

# El sendero ecológico: un diálogo entre las ciencias sociales, la ecología y las matemáticas

## The ecological path: a dialogue between social sciences, ecology and mathematics

## O caminho ecológico: um diálogo entre Ciências sociais, ecologia e matemática

 **Fabio Nelson Zapata Grajales**

<https://orcid.org/0000-0002-6734-919X>  
Institución Educativa El Pedregal  
fabio.zapata@iepedregal.edu.co  
Medellín, Colombia

 **Julio Cesar Montoya Osorio**

<https://orcid.org/0000-0002-1079-2318>  
Institución Educativa El Pedregal  
julio.montoya@iepedregal.edu.co  
Medellín, Colombia

---

Diagramación e ilustración portada  
Andrea Sarmiento Bohórquez

Corrección de Estilo  
Nataly Marcela Muñoz Murcia



Encuentre este artículo en <http://revistas.uniminuto.edu/index.php/IYD>

Para citar este artículo | To cite this article | Para citar este artigo:

Zapata-Grajales, F y Montoya-Osorio, J. (2024). El sendero ecológico: un diálogo entre las ciencias sociales, la ecología y las matemáticas. *Inclusión y Desarrollo*, 11 (número especial), pp. 57-72.

Recibido/Received/Recebido: 15 de abril de 2024

Aceptado/Accepted/Aceito: 30 de abril de 2024

Publicado/Published/Publicado: 6 de septiembre de 2024

Artículo de investigación / Research Article / Artigo de pesquisa

Conflicto de intereses: Los autores han declarado que no existen intereses en competencia



## RESUMEN

La interdisciplinariedad es una apuesta promovida por la educación en todas las áreas del conocimiento siendo múltiples las investigaciones que se han llevado al respecto, sin embargo, la integración entre las ciencias sociales, la biología y las matemáticas en ambientes de modelación con énfasis en la perspectiva socio-crítica es escaso. De esta manera, el Sendero Ecológico se convirtió en un ambiente ideal para posibilitar en 13 años de ejecución, una mirada integradora por parte de los estudiantes quienes al modelar fenómenos socio-ambientales relacionados al cambio climático han reflexionado sobre su papel en la sociedad como promotores de conservación. La investigación que se reporta es de tipo cualitativo y en ella se han beneficiado cerca de 450 estudiantes de los grados octavo a once (13-17 años) de la Institución Educativa El Pedregal, en la ciudad de Medellín. Se han tenido en cuenta observaciones, diarios de aprendizaje y producciones para analizar su accionar frente al proceso y reflexión del modelado. Los resultados permitieron identificar cómo los estudiantes han aprendido de forma integral conceptos relacionados con las tres ciencias y han tenido participación en el proceso de modelado, asumiendo una conciencia frente a la vida en su relación con el otro y con su entorno.

**Palabras claves:** interdisciplinariedad, modelación matemática, problemas socio-ambientales, conciencia social y ambiental.

## ABSTRACT

Interdisciplinarity is a commitment promoted by education in all areas of knowledge, with multiple investigations that have been carried out in this regard, however, the integration between social sciences, biology and mathematics in modeling environments with emphasis on Socio-critical perspective is scarce. In this way, the Ecological Path became an ideal environment to enable, in 13 years of execution, an integrative view by the students who, by modeling socio-environmental phenomena related to climate change, have reflected on their role in society as promoters of conservation. The research reported is qualitative and nearly 450 students from grades eight to eleven (13-17 years) from the Institución Educativa El Pedregal in the city of Medellín have benefited from it. Observations, learning diaries and productions have been considered to analyze their actions regarding the modeling process and reflection. The results allowed us to identify how students have comprehensively learned concepts related to the three sciences, they have had active participation in the modeling process; They have also assumed an awareness of life in their relationship with others and with their environment.

**Keywords:** interdisciplinarity, mathematical modeling, socio-environmental problems, social and environmental awareness.

## RESUMO

A interdisciplinaridade é um compromisso promovido pela educação em todas as áreas do conhecimento, com múltiplas investigações que têm sido realizadas nesse sentido, porém, a integração entre ciências sociais, biologia e matemática na modelagem de ambientes com ênfase na perspectiva sócio-crítica é escassa. Dessa forma, o Caminho Ecológico tornou-se um ambiente ideal para possibilitar, em 13 anos de execução, uma visão integradora por parte dos alunos que, ao modelarem fenômenos socioambientais relacionados às mudanças climáticas, refletiram sobre seu papel na sociedade como promotores de conservação. A pesquisa relatada é qualitativa e dela foram beneficiados cerca de 450 alunos do oitavo ao décimo primeiro ano (13-17 anos) da Instituição Educativa El Pedregal, na cidade de Medellín. Observações, diários de aprendizagem e produções foram levados em consideração para analisar suas ações em relação ao processo de modelagem e reflexão. Os resultados permitiram identificar como os alunos aprenderam de forma abrangente os conceitos relacionados às três ciências, tiveram participação ativa no processo de modelagem; Eles também assumiram uma consciência da vida na sua relação com os outros e com o seu ambiente.

**Palavras chave:** interdisciplinaridade, modelagem matemática, problemas socioambientais, consciência social e ambiental.

## Antecedentes

El Proyecto Sendero Ecológico es una estrategia pedagógica ambiental y social con trece años de ejecución. La estrategia se creó con el objetivo de acercar a los estudiantes de la Institución Educativa El Pedregal (Medellín-Colombia) al cuidado de la naturaleza a partir de la transformación, recuperación y promoción de su zona verde, permitiendo a los estudiantes acercarse a otros espacios diferentes a las aulas de clase, y apropiarse de su entorno. Además de generar espacios de reflexión, posibilitan una oportunidad para relacionar las ciencias, contribuir directamente con la gestión ambiental y promover la investigación (Peñaherrera-Romero et al., 2022). En resumen, el proyecto busca que los estudiantes tomen conciencia de la vida, desarrollen habilidades ciudadanas a través del cuidado del medio ambiente, comprendan y protejan su entorno y promuevan la transformación social (Farfán et al., 2024).

Este artículo busca informar sobre una de las facetas propuestas en el proyecto Sendero Ecológico: la implementación de un proceso de modelación matemática desde una perspectiva sociocrítica. En este contexto, los estudiantes analizaron dos modelos relacionados con dos problemas socioambientales: el cambio climático y el desarrollo sostenible.

