

# OrgWASTE: La Ciencia Ciudadana como estrategia educativa para comprender la descomposición de la materia orgánica y promover prácticas sostenibles en la gestión de residuos

Pablo Homet<sup>1,\*</sup>, Daniel Zuazagoitia<sup>2</sup>, Lucía Alcántara Rubio<sup>3</sup>, Lourdes Morillas<sup>4</sup>, María Teresa Domínguez<sup>4</sup>, Marta Gil-Martínez<sup>4</sup>

(1) Departamento de Biología, IVAGRO, Universidad de Cádiz, Campus de Excelencia Internacional Agroalimentario, Cádiz, España.

(2) Departamento de Didáctica de las Matemáticas, Ciencias Experimentales y Sociales, Universidad del País Vasco, Vitoria-Gasteiz, España.

(3) Departamento de Teoría e Historia de la Educación y Pedagogía Social, Facultad de Ciencias de la Educación, Universidad de Sevilla, Sevilla, España.

(4) Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola, Facultad de Química, Universidad de Sevilla, España.

\* Autor para correspondencia / Corresponding author: Pablo Homet [[pablo.homet@gmail.com](mailto:pablo.homet@gmail.com)]

*Este artículo ha sido aceptado para su publicación en ECOSISTEMAS. Ha sido sometido a una completa revisión por pares, pero no ha pasado por el proceso de corrección de textos, adaptación de estilo, maquetación y corrección de pruebas, lo que puede dar lugar a diferencias entre esta versión y la versión definitiva. / This article has been accepted for publication in ECOSISTEMAS. It has undergone a thorough peer review process, but it has not yet been through the text editing, styling, layout, and proofreading process, which may result in differences between this version and the final version.*

**Cómo citar / How to cite:** Homet, P., Zuazagoitia, D., Alcántara Rubio, L., Morillas, L., Domínguez, M. T., & Gil Martínez, M. (en prensa). OrgWASTE: La Ciencia Ciudadana como estrategia educativa para comprender la descomposición de la materia orgánica y promover prácticas sostenibles en la gestión de residuos *Ecosistemas*, 3084. <https://doi.org/10.7818/ECOS.3084>

## OrgWASTE: La Ciencia Ciudadana como estrategia educativa para comprender la descomposición de la materia orgánica y promover prácticas sostenibles en la gestión de residuos

**Resumen:** El proyecto de Ciencia Ciudadana (CC) OrgWASTE se articula en torno a la implementación de una Secuencia de Enseñanza-Aprendizaje (SEA) de orientación socioconstructivista y fundamentada en la teoría del cambio conceptual, cuyo diseño partió del análisis de las concepciones del alumnado y consideró las limitaciones didácticas existentes sobre descomposición de los residuos urbanos en educación secundaria. Durante el curso 2024/2025, en seis institutos de la ciudad de Sevilla (España) se llevaron a cabo actividades secuenciales orientadas a mejorar la comprensión de los procesos de descomposición y los ciclos de nutrientes, y fomentar comportamientos sostenibles en la gestión de residuos orgánicos. La intervención integró contenidos científicos en experiencias prácticas de indagación, charlas especializadas y acciones de divulgación científica. La evaluación de esta SEA se basó en un diseño pre-post con cuestionarios diseñados ad hoc con 114 (pre-test) y 91 (post-test) respuestas de alumnado de 3º y 4º de educación secundaria obligatoria (ESO). Las respuestas se analizaron mediante un enfoque cualitativo (fenomenografía), para explorar el progreso en los modelos mentales del alumnado, y cuantitativo mediante análisis estadísticos. El análisis fenomenográfico ( $\kappa = 0.92$ ) reveló una mejora significativa en la comprensión de cuáles son los productos de la descomposición (compost, nutrientes, suelo). También se observó mayor predisposición y avances en la separación de residuos. Se concluye que las SEA basadas en CC, como la implementada en OrgWASTE en alumnado de ESO, constituyen herramientas eficaces para integrar contenidos científicos con acciones participativas, fomentando aprendizajes contextualizados y significativos, y mejorando el compromiso con la sostenibilidad.

**Palabras clave:** descomposición de residuos; divulgación científica; fenomenografía; residuos orgánicos; secuencia de enseñanza-aprendizaje

**OrgWASTE: Using citizen science to educate people about the decomposition of organic matter and promote sustainable waste management practices**

**Abstract:** The OrgWASTE Citizen Science (CS) project is predicated on the implementation of a Teaching-Learning Sequence (TLS) with a socio-constructivist orientation and based on conceptual change theory. The design of the TLS was informed by an analysis of students' conceptions and took into account the existing teaching limitations on urban waste decomposition in secondary education. During the 2024/2025 academic year, a series of activities were conducted in six secondary schools in the city of Seville (Spain) with the objective of enhancing comprehension of decomposition processes and nutrient cycles, while concurrently promoting sustainable practices in organic waste management. The intervention incorporated scientific content into practical inquiry experiences, specialised talks and scientific outreach activities. The evaluation of this SEA was based on a pre-post design with ad hoc questionnaires, with 114 responses recorded in the pre-test phase and 91 in the post-test phase, from students in the 3rd and 4th years of compulsory secondary education (ESO). The responses were analysed using a qualitative approach (phenomenography) to explore progress in the students' mental models and quantitatively using statistical analysis. Phenomenographic analysis ( $\kappa = 0.92$ ) revealed a significant improvement in understanding what the products of decomposition are (compost, nutrients, soil). Greater

willingness and progress in waste separation were also observed. It is concluded that CC-based SEA, such as that implemented in OrgWASTE in secondary school students, are effective tools for integrating scientific content with participatory actions, promoting contextualised and meaningful learning, and improving commitment to sustainability.

**Keywords:** organic waste; phenomenography; scientific dissemination; teaching-learning sequence; waste decomposition

## Introducción

El proceso de descomposición de la materia orgánica es imprescindible para el funcionamiento de los ecosistemas terrestres y para la vida en nuestro planeta (Gessner et al. 2010). Gracias a la descomposición se liberan nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, la fauna del suelo y las comunidades de microorganismos edáficos, que soportan a su vez la vida de otros organismos superiores (García-Palacios et al. 2017; Zhou et al. 2018). Además, el procesamiento de los detritos orgánicos por los organismos del suelo es fundamental para el secuestro de carbono, un proceso esencial en el contexto actual de cambio climático (Prentice et al. 2001). Los procesos de descomposición de materia orgánica y los ciclos de nutrientes, se están viendo afectados por actividades humanas como la agricultura y la ganadería intensiva, el consumo desmedido tanto de recursos naturales como de bienes materiales y la falta o el deficiente reciclado de los residuos orgánicos (Berg y McLaugherty 2003). Por tanto, es crucial, llevar a cabo acciones educativas que aumenten la concienciación sobre la importancia del proceso de descomposición, y de la necesidad de transformar nuestras acciones personales para mejorar la sostenibilidad de los ecosistemas terrestres.

Existe una comprensión limitada en la sociedad sobre los ciclos de nutrientes y la descomposición de la materia orgánica. La dificultad principal radica en la naturaleza abstracta del proceso, ya que ocurre a escala microscópica, de manera lenta y con cambios progresivos difíciles de observar. El entorno sociocultural y las experiencias educativas concretas, como el contacto con prácticas de compostaje o el aprendizaje en contextos naturales, influyen significativamente en el nivel de comprensión sobre los procesos de descomposición, mostrando una gran diferencia entre alumnado de zonas urbanas y rurales (Helldén 1999; Schizas et al. 2012). Además, se trata de fenómenos multiescalares y multidisciplinares que implican la interacción de procesos biológicos, químicos y físicos complejos (Schowalter 2016; Yadav et al. 2021). Los organismos implicados en la descomposición de la materia orgánica, como bacterias, hongos y fauna detritívora, son poco conocidos (Geisen et al. 2019), en parte por su tamaño, pero también por ciertas percepciones negativas que puedan generarse en el ámbito doméstico, lo que genera rechazo, inhibe la curiosidad y obstaculiza el aprendizaje (Wüst-Ackermann et al., 2018). A esto se suma la dificultad de reconocer la importancia ecológica del proceso y de entenderlo como parte de un ciclo continuo, donde los residuos no son un fin sino un elemento que se reintegra al sistema. Persiste también la idea errónea de que los nutrientes provienen únicamente de fertilizantes externos o que el suelo tiene reservas infinitas de estos (Wynn et al., 2017; Messig y Groß 2018), lo cual invisibiliza la necesidad de regeneración natural. Por todo esto, el joven alumnado suele presentar ideas fragmentarias y erróneas, atribuyendo la descomposición a factores visibles como insectos o condiciones ambientales, sin identificar el papel clave de los microorganismos (Çetin 2007; Ergazaki et al. 2009; Marchal-Gaillard et al. 2022, 2024). La descomposición de la materia orgánica es clave en la gestión sostenible de residuos, la fertilidad del suelo y la sostenibilidad urbana. En ciudades, la fracción biodegradable constituye una parte importante de los residuos municipales, y su tratamiento inadecuado genera contaminación ambiental. Prácticas como el compostaje y el vermicompostaje permiten valorizar estos residuos y apoyar modelos de economía circular (Mendes et al., 2022; Raza et al., 2024).

En el ámbito educativo, la descomposición es un contenido transversal que articula biología, química y ecología. El currículo de la asignatura Biología y Geología en la educación secundaria obligatoria (ESO) incluye el saber básico “E. Ecología y sostenibilidad” donde se enseñan conceptos relacionados con los componentes bióticos y abióticos de los ecosistemas y el concepto de biodiversidad (Ministerio de Educación, Formación Profesional y Deportes 2025). Sin embargo, la enseñanza sobre los ciclos de nutrientes y la descomposición suele ser poco contextualizada y práctica, reduciéndose a listados de definiciones sin ejemplos concretos ni experiencias prácticas significativas (Izquierdo-Ayala et al., 2018). Aun así, las investigaciones muestran dificultades persistentes para comprender los procesos de descomposición, así como concepciones alternativas que se mantienen a lo largo de la escolaridad (**Tabla 1**) (Byrne, 2007; Çetin, 2007). Entre estas dificultades destacan la idea de que la materia “desaparece”, la atención exclusiva a cambios visibles y la omisión del papel de microorganismos y descomponedores (Helldén, 1999; Ergazaki et al., 2009). Incluso con terminología más precisa, el conocimiento suele ser fragmentado y no se integra en flujos de materia y energía (Wennersten et al., 2023). Además, factores socioculturales —como prácticas domésticas de compostaje o proyectos de ciencia ciudadana (CC)— favorecen comprensiones más coherentes y una visión sistémica del proceso (Schizas et al., 2012; Marchal-Gaillard, 2024). En conjunto, los estudios evidencian barreras perceptivas, causales, sistémicas, temporales y lingüísticas que dificultan la comprensión de la descomposición como un proceso biogeoquímico fundamental. La ausencia de modelos visuales, actividades experimentales o vínculos con la vida cotidiana —como el compostaje de residuos orgánicos— limita la comprensión profunda del proceso. Por el contrario, experiencias prácticas en las que el alumnado asume responsabilidades, como alimentar lombrices, realizar el seguimiento de la descomposición o reutilizar sus propios residuos, favorecen una conexión emocional y ética con el entorno (Chawla 2015; Gutiérrez-Pérez et al., 2022). Esta relación es clave para que el alumnado comprenda la relevancia del proceso y perciba sus impactos positivos.

**Tabla 1.** Síntesis de investigaciones sobre las concepciones del alumnado respecto a la descomposición de la materia orgánica.**Table 1.** Summary of research on students' conceptions of the decomposition of organic matter.

