómo se transforma la energía cuando se reciclan los residuos orgánicos? ¿Cómo se relaciona la actividad microbiana con la temperatura? ¿Cómo podemos medir la temperatura?	Identificación de la transformación de la energía en diversos fenómenos naturales (de los seres vivos, del ambiente, etc.) y en dispositivos tecnológicos (motores y generadores). Uso adecuado de diferentes tipos de termómetros.
Matemática	¿Cuánta basura generamos? ¿Cómo está compuesta? ¿Qué proporción de esa basura es orgánica? ¿Cómo se relaciona la actividad microbiana con la temperatura?	Interpretación, registro, comunicación y comparación de cantidades y números naturales y racionales positivos. Interpretación de relaciones entre magnitudes discretas y/ o continuas en tablas y gráficos Construcción de gráficos estadísticos y análisis de la pertinencia del tipo de gráfico, y cuando sea necesario, de la escala a usar.
Tecnología	¿Cómo diseñar una compostera y producir compost en la escuela? – (Evaluación de Prototipos y materiales)	Resolución de problemas de diseño de procesos tecnológicos que respondan a problemáticas del entorno planteadas.

⁹ Carranza, J.P. (2022). La ciudad y la basura: los números récord de los residuos que se generan en Córdoba. Diario La Voz del Interior 18/07/2022. <https://www.lavoz.com.ar/ciudadanos/la-ciudad-de-cordoba-bate-records-de-generacion-de-residuos/>

		<p>Participación en experiencias de diseño y construcción de artefactos sencillos para transportar materia, energía y/o información.</p> <p>Uso de las TIC como herramienta para elaborar, producir y comunicar la información técnica comparándolas con diversos soportes y sistemas de representación.</p>
--	--	--

Tabla 2. Preguntas y contenidos por espacio curricular participante del Proyecto.

En Biología, se trabajaron cuestiones vinculadas a la función de nutrición a nivel celular identificando los intercambios de materiales y energía. Específicamente, se abordaron los procesos implicados en la degradación de la materia orgánica a través de un trabajo práctico de laboratorio que permitió experimentar con un trozo de papel cambios físicos al cambiar su forma y tamaño y cambios químicos al quemarlo (Figura 1).

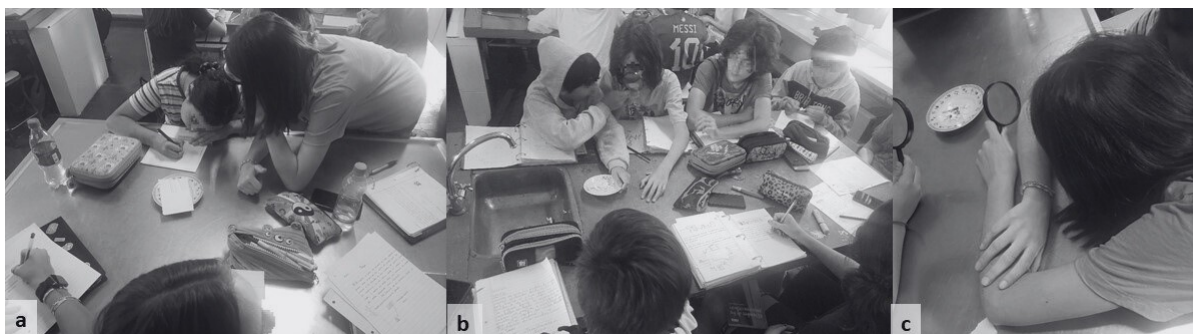


Figura 1: Estudiantes observando el proceso químico de combustión a partir de la quema de un trozo de papel.
a) Registro del papel en su forma original; b) Observación del papel luego de cortarlo en trocitos; c) Observación de los cambios al quemar un trozo de papel.

La experiencia permitió construir conocimientos acerca de la naturaleza de los procesos bioquímicos y su correspondencia con los procesos metabólicos que tienen lugar en un compost. En particular, se analizó cómo la actividad metabólica de los microorganismos que tiene lugar en un compost provoca un aumento de la temperatura (Adl, 2003), lo cual permitió identificar a la temperatura como parámetro indicador.

Luego se trabajó en la selección de la materia orgánica que podría incorporarse en las composteras, lo cual derivó en la recolección de residuos orgánicos familiares de origen vegetal durante una semana, completando un volumen de una bolsa de residuos pequeña de 4 litros aproximadamente por grupo de trabajo de 4 o 5 estudiantes.