Los modelos utilizados son: la biomasa aérea de Schlegel (2001) y la biomasa de raíces de los árboles de Cairns et al. (1997). Estos modelos se seleccionaron porque permiten trabajar de forma interdisciplinaria aspectos sociales, ambientales y geométricos, como la altura y el diámetro de los árboles, que facilita la comprensión y aplicación de principios matemáticos en el análisis de la acumulación del carbono.

Tras este proceso, los estudiantes también discuten sobre temas relevantes de la sociedad contemporánea, es decir, el papel reflexivo de los modelos matemáticos dentro de los contextos estudiados (De Sousa y De Lara, 2023).

Para realizar esta tarea, se conformó un semillero de investigación escolar: los Plantamáticos, este grupo está integrado por 20 estudiantes de bachillerato de los grados octavo a once, cuyo objetivo es trabajar en equipo para proteger la naturaleza y descubrir nuevos conceptos matemáticos asociados a las plantas y con ello invitar a la comunidad educativa en general a crear alternativas que permitan conocer y disminuir problemáticas ambientales globales como el calentamiento global y el desarrollo sostenible.

Los problemas socioambientales son una preocupación latente que no dan tregua, por esta razón demandan ser estudiados en la escuela de manera integral (Massip et al., 2021), para que los estudiantes no solo los conozcan, sino que también asuman una posición crítica que represente un cambio de consciencia y que genere en ellos acciones de mitigación.

En este sentido, la modelación puede ser un factor integrador que permita la interdisciplinaria pues dependiendo de su enfoque en el aula, se pueden adoptar diferentes perspectivas. Una de ellas, es la perspectiva sociocrítica, esta perspectiva tiene estrecha relación con los aspectos socioculturales de las matemáticas y su papel en la sociedad, donde el proceso de modelado busca generar una postura crítica en los estudiantes frente a su entorno (Kaiser y Sriraman, 2006; Araujo, 2009).

“ Los problemas socioambientales son una preocupación latente que no dan tregua, por esta razón demandan ser estudiados en la escuela de manera integral (Massip et al., 2021), para que los estudiantes no solo los conozcan, sino que también asuman una posición crítica que represente un cambio de consciencia y que genere en ellos acciones de mitigación. ”

En este sentido, investigaciones sobre la modelación desde la perspectiva sociocrítica como los trabajos desarrollados por Caldeira (2008); Ocampo-Arenas y Parra-Zapata (2022) y Mancera-Ortiz et al. (2022) destacan la importancia de considerar la realidad ambiental, social, cultural y política de los profesores y estudiantes al realizar un proceso de modelación, lo que les permite entender y reflexionar sobre la vulnerabilidad social y ambiental de su entorno.

Por otro lado, Jacobini y Wodwotzki (2006), Ferreira y Wodewotzki (2007) y Da Silva et al. (2021) señalan la falta de estudios que exploren los elementos sociales y pedagógicos en la modelación, así como la necesidad de más investigación sobre la interdisciplinariedad en este campo. El crecimiento político y la formación de estudiantes críticos son aspectos esenciales de la alfabetización matemática que deben ir más allá del aprendizaje técnico de las matemáticas para incluir la conciencia social y la participación comunitaria.

Las posturas expuestas anteriormente, permiten observar la relevancia que tiene incluir la manipulación de los objetos matemáticos como herramientas para explicar fenómenos que suceden en el entorno de los estudiantes. En este sentido, la modelación permite, no solo facilita, aprendizajes significativos sobre conceptos matemáticos, sino que también posibilita el dialogo interdisciplinario mostrando la interrelación entre diferentes ciencias y como trabajan de manera coordinada para explicar un mismo problema desde sus diferentes perspectivas llegando a una solución única.

Al respecto, Da Silva et al. (2021) informan que la modelación propicia situaciones de interdisciplinariedad, es decir, un trabajo conjunto de diferentes disciplinas, un facilitador en la elección del tema a modelar donde los estudiantes reflexionan sobre diferentes aspectos ajenos a las matemáticas, pero alusivos al modelado.

Al este respecto, Cordero et al. (2019), señala que se debe fomentar un diálogo entre las matemáticas escolares y la realidad, siendo uno de los componentes a considerar los proyectos interdisciplinarios. Otra postura es la de Huincahue y Gaete-Peralta (2024) quienes identifican en su proceso de modelación que el uso de las matemáticas se convierte en un sustento metodológico para el desarrollo de problemas interdisciplinarios. De igual manera, Calderón et al. (2020) invitan a realizar estudios sobre la interdisciplinariedad en la educación secundaria donde la combinación de ecología, la política y la economía estén integrados curricularmente, y finalmente Navarro-Díaz et al. (2020) destacan la necesidad de formar en problemas socioambientales como el cambio climático, especialmente a los estudiantes, donde estos perciban este problema y fomenten su participación en la búsqueda de soluciones.

Los estudios revisados afirman la promoción de una educación en donde las matemáticas se conviertan en una herramienta de diálogo permanente con otras ciencias, en consecuencia, la modelación matemática y la interdisciplinariedad juegan un papel preponderante para la formación de estudiantes con sentido crítico frente a los cambios ambientales y sociales. Estas ideas dieron lugar a la siguiente pregunta de investigación ¿Qué estrategias educativas se pueden implementar para promover procesos investigativos de estudiantes y de docentes, en el Sendero Ecológico (zona verde) de la Institución Educativa El pedregal que promuevan la sana convivencia, el trabajo en equipo y la conciencia socioambiental?

En síntesis, se ha visto cómo desde el proyecto Sendero Ecológico se relaciona la modelación como ambiente de aprendizaje desde una perspectiva sociocrítica que promueve la interdisciplinariedad. A continuación, se describe la metodología empleada y las producciones de los estudiantes.

## Metodología

Esta investigación se enfocó en describir un proceso educativo, analizando las percepciones y acciones de un grupo específico de estudiantes desde una perspectiva cualitativa. Se empleó la investigación-acción participativa (IAP) como método para generar conocimiento y transformar la realidad educativa con la colaboración activa de los participantes (Valle et al., 2022; Alonso et al., 2023).

El estudio se realizó en Medellín, Colombia, en la Institución Educativa El Pedregal, donde se creó el semillero de investigación Plantamáticos, vinculado al proyecto Sendero Ecológico. Con 20 estudiantes de diversos grados, el semillero trabajó junto a los docentes una vez a la semana durante un año. La metodología se dividió en tres etapas colaborativas entre estudiantes y docentes (ver tabla 1), utilizando encuestas, producciones y observaciones para analizar las interacciones y el comportamiento de los estudiantes (Valle et al., 2022).