Estudios (Edad; Método)	Principales concepciones alternativas identificadas
<b>Leach et al. (1996); Byrne (2007)</b> 5–16 años; entrevistas, dibujos, tareas escritas	• La materia “desaparece” sin transformación. • La descomposición ocurre “por sí sola” o como proceso misterioso. • Razonamiento teleológico (la materia “se descompone porque debe hacerlo”).
<b>Ergazaki et al. (2009); Marchal-Gaillard (2024)</b> 5–6 años; entrevistas semiestructuradas	• Focalización en cambios visibles (olor, color, textura). • Explicaciones centradas en factores abióticos (humedad, calor). • Escasa presencia de microorganismos como agentes del proceso. • Incapacidad para prever resultados a largo plazo.
<b>Çetin (2007); Wennersten et al. (2023)</b> 11–15 años; cuestionarios y dibujos	• Prioridad a factores abióticos como “causas” principales. • Confusión terminológica (“alimento”, “nutrientes”, “energía”). • Microorganismos vistos como secundarios o accesorios. • Dificultad para transferir conocimientos a nuevos contextos.
<b>Helldén (1999); Waldoch (1994)</b> 8–15 años; entrevistas longitudinales	• La materia “se convierte en suelo” como destino final. • Violaciones de conservación de la materia (preocupación por acumulación). • Desconocimiento del papel del CO <sub>2</sub> y el agua en el proceso. • Expectativas de cambios rápidos e instantáneos.
<b>Schizas et al. (2012)</b> 14–16 años; análisis de redes cognitivas	• Influencia contextual marcada: alumnado rural muestra modelos más integrados. • Conexión entre experiencias ambientales previas y coherencia conceptual. • Comprensión más fragmentada en contextos urbanos.

La CC, definida como la participación activa de la ciudadanía en la investigación científica, ha ganado popularidad tanto para expandir el conocimiento como para promover la alfabetización científica (Bonney et al. 2014; Eitzel et al. 2017). En los últimos años, ha crecido el interés por su aplicación educativa, con beneficios demostrados en la formación científica, ambiental y de sostenibilidad al alumnado (Roche et al. 2020; Peter et al. 2021; Lüsse et al. 2022). Los proyectos de CC educativa difieren de los dirigidos al público general, requiriendo planificación pedagógica cuidadosa con objetivos de aprendizaje específicos y rol activo del profesorado (Bonney et al. 2016; Nistor et al. 2019). Estos proyectos enfrentan desafíos importantes: discrepancias entre objetivos científicos y educativos, participación estudiantil limitada a tareas contributivas como recolección de datos, y restricciones por falta de preparación docente y recursos, especialmente en actividades al aire libre (Bonney et al. 2009; Jenkins et al. 2015). Aunque estos proyectos han reportado beneficios en conocimientos y habilidades estudiantiles (Phillips et al. 2018), la evaluación sistemática de sus impactos en educación ambiental y formación docente aún es limitada (Schaefer et al. 2021). A pesar de estos obstáculos, la CC ofrece potencial significativo para enriquecer la enseñanza de las ciencias mediante experiencias participativas y contextualizadas.

Con el propósito de proponer un enfoque innovador para la enseñanza de los ciclos de nutrientes en secundaria y fomentar prácticas sostenibles de gestión de residuos, se diseñó una secuencia de enseñanza-aprendizaje (SEA) en el marco del proyecto CC OrgWASTE (We Are Students Tackling Environmental WASTE). Esta planificación didáctica organiza actividades progresivas que incluyen exploración, introducción de conceptos, aplicación práctica y evaluación, para que el alumnado aprenda de manera estructurada (Puig y Bargalló, 2017). La propuesta se elaboró desde una perspectiva socioconstructivista, donde el conocimiento se construye activamente mediante la interacción, el diálogo y la valorización de experiencias previas (Furió y Furió, 2009). Además, se fundamenta en la teoría del cambio conceptual, que plantea la necesidad de confrontar las concepciones previas del alumnado —a menudo erróneas— para propiciar una reorganización profunda del pensamiento (Moreira y Greca, 2003), y en el aprendizaje situado, que destaca la importancia de contextos reales y la experiencia directa para favorecer el aprendizaje (Díaz Barriga Arceo, 2003). Las actividades del proyecto se contextualizaron en problemáticas locales relacionadas con los residuos orgánicos. Asimismo, el diseño partió de un diagnóstico de las concepciones alternativas del alumnado, utilizadas como punto de partida para estructurar actividades que promovieran el cuestionamiento y la elaboración de explicaciones más coherentes.

## Objetivos

Este trabajo persigue tres objetivos generales:

1. Describir el diseño, fundamentación pedagógica y secuenciación de la SEA desarrollada en el marco del proyecto de CC OrgWASTE, orientada a comprender la descomposición de la materia orgánica y promover prácticas sostenibles de gestión de residuos.
2. Analizar la progresión del alumnado en su comprensión del proceso de descomposición de la materia orgánica y, en particular, en la transición hacia visiones más circulares del ciclo de la materia a lo largo de la intervención didáctica.
3. Evaluar los posibles cambios actitudinales asociados a la gestión de los residuos orgánicos y al consumo responsable asociados a su participación en la secuencia didáctica.

## Metodología

### Origen y desarrollo del proyecto de Ciencia Ciudadana OrgWASTE

El diseño de la SEA “¿Cómo podemos reciclar la materia orgánica en nuestro centro educativo, mejorando así la gestión de residuos orgánicos?” está desarrollado en el ámbito del proyecto de CC “We Are Students Tackling Environmental WASTE (OrgWASTE)”. Esta SEA se relaciona con la CC ya que no solo potencia el aprendizaje del alumnado, sino que además cumple con los tres pilares fundamentales de la CC: participación voluntaria y colaborativa, generación de datos con rigor científico y conexión con una pregunta científica real (Bedessem & Ruphy, 2020). El proyecto OrgWASTE está enmarcado en un contexto europeo de CC dentro del Proyecto IMPETUS (lanzadera de iniciativas de CC), y está financiado por el programa de investigación e innovación Horizonte Europa de la Unión Europea ([Acuerdo 101058677](#)). La iniciativa fue desarrollada por el equipo investigador, proveniente de diversas universidades españolas (Universidad del País Vasco, Universidad de Cádiz y Universidad de Sevilla). Entidades públicas locales y regionales de la ciudad de Sevilla participaron como agentes implicados (Diputación de Sevilla, Ayuntamiento de Sevilla, LIPASAM, CSIC, IFAPA), así como organizaciones ecologistas (Ecologistas en Acción) y empresas privadas (AGR Biogás).

### Participantes

La SEA fue implementada por el alumnado y profesorado participante de seis Institutos de Educación Secundaria (IES) de la ciudad de Sevilla durante el período comprendido entre septiembre de 2024 y enero de 2025. Participaron un total de 140 alumnos y alumnas y de 8 profesores de la asignatura Biología y Geología de los cursos de 3º y 4º de ESO. De estos seis IES, dos contaban con huerto y tres con compostera de forma previa a la implementación de la SEA, aunque esto no implica que el alumnado participante hubiera tenido contacto con esos sistemas y por tanto experiencia previa. El nivel de implicación del profesorado fue desigual entre los centros; sin embargo, no contamos con medidas para evaluar esta implicación.

### Recogida de datos

Para evaluar el aprendizaje derivado de la secuencia didáctica y cuantificar la progresión de concepciones y los cambios actitudinales del alumnado participante, se diseñaron dos instrumentos. Por un lado, se elaboró un cuestionario que presentaba al alumnado una situación contextual sobre residuos orgánicos, solicitándoles que explicaran el proceso de descomposición a lo largo del tiempo (pregunta abierta) (**Anexo 1**). Este instrumento fue diseñado para identificar las ideas previas del alumnado sobre el proceso de descomposición (pre-test), y posteriormente poder analizar los posibles cambios en sus modelos mentales en respuesta a la SEA (post-test). Este cuestionario estuvo basado en cuestionarios realizados en otros estudios del campo de la educación ambiental sobre gestión de residuos (García-Fortes et al., 2024).

Por otro lado, se diseñó un cuestionario con preguntas cerradas y de opción múltiple, administrado también al inicio y al finalizar la secuencia. Su propósito fue analizar los cambios en las percepciones sobre qué son los residuos orgánicos, cómo se gestionan y de qué manera se relacionan con diferentes problemáticas socioambientales, así como cambios actitudinales (**Anexo 2**). Los cuestionarios se realizaron en el aula con una duración aproximada de una hora y la sesión fue supervisada por una experta en ciencias de la educación. Se recopilaron un total de 114 cuestionarios respondidos pre-test y 91 cuestionarios respondidos post-test del alumnado participante de los cursos de 3º y 4º de ESO (**Tabla A1**). Si bien esta diferencia entre el número de test pre y post podría sesgar los resultados, esta disminución en la participación se distribuyó de manera similar entre los distintos cursos y centros educativos, por lo que consideramos que la metodología empleada y el número muestral hace que nuestra comparación sea viable y los resultados de sus análisis robustos. Los cuestionarios se recogieron con identificación del alumnado, por lo que se pidió un consentimiento informado a los tutores, y fueron analizados de manera grupal. No se llevó a cabo un grupo control.

### Análisis de datos

#### Análisis fenomenográfico de las preguntas abiertas

Para evaluar la comprensión de los procesos de descomposición, el alumnado respondió a una pregunta abierta (**Anexo 1**) que se analizó mediante una metodología fenomenográfica. La fenomenografía es una metodología cualitativa que busca investigar, describir y caracterizar variaciones en las concepciones o vivencias del alumnado frente a un determinado fenómeno o concepto (Marton y Booth, 1997; Åkerlind, 2012; Guisasola et al., 2023).

La respuesta de cada estudiante fue considerada como una forma única de experimentar el fenómeno, contribuyendo a una inteligencia colectiva. Este enfoque ha sido utilizado en investigación educativa a través de varias materias (Guisasola et al. 2013; Corrochano et al. 2023). Tomando como punto de partida las diferentes conceptualizaciones que el alumnado tiene sobre la descomposición, y a través de un proceso cíclico de comparación, debate y reformulación hasta lograr consenso entre los investigadores, se desarrolla un sistema de categorías jerárquico de complejidad progresiva que organiza las distintas formas de percibir y comprender el concepto estudiado. Este estudio prospectivo recoge una de las dos dimensiones conceptuales que emergen del pensamiento del alumnado en referencia al concepto estudiado. El nivel de concordancia logrado entre dos investigadores respecto a la asignación de cada descripción del proceso de descomposición de un residuo orgánico a las categorías correspondientes se situó en el rango recomendado (coeficiente Kappa de Cohen,  $K = 0.92$ ). Las respuestas fueron clasificadas en categorías jerárquicas para reflejar diferentes percepciones del fenómeno (Marton 1981, 1989; Marton y Booth, 1997): visión circular (A1), visión lineal (A2), visión de ciencia popular (B1), visión ingenua (B2) y no sabe/no contesta (NS/NC) (**Tabla 2**).



**Tabla 2.** Categorías fenomenográficas y ejemplos representativos de respuestas del alumnado en el pretest y posttest (Dimensión 1: Reconocimiento de factores bióticos y abióticos en la descomposición).

**Table 2.** Phenomenographic categories and representative examples of student responses in the pre-test and post-test (Dimension 1: Recognition of biotic and abiotic factors in decomposition).