De manera simultánea en Tecnología se mantuvieron los grupos de trabajo conformados en Biología y se dispusieron al diseño, la evaluación y la construcción de composteras. El proceso se organizó siguiendo un circuito de resolución de problemas tecnológicos lo cual permitió trabajar en seis de las

ocho prácticas de ingeniería caracterizadas por Simarro y Couso (2022) y cuyo detalle se presenta en la Tabla 3.

Prácticas de Ingeniería	Descripción
Definir y delimitar el problema	Elaborar un recipiente que sirva de compostera, considerando que se requiere circulación de aire, gestión de lixiviados, acceso y observación directa de los procesos.
Desarrollar y utilizar prototipos y simulaciones	-
Analizar e interpretar datos para identificar puntos de mejora	Analizar el propio diseño de la compostera e identificar aspectos a mejorar.
Utilizar las matemáticas, el pensamiento computacional, los modelos científicos y las tecnologías disponibles	-
Identificar múltiples soluciones y seleccionar la (teóricamente) óptima	Proponer diseños y materiales y evaluarlos grupalmente en función de las características del producto buscado y las propiedades de los materiales propuestos hasta llegar a un diseño común de compostera.
Materializar las soluciones	Construir las composteras.
Argumentar sobre la base de pruebas	Argumentar en relación al diseño realizado y su adecuación a la necesidad identificada.
Obtener, evaluar y comunicar información	Elaborar un informe escrito.

Tabla 3: Respuestas de referencia para cada práctica de Ingeniería propuestas por Simarro y Couso (2022)

Para el diseño de la compostera se consideraron cuestiones vinculadas al reducido espacio disponible en el patio de la escuela, las características del sustrato que debían contener las composteras, cómo promover la circulación de aire y cómo observar los procesos que van teniendo lugar. A partir de ello, decidieron construir recipientes para el compost en cajones de frutas forrados con nylon para contener el sustrato y evitar lixiviados. A su vez, dispusieron un lateral transparente para observar los cambios y las transformaciones del sustrato. Por último, trabajaron en la estética de los cajones para su identificación. En todo este proceso utilizaron diversas herramientas y materiales (guantes, martillos, clavos, chinchas, lijas y pinturas). En la Figura 2 se observan estudiantes en las distintas etapas del trabajo desarrollado.



Figura 2: a) Estudiantes construyendo las composteras; b) Estudiantes pintando las composteras; c) Conjunto de composteras elaboradas por los grupos de un curso.

Luego de la fabricación de las composteras, en la asignatura de Física se invitó a los y las estudiantes a plantearse preguntas de investigación vinculadas al compost que pudieran responderse con un diseño experimental promoviendo operaciones cognitivas vinculadas con la indagación (González y Crujeiras, 2016). Las preguntas del estudiantado se orientaron a identificar la variación de la temperatura con diversos tratamientos en cajones de compost. Si bien el trabajo se organizó manteniendo los grupos ya conformados, el diseño de la experiencia, las hipótesis que guiaron el trabajo, así como la ejecución de los procedimientos y la toma de datos se realizaron de manera colaborativa con todo el grupo de estudiantes participantes. Para ello, se expusieron las hipótesis de los diferentes grupos, se analizaron una por una con el grupo clase mediante la guía del profesor de Física y luego se seleccionaron dos hipótesis que orientaron las decisiones experimentales. Para cada una de las operaciones vinculadas con la indagación planteadas por González y Crujeiras (2016), en la Tabla 4, especificamos las respuestas consensuadas.