**Tabla 1. Etapas del proceso metodológico bajo la estrategia de investigación-acción participativa llevada a cabo en el proyecto.**

Etapa	Acciones	Evidencias	Encuentros Semanales	Producto
Percepción e intereses	Recorrido a la zona verde institucional	Problemáticas encontradas en la zona verde. Mapa de ideas sobre la importancia del arbolado urbano Temas de interés de los estudiantes.	2	Pregunta de investigación a trabajar con los estudiantes
Conceptualización	Videos sobre el cambio climático y sus efectos Taller sobre conceptos relacionados con el cambio climático Práctica sobre fotosíntesis y el ciclo del carbono Cuantificación del carbono acumulado en árboles del Sendero Ecológico	Procedimientos matemáticos para el cálculo del carbono en los árboles. Análisis matemático de los modelos y validación de los resultados Exposición de cálculo de carbono	8	Exposición del análisis matemático de los modelos y de los conceptos socioambientales asociados.
Reflexión	Encuesta de reflexión y de acciones para resolver la problemática Revisión de diarios de aprendizaje	Preguntas abiertas de forma individual para cada estudiante con propuestas para mejorar la convivencia con la naturaleza	2	Encuesta para analizar el desarrollo de una conciencia socioambiental.

“ Al este respecto, Cordero et al. (2019), señala que se debe fomentar un diálogo entre las matemáticas escolares y la realidad, siendo uno de los componentes a considerar los proyectos interdisciplinarios. Otra postura es la de Huincahue y Gaete-Peralta (2024) quienes identifican en su proceso . ”

**Nota:** elaboración del autor a partir del proyecto de investigación.

## Resultados

### Primera etapa: Percepción e intereses

El objetivo de esta etapa fue que los estudiantes identificaran una problemática común y relacionada con el cuidado y protección que debe tener el medio ambiente, razones por las cuales se les propone hacer unos recorridos por el Sendero Ecológico y hacer unas observaciones centradas en el impacto del hombre en la naturaleza. Así los estudiantes identificaron las siguientes problemáticas:

- El suelo de la zona verde como cementerio de todo tipo de objetos.
- La falta de aseo, cuidado y responsabilidad con el tema de las basuras.
- El peligro que reflejan las espinas de arbusto y la maleza. Además de la poca accesibilidad a la zona verde.
- La falta de conciencia por el cuidado del medio ambiente.
- La falta de grupos de investigación.
- Poco mantenimiento y conservación de la flora institucional: árboles y arbustos.

En un segundo momento se hace una visualización de dos videos “La Silla Vacía”, 2021 y “Póveda”, (2021) que abordaban la situación climática de los últimos años en Colombia y el mundo. Estos videos invitaron a reflexionar sobre cómo desde los hogares podemos contribuir al cuidado del ambiente y mitigar los efectos del cambio climático.

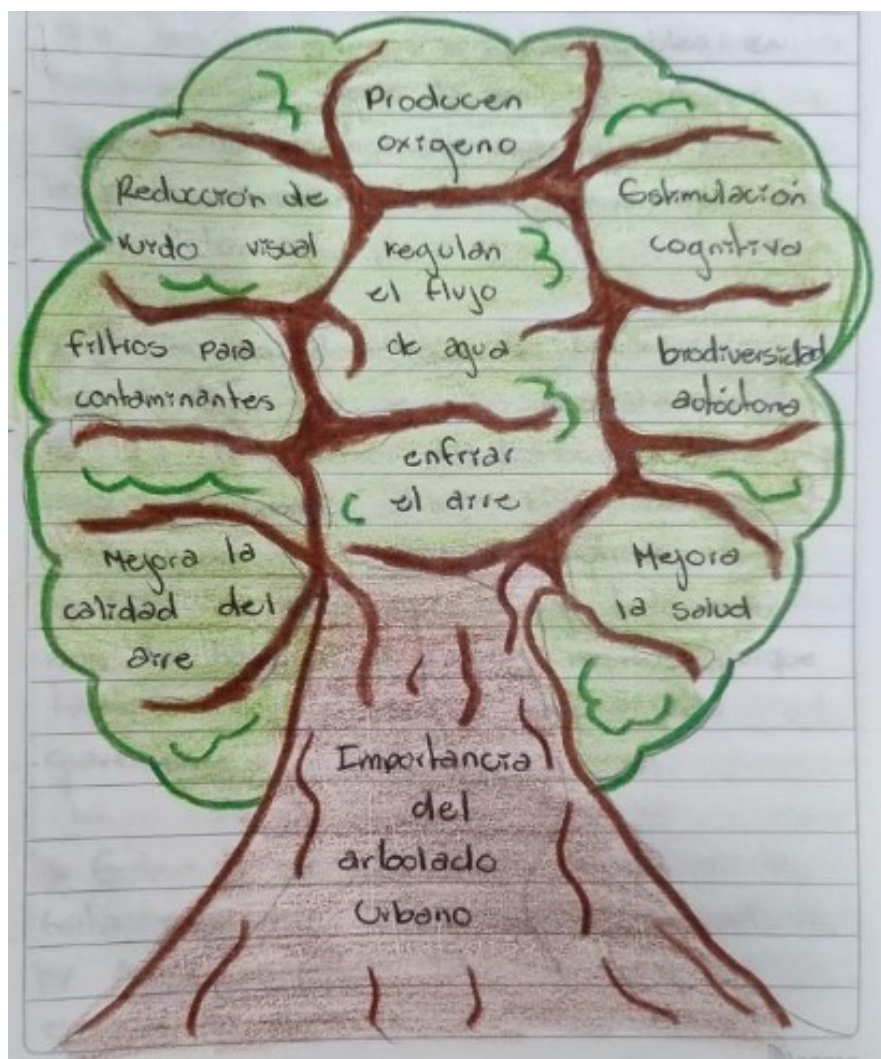
Como consecuencia, los estudiantes del semillero plantean la siguiente pregunta: ¿Cómo influye el arbolado de la zona verde institucional en la disminución del impacto del cambio climático en la ciudad? A partir de esta pregunta y evitando el lenguaje catastrófico, se aborda una serie de términos relacionados con el clima, como el efecto invernadero, la capa de ozono, los fenómenos de El Niño y La Niña, el cambio climático y sus causas y efectos, así como la conservación y protección de la flora. Se realizó una comparación que mostró cómo el clima ha variado naturalmente en la historia de la Tierra, independientemente de la presencia humana. Se explica, además, por qué ahora se habla de una aceleración del cambio climático actual debido a factores antropogénicos.