Categoría	Descripción	Ejemplo Pretest	Ejemplo Posttest
A1. Visión circular	Reconocimiento de la circularidad de la materia y su transformación en nutrientes aprovechables por otros organismos, sugiriendo una comprensión más elaborada del ciclo de la materia que, si bien aumentó, el cambio pudo deberse al azar.	<i>"En una compostera pondría lombrices y la peladura de manzana. Después de los siguientes meses esa peladura se habrá vuelto abono que los utilizaremos para plantar árboles o alimentarse"</i>	<i>"La manzana se irá descomponiendo debido a los microorganismos y las lombrices, las cuales lo descompondrán para convertirlo en abono, el cual son los excrementos de las lombrices. Este abono se usará para nutrir a las plantas, ya que tienen los nutrientes de la manzana"</i>
A2. Visión lineal	Reconocimiento de la transformación de la materia y no de su desaparición. Por contra, el alumnado no relaciona el resultado final del proceso con un uso por parte de otros organismos, limitando de esta manera la visión circular del ciclo de la materia	<i>"Los primeros días no presentaría ningún signo de descomposición, pasado una semana seguramente veremos un ligero cambio, cuando lleguemos al mes podremos comprobar que ya se descompuso y podremos apreciar el abono, la humedad podría favorecer y un buen horario de mantenimiento"</i>	<i>"Durante los siguientes meses la peladura de manzana empezará a descomponerse lentamente por bichos, micro/macroorganismos, lombrices, y cuando estos hayan sido capaces de comérselo todo más tarde lo echarán como excrementos, lo cual se integrará en la tierra formando el compost"</i>
B1. Visión de ciencia popular	Utilización de términos científicos que sin embargo se usan de forma superficial sin comprensión profunda de los procesos subyacentes. No hay conexión con los mecanismos biológicos reales.	<i>"Primero se va oxidando ya que está abierta y se va a descomponer más rápido. Durante el primer mes se va pudriendo poco a poco y al mes siguiente todavía más así que el tercer mes estará descompuesta"</i>	<i>"La peladura de manzana se irá descomponiendo al echarla en la compostera hasta que desaparece"</i>
B2. Visión ingenua	Incluye concepciones sobre la desaparición de la materia. La materia simplemente desaparece durante el proceso de descomposición	<i>"La peladura de manzana se irá descomponiendo al echarla en la compostera hasta que desaparece"</i>	<i>"Si añadimos una peladura de manzana a nuestra compostera, primero se secará por el aire y el tiempo y las lombrices se la irán comiendo hasta que no haya más"</i>
C. NS/NC	Respuestas vagas, incompletas o no clasificables. Breves, genéricas y parafraseando el enunciado	<i>"Que esto atraerá bichos y gusanos y se descompondrá"</i>	<i>"Se volverá abono y las lombrices se lo comerán"</i>

Para identificar cambios estadísticamente significativos ( $p < 0.05$ ) en la distribución porcentual de las concepciones (**Tabla 3**), se aplicó el test de Wilcoxon (Z) para la diferencia de dos proporciones independientes a las frecuencias absolutas en cada categoría entre los momentos previo y posterior a la intervención educativa. Esta elección se justifica por la naturaleza no pareada de las muestras ( $n_{Pre}=114$  y  $n_{Post}=91$ ) y por el interés en determinar la significación del cambio específico en la proporción de respuestas de cada categoría.

**Tabla 3.** Distribución porcentual de las concepciones sobre descomposición en el momento anterior (Pre,  $n = 114$ ) y posterior (Post,  $n = 91$ ) de la SEA.

**Table 3.** Percentage distribution of conceptions about decomposition before (Pre,  $n = 114$ ) and after (Post,  $n = 91$ ) the SEA.

Categorías	Pre (%) (n=114)	Post (%) (n=91)	Diferencia	Z	p (valor-p)	Significación
A1 - Visión circular	12.5	17.6	+5.1	1.02	0.307	No Sig.
A2 - Visión lineal	23.2	41.8	+18.6	2.86	0.004	$p < 0.01$
B1 - Visión ciencia popular	31.3	11.5	-19.8	3.41	0.0006	$p < 0.001$
B2 - Visión ingenua	5.4	5.5	+0.1	0.03	0.976	No Sig.
NS/NC	27.7	23.6	-4.1	0.67	0.503	No Sig.

### Análisis estadístico de las preguntas cerradas

Las preguntas cerradas evaluaron posibles cambios actitudinales en respuesta a la SEA sobre la gestión que el alumnado hace de los residuos orgánicos en su ámbito doméstico, así como la gestión de otros residuos urbanos y el consumo responsable. Para el análisis de las preguntas cerradas se utilizó el programa estadístico Rstudio (R Core Team 2024). El ítem 1 se analizó mediante un test U de Mann-Whitney mediante la función “wilcox.test”. Las preguntas del ítem 2 se analizaron mediante un test Chi-cuadrado mediante la función “chisq.test”. Aquellas preguntas para las que la frecuencia de algunas de las respuestas era baja se analizó mediante un test de Fisher “fisher.test”. Todas las funciones pertenecen al paquete “stats” (R Core Team 2024). Las preguntas del ítem 3 se evaluaron mediante modelos de regresión logística ordinal con función de enlace logit utilizando la función “clm” del paquete “ordinal” (Christensen 2023). En este caso las respuestas a las preguntas fueron recodificadas como variables ordinales con tres niveles ordenados: “Nunca”, “A veces” y “Siempre”. Fueron considerados como cambios significativos aquellos análisis cuya  $p < 0.05$ .

## Resultados

### **Descripción de la Secuencia de Enseñanza-Aprendizaje “¿Cómo podemos reciclar la materia orgánica en nuestro centro educativo, mejorando así la gestión de los residuos orgánicos?”**

La SEA “¿Cómo podemos reciclar la materia orgánica en nuestro centro educativo, mejorando así la gestión de los residuos orgánicos?” se estructura en tres fases:

#### Fase 1.- Fase de exploración/problematización

Se trata de una fase dedicada a explorar las ideas previas, así como de introducción de actividades que promuevan el interés del alumnado sobre la problemática de la gestión de los residuos.

##### *A1- Actividad de exploración de ideas previas del alumnado*

Desde el punto de vista pedagógico, esta actividad se diseñó para favorecer que el alumnado reflexionara y tomara conciencia de sus propias ideas iniciales sobre la descomposición de la materia orgánica, activando procesos metacognitivos característicos de la fase de exploración. De forma complementaria, las respuestas generadas fueron posteriormente analizadas por el equipo investigador mediante fenomenografía, con el fin de caracterizar las concepciones presentes en la muestra y examinar patrones generales en la atribución causal durante los procesos de descomposición. La actividad consiste en la administración de ambos cuestionarios (preguntas abiertas y cerradas), con el objetivo de que el alumnado explicita individualmente sus concepciones iniciales sobre los residuos orgánicos, su gestión y el proceso de descomposición. Al responder el cuestionario, el alumnado tuvo la oportunidad de reflexionar y externalizar sus propios modelos explicativos respecto a la descomposición de la materia orgánica, activando procesos metacognitivos característicos de esta fase de exploración. Las respuestas generadas fueron posteriormente analizadas mediante fenomenografía para caracterizar las percepciones, concepciones alternativas y modelos mentales presentes en la muestra, prestando especial atención a cómo el alumnado atribuía causalidad a distintos agentes y factores implicados en el proceso de descomposición (**Anexo 3A**).

#### Fase 2.- Fase de introducción/estructuración

Se constituye una fase de introducción, estructuración y construcción de nuevos conocimientos a partir del aprendizaje situado y experiencial.

##### *A2- Actividades para promover el interés del alumnado*

Esta actividad se inició con la pregunta motivadora: “¿Cómo podemos reciclar la materia orgánica en nuestro centro educativo, mejorando así la gestión de los residuos orgánicos?”. Esta pregunta se convirtió en el hilo conductor que dio paso al desarrollo de la secuencia didáctica. Así, se procuró un contexto auténtico y motivador para el aprendizaje de conceptos clave relacionados con los ciclos biogeoquímicos y la sostenibilidad ambiental, cumpliendo así una de las funciones esenciales de la fase inicial de una secuencia de aprendizaje: activar el interés y la implicación del alumnado (Giné y Parcerissa, 2003).

Para abordar la pregunta central y motivar al alumnado, se llevaron a cabo cuatro actividades de carácter diverso que ofrecieron formación especializada sobre compostaje y residuos urbanos, destacando la problemática ambiental de su gestión incorrecta. Estas actividades no se limitaron a la transmisión de información, sino que incorporaron observación directa, análisis crítico y diálogo con agentes externos, favoreciendo así que los estudiantes valoraran la suficiencia de sus concepciones iniciales y generaran nuevas preguntas que orientaron la indagación posterior. El primer encuentro formativo consistió en una visita del alumnado al “Centro de Ecología Social Germinal” sede de la ONG “Ecologistas en Acción”. Allí, voluntarios de esta ONG mostraron las instalaciones al alumnado (los huertos urbanos, jardines, granja y los gallineros), permitiendo al estudiantado observar y entender de manera práctica el proceso de compostaje y cómo desarrollan la economía circular, aprovechar al máximo los recursos, minimizando los residuos y maximizando la reutilización. Durante este encuentro y como segunda actividad el alumnado participó en una charla formativa impartida por expertos de “Ecologistas en Acción” sobre la correcta gestión de residuos y el impacto medioambiental que conlleva una mala gestión. La tercera actividad formativa la llevó a cabo personal de la empresa privada “AGR Biogás” en las aulas, donde se abordó la reutilización de residuos orgánicos para su transformación en energía (biogás). La cuarta actividad formativa fue dirigida por responsables de la empresa municipal de Limpieza Pública del Ayuntamiento de Sevilla (LIPASAM), quienes llevaron a cabo actividades dinámicas sobre la recogida selectiva de residuos, su

gestión e infraestructura actuales y los retos que enfrenta la ciudad de Sevilla en este ámbito (**Anexo 3B**). Esta cuarta actividad se realizó en las instalaciones de la Universidad de Sevilla.

En conjunto, estas actividades iniciales situaron al alumnado en escenarios reales donde la gestión de residuos tiene un impacto directo en la comunidad, introduciendo de forma explícita un enfoque coherente con los principios de la ciencia ciudadana. Lejos de limitarse a la adquisición de información, esta fase permitió al estudiantado contextualizar el problema de investigación, contrastar distintas prácticas y actores implicados y generar preguntas relevantes que orientaron las fases posteriores del proyecto. Desde esta fase, el estudiantado pudo aproximarse a comprender su papel activo dentro de un proceso de indagación colaborativa y socialmente relevante, en el que participó posteriormente en la toma de decisiones y en la generación de conocimiento científico en torno a la gestión de los residuos orgánicos.

#### *A3 – Construcción de los sistemas de reciclaje de residuos orgánicos*

Esta actividad práctica se centró en la construcción por parte del alumnado de su propio sistema de reciclaje de residuos: vermicompostera, terrario y/o gallinero (**Anexo 3C**). Tras recibir las explicaciones teóricas y prácticas iniciales sobre el funcionamiento y la viabilidad de cada alternativa, fue el alumnado de cada centro junto con el profesorado responsable, quienes tomaron la decisión sobre el sistema(s) de reciclado que instalaron en su centro, en función de sus intereses y los recursos y espacios con los que contaba cada centro. Estas explicaciones no tuvieron un carácter directivo, sino que proporcionaron la información necesaria para que el alumnado pudiera comparar opciones, debatir sus ventajas e inconvenientes y justificar colectivamente la elección realizada.