Operación	Descripción
Identificación del problema	Identificar la actividad metabólica del compost.
Reconocimiento de hipótesis	<ul style="list-style-type: none"> - La temperatura aumentará en las composteras que tengan materia orgánica. - La actividad de las lombrices provocará que disminuya la temperatura en la compostera.
Selección de materiales	<ul style="list-style-type: none"> -Materiales para la elaboración de la compostera. -Materiales para el relleno de las composteras: tierra, residuos de materia orgánica recolectados durante una semana en el hogar, lombrices californianas, agua. - Instrumentos de medición de temperatura. - Elementos para triturar manualmente (tabla, cuchillos, tijeras) y procesadora eléctrica.
Selección de cantidades	<ul style="list-style-type: none"> - Una bolsa de residuos orgánicos por compostera. -100 gramos de lombrices californianas.
Diseño del procedimiento	<p>Se rellenaron cuatro composteras de la siguiente manera:</p> <p>Compostera 1: Control – Rellenado solo con tierra.</p> <p>Compostera 2: Rellenado con tierra, materia orgánica triturada a mano y cubierta final con tierra.</p> <p>Compostera 3: Rellenado con tierra, materia orgánica procesada con licuadora y cubierta final con tierra.</p> <p>Compostera 4: Rellenado con tierra, materia orgánica procesada con licuadora, 100 gr de lombrices californianas y cubierta final con tierra.</p> <p>Al finalizar los rellenos y una vez colocados en el exterior, todos los cajones fueron humedecidos con un jarro de agua y tapados con un nylon.</p>
Obtención de datos	Registro de la temperatura de cada uno de los cajones durante 3 semanas, tomando cuatro registros por semana.
Interpretación de resultados	Organización de la información recolectada en Tablas. Cálculo de la temperatura media alcanzada por cada cajón.
Establecimiento de conclusiones	Elaboración de un informe de la experiencia detallando cómo los resultados apoyan o no a las hipótesis planteadas.

Tabla 4: Respuestas de referencia para cada una de las operaciones de indagación seleccionadas

Una vez alcanzados los acuerdos de organización y contando con las composteras construidas en Tecnología, se rellenaron cuatro composteras (Figura 3). Todas las composteras fueron regadas periódicamente y se colocaron en un pequeño patio cercado que tiene la institución.



Figura 3: a) Estudiantes triturando la materia orgánica recolectada; b) Estudiantes rellenando las composteras; c) Compostera rellena con materia orgánica triturada; d) Compostera rellena con materia orgánica procesada con licuadora; e) Composición y disposición de las composteras en el patio de la escuela.

La variable seleccionada a partir de la hipótesis propuesta fue la temperatura. Por lo tanto, en Física se desarrolló un trabajo referido a la utilización de dos instrumentos de medición de temperatura diferentes: termómetro digital y termómetro de mercurio. Se especificó el grado de error de cada instrumento, cómo realizar la lectura y el registro de los datos recogidos (Figura 4). Como contexto para esta experiencia se propuso analizar el fenómeno de calentamiento y ebullición del agua a partir de una fuente de calor, se realizaron tablas y se construyó un gráfico de la temperatura en función del tiempo.

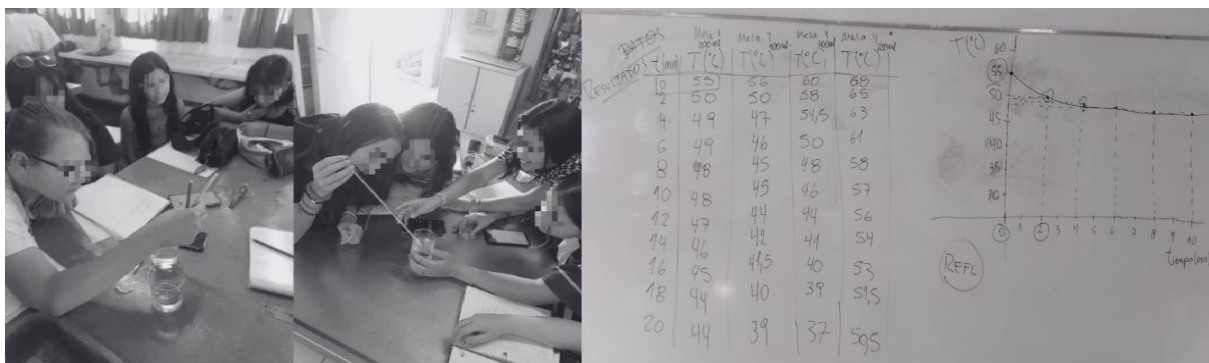


Figura 4: Estudiantes realizando mediciones de temperatura con termómetro de mercurio y fotografía del cuadro construido en el pizarrón de modo conjunto.

El seguimiento de la variación de las temperaturas en las composteras se realizó durante tres semanas. En las clases de Física, un grupo de estudiantes de modo rotativo visitaba las composteras y tomaba su temperatura con termómetros de mercurio y digitales, registraba los resultados y luego al volver al aula compartía estos datos con el grupo clase, logrando así registros de temperatura en dos días por semana (Figura 5).



Figura 5: Estudiantes registrando la temperatura de las composteras con termómetro digital y de mercurio.