Además, se deja abierta la posibilidad de considerar otros procesos naturales que también afectan notablemente el clima, como la radiación cósmica, cuyos efectos aún requieren mayor investigación (Carriazo et al., 2024). El proceso incluyó una profundización en el papel de la fotosíntesis y la respiración en el ciclo del carbono, la cual se lleva a cabo mediante el trabajo con microscopios para identificar las estomas como componentes fundamentales en el intercambio de gases en las plantas.

De este proceso, los estudiantes también obtuvieron algunas reflexiones, como se muestra en la Figura 1, donde se les solicitó realizar mapas de ideas sobre la importancia del arbolado urbano. En estos mapas, los estudiantes expresaron varias ideas que promueven la conciencia ambiental y la conservación. Identificaron la importancia del arbolado urbano para la producción de oxígeno, la reducción de contaminantes atmosféricos y la disminución de la sensación térmica. Además, destacaron su papel en la alimentación y anidación de aves y otros animales, la

regulación del flujo de agua, la reducción del ruido, el embellecimiento del entorno y la estimulación cognitiva.

**Figura 1.** Producción de un grupo del semillero Plantamáticos sobre sus reflexiones acerca de la importancia del arbolado urbano.



**Nota:** elaboración de los estudiantes durante el desarrollo de la investigación.

## Segunda etapa: Conceptualización: Proceso práctico de modelación

En esta etapa, se realiza un análisis de los modelos (ver Tabla 1) para cuantificar el carbono en los árboles de la zona verde institucional, se discute la influencia de las zonas verdes y los bosques en la mitigación del cambio climático y el desarrollo sostenible mediante la protección de la flora.

Se utilizan guías de clase y lecturas para explicar a los estudiantes la importancia de los ciclos del carbono, del oxígeno y del dióxido de carbono, y cómo la absorción de este último, en los ecosistemas naturales y zonas verdes urbanas disminuye los efectos del cambio climático generado por el ser humano.

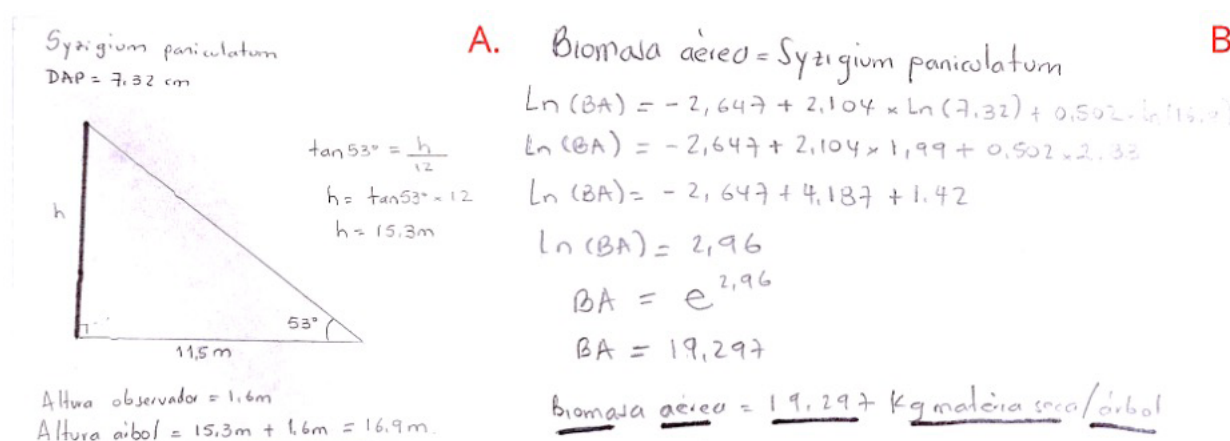
Además, se explica de forma general cómo se realiza una cuantificación indirecta del carbono de un árbol. Posteriormente, se asignan árboles de la zona verde institucional para calcular su altura y el diámetro a la altura del pecho, reforzando conceptos básicos de trigonometría y circunferencias (Figura 2). Con base en el trabajo realizado, se desarrolla una calculadora de acumulación de carbono utilizando el programa Excel (Figura 3).

Tabla 1. Modelos matemáticos de Schlegel (2001) y de Cairns et al (1997).

Modelos	Componentes
$\ln(BA) = -2,647 + 2,104 * \ln(DAP) + 0,502 * \ln(B)$	BA: biomasa aérea (en Kg de materia seca/árbol) DAP: diámetro al pecho en centímetros B: altura del árbol en metros
$BR = e^{(-1.085+0.9256) \ln(BA)}$	BAT: Biomasa aérea (Toneladas materia seca / hectárea) BR: Biomasa de raíces (Toneladas materia seca / hectárea)

**Nota:** Elaboración propia a partir de Schlegel (2001) y de Cairns et al. (1997)

Figura 2. Producción de los estudiantes donde se muestra el ejemplo del procedimiento matemático realizado por los estudiantes para calcular la altura de un árbol (A), y la biomasa aérea (B).



“ Las producciones, exposiciones y reflexiones de los estudiantes demuestran cómo sus percepciones sobre los problemas socioambientales se integran en la perspectiva de modelación socio-crítica adoptada en el proyecto. Se observa la adquisición de aprendizajes interdisciplinarios que promueven la reflexión sobre el cambio climático y el desarrollo sostenible como lo plantean Cordero et al. (2019). ”



**Nota:** elaboración de los estudiantes durante el desarrollo de la presente investigación.

**Tabla 2. Producción de los estudiantes sobre la clasificación de los árboles y el cálculo de carbono acumulado utilizando el software en Excel.**