Una vez seleccionado el sistema, el equipo investigador de OrgWASTE colaboró en la instalación de los sistemas, acompañando al alumnado en el proceso y ofreciendo el apoyo técnico y demostraciones prácticas necesarias, además de proporcionar todo el material requerido, pero las decisiones fundamentales fueron adoptadas por el alumnado, reforzando así su rol activo en el proyecto. A continuación, se detalla brevemente el material para cada sistema de reciclaje:

**Vermicompostera:** de alta capacidad realizada con un prototipo de la empresa Multihuerto donde se añadieron la fibra de coco y las lombrices.

**Terrario:** terrario de cristal de 120 litros, suelo natural (proveniente de suelos forestales o agrícolas), y hojarasca forestal.

**Gallinero:** caseta-gallinero, valla exterior, 6 gallinas, comedero, bebedero y paja.

#### *A4 – Mantenimiento de sistemas de reciclaje y extracción de muestras para análisis*

Durante los tres meses siguientes, el alumnado asumió la responsabilidad del mantenimiento de los sistemas, bajo la supervisión del profesorado (**Anexo 3D**). El alumnado se encargó de recolectar los residuos orgánicos domésticos y llevarlos al centro. Para el seguimiento, se les proporcionó una sonda multiparamétrica, que les permitió monitorear periódicamente los sistemas, recopilando datos reales. Los datos recogidos incluyeron valores de pH, humedad, luminosidad, temperatura, peso de los residuos orgánicos, peso de las gallinas y altura de la hojarasca, y fueron registrados en estadillos específicos.

Expertos del equipo OrgWASTE capacitaron al alumnado en la recolección de muestras en cada sistema. Tras esta formación, el alumnado preparó las muestras de los sustratos de cada sistema de reciclaje (terrario, compostera o suelo de los gallineros) para la extracción de micro, meso y macrofauna, así como de materia orgánica (**Anexo 3D**). Posteriormente, las muestras para análisis de materia orgánica fueron analizadas por personal experto en el laboratorio de la Universidad de Sevilla. En el aula, este proceso fue documentado en vídeo y lo visualizó el alumnado y se les proporcionó los cálculos de materia orgánica de sus respectivos sistemas. En el aula, una vez listos los extractos de fauna, el alumnado identificó y registró la abundancia y diversidad de la fauna extraída (**Anexo 3D**). Para facilitar el proceso de identificación de la fauna del suelo, se elaboró un folleto guía de identificación taxonómica (**Anexo 4**). Esta fase de seguimiento ofreció oportunidades recurrentes para que el alumnado comparara sus predicciones con los datos obtenidos, revisara sus interpretaciones iniciales y estableciera relaciones causales entre las variables monitorizadas, promoviendo así la estructuración conceptual. Con el fin de favorecer la estructuración de ideas en esta segunda fase, el profesorado integró de manera transversal preguntas productivas (Martens, 1999) y metacognitivas orientadas a que el alumnado analizara sus propias concepciones y estableciera relaciones entre los fenómenos observados. Estas preguntas se incorporaron durante la construcción y el mantenimiento de los sistemas, así como en la interpretación de los datos experimentales, promoviendo procesos de contraste, justificación y reorganización conceptual. De forma complementaria, los comentarios proporcionados por el profesorado permitieron guiar la evolución de las ideas del alumnado, actuando como un andamiaje que apoyó la consolidación de los aprendizajes relacionados con la descomposición y el reciclaje de la materia orgánica.

#### *Fase 3.- Fase de aplicación/síntesis*

Se trata de una fase de aplicación, donde el estudiantado sistematiza y comparte sus aprendizajes.

#### *A5 – Elaboración del informe final y creación de materiales divulgativos*

Al finalizar el periodo experimental, el alumnado realizó un informe final que recogía los datos recopilados a lo largo del proyecto. Estos incluían el pH, la temperatura y la humedad de los terrarios y las composteras, el peso de los desechos reciclados, el peso de las gallinas, el número de huevos producido y la altura de la hojarasca y del suelo. El informe también incorporó fotos y videos que documentaron la evolución de los sistemas. En este informe se presentaron los resultados obtenidos, destacando

la conversión de la cantidad de residuos reciclados en productos útiles (como el peso ganado por las gallinas, el número de huevos obtenidos, o la cantidad de materia orgánica reciclada en humus de lombriz y disponible para fertilizar) (**Anexo 3E**). Además, con el objetivo de diseminar los resultados del proyecto, los alumnos diseñaron y produjeron diversos materiales divulgativos (**Anexo 3E**). Para ello, contaron con la colaboración de una diseñadora gráfica que visitó cada instituto para enseñar a los alumnos a desarrollar un logotipo para cada sistema y crear diferentes materiales educativos: folleto, podcast, cómic, taller de reciclaje, vídeo y póster. La elaboración del informe final supuso un ejercicio de síntesis que obligó al alumnado a integrar sus observaciones, los datos experimentales y los conceptos trabajados, facilitando la estructuración y consolidación de sus ideas.

#### *A6 – Conferencia final*

Por último, a la finalización del proyecto, se realizó una conferencia final donde cada IES presentó su trabajo. Las presentaciones incluyeron el diseño experimental, los resultados científicos (con figuras y gráficos de los datos recopilados), el material de divulgación desarrollado y numerosas imágenes y vídeos del proceso realizado durante los 3 meses (**Anexo 3F**). El alumnado de los institutos participantes interactuó activamente con los agentes implicados y los responsables políticos, quienes aportaron sus conocimientos. Esta conferencia final permitió compartir los resultados de sus experimentos con otros alumnos, profesores y partes interesadas, a través de sus habilidades oratorias.

### **Análisis Fenomenográfico de las Concepciones sobre Descomposición de la Materia Orgánica**

Se detectaron cambios estadísticamente significativos en la distribución de las concepciones del alumnado entre el momento pre y post de la intervención, evidenciándose una progresión notable en la comprensión de los procesos de descomposición y conservación de la materia (**Tabla 3**).

#### *Evolución de las Concepciones Científicamente Apropiadadas*

Los resultados revelan una mejora sustancial en las concepciones más científicamente fundamentadas. Como se observa en la **Tabla 2**, las respuestas del postest ilustran una transición desde enumeraciones fragmentadas hacia explicaciones más integradas del proceso de descomposición.

La Visión Circular (A1) experimentó un incremento modesto, pasando del 12.5 % al 17.6 % de las respuestas (un aumento de 5.1 puntos porcentuales). Sin embargo, esta diferencia no resultó estadísticamente significativa ( $Z=1.02$ ,  $p=0.307$ ). Esta categoría incluye respuestas que reconocen la circularidad de la materia y su transformación en nutrientes aprovechables por otros organismos, sugiriendo una comprensión más elaborada del ciclo de la materia que, si bien aumentó, el cambio pudo deberse al azar.

La Visión Lineal (A2) mostró el incremento más pronunciado, aumentando del 23.2 % al 41.8 % de las respuestas, lo que representa una mejora de 18,6 puntos porcentuales. Este resultado es altamente significativo ( $Z=2.86$ ,  $p<0.01$ ). Este aumento sugiere que el alumnado desarrolló una comprensión más sólida del principio de conservación de la materia durante los procesos de biodegradación, reconociendo que la materia se transforma, pero no desaparece. Sin embargo, el alumnado no relaciona el resultado final del proceso con un uso por parte de otros organismos, limitando de esta manera la visión circular del ciclo de la materia:

#### *Disminución de las Concepciones Alternativas*

Las concepciones menos científicas experimentaron una reducción significativa tras la intervención.

La Visión de Ciencia Popular (B1) mostró la disminución más marcada, pasando del 31.3 % al 11.5 % de las respuestas, una reducción de 19.8 puntos porcentuales. Esta reducción es altamente significativa ( $Z=3.41$ ,  $p<0.001$ ). Esta categoría agrupa respuestas que utilizan términos científicos de manera superficial sin comprensión profunda de los procesos subyacentes, recurriendo frecuentemente a explicaciones basadas en "oxidación" o "putrefacción" sin conexión con los mecanismos biológicos reales.

La Visión Ingenua (B2), que incluye concepciones sobre la desaparición de la materia, se mantuvo estable en niveles bajos (5.4 % vs. 5.5 %). Esta diferencia no fue significativa ( $Z=0.03$ ,  $p=0.976$ ), sugiriendo que estas ideas alternativas, aunque minoritarias, presentan cierta resistencia al cambio conceptual. El alumnado en esta categoría mantiene la idea de que la materia orgánica simplemente "desaparece" durante el proceso de descomposición:

#### *Persistencia de Dificultades Expresivas*

Un hallazgo relevante es la estabilidad en el porcentaje de respuestas No Sabe / No Contesta (NS/NC), que se mantuvo en niveles considerables tanto en el momento pre (27.7 %) como post (23.6 %). Esta diferencia de -4.1 puntos porcentuales no resultó estadísticamente significativa ( $Z=0.67$ ,  $p=0.503$ ). Esta persistencia indica que, a pesar de la intervención didáctica, aproximadamente un cuarto del alumnado continúa enfrentando barreras significativas para elaborar respuestas reflexivas sobre los procesos de descomposición. Las respuestas en esta categoría se caracterizan por ser extremadamente breves, genéricas o limitarse a parafrasear el enunciado.

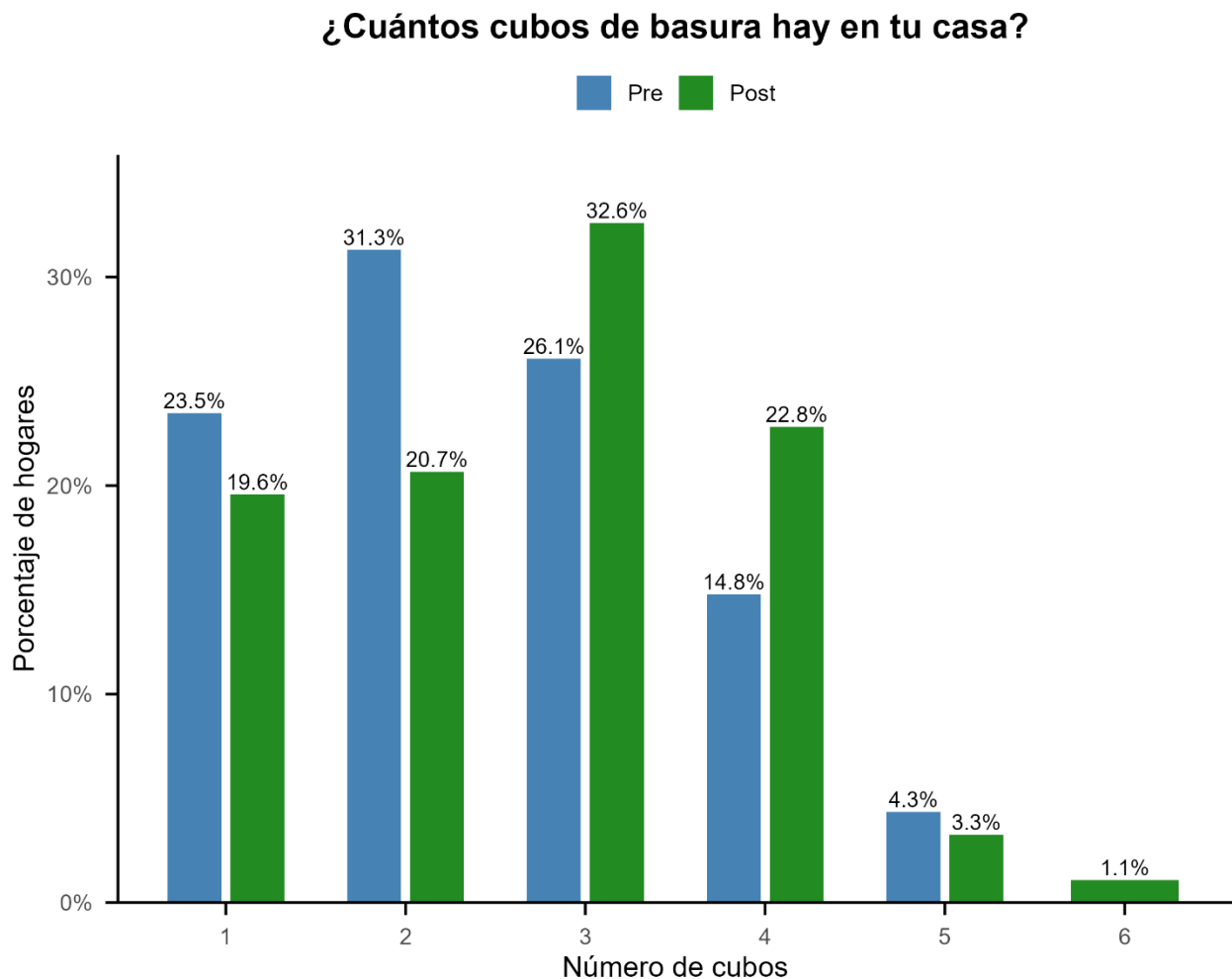
Esta dificultad puede atribuirse a múltiples factores: la complejidad conceptual inherente a la comprensión de transformaciones químicas no visibles, limitaciones en el desarrollo del lenguaje científico específico, o la resistencia de



concepciones alternativas profundamente arraigadas. El alumnado en esta categoría parece preferir respuestas genéricas o parafraseo del enunciado antes que elaborar explicaciones propias que puedan contradecir sus concepciones previas.