Los datos recolectados fueron organizados en tablas, lo cual permitió calcular las temperaturas promedio y elaborar gráficos, estos resultados se obtuvieron llegando al cierre del ciclo lectivo, lo que impidió su reconstrucción y análisis desde el espacio curricular de Matemática. Sin embargo, aunque no fue posible llevar adelante este análisis en clases de Matemática, resulta importante destacar que a través de las actividades del proyecto se desarrollaron prácticas matemáticas en los otros espacios curriculares. De este modo, es posible identificar la matemática en acción al analizar la tasa de producción de basura en Biología y, en Física al calcular promedios y elaborar tablas y gráficos para organizar e interpretar los resultados.

Finalmente, cada grupo elaboró un informe escrito en el cual debían contrastar las hipótesis iniciales con los datos obtenidos y proponer una conclusión para el problema estudiado, tal como se ejemplifica en el siguiente extracto:

“Observando el cuadro trabajado en clases¹⁰ vemos que en las composteras cada vez la temperatura iba subiendo tanto como en el termómetro que tiene mercurio como en el termómetro digital. Observamos que el que tuvo temperatura más alta fue el de lombrices porque las lombrices al ingerir las verduras y frutas trituradas en pequeñas porciones, más liberaban energía de su propio cuerpo. Además, el compost aumenta su temperatura producto de la degradación de la materia orgánica” (Grupo de trabajo 5).

¹⁰ Se refieren a la tabla de síntesis de los datos recolectados realizada de modo conjunto en clase de Física.

Evaluación del diseño

La evaluación del diseño se realizó de modo retrospectivo considerando las dimensiones y criterios seleccionados de aquellos propuestos por Tena y Couso (2023) (Tabla 1). En cuanto a la *coherencia teórica*, los principios que guiaron el diseño se focalizaron en la construcción de una ciudadanía ambiental y en el desarrollo de prácticas STEAM, considerando específicamente a la indagación y a las prácticas de ingeniería.

Respecto de la promoción de la ciudadanía ambiental, la propuesta se orientó a identificar una problemática vinculada con las actividades humanas, pensar e intervenir con acciones concretas, como en este caso la disminución del volumen de residuos orgánicos de origen vegetal producidos a través del compostaje. De este modo, se generaron oportunidades para que el estudiantado pudiera percibirse con potencialidad para intervenir y contribuir en la solución al problema ambiental. A su vez, al llevar la iniciativa de realizar compost a sus hogares, se constituyeron también en agentes multiplicadores de acciones sustentables. Por lo tanto, el proyecto abrió posibilidades para proyectarse y construir una sociedad más sustentable (Monte y Reis, 2024).

El diseño abarcó seis de las ocho prácticas de ingeniería caracterizadas por Simarro y Couso (2022) (Tabla 3), con lo cual se destaca que la propuesta no se redujo a la aplicación de técnicas o al mero análisis teórico de situaciones, sino que por el contrario respondió a la naturaleza de los procesos de ingeniería al iniciar con el análisis y la delimitación de un problema, diseñar una solución tecnológica posible, materializarla, evaluarla y comunicarla. Las dos prácticas que no se incluyeron en la propuesta son “Desarrollar y utilizar prototipos y simulaciones” y “Utilizar las matemáticas, el pensamiento computacional, los modelos científicos y las tecnologías disponibles”. Con respecto a la primera, los resultados de esta experiencia exponen la necesidad de incorporar el trabajo con prototipos para anticipar algunas de las problemáticas que se observaron como la presencia de animales (sapos y ratas) en las composteras, la inundación de los cajones en días de lluvia intensa o el recalentamiento excesivo ante jornadas de altas temperaturas (más de 40 °C). En relación a la segunda práctica, encontramos que una posible manera de integrar estos componentes de la tecnología digital podría ser a través de la incorporación de sensores arduino que puedan programarse para la lectura de las variables que se buscaron medir manualmente en este proyecto. Para ello sería necesario integrar al espacio de informática correspondiente a la currícula de primer año de la escuela secundaria.

