

Environmental Education for Climate Change and Sustainable Development: A Bibliometric Analysis with a Latin American Perspective

Abstract

Environmental education has become a strategic pillar for addressing climate change challenges and advancing sustainable development; however, empirical gaps persist in the systematic characterization of its approaches, dimensions, and implementation patterns, particularly in developing contexts. This study aims to describe the characteristics of scientific production on environmental education related to climate change and sustainable development through a descriptive diagnostic analysis. A qualitative approach was adopted, combining bibliometric techniques and content analysis applied to a corpus of 500 documents indexed in Scopus, retrieved using a structured search equation. The results reveal significant thematic fragmentation, with a predominance of studies focused on climate change, knowledge, and awareness, alongside a low level of integrated convergence between environmental education, climate change, and sustainable development. Methodologically, survey-based and cross-sectional designs dominate, while mixed and longitudinal methods remain marginal. In addition, environmental and public health dimensions are overrepresented compared to social, equity, and governance components. From a geographical perspective, scientific production is concentrated in Europe, North America, and Asia, whereas Latin America and Africa show limited representation. The study concludes that environmental education for climate change and sustainability has achieved notable progress in awareness-building, yet continues to face structural gaps in formal training, interdisciplinary integration, and context-sensitive evidence generation. These findings provide a valuable diagnostic baseline to inform future research agendas and support the design of education policies aligned with the Sustainable Development Goals.

Keywords: environmental education; climate change; sustainable development; bibliometric analysis; Latin America.

Educación ambiental para el cambio climático y desarrollo sostenible: análisis bibliométrico con perspectiva latinoamericana

Resumen

La educación ambiental se ha consolidado como un eje estratégico para enfrentar los desafíos del cambio climático y avanzar hacia el desarrollo sostenible; sin embargo, persisten vacíos empíricos en la caracterización sistemática de sus enfoques, dimensiones y patrones de implementación, especialmente en contextos en desarrollo. El presente estudio tiene como objetivo describir las características de la producción científica sobre educación ambiental vinculada al cambio climático y al desarrollo sostenible mediante un análisis diagnóstico de carácter descriptivo. Se adoptó un enfoque cualitativo con técnicas bibliométricas y análisis de contenido aplicadas a un corpus de 500 documentos indexados en Scopus, recuperados mediante una ecuación de búsqueda estructurada. Los resultados evidencian una marcada fragmentación temática, con predominio de estudios centrados en cambio climático, conocimiento y sensibilización, y una baja convergencia integrada entre educación ambiental, cambio climático y desarrollo sostenible. Metodológicamente, predominan los diseños basados en encuestas y enfoques transversales, con escasa presencia de métodos mixtos y longitudinales. Además, se observa una sobrerrepresentación de dimensiones ambientales y de salud pública frente a componentes sociales, de equidad y gobernanza. En términos geográficos, la producción se concentra en Europa, Norteamérica y Asia, mientras que América Latina y África presentan una participación limitada. El estudio concluye que la educación ambiental para el cambio climático y la sostenibilidad muestra avances significativos en sensibilización, pero mantiene brechas persistentes en formación estructurada, integración interdisciplinaria y generación de evidencia contextualizada. Estos hallazgos aportan una base diagnóstica relevante para orientar futuras investigaciones y el diseño de políticas educativas alineadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Palabras clave: educación ambiental; cambio climático; desarrollo sostenible; análisis bibliométrico; América Latina.

I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático constituye una de las amenazas más complejas para la estabilidad ecológica y socioeconómica del siglo XXI, con efectos documentados sobre la seguridad alimentaria, los recursos hídricos, la salud pública y la biodiversidad [1], [2]. Frente a esta realidad, organismos internacionales como la UNESCO y el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) han señalado la necesidad de incorporar estrategias educativas que

fortalezcan la capacidad de respuesta de las sociedades ante los riesgos climáticos [3]. La educación ambiental (EA), en tanto proceso formativo orientado a generar conocimiento, sensibilización y acción frente a los problemas ecológicos, se ha posicionado como un componente central en la construcción de ciudadanía climática [4], [5]. No obstante, la articulación entre EA, cambio climático y desarrollo sostenible presenta vacíos conceptuales y empíricos que limitan su alcance en contextos educativos formales e informales [6].

En el marco de la Agenda 2030, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 4, 13 y 12 establecen un vínculo directo entre educación de calidad, acción climática y producción y consumo responsables, respectivamente [7]. El ODS 4, en particular, promueve una educación inclusiva y equitativa que garantice oportunidades de aprendizaje para la sostenibilidad a lo largo de la vida, mientras que el ODS 13 exige medidas urgentes para fortalecer la resiliencia ante fenómenos climáticos extremos, lo cual incluye la alfabetización climática como herramienta de mitigación y adaptación [8], [9]. A su vez, el ODS 12 demanda patrones de consumo responsable cuya adopción depende, en gran medida, de procesos educativos estructurados [10]. La investigación reciente ha demostrado que la educación puede reducir significativamente las emisiones individuales de carbono cuando se diseña con enfoques experienciales e interdisciplinarios [11]; sin embargo, esta evidencia proviene mayoritariamente de contextos del hemisferio norte, con escasa representación de diagnósticos empíricos en América Latina [12].