### Análisis de las preguntas cerradas: percepciones y actitudes sobre residuos orgánicos y su gestión

El ítem 1 de las preguntas cerradas presenta al alumnado la cuestión “¿Cuántos cubos de basura hay en tu casa?”. El análisis de las respuestas del alumnado reveló que el número de cubos de basura en el hogar tendió a aumentar entre los cuestionarios pre y post (**Fig. 1**). Tras la intervención educativa, se puede apreciar que hay una redistribución de las respuestas hacia tres o cuatro cubos, lo que indica un cambio positivo en la separación y clasificación de residuos. No se observaron cambios significativos en la cantidad de cubos de basura por hogar entre el periodo pre y post ( $W=4558$ ,  $p = 0.078$ ,  $r = -0.12$ ), aunque nuestros resultados en este ítem muestran cierta tendencia positiva, como el aumento en tres y cuatro cubos y la disminución en uno y dos cubos.

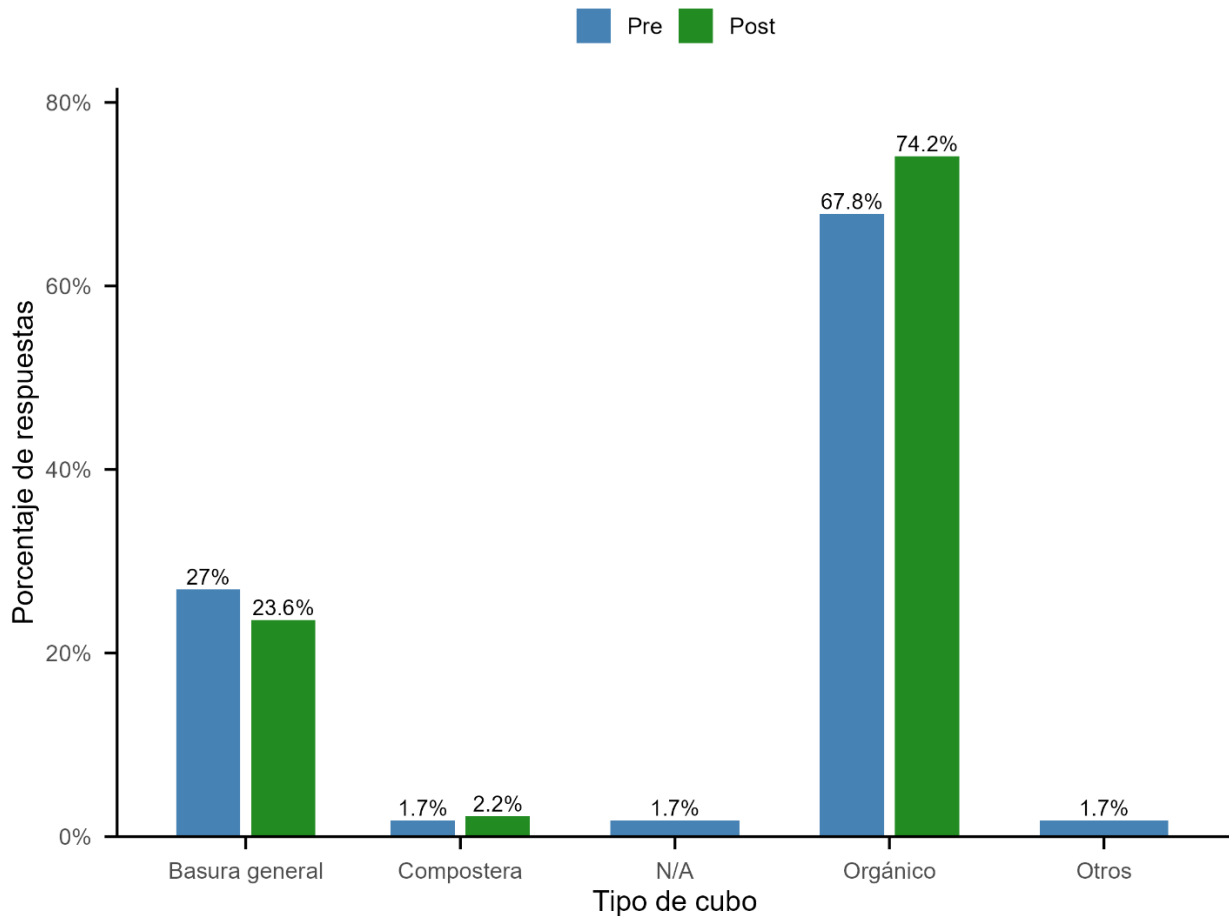


**Figura 1.** Porcentaje de hogares que tienen de 1 a 6 cubos para gestionar los residuos domésticos. Se muestran las respuestas del cuestionario anterior en azul (pre)  $n = 114$  y posterior en verde (post)  $n=91$  a la intervención educativa.

**Figure 1.** Percentage of households with 1 to 6 bins for managing household waste. Responses to the questionnaire before the educational intervention are shown in blue (pre)  $n = 114$  and after the intervention in green (post)  $n=91$ .

El ítem 2 plantea una cuestión en referencia a la gestión de un residuo orgánico doméstico: “¿A qué cubo echarías las peladuras de las frutas y las verduras?”. La opción del cubo de “Orgánico” fue la más seleccionada tanto en el cuestionario pre como en el post, con un leve aumento tras la intervención (de 69 % a 72 %, **Fig. 2**), lo que indica una ligera mejora en la identificación correcta del destino de este tipo de residuos. En contraste, las respuestas que seleccionaron el uso del cubo de “Basura General” disminuyeron ligeramente (del 27 % a un 23 %), lo que sugiere una reducción en el error de clasificación. Las demás categorías —como “Compostera” y “Otros (cubo verde/cubo de reciclaje)”— se mantuvieron prácticamente sin variaciones y con porcentajes mínimos. En el periodo post-test aparece una nueva categoría (“N/A”), con un valor bajo indicando alumnado que no respondió o que no supo la respuesta. A pesar de esta tendencia hacia una mejor clasificación de los desechos orgánicos, no encontramos diferencias estadísticamente significativas entre las distribuciones de respuestas iniciales y finales ( $p = 0.58$ ,  $V = 0.13$ ), por lo que no podemos afirmar con certeza que la intervención haya tenido un efecto medible en el cambio de comportamiento respecto a la clasificación de residuos orgánicos.

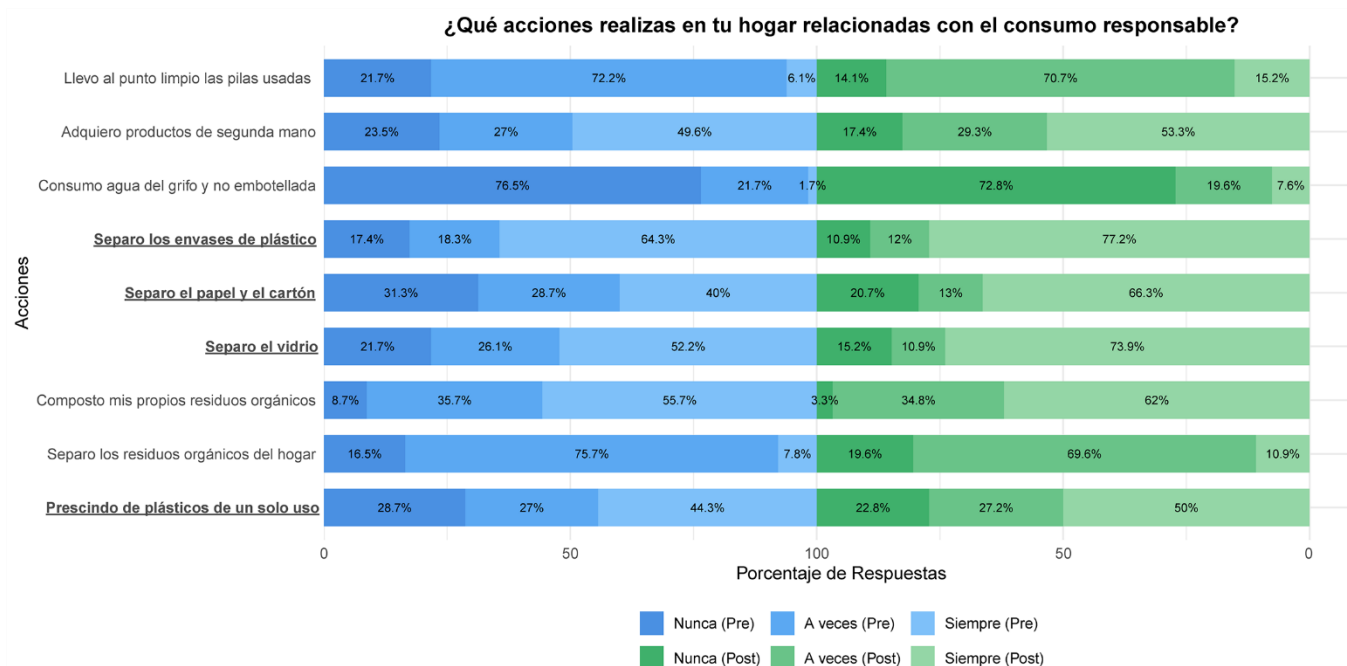
## ¿A qué cubo echarías las peladuras de las frutas y verduras?



**Figura 2.** Porcentaje de hogares que desechan las peladuras de frutas y verduras a los diferentes tipos de cubos. Se muestran las respuestas del cuestionario anterior en azul (pre)  $n=114$  y posterior en verde (post)  $n=91$  a la intervención educativa.

**Figure 2.** Percentage of households that dispose of fruit and vegetable peelings in different types of bins. Responses to the questionnaire before the educational intervention are shown in blue (pre)  $n=114$  and after the intervention in green (post)  $n=91$ .