Número árbol	Familia	Nombre científico	Nombre común	Biomasa aérea (Kg materia seca/árbol)
1	Myrtaceae	<i>Psidium guajaba</i>	Guayabo	1332,4399
2	Myrtaceae	<i>Syzygium paniculatum</i>	Eugenio	16,3436
3	Myrtaceae	<i>Syzygium paniculatum</i>	Eugenio	278,748
4	Fabaceae	<i>Leucaena leucocephala</i>	Leucaena	9,4983
5	Asparagaceae	<i>Dracaena fragrans</i>	Dracena	24,4241
6	Asparagaceae	<i>Dracaena fragrans</i>	Dracena	3,3835
7	Myrtaceae	<i>Syzygium paniculatum</i>	Eugenio	36,3437
8	Myrtaceae	<i>Syzygium paniculatum</i>	Eugenio	25,0612
9	Myrtaceae	<i>Syzygium paniculatum</i>	Eugenio	23,1411
10	Myrtaceae	<i>Syzygium paniculatum</i>	Eugenio	68,9398
11	Myrtaceae	<i>Syzygium paniculatum</i>	Eugenio	21,1764
12	Myrtaceae	<i>Syzygium paniculatum</i>	Eugenio	38,8997
13	Myrtaceae	<i>Syzygium paniculatum</i>	Eugenio	19,3374
14	Malpighiaceae	<i>Malpighia glabra</i>	Huesito	9,5707
15	Arecaceae	<i>Dypsis lutescens</i>	Palma areca	1,9328
16	Araliaceae	<i>Heptapleurum arboricola</i>	Cheflera enana	4,9205
17	Myrtaceae	<i>Syzygium paniculatum</i>	Eugenio	27,2145
18	Myrtaceae	<i>Syzygium paniculatum</i>	Eugenio	12,5574
19	Myrtaceae	<i>Syzygium paniculatum</i>	Eugenio	814,0245
20	Myrtaceae	<i>Syzygium paniculatum</i>	Eugenio	13,1973
21	Myrtaceae	<i>Syzygium paniculatum</i>	Eugenio	203,8373
22	Oleaceae	<i>Fraxinus uhdei</i>	Urapán	151,7739
23	Moraceae	<i>Ficus benjamina</i>	Falso laurel	4426,9104
24	Euphorbiaceae	<i>Codiaeum variegatum</i>	Croto	71,8567
25	Euphorbiaceae	<i>Codiaeum variegatum</i>	Croto	24,2675
26	Myrtaceae	<i>Syzygium paniculatum</i>	Eugenio	22,6596
27	Fabaceae	<i>Leucaena leucocephala</i>	Leucaena	12,7563
28	Araucariaceae	<i>Araucaria heterophylla</i>	Araucaria	889,5936
29	Moraceae	<i>Ficus benjamina</i>	Falso laurel	7042,4865
30	Arecaceae	<i>Archontophoenix cunninghamia</i>	Palma payanesa	96,127
31	Rutaceae	<i>Citrus sp.</i>	Limón	2,4625
32	Arecaceae	<i>Archontophoenix cunninghamian</i>	Palma payanesa	125,8583
33	Arecaceae	<i>Archontophoenix cunninghamian</i>	Palma payanesa	70,1215
34	Araucariaceae	<i>Araucaria heterophylla</i>	Araucaria	680,2173
35	Oleaceae	<i>Fraxinus uhdei</i>	Urapán	1,2134
36	Fabaceae	<i>Calliandra haematocephala</i>	Carbonero	1149,4081
37	Oleaceae	<i>Fraxinus uhdei</i>	Urapan	1,522
38	Bignoniaceae	<i>Tabebuia rosea</i>	Guayacan rosado	100,4907
		Biomasa aerea total (BA)		17854,7173

**Nota:** elaboración de los estudiantes durante el desarrollo de la presente investigación.

En cuanto a los resultados obtenidos por los estudiantes, se encontraron 38 árboles en la zona verde institucional (ver Tabla 2). La familia más representativa es Myrtaceae, con la especie *Syzygium paniculatum*,

que cuenta con 16 individuos. Para estimar el contenido de carbono en los árboles de manera conceptual con los estudiantes, se utilizó una estimación del 45% de la biomasa como contenido de carbono (Rodríguez, 2022), sin hacer distinción entre árboles y palmeras. Se obtuvieron 7498,98 kg de carbono acumulado en los árboles. Considerando el área de la zona verde institucional de 609,26 metros cuadrados, se calculó un total acumulado de 161,08 t C/ha de carbono. De este total, 131,88 t C/ha corresponden a la biomasa aérea y 29,20 t C/ha a las raíces.

Al final de esta etapa, los estudiantes evaluaron lo aprendido a través de presentaciones grupales que explicaban la creación de una calculadora de carbono y otros conceptos académicos relacionados con los temas ecológicos fundamentales como el cambio climático, el efecto invernadero y el rol de la vegetación en la reducción del impacto ambiental debido a la deforestación.

Además, se observó una distribución equitativa de tareas dentro de los grupos y un entendimiento de los conceptos trigonométricos necesarios para calcular la altura de los árboles y mostraron los resultados de la aplicación de modelos matemáticos para estimar el carbono retenido en las áreas verdes de la institución (ver Figura 2).

### Tercera etapa: Reflexión del proceso de modelación interdisciplinar.

En esta etapa, se busca identificar las reflexiones de los estudiantes a partir de una encuesta con preguntas diseñadas para fomentar conexiones entre la importancia de los aprendizajes adquiridos, la conciencia sobre el cuidado de la naturaleza y las acciones individuales que pueden llevarse a cabo desde sus hogares para mitigar el impacto del cambio climático. Las respuestas obtenidas en las encuestas fueron categorizadas por su contenido en temas comunes, lo que permitió identificar la frecuencia y relevancia de los distintos temas abordados por los participantes. Las preguntas y el análisis de sus resultados se presentan en la Tabla 2.

**Tabla 3. Preguntas de reflexión y resultados realizados del trabajo interdisciplinar entre la ecología, geometría y sociales.**

Pregunta	Análisis de los resultados
¿Qué importancia tiene la conservación de la zona verde para la institución y el barrio?	Las respuestas se organizaron en dos categorías: aquellos que mostraron interés en conservar las zonas verdes y aquellos que no. Según los resultados, el 100% de los estudiantes expresaron interés en esta temática. Entre las respuestas destacadas por los estudiantes se subraya la relevancia de las plantas en la alimentación de los animales, especialmente las aves, así como su papel en la reducción de la contaminación del aire y en la mitigación de los efectos del cambio climático.
¿Qué relación tiene el arbolado con la disminución de los efectos del cambio climático?	<p>Las respuestas se organizaron en varias categorías, cada una con una frecuencia del 100% entre todos los estudiantes encuestados. Estas categorías se basaron en la frecuencia de menciones de los siguientes aspectos:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Regulación del dióxido de carbono en la atmósfera.</li> <li>2. Disminución de la sensación térmica.</li> <li>3. Regulación del cauce de quebradas y reducción del riesgo de inundaciones.</li> <li>4. El papel de la fotosíntesis.</li> </ol> <p>En general, los encuestados mencionaron al menos alguna relación con estos aspectos. Para cada una de las categorías formadas, se encontraron similitudes en las respuestas de la siguiente manera:</p> <p>En relación con la primera categoría, el 90% de los estudiantes mencionaron la importancia de los árboles en la disminución del dióxido de carbono atmosférico. Respecto a la segunda categoría, el 75% se refirió a la función de los árboles en la reducción de la temperatura ambiental, lo que contribuye a mejorar la sensación térmica de las personas. Solo un 25% mencionó la importancia de los árboles en la regulación del flujo de agua en las quebradas y la reducción del riesgo de inundaciones. Del total de estudiantes, el 10% mencionó el papel crucial de la fotosíntesis en este proceso.</p>