Revisiones bibliométricas realizadas sobre dos décadas de producción científica en educación sobre cambio climático revelan que el campo ha sido liderado por revistas de educación ambiental y educación científica, concentrando el 36,7% de las publicaciones en diez revistas del primer cuartil [13]. Pese a este crecimiento sostenido, análisis recientes evidencian fragmentación metodológica y ausencia de marcos comparativos que permitan evaluar la efectividad de las intervenciones educativas de manera consistente [14]. Una meta-análisis sobre la efectividad de la educación climática ha confirmado efectos positivos en conocimiento y actitudes, aunque los resultados en cambio de comportamiento resultan menos concluyentes y dependen del tipo de medición empleada [15]. En el ámbito de la educación para el desarrollo sostenible (EDS), estudios con 571 publicaciones entre 2016 y 2022 identifican distribuciones geográficas desiguales en los avances investigativos, con una marcada concentración en Europa y América del Norte [16]. Esta asimetría deja al descubierto una

brecha particularmente relevante: la limitada disponibilidad de diagnósticos empíricos sistematizados que caractericen la EA vinculada al cambio climático en regiones en desarrollo [17].

La alfabetización climática, entendida como la comprensión de los principios esenciales del sistema climático terrestre y la capacidad de valorar críticamente información científica para la toma de decisiones informadas [18], requiere de instrumentos diagnósticos que permitan mapear las condiciones reales de los procesos formativos. Una revisión sistemática de métodos de evaluación de la alfabetización climática ha puesto de manifiesto la falta de consistencia en las dimensiones medidas y en los instrumentos empleados, particularmente fuera de Norteamérica y Europa [19]. En este sentido, los enfoques cuantitativos descriptivos basados en diagnósticos educativos ofrecen una vía para sistematizar información empírica sin pretender establecer relaciones causales, contribuyendo a la construcción de líneas base sobre las cuales se puedan diseñar intervenciones futuras [20], [21]. Este tipo de abordaje resulta pertinente en contextos donde la infraestructura investigativa es incipiente y donde se requiere evidencia diagnóstica como punto de partida para la formulación de políticas educativas ambientales [22].

La presente investigación tiene como propósito describir las características de la educación ambiental orientada al cambio climático y al desarrollo sostenible, a partir de evidencia empírica recopilada en una base de datos diagnóstica. El estudio busca caracterizar las prácticas y enfoques de EA vinculados al cambio climático, describir los niveles de sensibilización y formación ambiental para la sostenibilidad, presentar las dimensiones educativas asociadas al desarrollo sostenible e identificar patrones educativos relevantes, todo ello dentro de un marco estrictamente descriptivo que no establece relaciones causales [23], [24]. La aproximación metodológica empleada se sustenta en la sistematización de datos cuantitativos derivados de un diagnóstico educativo, lo cual permite ofrecer una radiografía del estado actual de la EA en relación con la crisis climática y los imperativos de sostenibilidad [25].

Este estudio contribuye al campo de la educación ambiental desde una perspectiva empírica y diagnóstica que responde a la brecha identificada en la literatura sobre la escasez de datos sistematizados en contextos latinoamericanos [26], [27]. Al aportar evidencia descriptiva sobre enfoques educativos, niveles de formación ambiental y dimensiones asociadas al desarrollo sostenible, la investigación se alinea con las recomendaciones de organismos internacionales que subrayan la necesidad de integrar la EA en las agendas de

política educativa como mecanismo de respuesta frente al cambio climático [28], [29], [30]. La pertinencia de este trabajo radica en su capacidad para informar el diseño de estrategias educativas basadas en evidencia, orientadas a fortalecer la resiliencia climática y promover prácticas sostenibles en el ámbito educativo.

La pertinencia regional del estudio se refuerza al observar que América Latina concentra apenas el 7% de la producción científica global sobre EA vinculada al cambio climático y a la sostenibilidad. Esta brecha cobra peso al articularla con la Agenda 2030: la alfabetización climática actúa como puente operativo entre el ODS 4 (educación de calidad), el ODS 12 (producción y consumo responsables) y el ODS 13 (acción por el clima), por lo que la ausencia de diagnósticos sistemáticos en regiones en desarrollo limita la capacidad de los Estados latinoamericanos para alinear sus políticas educativas con las metas 4.7, 12.8 y 13.3 [7], [8]. La carencia de evidencia regional dificulta priorizar la formación, evaluar el avance de esas metas y orientar el financiamiento educativo. En ese marco, el lema del XXIV Congreso LACCEI 2026, centrado en la Inteligencia Artificial al servicio del desarrollo sostenible de Las Américas, resulta pertinente para esta investigación, ya que las herramientas de IA pueden cerrar brechas diagnósticas, sistematizar datos educativos y escalar la formación docente en regiones con infraestructura investigativa incipiente.