El ítem 3 explora la frecuencia con la que el alumnado realiza una serie de acciones relacionadas con la adecuada gestión de los residuos y el consumo sostenible. Nuestros resultados muestran cambios en el comportamiento de los hogares del alumnado respecto a diversas prácticas de gestión de residuos tras la intervención educativa (**Fig. 3**). Se observó una tendencia general creciente para la mayoría de las acciones que promueven una adecuada gestión de los residuos orgánicos urbanos y de consumo responsable. En general, se observa una notable disminución en la frecuencia de "Nunca" y un aumento en las respuestas "Siempre" o "A veces" para la mayoría de estas acciones. Se encontró una mejora significativa entre los cuestionarios pre y post en lo relativo a evitar los plásticos de un solo uso ( $z = 2.221$ ,  $p = 0.026$ ), separar el vidrio ( $z = 1.947$ ,  $p = 0.0483$ ), separar papel y cartón ( $z = 3.315$ ,  $p < 0.001$ ), y separar envases de plástico ( $z = 2.867$ ,  $p = 0.004$ ), así como sin cambios significativos en la separación de los residuos orgánicos del hogar ( $z = 0.798$ ,  $p = 0.425$ ). Sin embargo, en la adquisición de productos de segunda mano y el compostaje de residuos orgánicos, la frecuencia de "Siempre" parece disminuir o mantenerse baja en el periodo final, indicando áreas donde la implementación de estas acciones es menos consistente o aún requieren mayor impulso.



**Figura 3.** Frecuencia de acciones relacionadas con la gestión de los residuos orgánicos urbanos y de consumo responsable. Se muestran las respuestas del cuestionario anterior en azul (pre)  $n=114$ , y posterior en verde (post)  $n=91$  a la intervención educativa. Las acciones que mostraron cambios significativos por parte del alumnado entre los test pre y post se muestran en negrita y subrayado.

**Figure 3.** Frequency of actions related to urban organic waste management and responsible consumption. Responses to the pre-intervention questionnaire are shown in blue (pre)  $n=114$ , and responses to the post-intervention questionnaire are shown in green (post)  $n=91$ . Actions that showed significant changes among students between the pre- and post-tests are shown in bold and underlined.

## Discusión

La SEA implementada durante el proyecto de CC OrgWASTE buscó mejorar la comprensión del alumnado de 3º y 4º de ESO sobre la descomposición de la materia orgánica y los ciclos de nutrientes, así como fomentar prácticas sostenibles de gestión de residuos. La evaluación de la evolución del conocimiento y actitudes del alumnado, utilizando cuestionarios con preguntas abiertas y cerradas analizadas por fenomenografía y estadística, reveló mejoras significativas en la comprensión conceptual de los procesos de descomposición, aunque persistieron algunas dificultades expresivas en el alumnado y los cambios actitudinales en la gestión de residuos fueron menos pronunciados.

En cuanto al objetivo de promover un progreso en las concepciones del alumnado sobre la descomposición y cambios actitudinales en el reciclaje de residuos orgánicos, el análisis fenomenográfico reveló una mejora significativa en la comprensión de los procesos de descomposición. Específicamente, se observó un incremento altamente significativo en la Visión Lineal (A2) y una disminución igualmente significativa de la Visión de Ciencia Popular (B1) (**Tabla 2**). Estos resultados muestran que la SEA ha contribuido a fomentar una mayor comprensión holística del proceso de descomposición de la materia orgánica, trasladando al alumnado de concepciones alternativas basadas en lenguaje superficial (B1) hacia marcos más sólidos de conservación de la materia (A2). La persistencia de ideas antropocéntricas donde la acción humana es el punto final (como el compostaje para la agricultura), en lugar del ciclo natural, es una de las principales dificultades para la enseñanza de procesos de transferencia de materia y energía (Wennersten et al. 2023). Esto se reflejó en nuestros resultados cuantitativos, donde la Visión Circular (A1), aunque aumentó, no alcanzó significación estadística, sugiriendo que la comprensión del ciclo de materia completo sigue siendo un reto difícil de abordar en una intervención corta. A pesar de las dificultades inherentes a la enseñanza de ciertos conocimientos que pueden resultar abstractos para el alumnado, los resultados obtenidos en la evaluación del aprendizaje a través de la SEA demuestran un progreso significativo. Las ideas que inicialmente resultaban abstractas para los estudiantes han evolucionado hacia comprensiones más concretas, permitiéndoles explicar de manera adecuada los procesos de descomposición. Los avances observados representan progresos en un proceso de cambio conceptual a largo plazo más que transformaciones definitivas. Las comprensiones inicialmente abstractas evolucionaron hacia marcos explicativos más concretos, pero la durabilidad de estos cambios podría depender de su refuerzo continuo y transferibilidad a contextos diversos. Algunos estudiantes desarrollaron probablemente marcos híbridos donde coexisten elementos de diferentes concepciones, requiriendo evaluación longitudinal para determinar la estabilidad del cambio conceptual.

Entender procesos ecosistémicos como la descomposición de la materia orgánica suele suponer un reto para los estudiantes, debido al número de procesos biológicos implicados y a la forma en que estos procesos suelen estar interconectados (Jordan et al. 2014; Wennestern et al. 2020). Este reto puede ser especialmente difícil cuando componentes no visibles como los microorganismos del suelo están implicados (Çetin 2007; Wanselin et al. 2023). El alumnado de ESO puede mostrar una gran dificultad para comprender la transformación de materia orgánica en inorgánica, lo que sugiere una falta de comprensión de los

procesos bioquímicos (como la respiración) a través de los cuales ocurre esta transformación (Schizas et al. 2012). Además, el contexto social y geográfico de los estudiantes, así como los hábitos de reciclaje de residuos que se desarrollan en el seno de sus familias, son factores que influyen ampliamente en su grado de comprensión sobre los procesos de transformación de la materia orgánica (Schizas et al. 2012; Marchar-Gaillard et al. 2022). En ese sentido, esta SEA se ha desarrollado en un ámbito urbano, donde los alumnos pueden mostrar un menor grado de conocimientos previos sobre los procesos relacionados con el suelo en comparación con alumnos de zonas rurales (Schizas et al. 2012). Acercar estos sistemas de gestión de la materia orgánica al ámbito urbano ofrece por lo tanto grandes oportunidades de aprendizaje para el alumnado de este entorno. La recopilación de mayor número de datos sobre el contexto social del alumnado y sus experiencias con el mundo rural hubiera permitido afinar en el análisis sobre qué situaciones favorecen una mayor comprensión de los procesos de descomposición de la materia orgánica, y una mayor progresión tras la aplicación de intervenciones educativas similares.

Este análisis fenomenográfico también mostró una alta persistencia de dificultades expresivas: aproximadamente un cuarto del alumnado (27.7 % pre, 23.6 % post) continuó mostrando barreras significativas para elaborar respuestas reflexivas. El descenso de 4.1 puntos porcentuales no resultó estadísticamente significativo, lo cual subraya la necesidad de estrategias didácticas complementarias que aborden específicamente las barreras conceptuales y lingüísticas que impiden a estos estudiantes articular sus ideas sobre la conservación de la materia durante los procesos de biodegradación. Por ejemplo, la creación de textos multimodales (que combinan escritura, dibujos y símbolos) y posterior discusión en clase podría ser una herramienta formativa valiosa para mejorar la comprensión conceptual de procesos ecológicos complejos y la alfabetización científica en estudiantes de secundaria (Wanselin et al. 2023). La realización de pruebas de asociación de palabras (WAT) y posterior análisis de redes ha sido también referida como una herramienta metodológica apropiada para evaluar las estructuras cognitivas en relación con los procesos de descomposición en estudiantes de secundaria (Schizas et al., 2012). Estas herramientas de representación alternativa podrían integrarse productivamente en secuencias indagatorias donde el alumnado contraste empíricamente sus concepciones mediante la observación sistemática y el análisis de datos de los procesos de compostaje.

En cuanto al objetivo de motivar mayores cambios comportamentales en actitudes sostenibles, se observaron cambios en las actitudes hacia la gestión de residuos. Hubiéramos esperado una mejora en la separación de los residuos orgánicos, dado que la intervención educativa estuvo centrada en la gestión de este tipo de residuos, y no en el reciclaje de otro tipo de residuos domésticos. Sin embargo, a diferencia de la recogida selectiva de papel, vidrio y cartón -que está bien implantada en la ciudad de Sevilla-, la recogida selectiva de residuos orgánicos en esta ciudad es mucho más reciente. Este sistema de recogida de residuos orgánicos se encuentra en fase de consolidación tras la instalación gradual de contenedores, que empezó como experiencia piloto en ciertas áreas de la ciudad en 2019 para dar respuesta a la Directiva Europea que fijaba la obligatoriedad de la recogida selectiva de los biorresiduos para antes del fin 2023 (Directiva 2008/98/CE). Los resultados indican que la aceptación de la separación y recogida selectiva de residuos orgánicos en los hogares sigue siendo limitada. Si atendemos al número de cubos disponibles en los hogares, apenas el 4 % de los hogares disponen de cinco cubos, que serían los necesarios para la recogida de residuos orgánicos destinados a compostaje. Este dato es de alguna manera contradictorio con las respuestas obtenidas a las preguntas sobre acciones de consumo responsable realizadas en el hogar (**Fig. 3**), de las que se desprende que el 55.7 % del alumnado participante en el pre-test realiza siempre el compostaje de sus propios residuos orgánicos. Estos datos sugieren una confusión del alumnado en el pre-test sobre el concepto de compostaje de residuos en el hogar y el destino de los residuos depositados en el cubo de basura general o en el de bioresiduos, de manera que es posible que una buena parte de estas respuestas se refieran realmente al cubo en el que desechan los residuos orgánicos en lugar de la acción de realizar el compostaje de sus propios residuos orgánicos. Esta situación se mantiene también en el post-test: un mayor porcentaje del alumnado (62 %) afirma compostar siempre sus propios residuos orgánicos, a pesar de que el porcentaje de hogares con cinco cubos de basura es inferior al 4 %. Estos datos sugieren que es necesario no sólo un mayor fomento de las prácticas de sensibilización y capacitación sobre los procedimientos de separación de residuos, sino también una formación básica que aborde los conceptos implicados, con el propósito de optimizar la gestión doméstica de los desechos sólidos urbanos. La participación ciudadana en el reciclaje depende de factores sociales, económicos, psicológicos y de infraestructura, siendo mayor cuando hay conciencia ambiental, incentivos, accesibilidad y comunicación efectiva (Knickmeyer, 2020; Bruno et al., 2022; Chen y Gao, 2022). En grandes ciudades como Sevilla, el reciclaje doméstico enfrenta desafíos particulares, especialmente en viviendas con espacio reducido, lo que dificulta la separación de residuos (Knickmeyer, 2020). Para mejorar la participación, se requieren campañas informativas lideradas por el gobierno local, ya que la intervención institucional es clave en las etapas iniciales (Chen y Gao, 2022). La combinación de información y estímulos económicos ha demostrado ser especialmente eficaz para promover el conocimiento y el comportamiento de reciclaje (Yang et al., 2022; Konstantinidou et al., 2024).

Los resultados obtenidos parecen sugerir que la SEA diseñada ha posibilitado una mayor comprensión de los procesos de transformación de la materia orgánica y predisposición hacia el reciclaje en el alumnado, aunque no necesariamente hacia el reciclaje de los residuos orgánicos. En ese sentido, iniciativas como el proyecto OrgWASTE destinadas a alumnos de secundaria se consideran muy valiosas para concienciar sobre la necesidad de reciclar los residuos orgánicos y potenciar la separación selectiva de estos residuos en los hogares, ya que los ciudadanos jóvenes pueden tener mayor predisposición a mejorar sus hábitos de reciclaje en comparación con los adultos (Konstantinidou et al., 2024).