Pregunta	Análisis de los resultados
¿Qué acciones propones para cuidar y conservar el sendero ecológico institucional?	<p>A partir de las respuestas generadas se crearon las siguientes categorías:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Actividades educativas institucionales</li> <li>2. Siembra o cuidado de arboles</li> </ol> <p>Entre las acciones propuestas por los estudiantes, el 95% sugirió implementar actividades educativas para sus compañeros, con el objetivo de evitar que tiren basura en el sendero. Estas actividades incluyen la creación de carteleras, la realización de exposiciones en las aulas y la producción de videos para redes sociales. Un 10% de los estudiantes propuso colocar barreras en las ventanas para evitar que se arrojen residuos a la zona verde. Sin embargo, durante el proceso reflexivo con el grupo, se concluyó que es más importante educar y concienciar a los compañeros. Además, el 40% de los estudiantes destacó la importancia de cuidar el estado del arbolado urbano y propuso sembrar nuevas plantas en la zona verde y en otros espacios del barrio.</p>
¿Desde nuestros hogares como podemos contribuir a cuidar el medio ambiente?	<p>En este punto, la gran mayoría de los estudiantes, el 95%, destacó la importancia de no malgastar el agua. Entre las acciones sugeridas se incluyen reducir el tiempo de la ducha y del cepillado de dientes, con el objetivo de conservar este recurso vital. Además, el 80% de los estudiantes subrayó la importancia de promover el reciclaje como una medida esencial para evitar el deterioro de la naturaleza. Por otro lado, el 30% de los estudiantes mencionó la relevancia de educar sobre comportamientos en casa que contribuyan a la conservación del medio ambiente.</p>

**Nota:** elaboración propia a partir de la investigación.

## Discusión

Al comparar los valores obtenidos en la zona verde institucional de 7498,98 kg de carbono acumulado en los árboles y 131,88 t C/ha de biomasa, aérea con estudios similares realizados en la Universidad de Antioquia, donde registraron un total de 757976,5 kg de carbono acumulado en la biomasa de los árboles del campus universitario, con un promedio de biomasa aérea de 42,58 t C/ha (Rodríguez, 2022), así como en el Tecnológico de Antioquia, donde se registraron valores promedio de biomasa aérea entre 123,36 y 121,18 t C/ha para su arbolado urbano (Escudero, 2019), los estudiantes reconocieron la importancia de la zona verde institucional para la captura de carbono y la mitigación del cambio climático; encuentran que este valor más alto de carbono por hectárea podría deberse a la proximidad de crecimiento de los árboles en la zona verde institucional, un concepto asociado a la densidad poblacional y, con la ayuda de los docentes, concluyen que otros factores como las especies presentes, las condiciones específicas de cada área y la utilización de diferentes modelos matemáticos también podrían influir en estos resultados. Este proceso corresponde a un análisis de modelos, con un enfoque híbrido de modelación matemática propuesto por De Sousa y De Lara (2023).

Las producciones, exposiciones y reflexiones de los estudiantes demuestran cómo sus percepciones sobre los problemas socioambientales se integran en la perspectiva de modelación socio-crítica adoptada en el proyecto. Se observa la adquisición de aprendizajes interdisciplinarios que promueven la reflexión sobre el cambio climático y el desarrollo sostenible como lo plantean Cordero et al. (2019), Calderón et al. (2020), Da Silva et al. 2021 y Huincahue y Gaete-Peralta (2024). Los estudiantes aplicaron conceptos relacionados con el clima, las funciones trigonométricas, los logaritmos, la fotosíntesis, los bienes y servicios ecosistémicos, y las redes tróficas. Además, el análisis del arbolado urbano fomentó la conciencia sobre la importancia de conservar las zonas verdes urbanas, alineándose con los planteamientos de Araújo (2009) y Caldeira (2008) sobre la modelación socio-crítica en el diseño de ambientes de aprendizaje.

Se ha demostrado cómo implementar estrategias lúdicas y participativas con el entorno natural, genera un mayor impacto en la formación de compromisos significativos con la sostenibilidad y la adopción de prácticas ecológicas. Esto a su vez, contribuye a una conciencia creciente sobre la protección de la naturaleza (Garzón, 2023; Domínguez et al., 2023; Caldeira, 2008). Promover estrategias de restauración y cuidado de las zonas verdes permite formar vínculos con la naturaleza, generando beneficios físicos, sociales y emocionales. Este desarrollo de relaciones armoniosas con el ambiente es fundamental para reflexionar, reconstruir y resignificar las interacciones del ser humano con su entorno natural (Peñaherrera-Romero et al., 2022; Sander-Regier y Etowa, 2014; Caldeira, 2008).

La enseñanza del cambio climático y la adquisición de conciencia ecológica deben abordarse mediante una metodología coherente y didáctica que incluya contenidos conceptuales y actitudinales, así como estrategias que promuevan aprendizajes significativos en los estudiantes (Hache et. al, 2023; Meira-Cartea y Arto-Blanco, 2014). Esta conciencia ecológica se manifestó en los trabajos reflexivos de estudiantes sobre su papel en la mitigación del cambio climático y el cuidado de la naturaleza, en las que destacan la importancia del arbolado urbano para la conservación, su contribución en la disminución de los efectos del cambio climático, las propuestas de educación en el cuidado de la zona verde institucional con otros estudiantes, la promoción del reciclaje desde los hogares para evitar el mayor deterioro de la naturaleza y proponer estrategias de restauración en zonas verdes como lo es la siembra de árboles.

## Conclusiones

“ Los resultados de este estudio muestran que los ambientes de modelación en educación secundaria diseñados en la perspectiva socio-crítica facilitan las discusiones frente a las relaciones del hombre con su entorno y la importancia de los procesos de conservación, para que los individuos y comunidades educativas comprendan la importancia de las complejas relaciones existentes entre los seres vivos con su ambiente. ”

Los resultados de este estudio muestran que los ambientes de modelación en educación secundaria diseñados en la perspectiva socio-crítica facilitan las discusiones frente a las relaciones del hombre con su entorno y la importancia de los procesos de conservación, para que los individuos y comunidades educativas comprendan la importancia de las complejas relaciones existentes entre los seres vivos con su ambiente, y de cómo el hombre afecta los ecosistemas a través de la sobreexplotación de los recursos naturales favoreciendo así espacios de diálogo, reflexión y participación activa de los estudiantes.