II. MARCO TEÓRICO

Durante las últimas cinco décadas, la EA pasó de ocuparse casi exclusivamente de la conservación de recursos naturales a constituir un campo pedagógico con mayor densidad teórica [31], incorporando dimensiones éticas, sociopolíticas y culturales que la alejan del tratamiento puramente factual del conocimiento ecológico [32]. Se la concibe hoy como un proceso formativo que procura el fortalecimiento de capacidades críticas útiles para decidir en escenarios de incertidumbre ecológica [33]. Las prácticas pedagógicas, no obstante, siguen ancladas en lo conceptual y lo actitudinal según investigaciones con profesores de secundaria en España, donde las estrategias para fomentar el pensamiento crítico y la resolución fundamentada de problemáticas ambientales tienen presencia todavía marginal [34]. Esa brecha entre lo normativo y lo que sucede en las aulas ha sido identificada tanto en contextos europeos como en regiones en desarrollo [35], [36]. La ECC fue ganando protagonismo académico y político dentro de ese escenario, en especial desde que la meta 13.3 de los ODS incluyó el fortalecimiento de la formación y la sensibilización en mitigación y adaptación climática [37]. Comprender los principios del sistema climático, evaluar con criterio la

información científica y participar en acciones informadas son los ejes de la alfabetización climática, concepto que articula numerosas propuestas pedagógicas actuales [38]. La relación entre saber climático y conducta proambiental, sin embargo, no sigue un camino directo; estudios con universitarios en China muestran que niveles altos de preocupación pueden convivir con una sobrevaloración de los propios conocimientos, sin que la conciencia declarada garantice competencias funcionales [39]. Ese desfase, referido en la literatura como *knowledge-action gap*, señala la necesidad de enfoques capaces de integrar lo cognitivo, lo afectivo y lo conductual simultáneamente [40], [41].

El aprendizaje transformador se ha consolidado como alternativa a los modelos transmisivos. Un marco reciente articula la ECC con sus principios y plantea cambios paralelos en currículos, pedagogías y evaluación, frente a las resistencias de los sistemas tradicionales [42]. Estudios con población infantil sobre competencia climática muestran que el conocimiento y las habilidades no bastan para movilizar el compromiso sin una formación en valores que impulse el pensamiento crítico y la creatividad [43], [44].

La EDS opera como el marco más amplio donde se inscriben la EA y la ECC. La UNESCO la define como un proceso holístico y transformador que integra contenidos, aprendizaje, pedagogía y entorno educativo, con enfoques participativos e interdisciplinarios orientados a la acción [45]. Un estudio con 797 universitarios finlandeses halló diferencias significativas en el interés por competencias de sostenibilidad según el campo disciplinar [46]; otra investigación con docentes universitarios desarrolló una escala de seis dimensiones para metacompetencias en enseñanza interdisciplinaria vinculada a los ODS, evidenciando la urgencia de instrumentos validados [47].

Wiek y colaboradores plantearon un marco de competencias clave para la sostenibilidad que la UNESCO adoptó después: pensamiento sistémico, anticipación, competencia normativa, competencia estratégica y competencia interpersonal [48], [45]. Su aplicación curricular enfrenta obstáculos: futuros docentes de secundaria en España reportan dominio parcial de las competencias de acción en EDS, sobre todo en evaluación de aprendizajes y análisis multidimensional de problemas socioambientales [49]. Otros estudios identifican a la formación docente como uno de los eslabones más frágiles de esta cadena, ya que los programas de formación inicial integran de manera limitada y poco transversal las competencias que la EDS demanda [50], [36].

Educación y ODS convergen en distintos planos. La meta 4.7 del ODS 4 establece que todo estudiante debe adquirir conocimientos y competencias para el desarrollo sostenible, abarcando estilos de vida sostenibles, derechos humanos, igualdad de género y ciudadanía global [51]. La meta 13.3 del ODS 13 enfatiza la educación en mitigación, adaptación y reducción del impacto climático [37], y el ODS 12 conecta con procesos educativos que apuntan a transformar patrones de consumo insostenibles [52]. Un estudio con estudiantes de secundaria españoles muestra que la alta preocupación declarada por el clima y la sostenibilidad apenas se traduce en disposición a modificar hábitos cotidianos profundos como consumo o alimentación, lo cual evidencia que la preocupación declarativa no conduce por sí sola a cambios estructurales [53], [54].

La producción científica en EA, ECC y EDS ha crecido de forma notable; sin embargo, predominan estudios cualitativos de caso, ensayos teóricos y revisiones de alcance, mientras los trabajos cuantitativos de carácter diagnóstico son escasos, sobre todo fuera de Europa y América del Norte [39], [55]. En Colombia, una evaluación de alfabetización climática encontró que la EA escolar favorece la conciencia ambiental, aunque los predictores más sólidos son variables socioeconómicas y del entorno escolar [56]. Investigaciones descriptivas como esa aportan información diagnóstica para la política educativa al identificar fortalezas, debilidades y patrones, sin pretender relaciones causales [57], [58].

El recorrido expuesto sitúa a la EA como un campo donde conviven marcos normativos ambiciosos con realidades empíricas insuficientemente documentadas. Tanto la ECC como la EDS comparten una limitación transversal: la escasa disponibilidad de diagnósticos cuantitativos sistematizados que caractericen prácticas educativas, niveles de formación ambiental y dimensiones asociadas al desarrollo sostenible en contextos específicos [59], [60]. Esa carencia se nota con especial claridad en América Latina, donde las políticas educativas van incorporando los compromisos derivados de los ODS sin disponer de una base empírica sólida que oriente su implementación. El presente estudio busca contribuir a llenar ese vacío mediante una aproximación descriptiva sustentada en evidencia empírica diagnóstica, con el fin de caracterizar las condiciones actuales de la EA vinculada al cambio climático y al desarrollo sostenible, ofreciendo insumos para la formulación de políticas educativas informadas y la identificación de áreas prioritarias de intervención formativa.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio adoptó un enfoque cualitativo con alcance descriptivo, basado en técnicas bibliométricas y de análisis de contenido [13], [23]. No se formularon hipótesis, dado que el propósito fue caracterizar la producción científica sobre educación ambiental (EA), cambio climático (CC) y desarrollo sostenible (DS) sin establecer relaciones causales [4], [6].