## Conclusiones

Los resultados obtenidos permiten señalar que la SEA desarrollada constituye una aproximación pertinente para integrar contenidos científicos con acciones participativas vinculadas a la gestión de residuos orgánicos. Este tipo de iniciativas de CC no son simplemente medios para impartir información sobre el compostaje o el reciclaje, sino instrumentos esenciales en una



estrategia educativa más amplia y transformadora que busca formar ciudadanos activos y críticos, capaces de contribuir a la sostenibilidad global. En particular, la implicación del alumnado en tareas de recogida de datos, mantenimiento de los sistemas y comunicación de resultados muestra que este tipo de propuestas puede favorecer aprendizajes contextualizados y un primer nivel de compromiso con prácticas sostenibles dentro del entorno escolar. No obstante, los datos disponibles no permiten afirmar de forma concluyente efectos amplios sobre el razonamiento epistémico o sobre la comprensión profunda de los procesos de transformación de la materia, por lo que estas conclusiones deben interpretarse con cautela.

Los resultados fenomenográficos anteriormente descritos, que muestran mejoras significativas en las categorías de comprensión, reflejan un proceso de cambio conceptual caracterizado por avances en la comprensión de los productos finales de la descomposición, pero también por la persistencia de concepciones antropocéntricas y dificultades en la articulación conceptual. Asimismo, el análisis pone de relieve áreas susceptibles de mejora. En línea con la literatura sobre los moduladores del comportamiento sostenible, sería necesario fortalecer explícitamente la enseñanza de los procesos graduales de descomposición, la transformación de la materia y la caracterización de los productos finales (p. ej., compost, humus de lombriz), dado que estos elementos constituyen un soporte conceptual clave para la toma de decisiones informada en contextos reales de gestión de residuos. En cuanto a la relación con una educación transformadora, la propuesta representa un paso inicial al situar al alumnado ante problemas socioambientales auténticos y permitirle participar en prácticas de recogida, análisis y comunicación de datos. Sin embargo, para avanzar hacia un modelo más claramente orientado a la formación de una ciudadanía crítica y activa, será necesario incorporar de forma más explícita actividades que promuevan el debate informado, la reflexión sobre las implicaciones sociales y ambientales de la gestión de residuos y la toma de decisiones fundamentada más allá del contexto escolar. Estos aspectos se plantean como líneas de desarrollo para futuras implementaciones del proyecto.

## Contribución de los autores

**Pablo Homet:** Conceptualización, Metodología, Análisis formal, Investigación, Redacción del borrador original, Redacción - revisión y edición, Visualización, Adquisición de fondos. **Daniel Zuazagoitia:** Conceptualización, Metodología, Análisis formal, Redacción del borrador original, Redacción - revisión y edición, Adquisición de fondos. **Lucía Alcántara Rubio:** Conceptualización, Metodología, Análisis formal, Investigación, Redacción del borrador original, Redacción - revisión y edición, Visualización, Adquisición de fondos. **Lourdes Morillas:** Conceptualización, Metodología, Análisis formal, Investigación, Curación de datos, Redacción del borrador original, Redacción - revisión y edición, Adquisición de fondos. **María Teresa Domínguez:** Conceptualización, Metodología, Investigación, Curación de datos, Redacción del borrador original, Redacción - revisión y edición, Adquisición de fondos. **Marta Gil-Martínez:** Conceptualización, Metodología, Investigación, Recursos, Redacción del borrador original, Redacción - revisión y edición, Supervisión, Administración del proyecto, Adquisición de fondos.

## Disponibilidad de datos y código

Tanto los datos extraídos de los cuestionarios como el código utilizado para analizarlo están depositados y accesibles en el repositorio Figshare (<https://doi.org/10.6084/m9.figshare.29645150>).

## Financiación, permisos requeridos, potenciales conflictos de interés y agradecimientos

Este proyecto está enmarcado dentro del Proyecto IMPETUS, y está financiado por el programa de investigación e innovación Horizonte Europa de la Unión Europea (Grant agreement 101058677, <http://impetus4cs.eu/accelerator-2024/#csis-2024>). MG ha contado con el apoyo de la ayuda “Margarita Salas” financiada por el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia del Gobierno de España y NextGenerationEU. PH ha contado con el apoyo de un contrato “Juan de la Cierva” financiado por el MICIN (JDC2022-049507-I).

Los autores/as declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Agradecemos la contribución de Eduardo Gutiérrez como parte del equipo OrgWASTE y como voluntario de Ecologistas en Acción. También a las compañeras Marcia Eugenio Gozalbo e Inés Ortega Cubero, de la Universidad de Valladolid, por colaborar en el análisis de datos. También a la ONG Ecologistas en Acción Sevilla, en especial a Juan y a Jesús, por su activa participación. Agradecemos a los agentes implicados que han contribuido en el proyecto OrgWASTE: Diputación de Sevilla, Ayuntamiento de Sevilla, LIPASAM, CSIC, IFAPA y AGR biogás. Por último, agradecer al profesorado y alumnado de 6 IES participantes, sin los cuales OrgWASTE no hubiera podido realizarse.

## Referencias

- Akerlind, G. S., McKenzie, J., & Lup ton, M. (2012). The potential of combining phenomenography, variation theory and threshold concepts to inform curriculum design in higher education. En J. Huisman & M. Tight (Eds.), *Theory and method in higher education research II* (pp. 227–247). Emerald Publishing Limited, Leeds, Reino Unido. ISBN: 9781780520478
- Bedessem, B., & Ruphy, S. (2020). Citizen science and scientific objectivity: Mapping out epistemic risks and benefits. *Perspectives on Science*, 28(5), 630–654. [https://doi.org/10.1162/posc\\_a\\_00353](https://doi.org/10.1162/posc_a_00353)
- Berg, B., & McLaugherty, C. (2003). Human activities that influence decomposition. En B. Berg & C. McLaugherty (Eds.), *Plant litter: Decomposition, humus formation, carbon sequestration* (pp. 239–247). Springer, Berlin, Alemania. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-05349-2>

- Bonney, R., Cooper, C. B., Dickinson, J., Kelling, S., Phillips, T., Rosenberg, K. V., & Shirk, J. (2009). Citizen science: A developing tool for expanding science knowledge and scientific literacy. *BioScience*, 59(11), 977–984. <https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.11.9>
- Bonney, R., Shirk, J. L., Phillips, T. B., Wiggins, A., Ballard, H. L., Miller-Rushing, A. J., & Parrish, J. K. (2014). Next steps for citizen science. *Science*, 343(6178), 1436–1437. <https://doi.org/10.1126/science.1251554>
- Bonney, R., Phillips, T. B., Ballard, H. L., & Enck, J. W. (2016). Can citizen science enhance public understanding of science? *Public Understanding of Science*, 25(1), 2–16. <https://doi.org/10.1177/0963662515607406>
- Bruno, J. M., Bianchi, E. C., & Sánchez, C. (2022). Determinants of household recycling intention: The acceptance of public policy moderated by habits, social influence, and perceived time risk. *Environmental Science & Policy*, 136(1), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.05.010>
- Byrne, L. B. (2007). Habitat structure: A fundamental concept and framework for urban soil ecology. *Urban Ecosystems*, 10(3), 255–274. <https://doi.org/10.1007/s11252-007-0027-6>
- Çetin, G. (2007). English and Turkish pupils' understanding of decomposition. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 8(2). <https://www.eduhk.hk/apfslt/>
- Chawla, L. (2015). Childhood experiences associated with caring about the natural world: A literature review. *Children, Youth and Environments*, 25(1), 145–167. <https://doi.org/10.7721/chilyoutenvi.25.1.0145>
- Chen, L., & Gao, M. (2022). Predictive modeling for behavioral evolution of municipal household waste classification and recycling. *Sustainable Cities and Society*, 78, 103659. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103659>
- Christensen, R. (2023). *ordinal—Regression models for ordinal data* (R package version 2023.12-4.1). R Foundation for Statistical Computing. <https://CRAN.R-project.org/package=ordinal>
- Corrochano, D., Zuazagoitia, D., Eugenio-Gozalbo, M., Monferrer, L., Ortega-Cubero, I., Ruiz-González, A., & Aragón, L. (2023). A three-pronged method to analyse pre-service teachers' understanding and epistemic reasoning about soil. *Journal of Biological Education*, 59(1), 37–53. <https://doi.org/10.1080/00219266.2022.2043979>
- Díaz Barriga Arceo, F. (2003). Cognición situada y estrategias para el aprendizaje significativo. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 5(2), 1–13. <https://redie.uabc.mx>
- Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre los residuos. *Diario Oficial de la Unión Europea*. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj>
- Eitzel, M. V., Cappadonna, J. L., Santos-Lang, C., Duerr, R. E., Virapongse, A., West, S. E., ... Kyba, C. C. M. (2017). Citizen science terminology matters: Exploring key terms. *Citizen Science: Theory and Practice*, 2(1). <https://doi.org/10.5334/cstp.96>
- Ergazaki, M., Zogza, V., & Grekou, A. (2009). From preschoolers' ideas about decomposition, domestic garbage fate and recycling to the objectives of a constructivist learning environment in this context. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 3(1), 99–121. <https://doi.org/10.26220/rev.123>
- Furió Más, C., & Furió Gómez, C. (2009). ¿Cómo diseñar una secuencia de enseñanza de ciencias con una orientación socioconstructivista? *Educación Química*, 20(3), 246–251. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(18\)30059-4](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(18)30059-4)
- García-Fortes, M. Á., Banos-González, I., & Esteve-Guirao, P. (2024). ESD action competencies of future teachers: Self-perception and competence profile analysis. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 25(8), 1558–1580. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-07-2023-0323>
- García-Palacios, P., Shaw, E. A., Wall, D. H., & Hättenschwiler, S. (2017). Contrasting mass-ratio vs. niche complementarity effects on litter C and N loss during decomposition along a regional climatic gradient. *Journal of Ecology*, 105(4), 968–978. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12722>
- Geisen, S., Briones, M. J. I., Gan, H., Behan-Pelletier, V. M., Friman, V.-P., de Groot, G. A., ... Hannula, S. E. (2019). A methodological framework to embrace soil biodiversity. *Soil Biology and Biochemistry*, 136, 107536. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.107536>
- Gessner, M. O., Swan, C. M., Dang, C. K., McKie, B. G., Bardgett, R. D., Wall, D. H., & Hättenschwiler, S. (2010). Diversity meets decomposition. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(6), 372–380. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.01.010>
- Giné, N., & Parcerissa, A. (2003). Fases de la secuencia formativa. En N. Giné & A. Parcerisa (Coords.), *Planificación y análisis de la práctica educativa* (pp. 35–45). Graó, Barcelona, España.
- Guisasola, J. (2013). Luces y sombras en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias fuera de la escuela. *Enseñanza de las Ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, número extra, 1704–1707.
- Guisasola, J., Campos, E., Zuza, K., & Zavala, G. (2023). Phenomenographic approach to understanding students' learning in physics education. *Physical Review Physics Education Research*, 19(2), 020602. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.19.020602>
- Gutiérrez-Pérez, B. M., Ruedas-Caletrio, J., Caballero Franco, D., & Murciano-Hueso, A. (2024). La conexión con la naturaleza como factor clave en la formación de las identidades infantiles: Una revisión sistemática. *Teoría De La Educación. Revista Interuniversitaria*, 36(1), 31–52. <https://doi.org/10.14201/teri.31397>
- Helldén, G. (1999). A longitudinal study of pupils' understanding of conditions for life, growth and decomposition. En M. Bandiera et al. (Eds.), *Research in science education in Europe* (pp. 23–29). Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Izquierdo-Ayala, I., Gómez-Borja, M. Á., & García-García, J. A. (2018). Dificultades de aprendizaje de la enseñanza de la ecología en educación secundaria: Una revisión bibliográfica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(2), 2402. [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2018.v15.i2.2402](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i2.2402)
- Jenkins, L. L., Walker, R. M., Tenenbaum, Z., Sadler, K. C., & Wissehr, C. (2015). Why the Secret of the Great Smoky Mountains Institute at Tremont should influence science education—Connecting people and nature. In M. P. Mueller & D. J. Tippins (Eds.), *EcoJustice, citizen science and youth activism: Situated tensions for science education* (pp. 265–279). Springer International Publishing.
- Jordan, R. C., Brooks, W. R., Hmelo-Silver, C., Eberbach, C., & Sinha, S. (2014). Balancing broad ideas with context: An evaluation of student accuracy in describing ecosystem processes after a system-level intervention. *Journal of Biological Education*, 48(2), 57–62. <https://doi.org/10.1080/00219266.2013.821080>
- Knickmeyer, D. (2020). Social factors influencing household waste separation: A literature review on good practices to improve the recycling performance of urban areas. *Journal of Cleaner Production*, 245, 118605. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118605>
- Konstantinidou, A., Ioannou, K., Tsantopoulos, G., & Arabatzis, G. (2024). Citizens' attitudes and practices towards waste reduction, separation, and recycling: A systematic review. *Sustainability*, 16(22), 9969. <https://doi.org/10.3390/su16229969>
- Lüsse, M., Brockhage, F., Beeken, M., & Pietzner, V. (2022). Citizen science and its potential for science education. *International Journal of Science Education*, 44(7), 1120–1142. <https://doi.org/10.1080/09500693.2022.2067365>
- Marchal-Gaillard, V. (2024). The science behind composting: How household biowaste management practices shape young children's understanding of organic matter decomposition. *Environmental Education Research*, 30(1), 37–55. <https://doi.org/10.1080/13504622.2022.2099531>