El conocimiento del entorno natural, sus beneficios y de las consecuencias de su sobreexplotación, contribuyen a desarrollar sentido de responsabilidad sobre las acciones que toma el ser humano con su entorno, y al desarrollo de una visión sostenible de la explotación de los recursos renovables y no renovables, de manera tal que se puedan mantener en el tiempo para las próximas generaciones (Montoya-Osorio, 2014; Navarro-Díaz et al., 2020). La educación ambiental y la concepción de un mundo sostenible están profundamente relacionadas. No habrá un futuro sostenible sin una apropiada educación ambiental (Vilches y Gil, 2009; Calero et al., 2019; Navarro-Díaz et al., 2020).

Por esta razón, el sendero ecológico en la Institución Educativa El Pedregal, se convierte en una alternativa para que los estudiantes se aproximen progresivamente al conocimiento científico, aumentando su conciencia ambiental y sentido de pertenencia por el espacio que les rodea, además del entrenamiento, de la observación y la transformación de un espacio ecológico habitable.

A continuación, se mencionan los aportes pedagógicos que posibilitan un ambiente de aprendizaje como el sendero ecológico en la escuela desde una mirada de modelación interdisciplinar:

- Inculcar la capacidad de los estudiantes para reflexionar sobre su propio entorno, promoviendo la capacidad de autoformarse y de aprender a aprender uniendo la teoría con la práctica.
- La capacidad de servicio y el respeto por el otro, por su entorno y el medio ambiente, conservando la integridad de su mundo natural.

- La adquisición de las competencias desde el desarrollo de las dimensiones: saber, saber hacer y saber ser, desde la identificación de problemas socioambientales, la habilidad para transformar los espacios y adecuarlos, la capacidad para trabajar en equipo y por último el aprecio y respeto por la naturaleza.
- El trabajo colaborativo entre pares académicos para generar relaciones disciplinares.

## Declaraciones

**Agradecimientos.** Los autores expresan agradecimientos al Centro de Investigación Escolar CEIPY por su ayuda y colaboración.

**Procedencia.** El presente trabajo se deriva de un proyecto de investigación escolar, adscrito a una línea de investigación: Medio ambiente y cultura, se trata de un producto parcial.

**Financiamiento.** Los autores declaran que el proyecto no tuvo financiamiento.

**Aspectos éticos.** En la ejecución del estudio los participantes fueron informados del proceso a través de un consentimiento por escrito.

**Conflicto de interés.** Los autores declaran que no hay ningún tipo de conflicto de interés.

## Referencias

- Alonso, M., Rascón, M. T., Calderón, I. (2023). *Cómo hacer investigación-acción participativa*. Ministerio de Educación y Formación Profesional. Gobierno de España.
- Araújo, J. (2009). Uma abordagem sócio-crítica da modelagem matemática: a perspectiva da educação matemática crítica. *Alexandria, Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, 2 (2), 55-68. <http://www.mat.ufmg.br/~jussara/artigos.html>.
- Caldeira, A. D. (2008). Mathematical Modelling and Environmental Education. En Blomhøj, M., Carreira, S. (Eds.), *Mathematical applications and modelling in the teaching and learning of mathematics Proceedings from Topic Study Group 21 at the 11th International Congress on Mathematical education in Monterrey*, (11, pp.150-157), Roskilde Universitet. <http://tsg.icme11.org/tsg/show/22>
- Cairns M.A., Brown S., Helmer E.H. y Baumgardner G.A. (1997). *Root biomass allocation in the world's upland forests. Oecologia*, 111(1), 1-11. <https://link.springer.com/article/10.1007/s004420050201>
- Calero, M., Mayoral, O., Ull, À. y Vilches A. (2019). La educación para la sostenibilidad en la formación del profesorado de ciencias experimentales en secundaria. *Revista De Investigación Y Experiencias Didácticas*, 37(1), 157-175. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2605>
- Calderón madero, J. E., Suárez Agudelo, E. A., Atencio Sarmiento, F. A., Romero Meza, G. P., y Oyaga Martínez, R. (2020). Diseño curricular transversal: hacia la apropiación social del concepto del agua. *Revista ESPACIOS*, 30(41), 38-49.
- Carriazo, J., Molina, M. y Ordóñez O. (2024). Concepciones sobre el dióxido de carbono y su influencia en el cambio climático: intervención didáctica valorativa y experimental. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 21(1), 1-18. [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2024.v21.i1.1503](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2024.v21.i1.1503)

- Cordero, F., Villa-Ochoa, J. A., Rosa, M., Suárez-Téllez, L., Carranza, P., y Mendoza-Higuera, J. (2019). La Modelación Matemática Educativa, sus Métodos de Investigación y el Impacto Educativo en la Formación y Desarrollo de la Docencia de la Matemática. *Acta Latinoamericana de Matemática Educativa* 32(1), 539-547. <https://core.ac.uk/download/pdf/227536109.pdf>.
- Da Silva, T. R., de Lima, P. S., Mirson, B. D. P. M., y de Loiola Araújo, J. (2021). Interdisciplinaridade em trabalhos na Conferência Nacional sobre Modelagem na Educação Matemática. *Revemop*, 3, pp. 1-16. <https://doi.org/10.33532/revemop.e202106>
- De Sousa, E. S. y de Lara, I. C. (2023). Contribuições de um Material de Apoio para a implementação prática do método de ensino Análise de Modelos. *Revista de Investigação e Divulgação em Educação Matemática*, 1 (7), 1-21. <https://doi.org/10.34019/2594-4673.2023.v7.40182>
- Domínguez, L. M., Jiménez Pineda, D. M., y Tovar Rúa, D. C. (2023). Caracterización de la fauna silvestre y la flora arbórea del Municipio de San Benito Abad- Sucre, como estrategia que contribuya a su conservación a través de procesos de Investigación Formativa en la Institución Educativa María Inmaculada. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(2), 4420-4435. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v7i2.5660](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i2.5660)
- Escudero, G. A. (2019). *Estimación de los contenidos de biomasa del bosque urbano del Tecnológico de Antioquia – Institución Universitaria* [Tesis de pregrado]. Repositorio digital Tecnológico de Antioquia. <https://dspace.tdea.edu.co/handle/tda/472>
- Farfán Pimentel, J. F., Arenas, R. D., y Farfán Pimentel, D. E. (2024). Educación ambiental, currículo, estrategias y políticas para la sostenibilidad: una revisión sistemática. *Revista Alfa*, 8(23), 576-592. <https://revistaalfa.org/index.php/revistaalfa/article/view/379>
- Ferreira, Denise y Wodewotzki, Lúcia. (2007). Modelagem matemática e educação ambiental: uma experiência com alunos do ensino fundamental. *Zetetiké*, 15(28), 63-85.
- Garzón, L., D. (2023). Uso de un Objeto Virtual de Aprendizaje como Estrategia Didáctica para Promover la Identidad Cultural y Conservación de Especies Nativas en Extinción Con Estudiantes de Grado Sexto en Cartagena del Chairá, Caquetá. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(5), 5626-5643. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v7i5.8156](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i5.8156)
- Haché, J., Candelario, D. y Tapia, F. (2023). Unidad didáctica para mejorar la enseñanza-aprendizaje sobre el cambio climático y su concienciación en estudiantes de secundaria. *Revista de Investigación y Evaluación Educativa-Revie*, 10(1), 46-68. DOI: <https://doi.org/10.47554/revie.vol10.num1.2023.pp46-68>
- Huincahue, J., Gaete-Peralta, C. (2024). Mathematical Modeling in Interdisciplinary Academic Scenarios: Components for Task Construction. En Siller, HS., Geiger, V., Kaiser, G. (eds) *Researching Mathematical Modelling Education in Disruptive Times. International Perspectives on the Teaching and Learning of Mathematical Modelling* (pp. 583-593). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-53322-8\\_48](https://doi.org/10.1007/978-3-031-53322-8_48).