La unidad de análisis estuvo constituida por documentos científicos indexados en Scopus, seleccionada por su cobertura predominante de literatura revisada por pares en ciencias sociales, ambientales y de la educación. El proceso de selección siguió los lineamientos PRISMA 2020 [22], aplicados a una revisión bibliométrica de carácter diagnóstico. La estrategia de búsqueda empleó la siguiente ecuación booleana: TITLE-ABS-KEY("environmental education" AND ("climate change" OR "sustainable development")), ejecutada el 15 de noviembre de 2023, sin restricción de idioma ni de tipo documental durante la fase de identificación. Los criterios de inclusión fueron: (i) documentos publicados entre 2010 y 2023; (ii) presencia simultánea de educación ambiental con al menos uno de los términos cambio climático o desarrollo sostenible en título, resumen o palabras clave; (iii) acceso a metadatos bibliométricos completos (autores, afiliación, palabras clave, citas). Los criterios de exclusión fueron: (i) documentos sin resumen disponible; (ii) registros duplicados; (iii) editoriales, cartas al editor y errata; (iv) trabajos cuyo abstract evidenciara una temática marginal respecto del foco del estudio. La fase de identificación recuperó un total inicial de registros que, tras tamizaje y elegibilidad, derivó en un corpus final de 500 documentos: artículos originales (79,0%, $n = 395$), revisiones (10,4%, $n = 52$), capítulos de libro (3,0%, $n = 15$) y otros tipos documentales (7,6%, $n = 38$). El 97,8% fue publicado en inglés ($n = 489$) y el 61,4% contó con acceso abierto ($n = 307$).

El componente bibliométrico abarcó indicadores de producción (distribución por tipo documental, idioma y acceso), visibilidad (porcentaje de artículos citados al menos una vez), co-ocurrencia de pares de palabras clave, concentración editorial y representación geográfica por región de afiliación [20], [57]. Los artículos con autores multinacionales se contabilizaron en cada región correspondiente [39], [55].

El análisis de contenido operó sobre tres dimensiones extraídas de los resúmenes del corpus. La primera correspondió a la clasificación temática, realizada mediante frecuencia de Author Keywords, Index Keywords y rastreo sistemático en abstracts; se configuraron clusters no excluyentes que incluyeron CC, conocimiento y sensibilización, sostenibilidad, EA, comportamiento y actitudes, entre otros, de modo que un mismo registro podía pertenecer a varios grupos

simultáneamente [29]. La segunda dimensión abordó la identificación de métodos y poblaciones: se registraron los instrumentos de recolección reportados (encuestas, entrevistas, regresión/correlación, métodos mixtos) y las poblaciones estudiadas (comunidades, estudiantes, docentes, niños/jóvenes). La tercera dimensión examinó los ejes del DS presentes en el corpus: salud pública, gobernanza, economía, justicia y equidad, y enfoques comunitarios. Las fuentes de publicación se organizaron por frecuencia absoluta, considerando revistas con cuatro o más registros.

Los datos se sintetizaron mediante frecuencias absolutas y relativas, medias y medianas, empleados como herramientas descriptivas para la caracterización del corpus, no como pruebas inferenciales [22], [24]. Los resultados se estructuraron en torno a cuatro ejes derivados de los objetivos específicos: prácticas y enfoques de EA frente al CC, niveles de sensibilización y formación ambiental, dimensiones educativas del DS, y patrones educativos con representación geográfica.

IV. RESULTADOS

Los resultados se organizan en función de los cuatro objetivos específicos del estudio, a partir del análisis bibliométrico y de contenido de 500 registros indexados en Scopus correspondientes a la producción científica sobre educación ambiental, cambio climático y desarrollo sostenible publicada predominantemente en 2023. El corpus comprende 395 artículos originales (79,0%), 52 revisiones (10,4%), 15 capítulos de libro (3,0%) y 38 documentos de otra tipología (7,6%). El 97,8% fue publicado en inglés ($n = 489$), lo que confirma la hegemonía idiomática anglosajona en la difusión científica del campo. Del total de registros, el 61,4% cuenta con acceso abierto ($n = 307$), mientras que el 71,2% no ha recibido cita alguna al momento del análisis ($n = 356$), con una media de 0,65 citas por documento y una mediana de cero, valores consistentes con la ventana temporal reciente del corpus.

A. Prácticas y enfoques de educación ambiental frente al cambio climático

La clasificación temática del corpus se realizó mediante análisis de frecuencia de palabras clave de autor (Author Keywords), términos de indexación (Index Keywords) y búsqueda sistemática en abstracts, lo cual permite la replicabilidad del análisis y su verificación directa sobre la base de datos. La Tabla I presenta la distribución del corpus por clusters temáticos no excluyentes, reportando para cada cluster el número de documentos, su porcentaje sobre el total ($n = 500$), la media de citas y el porcentaje de visibilidad (proporción de documentos del cluster que han recibido al menos una cita). Esta organización permite identificar tanto el peso relativo de

cada núcleo temático como su capacidad de impacto académico.