En cuanto a la práctica científica de la indagación, el diseño permitió trabajar las ocho operaciones identificadas por González y Crujeiras (2016) (Tabla 4). Sin embargo, las decisiones que llevaron tanto al planteo de las hipótesis, como al diseño de la experiencia y la recolección de la información se tomaron de modo conjunto con todo el grupo de estudiantes y el docente a cargo. Este diseño común permite la factibilidad del proyecto en la escuela ya que solo demanda el cuidado y seguimiento de cuatro cajones totales, pero impide que se puedan testear otras posibles ideas del estudiantado. Esta tensión resulta un aspecto a considerar para el próximo ciclo de implementación a fin de ofrecer mayores oportunidades para el desarrollo de las operaciones de indagación en función de las inquietudes de cada grupo de trabajo. A su vez, en algunos cuestionarios, se registraron opiniones del

estudiantado referidas a que les hubiera gustado registrar los datos de la experiencia de primera mano. La gestión del proceso de recolección de los datos siguió un criterio de organización rotativa en la cual un grupo de 2 estudiantes acompañados por una docente visitaban las composteras, para evitar trasladar a todo el curso. Sin embargo, esta dinámica impidió que todos pudieran visitar al menos una vez las composteras para la recolección de los datos. Este aspecto, también se constituye en una cuestión a superar para el siguiente ciclo de implementación.

Para la *coherencia interna* se analizó la correspondencia entre objetivos, materiales educativos diseñados y herramientas didácticas. En función de ello, se destaca que el proyecto se planteó de modo simultáneo en cuatro espacios curriculares, si bien esta manera de implementarlo permitió el trabajo intensivo en el proyecto durante un corto período de tiempo, también implicó que el trabajo planificado para el espacio de Matemática no pudiera llevarse adelante por la finalización del ciclo lectivo de modo coincidente con la recolección total de los datos. Por otra parte, algunas cuestiones vinculadas al diseño de la compostera como producto tecnológico hubieran requerido la consideración previa de cuestiones conceptuales del funcionamiento de una compostera. De este modo, se propone la aplicación del diseño de manera secuencial, primero abriendo el proyecto desde Biología, segundo continuando con el trabajo de Tecnología, tercero llevando adelante el planteo de las hipótesis y el diseño experimental en Física y, por último, el análisis de los datos recolectados en Matemática. Además, a partir de la reflexión desarrollada en conjunto con el grupo docente se sugirió la posibilidad de trabajar con una carátula específica en las carpetas de las y los estudiantes para organizar todo lo referido al proyecto más allá del espacio curricular en el cual se despliegan cada una de las actividades.

Respecto a la *utilidad*, el análisis de la *practicidad* destacó que el primer ciclo de implementación permitió evidenciar, por un lado, la viabilidad del proyecto interdisciplinario en la institución. Esto se logró considerando tanto las posibilidades existentes como la trayectoria del equipo docente en experiencias previas de colaboración. A su vez, el diseño didáctico se vinculó con temáticas de interés de la comunidad educativa al referirse a una problemática local con posibilidades de actuación colectiva e individual. En cuanto a los recursos y espacios disponibles, el diseño se adecuó a las limitaciones espaciales del patio de la escuela para la disposición de las composteras, lo cual llevó a tener que seleccionar 4 composteras de las 10 construidas por el estudiantado. Se invitó al grupo de estudiantes a llevar a sus hogares las seis composteras restantes para iniciar su propio compost familiar, pero no fueron retiradas de la escuela. Algunos estudiantes indicaron haberse sentido decepcionados/as ante la no utilización de su compostera. Por lo tanto, la cantidad de composteras a construir, así como su gestión se constituye en un desafío para el siguiente ciclo.

En relación a la *productividad* de este diseño, se considera que podría aplicarse en otros contextos siempre y cuando se fomente desde la gestión institucional el trabajo colaborativo entre docentes de diferentes espacios curriculares. Otra condición que se requiere es contar con un espacio en la institución para la ubicación de las composteras al aire libre y a su vez, en función de este espacio se podrían llevar adelante diferentes experiencias que permitan testear distintas hipótesis.

Para el análisis de la confiabilidad se consideró solo el *primer nivel de eficacia*, evaluando el grado en que la implementación siguió el diseño didáctico. Al respecto de esta cuestión, el proyecto fue tomando estructura en la práctica, se respetaron los acuerdos didácticos alcanzados entre el equipo docente y el grupo de investigación, con un margen de flexibilidad para que pudiera adecuarse a las necesidades de cada grupo. La dinámica institucional al cierre del año lectivo impidió extenderse en el tiempo, por lo tanto, para un próximo ciclo se propone iniciar con el proyecto luego del receso de invierno para garantizar el desarrollo de cada una de las fases del proyecto.