- Jacobini, O. R.; Wodewotzki, M. L. L. (2006). Uma Reflexão sobre a Modelagem Matemática no Contexto da Educação Matemática Crítica. *Bolema*, 25, p. 71-88. <https://www.redalyc.org/pdf/2912/291221859005.pdf>
- Kaiser, G.; Sriraman, B. (2006). A global survey of international perspectives on modelling in mathematics education. *The International Journal on Mathematics Education*, 38 (3), 302-310. <https://doi.org/10.1007/BF02652813>
- La Silla Vacía. (2021). [La Silla Vacía]. (29 de agosto de 2021). *Colombia y el cambio climático-¿Y eso a mí qué?* [Video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=OmOI77G8r1o&t=4s>
- Mancera-Ortiz, G., Camelo-Bustos, F. J., y Araújo, J. D. L. (2022). Paradigma crítico de investigación y modelación matemática: transformaciones que desafían condiciones de vulnerabilidad social. *Revista Colombiana de Educación*, (86), 383-408. <https://doi.org/10.17227/rce.num86-12393>
- Navarro-Díaz, Miriam, Moreno-Fernández, Olga, y Rivero-García, Ana. (2020). El cambio climático en los libros de texto de educación secundaria obligatoria. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 25(87), 957-985. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-66662020000400957&lng=es&lng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-66662020000400957&lng=es&lng=es).
- Massip Sabater, M., Espinet Blanch, M., Almendro Díaz, R., Llerena del Castillo, G., y Hosta Cuy, J. (2021). Problemas Socio ¿qué? Los problemas socioambientales y su concreción por el profesorado en formación. *Revista de Investigación en Didáctica de las Ciencias Sociales REIDICS* (9), 115-136. <https://doi.org/10.17398/25310968.09.115>
- Meira-Carda, P.Á., & Arto-Blanco, M. (2014). Representaciones del cambio climático en estudiantes universitarios en España: aportes para la educación y la comunicación. *Educar em Revista* 3, 15-33. <https://www.scielo.br/j/er/a/LcmqmLZHgdCKRSp5mYpnq5J/>
- Montoya-Osorio, J. (2014). *Propuesta de enseñanza para el aprendizaje del concepto de taxonomía biológica a través del proceso de indagación de la diversidad biológica de la flora en la institución educativa el pedregal*. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.
- Ocampo-Arenas, M. C. y Parra-Zapata, M. M. (2022). Una experiencia de modelación matemática en educación primaria en un contexto de Educación Ambiental. *Uni-Pluriversidad* 22(1), 1- 16. <https://doi.org/10.17533/udea.unipluri.348824>
- Peñaherrera-Romero, E., Espinoza, S., De la Torre, D., Espinoza, D., y Cisneros-Heredia, D. F. (2022). Integrando la ciencia ciudadana y la educación para fomentar los vínculos entre las personas y la naturaleza en áreas urbanas. *Esfemas*, 3(1), 112- 133. <https://doi.org/10.18272/esferas.v3i1.2437>
- Poveda, G. (2021). [Universidad Nacional de Colombia]. (13 de diciembre de 2021). Colombia y el cambio climático: responsabilidades, políticas y realidades [Video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=RqPRdyR86U8>

- Rodríguez, L. L. (2022). *Estimación de la captura y almacenamiento de carbono por los árboles de la Universidad de Antioquia en Ciudad Universitaria* [Tesis de pregrado]. Repositorio Institucional Universidad de Antioquia. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/30121>
- Ruiz Corbella, M. (1997) La integración de saberes, clave para la formación integral. En López -Barajas, E. (ed.), *Integración de saberes e interdisciplinariedad*, (pp. 79 – 92). (Madrid, UNED).
- Sander-Regier, R., y Etowa, J. (2014). Urban Green Space as a Public Health Resource: Lessons from Ottawa's Fletcher Wildlife Garden. *The International Journal of Health, Wellness, and Society* 5(1), 1-11. [https://www.researchgate.net/publication/280566684\\_Urban\\_Green\\_Space\\_as\\_a\\_Public\\_Health\\_Resource\\_Lessons\\_from\\_Ottawas\\_Fletcher\\_Wildlife\\_Garden](https://www.researchgate.net/publication/280566684_Urban_Green_Space_as_a_Public_Health_Resource_Lessons_from_Ottawas_Fletcher_Wildlife_Garden)
- Schlegel, B. (2001). Estimación de la biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempreverde. En *Simposio internacional medición y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales* 18, pp. 1-13.
- Valle, A., Manrique, L., y Revilla, D. (2022). *La Investigación descriptiva con enfoque cualitativo en educación*. Facultad de Educación de la Pontificia Universidad Católica del Perú. <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/184559>
- Vilches, A., y Pérez, D. G. (2009). Una situación de emergencia planetaria, a la que debemos y «podemos» hacer frente. *Revista de Educación, número extraordinario*, 101-122. [https://www.uv.es/gil/documentos\\_enlazados/2009\\_%20Revista%20de%20Educaci%C3%B3n.pdf](https://www.uv.es/gil/documentos_enlazados/2009_%20Revista%20de%20Educaci%C3%B3n.pdf)