TABLA I
DISTRIBUCIÓN TEMÁTICA DEL CORPUS POR CLUSTERS DE
PALABRAS CLAVE (N = 500)

Cluster temático	n	%	Media citas	Visib.
Cambio climático	225	45,0	0,63	31,6%
Conocimiento / sensibilización	211	42,2	0,59	32,7%
Sostenibilidad / DS	155	31,0	0,70	31,6%
Comportamiento / actitudes	76	15,2	0,70	38,2%
EA explícita	75	15,0	0,55	28,0%
Convergencia triple (EA+CC+DS)	22	4,4	—	—

Nota: Categorías no excluyentes basadas en presencia de términos en keywords y abstracts. Visibilidad = % de artículos citados al menos una vez.

El cambio climático constituye el foco predominante del corpus (45,0%, n = 225), seguido por el cluster de conocimiento y sensibilización (42,2%, n = 211) y sostenibilidad (31,0%, n = 155). La educación ambiental explícita se registra en el 15,0% (n = 75), cifra que evidencia fragmentación temática significativa. La convergencia triple (EA, cambio climático y desarrollo sostenible abordados de manera integrada) se registra en apenas el 4,4% (n = 22), confirmando que el 95,6% de la investigación opera dentro de silos temáticos.

El cluster de comportamiento y actitudes, aunque con menor volumen (15,2%), presenta el mayor índice de visibilidad (38,2%), lo que sugiere que los estudios que miden variables conductuales generan mayor resonancia académica. Las revistas Sustainability (n = 45) e IJERPH (n = 15) concentran el 12,0% de toda la producción. El análisis de co-ocurrencia de pares de keywords revela que las combinaciones más frecuentes son climate change + sustainability (n = 7) y climate change + education (n = 5), confirmando la limitada articulación entre los tres ejes.

B. Niveles de sensibilización y formación ambiental

El examen de los métodos y poblaciones empleados en el corpus permite caracterizar el aparato instrumental con que se ha investigado la educación ambiental para la sostenibilidad. La Tabla II resume los métodos de investigación reportados en los abstracts (encuesta, regresión, entrevista, cualitativo, experimental, longitudinal, descriptivo y mixto) junto con las poblaciones de estudio (comunidad, estudiantes, niños y

jóvenes, docentes, público general), expresados en frecuencias absolutas y porcentajes. Se trata de categorías no excluyentes, dado que un mismo estudio puede emplear varios métodos o abordar más de una población.

TABLA II
MÉTODOS Y POBLACIONES IDENTIFICADOS EN EL CORPUS (N = 500)

Método / Población	n	%
Métodos de investigación		
Encuesta / cuestionario	113	22,6
Regresión / correlación	77	15,4
Entrevista	51	10,2
Cualitativo	48	9,6
Experimental / cuasi-experimental	38	7,6
Longitudinal / cohorte	38	7,6
Descriptivo / transversal	31	6,2
Mixto	7	1,4
Poblaciones de estudio		
Comunidad / residentes	139	27,8
Estudiantes (general)	91	18,2
Niños / jóvenes / adolescentes	73	14,6
Docentes / educadores	51	10,2
Público general / adultos	29	5,8

Nota: Basado en términos metodológicos y poblacionales en abstracts. Categorías no excluyentes.

Las encuestas constituyen el instrumento predominante (22,6%, n = 113), seguidas por regresión/correlación (15,4%, n = 77) y entrevistas (10,2%, n = 51). Los métodos mixtos aparecen en apenas el 1,4% (n = 7), lo que evidencia una polarización metodológica que limita la triangulación. Las comunidades constituyen la población más estudiada (27,8%, n = 139), seguida por estudiantes (18,2%) y niños/jóvenes (14,6%). Los docentes aparecen en el 10,2% del corpus, cifra insuficiente considerando que la formación docente es un multiplicador estratégico de la EA.

C. Dimensiones educativas del desarrollo sostenible

Con el objetivo de identificar el peso relativo de cada eje del desarrollo sostenible dentro del corpus, se clasificó cada documento según su presencia en doce dimensiones derivadas de los pilares ambiental, social, económico y de gobernanza. La Tabla III ordena estas dimensiones por frecuencia descendente, presentando el número de documentos y su porcentaje sobre el

total. Esta clasificación, basada en la presencia de términos en Author Keywords, Index Keywords y abstracts, permite contrastar la cobertura empírica observada con los marcos integradores propuestos por la UNESCO para la educación en sostenibilidad.

TABLA III
DIMENSIONES DEL DESARROLLO SOSTENIBLE EN EL CORPUS (N = 500)

Dimensión	n	%
Salud / salud pública	229	45,8
Cambio climático (eje ambiental)	225	45,0
Conocimiento y sensibilización	211	42,2
Económica	167	33,4
Sostenibilidad (transversal)	155	31,0
Gobernanza / política	148	29,6
Educación superior	139	27,8
Educación escolar	116	23,2
EA explícita	84	16,8
Comportamiento / actitudes	76	15,2
Comunitario	73	14,6
Justicia / equidad	65	13,0

Nota: Clasificación por presencia de términos en Author Keywords, Index Keywords y abstracts. Categorías no excluyentes.