Conclusiones y perspectivas

En este trabajo nos propusimos exponer el diseño de un proyecto STEAM orientado a fomentar actitudes proambientales para la construcción de una ciudadanía ambiental. El diseño propuesto se destaca por favorecer un trabajo integrado entre cuatro espacios curriculares diferentes. Considerando el carácter disciplinar del currículum de la escuela secundaria, en el cual cada espacio curricular cuenta con contenidos diferentes y son desarrollados por docentes con trayectorias de formación y profesionales muy disímiles entre sí, la propuesta de trabajo se constituye en una innovación que expone aquellos intersticios del currículum que de ser aprovechados pueden generar oportunidades para colaborar e integrar estrategias y saberes en la resolución de situaciones de interés ciudadano y ambiental.

Por otra parte, la evaluación del diseño realizada permitió identificar diversas cuestiones que requieren modificación para mejorar la propuesta en el siguiente ciclo iterativo de implementación y evaluación. De este modo el proceso analítico desarrollado aporta a la propia revisión del diseño y se constituye en una retroalimentación que enriquece el proceso de validación buscado a partir del enfoque DBR que orienta nuestra investigación.

Referencias bibliográficas

- Adl, S. (2003). *The ecology of soil decomposition*. CABI Publishing. 10.1079/9780851996615.0000
- Autores, 2024.
- Antonini, S., Rodriguez, M.A. y Alasino, N.P.X. (2021). Potenciales mejoras en el sistema de gestión integral de residuos sólidos urbanos para la reducción del impacto ambiental, en Córdoba, Argentina. *Revista Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 8(2), 41-48
- González Rodríguez, L. y Crujeiras Pérez, B., (2016). Aprendizaje de las reacciones químicas a través de actividades de indagación en el laboratorio sobre cuestiones de la vida cotidiana. *Enseñanza de las Ciencias*, 34 (3), 143-160.
<https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/314149>
- Hadjichambis, A.C. y Reis, P. (2020). Introduction to the conceptualisation of environmental citizenship for twenty first century education. En A.C. Hadjichambis, P. Reis, D. Paraskeva-Hadjichambi, J. Činčera, J.B. Pauw, N. Gericke y M.C. Knippels. (Eds), *Conceptualizing Environmental Citizenship for 21st Century Education* (pp. 17-28). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-20249-1_1
- Jiménez-Liso, M. (2020). Aprender ciencia escolar implica aprender a buscar pruebas para construir conocimiento (indagación). En: D. Couso, M.R., Jiménez –Liso, C. Refojo y J.A. Sacristán (Coord.), *Enseñando ciencia con ciencia* (pp. 53-62). Fundación Lilly, FECyT y Penguin Random House Grupo Editorial.
- Jiménez-Liso, M.R., Martínez-Chico, M. y López-Gay Lucio-Villegas, R. (2023). Cómo enseñar a diseñar Secuencias de Actividades de Ciencias: Principios, elementos y herramientas de diseño. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 20(3), 380101-380123. doi: https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2023.v20.i3.3801
- Monte T. y Reis P. (2024) Aplicación y evaluación de un modelo didáctico de educación para la ciudadanía ambiental en Portugal por maestras de primaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 21(1), 1504. doi: 10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2024.v21.i1.1504
- Ortiz-Revilla, J., Greca, I.M. y Arriasecq, I. (2022). A theoretical framework for integrated STEM education. *Science Education*, 31, 383-404. doi: 10.1007/s11191-021-00242-x
- Osborne, J. (2014). Teaching scientific practices: meeting the challenge of change. *Journal of Science Teacher Education*, 25(2), 177–196. doi:10.1007/s10972-014-9384-1
- 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>

Plomp, T. (2013). Educational Design Research: an Introduction. En D. Plomp y N. Nieven (Eds.), *Educational Design Research: an Introduction* (pp. 9-35). SLO.

Radloff, J.D., Guzey, S., Eichinger, D. y Capobianco, B.M. (2019). Integrating engineering design in undergraduate biology using a life science design task. *Journal of College Science Teaching*, 49(2), 45-52.

Simarro Rodríguez, C. y Couso, D. (2022). Didáctica de la ingeniería: tres preguntas con visión de futuro. *Enseñanza de las Ciencias*, 40(3), 147-164.

<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3507>

Tena, È. y Couso, D. (2023). ¿Cómo sé que mi secuencia didáctica es de calidad? Propuesta de un marco de evaluación desde la perspectiva de Investigación Basada en Diseño. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 20(2), 8977.

<https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/8977>

UNESCO. (2017). Educación para los Objetivos del Desarrollo Sostenible: objetivos de aprendizaje.

UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247444>