- Marchal-Gaillard, V., Marzin-Janvier, P., Boilevin, J.-M., & Grimault-Leprince, A. (2022). Contribution of early childhood education to a sustainable society: Influences from home in preschool children's understanding of composting in France. *Early Childhood Education Journal*, 50(7), 1247–1261. <https://doi.org/10.1007/s10643-021-01260-8>
- Martens, M.L. (1999). Preguntas productivas: como herramienta para soportar el aprendizaje constructivista. <https://www.upcyclecrc.org/uploads/1/2/8/5/12859669/productivequestionsbymartensscienceandchildren5-1999.pdf>
- Marton, F. (1981). Phenomenography—Describing conceptions of the world around us. *Instructional Science*, 10(2), 177–200. <https://doi.org/10.1007/BF00132516>
- Marton, F., & Booth, S. (1997). *Learning and awareness*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Mendes, T. A., Ramos, S. G., Toledo, G. M., Mendes, D., Oliveira, A. S., & de Melo, D. A. (2022). Effect of Different Cover Materials in Household Vermicomposting Process. *Fronteira: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, 11(2): 318-330. <https://doi.org/10.21664/2238-8869.2022v11i2.p318-330>
- Messig, D., & Groß, J. (2018). Understanding Plant Nutrition—The Genesis of Students' Conceptions and the Implications for Teaching Photosynthesis. *Education Sciences*, 8(3), 132. <https://doi.org/10.3390/educsci8030132>
- Ministerio de Educación y Formación Profesional. (2025). Criterios de evaluación de Biología y Geología en 1.º y 3.º de ESO. Gobierno de España. [Accedido en 21/07/2025] <https://educagob.educacionpydeportes.gob.es/curriculo/curriculo-lomloe/menu-curriculos-basicos/ed-secundaria-obligatoria/materias/biologia-geologia/criterios-evaluacion-primer-tercer-curso.html>
- Moreira, M.A., & Greca, I.M. (2003). Cambio conceptual: análisis crítico y propuestas a la luz de la teoría del aprendizaje significativo. *Ciência & Educação (Bauru)* 9, 301-315. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132003000200010>
- Nistor, A., Clemente-Gallardo, J., Angelopoulos, T., Chodzinska, K., Clemente-Gallardo, M., Gozdzik, A., ... Vojinovic, M. (2019). Bringing research into the classroom: the citizen science approach.
- Peter, M., Diekötter, T., Höffler, T., & Kremer, K. (2021). Biodiversity citizen science: Outcomes for the participating citizens. *People and Nature* 3(2), 294-311. <https://doi.org/10.1002/pan3.10193>
- Phillips, T., Porticella, N., Conostas, M., & Bonney, R. (2018). A Framework for Articulating and Measuring Individual Learning Outcomes from Participation in Citizen Science. *Citizen Science: Theory and Practice*, 3(2), 1-19. <https://doi.org/10.5334/cstp.126>
- Prentice, I., Farquhar, G., Fasham, M., Goulden, M., Heimann, M., Jaramillo, V., ... & Wallace, D. W. R. (2001). The carbon cycle and atmospheric carbon dioxide. En Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Noguer, M., Linden, P. J. van der, Dai, X., Maskell, K., Johnson, C. A. (eds.), *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, pp. 183-237. Cambridge University Press.
- Puig, N.S., & Bargalló, C.M. (2017). Aprendizaje de las ciencias basado en proyectos: del contexto a la acción. *Ápice. Revista de Educación Científica* 1(1), 3-16. <https://doi.org/10.17979/arec.2017.1.1.2020>
- R Core Team R. (2024). A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Raza, S.T., Rong, L., Rene, E.R., Ali, Z., Iqbal, H., Sahito, Z.A., & Chen, Z. (2024). Effects of vermicompost preparation and application on waste recycling, NH<sub>3</sub>, and N<sub>2</sub>O emissions: A systematic review on vermicomposting. *Environmental Technology & Innovation* 35, 103722. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103722>
- Roche, J., Bell, L., Galvão, C., Golumbic, Y.N., Kloetzer, L., Knoblen, N., ... Winter, S. (2020). Citizen Science, Education, and Learning: Challenges and Opportunities. *Frontiers in Sociology* 5, 613814. <https://doi.org/10.3389/fsoc.2020.613814>
- Schaefer, T., Kieslinger, B., Brandt, M., & van den Bogaert, V. (2021). Evaluation in Citizen Science: The Art of Tracing a Moving Target. En Vohland, K., Land-Zandstra, A., Ceccaroni, L., Lemmens, R., Perelló, J., Ponti, M., Samson, R., Wagenknecht, K. (eds.), *The Science of Citizen Science*, pp. 495-514. Springer International Publishing, Cham.
- Schizas, D., Katrana, E. & Stamou, G. (2013). Introducing network analysis into science education: Methodological research examining secondary school students' understanding of «decomposition». *International Journal of Environmental and Science Education* 8(1), 175-198.
- Schowalter, T.D. (2016). Chapter 14 - Decomposition and Pedogenesis. En Schowalter, T. D. (ed.), *Insect Ecology (Fourth Edition)*, pp. 477-510. Academic Press.
- Wanselin, H., Danielsson, K., & Wikman, S. (2023). Meaning-Making in Ecology Education: Analysis of Students' Multimodal Texts. *Education Sciences* 13(5), 443. <https://doi.org/10.3390/educsci13050443>
- Wennersten, L., Wanselin, H., Wikman, S., & Lindahl, M. (2023). Interpreting students' ideas on the availability of energy and matter in food webs. *Journal of Biological Education* 57(1), 3-23. <https://doi.org/10.1080/00219266.2020.1858935>
- Wüst-Ackermann, P., Vollmer, C., Itzek-Greulich, H., & Randler, C. (2018). Invertebrate disgust reduction in and out of school and its effects on state intrinsic motivation. *Palgrave Communications*, 4(1), 81. <https://doi.org/10.1057/s41599-018-0122-8>
- Wynn, A. N., Pan, I. L., Rueschhoff, E. E., Herman, M. A. B., & Archer, E. K. (2017). Student Misconceptions about Plants - A First Step in Building a Teaching Resource. *Journal of microbiology & biology education*, 18(1), 18.1.11. <https://doi.org/10.1128/jmbe.v18i1.1253>
- Yadav, A.N., Kour, D., Kaur, T., Devi, R., Yadav, A., Dikilitas, M., ... Saxena, A. K. (2021). Biodiversity, and biotechnological contribution of beneficial soil microbiomes for nutrient cycling, plant growth improvement and nutrient uptake. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 33, 102009. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102009>
- Yang, J., Jiang, P., Zheng, M., Zhou, J., & Liu, X. (2022). Investigating the influencing factors of incentive-based household waste recycling using structural equation modelling. *Waste Management* 142(1), 120–131. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.02.014>
- Zhou, S., Huang, C., Xiang, Y., Tie, L., Han, B., & Scheu, S. (2018). Effects of reduced precipitation on litter decomposition in an evergreen broad-leaved forest in western China. *Forest Ecology and Management* 430, 219-227. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.08.022>

**Anexo 1 / Annex 1****Pregunta abierta del cuestionario****SECCIÓN 1 - Pregunta abierta**

1. Explica cómo es la descomposición de residuos orgánicos tomando como ejemplo una peladura de manzana que echamos a nuestra compostera ¿Qué sucederá durante los siguientes meses? ¿Qué agentes/factores favorecen la descomposición de la peladura de manzana? Explícalo y dibújalo.

Utiliza tantas viñetas como desees para dibujar el proceso.

PRUEBA SIN CORREGIR



**Anexo 2 / Annex 2****Preguntas cerradas del cuestionario****SECCIÓN 2 - Preguntas cerradas**

1. ¿Cuántos cubos de basura hay en tu casa? Indica cuales.
2. ¿A qué cubo echarías las peladuras de las frutas y verduras?
3. Indica con qué frecuencia llevas a cabo las siguientes acciones:

		Nunca	A veces	Siempre
1	Prescindo de plásticos de un solo uso			
2	Separo los residuos orgánicos del hogar			
3	Composto mis propios residuos orgánicos			
4	Separo el vidrio			
5	Separo el papel y el cartón			
6	Separo los envases de plástico			
7	Consumo agua del grifo y no embotellada			
8	Adquiero productos de segunda mano			
9	Llevo al punto limpio las pilas usadas			

**Tabla A1.** Respuestas a los cuestionarios pre y post realizada por el alumnado de 3º y 4º de la ESO de 6 IES de Sevilla.

**Table A1.** Responses to the pre- and post-questionnaires completed by 3rd- and 4th-year secondary school students from six secondary schools in Sevilla.

Curso	Respuestas PRE	Respuestas POST
3º ESO	39	26
4º ESO	75	66
TOTAL	114	92

## Anexo 3 / Annex 3

### Material gráfico de las fases de la SEA experimentadas por el alumnado

#### A) A1- Actividad de exploración de ideas previas del alumnado



#### B) A2 – Actividades de problematización para promover el interés del alumnado





### C) A3 – Construcción de los sistemas de reciclaje de residuos orgánicos



Cuatro IES crearon sistema únicos (3 vermicomposteras y 1 terrario), dos centros eligieron dos sistemas (vermicompostera y gallinero, terrario y gallinero). Cada centro eligió según sus necesidades y espacio disponible en el IES.

### D) A4 – Mantenimiento de sistemas de reciclaje y extracción de muestras





## E) A5 – Elaboración del informe final y creación de materiales divulgativos



## F) A6 – Conferencia final