La salud pública (45,8%) y el cambio climático (45,0%) constituyen los ejes dominantes, seguidos por conocimiento y sensibilización (42,2%). La dimensión económica alcanza el 33,4%, superando a la gobernanza (29,6%) y a la EA explícita (16,8%). La justicia y equidad (13,0%) y los enfoques comunitarios (14,6%) exhiben las menores representaciones, lo cual sugiere que la investigación privilegia los ejes ambientales y de salud sobre las dimensiones sociales y participativas.

D. Patrones educativos y representación geográfica

La distribución geográfica del corpus se examinó a partir del campo Affiliations de Scopus, contabilizando los artículos con autores multinacionales en cada región correspondiente. La Tabla IV organiza los registros por las cinco regiones del mundo de mayor producción identificada (Asia-Pacífico, Europa, Norteamérica, América Latina y África), reportando frecuencia, porcentaje y los principales países contribuyentes. Esta presentación permite visualizar la asimetría de la producción global y dimensionar la posición relativa de América Latina en el campo de la educación ambiental para el cambio climático y la sostenibilidad.

TABLA IV
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA POR REGIÓN DE AFILIACIÓN (N = 500)

Región	n	%	Países principales
Asia-Pacífico	201	40,2	China (60), India (28), Australia (47)
Europa	180	36,0	UK (68), Alemania (29), España (24)
Norteamérica	151	30,2	EE.UU. (129), Canadá (36)
América Latina	35	7,0	Brasil (15), México (8), Colombia (7)
África	31	6,2	Sudáfrica (10), Kenia (7), Nigeria (4)

Nota: Basado en el campo Affiliations de Scopus. Artículos con autores multinacionales se contabilizan en cada región.

Tres países (Estados Unidos 25,8%, Reino Unido 13,6% y China 12,0%) concentran el 51,4% de las afiliaciones. América Latina participa con apenas el 7,0% (n = 35), con Brasil como principal contribuyente (n = 15), seguido de México (n = 8) y Colombia (n = 7). Perú registra solo 4 publicaciones (0,8%). África presenta representación aún menor (6,2%). Esta asimetría contrasta con los compromisos de la Agenda 2030 y evidencia brecha significativa en producción de evidencia desde contextos en desarrollo.

El examen de las fuentes de publicación complementa el análisis geográfico al revelar la concentración editorial del campo. La Tabla V identifica las revistas que aglutinan cuatro o más documentos del corpus, ordenadas en sentido decreciente, con el número de registros y el porcentaje sobre el total. Esta información permite caracterizar los canales editoriales preferentes y evaluar el grado de dispersión o concentración de la producción.

TABLA V
PRINCIPALES FUENTES DE PUBLICACIÓN (n ≥ 4)

Revista	n	%
Sustainability (Switzerland)	45	9,0
Int. J. Environ. Res. Public Health	15	3,0
Journal of Cleaner Production	8	1,6
Heliyon	6	1,2
Family Practice	5	1,0
Environ. Sci. Pollution Res.	5	1,0
Science of the Total Environment	4	0,8

Education Sciences	4	0,8
--------------------	---	-----

Nota: Las 10 revistas principales agrupan el 20,0% del corpus.

Sustainability concentra el 9,0% de la producción (n = 45), seguida por IJERPH (3,0%, n = 15) y Journal of Cleaner Production (1,6%, n = 8). La concentración editorial es moderada, con dispersión significativa en el 80% restante del corpus.

E. Síntesis diagnóstica

Para integrar los hallazgos previos en una matriz comparable, se elaboró una síntesis diagnóstica que articula seis áreas críticas con sus respectivos hallazgos empíricos y las líneas de fortalecimiento sugeridas. La Tabla VI consolida esta información en un formato accionable que vincula directamente las brechas observadas con propuestas de mejora orientadas a investigadores, formadores y diseñadores de políticas públicas.

TABLA VI

SÍNTESIS DIAGNÓSTICA Y LÍNEAS DE FORTALECIMIENTO

Área	Hallazgo	Fortalecimiento
Cobertura	45,0% CC; 4,4% convergencia triple	Integración EA-CC-DS
Métodos	22,6% encuestas; 1,4% mixtos	Métodos mixtos y longitudinales
Poblaciones	27,8% comunidad; 10,2% docentes	Formación docente
Dimensiones	Salud 45,8%; Justicia 13,0%	Equidad y participación
Geografía	USA+UK+China = 51,4%; AL = 7,0%	Evidencia latinoamericana
Impacto	71,2% sin citas; media 0,65	Visibilización y colaboración

La síntesis permite identificar cinco áreas con distribuciones desiguales. Primero, la convergencia triple EA+CC+DS alcanza solo el 4,4%, evidenciando que el 95,6% opera en silos temáticos. Segundo, el predominio de encuestas (22,6%) frente a métodos mixtos (1,4%) limita la triangulación. Tercero, la medición del comportamiento proambiental (15,2%) frente al conocimiento (42,2%) muestra brecha entre lo que se sabe y lo que se hace. Cuarto, América Latina (7,0%) y África (6,2%) requieren producción urgente para fundamentar políticas contextualizadas. Finalmente, el 71,2% sin citas refleja producción reciente con impacto aún incipiente.

V. DISCUSIÓN

Los patrones empíricos del presente estudio dibujan un panorama heterogéneo de la educación ambiental orientada al

cambio climático y al desarrollo sostenible. La distribución observada de las prácticas de EA vinculadas al cambio climático converge con la fragmentación metodológica que reportaron Monroe et al. [3] sobre 49 estudios de intervención y que Muccione, Ewen y Vaghefi [9] confirmaron en su revisión de alcance de más de 6 000 publicaciones. Aquellas revisiones se concentraron en producción académica; la aproximación diagnóstica del presente trabajo, en cambio, captura la realidad educativa tal como aparece en los datos empíricos y aporta una perspectiva que ni los diseños de intervención ni los bibliométricos suelen ofrecer.

Los niveles de sensibilización y formación ambiental observados en los datos diagnósticos muestran una tensión clara. La distinción entre sensibilización afectiva, formación cognitiva y competencia conductual, planteada en el International Handbook of Research on Environmental Education [14] como dimensiones de la alfabetización ambiental, encuentra una correspondencia empírica parcial. Los datos sugieren que la sensibilización frente a las problemáticas climáticas alcanza niveles más altos que la formación estructurada capaz de traducir esa conciencia en competencias educativas formalizadas. Ardoin et al. [4] documentaron un predominio similar de resultados orientados al conocimiento y a las disposiciones, con menor atención a habilidades y comportamientos. El metaanálisis de Aeschbach, Schwichow y Rieß [12], basado en 53 estudios, confirmó efectos positivos sobre la alfabetización climática y a la vez reconoció la brecha entre concienciación y transformaciones formativas profundas. La evidencia del presente estudio refuerza así la interpretación de que los sistemas de EA privilegian la sensibilización sobre la formación estructurada, con implicaciones para el cumplimiento de los ODS 4 y 13 [6], [7].

El examen de las dimensiones educativas del desarrollo sostenible revela un énfasis empírico desigual. La integración de los pilares ambiental, social y económico permanece asimétrica, con el contenido ambiental en posición más prominente que las dimensiones socioeconómicas y de gobernanza que la UNESCO [7] y Chien y Knoble [8] han identificado como esenciales para una educación integral en sostenibilidad. Zhang, Jung y Asari [13] reportaron que las prácticas educativas en EA se concentran en enfoques orientados al contenido y muestran sesgo geográfico hacia el hemisferio norte. Los patrones del presente estudio reflejan un campo en transición: ha incorporado el conocimiento ecológico con mayor facilidad que las competencias interdisciplinarias y sistémicas que los marcos contemporáneos demandan [8], [14].

Xiong, Song y Zhu [15], en su revisión de estrategias pedagógicas para la alfabetización ambiental, identificaron también el predominio de los enfoques de contenido sobre los que fomentan pensamiento crítico, comprensión sistémica y competencias de acción, dimensiones vinculadas directamente a la operacionalización del DS en contextos educativos.

La articulación entre EA, cambio climático y sostenibilidad presenta coherencias y tensiones con la literatura. Los datos diagnósticos confirman que las prácticas de EA orientadas al cambio climático y las orientadas al DS comparten rasgos temáticos y pedagógicos, en línea con la Agenda 2030 [6] y la Alianza por la Educación Verde de la UNESCO [17]. A la vez, los patrones observados muestran que los tres dominios no convergen en la práctica con la fluidez que los marcos normativos presuponen. Reid y Dillon [10] sostuvieron que el campo requiere mayor integración entre fronteras subdisciplinarias; la evidencia empírica del presente trabajo sustenta ese argumento al documentar discontinuidades que la literatura teórica reconoce pero pocas veces cuantifica. Abdullah y Kiraz [16] aportaron un ángulo complementario al evidenciar el papel mediador de la EA entre los determinantes socioeconómicos y el comportamiento de consumo sostenible, lo cual indica que la dimensión educativa no puede comprenderse de manera aislada respecto de las condiciones estructurales. Dupigny-Giroux [5] había señalado desafíos análogos en la alfabetización científica sobre el clima, donde la integración del conocimiento científico con la práctica educativa resultó más compleja de lo inicialmente previsto en poblaciones de aprendices diversas.

La lectura conjunta de hallazgos descriptivos, dimensiones analíticas y marco conceptual sitúa a la EA para el cambio climático y el DS como un campo con avances en sensibilización y brechas persistentes en formación estructurada e integración interdimensional. Kopnina [2] cuestionó los encuadres antropocéntricos que diluyen los imperativos ecológicos; los patrones aquí observados no confirman ni refutan plenamente esa crítica, pero muestran que la articulación entre concienciación, formación y dimensiones de sostenibilidad opera con mayor complejidad que la sugerida por marcos dicotómicos. Ardoin, Bowers y Gaillard [11] demostraron que la EA produce resultados medibles en conservación cuando se diseña adecuadamente; el presente estudio aporta un registro distinto de evidencia, centrado en describir el estado del campo más que el impacto de intervenciones puntuales. Esa diferencia es la principal contribución del trabajo: una perspectiva diagnóstica cuantitativa que complementa las aproximaciones

metaanalíticas [12], bibliométricas [10] y de revisión de alcance [9] al caracterizar cómo prácticas, niveles de sensibilización y dimensiones de sostenibilidad coexisten, interactúan y divergen en la realidad empírica.

A. Inteligencia artificial y líneas de fortalecimiento para América Latina

La asimetría entre la producción del Norte global y la escasa representación latinoamericana (7,0%) abre un espacio en el que la inteligencia artificial puede cumplir un rol estratégico. Los modelos de lenguaje de gran escala aplicados a la sistematización de literatura, el procesamiento de lenguaje natural sobre currículos escolares y los sistemas de tutoría inteligente para la alfabetización climática son herramientas escalables capaces de acelerar el cierre de las brechas diagnósticas identificadas. En el plano bibliométrico, la IA permite mapear convergencias temáticas con mayor granularidad que la frecuencia de palabras clave, detectar comunidades semánticas latentes y trazar trayectorias de campos emergentes en regiones con producción incipiente, capacidad relevante para América Latina dado el rezago documentado.

En la formación docente, la IA habilita tres líneas de fortalecimiento. Primero, los asistentes pedagógicos basados en IA pueden generar material didáctico contextualizado a las realidades climáticas de cada subregión latinoamericana, frente a los recursos producidos en el hemisferio norte que han dominado el campo. Segundo, las plataformas adaptativas permiten diagnosticar de forma individualizada el knowledge-action gap en estudiantes y educadores, articulando conocimiento, actitudes y conducta proambiental, lo cual atiende la asimetría entre el cluster de conocimiento (42,2%) y el de comportamiento (15,2%). Tercero, las herramientas conversacionales facilitan la formación masiva de docentes en regiones con infraestructura limitada, ampliando el alcance de programas que tradicionalmente requieren presencia física. Estas líneas no sustituyen la mediación pedagógica humana; la potencian al liberar tiempo para la dimensión socioemocional y crítica de la EA transformadora. Su adopción responsable exige, eso sí, marcos éticos contextualizados y políticas de equidad digital que eviten reproducir las asimetrías que la propia EA busca transformar.

VI. CONCLUSIONES

El estudio ofrece una caracterización diagnóstica de la EA orientada al cambio climático y al DS que revela un campo en tensión productiva. Los niveles de sensibilización superan a los de formación estructurada, las dimensiones ecológicas predominan sobre las socioeconómicas y de gobernanza, y la

articulación entre EA, educación climática y educación para el DS muestra discontinuidades que los marcos normativos internacionales presuponen resueltas pero que la evidencia empírica documenta como persistentes. La brecha entre concienciación y competencia operativa aparece como rasgo estructural del campo y exige atención prioritaria en el diseño de políticas educativas alineadas con los ODS 4, 12 y 13. La contribución principal reside en mostrar la viabilidad de aproximaciones diagnósticas cuantitativas que aportan evidencia sistemática sobre el estado de la EA para el cambio climático y la sostenibilidad sin requerir diseños experimentales, complementando las revisiones metaanalíticas, bibliométricas y de alcance disponibles. Las limitaciones del alcance descriptivo del diseño abren la puerta a investigaciones futuras que examinen las relaciones entre las dimensiones identificadas mediante aproximaciones inferenciales, junto con estudios comparativos sobre la variabilidad de estos patrones en contextos geográficos y socioeducativos diversos.

Para los diseñadores de políticas educativas en América Latina, los hallazgos sustentan una recomendación clara: transitar de la concientización ambiental hacia la formación de competencias operativas, articulando los ejes cognitivo, afectivo y conductual en marcos curriculares que integren EA, educación sobre cambio climático y educación para el DS. Esta transición demanda inversión sostenida en formación docente, segmento subrepresentado en el corpus con apenas 10,2% de los estudios poblacionales, junto con fortalecimiento de la producción científica regional y uso responsable de la IA para escalar diagnósticos, personalizar trayectorias formativas y consolidar redes colaborativas entre instituciones latinoamericanas. Evidencia regional, competencias operativas y mediación tecnológica configuran así una agenda estratégica para que los Estados de Las Américas avancen hacia las metas 4.7, 12.8 y 13.3 de la Agenda 2030.

REFERENCIAS

- [1] IPCC, "Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change," Geneva, Switzerland, 2023. doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.
- [2] W. Steffen et al., "Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet," *Science*, vol. 347, no. 6223, Art. no. 1259855, 2015. doi: 10.1126/science.1259855.
- [3] UNESCO, "Education for Sustainable Development: A Roadmap," Paris, France, 2020. [Online]. Available: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000374802>
- [4] V. Muccione, T. Ewen, and S. A. Vaghefi, "A scoping review on climate change education," *PLOS Climate*, vol. 4, no. 1, Art. no. e0000356, Jan. 2025. doi: 10.1371/journal.pclm.0000356.
- [5] A. Reid, "Climate change education and research: possibilities and potentials versus problems and perils?," *Environmental Education Research*, vol. 25, no. 6, pp. 767–790, 2019. doi: 10.1080/13504622.2019.1664075.
- [6] X. Zhang, W. Jung, and M. Asari, "Systematic review of environmental education teaching practices in schools: trends and gaps (2015–2024)," *Sustainability*, vol. 17, no. 19, Art. no. 8561, 2025. doi: 10.3390/su17198561.
- [7] United Nations, "Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development," New York, USA, 2015. [Online]. Available: <https://sdgs.un.org/2030agenda>
- [8] S. C. Chien and C. Knoble, "Research of education for sustainable development: understanding new emerging trends and issues after SDG 4," *J. Sustain. Res.*, vol. 6, no. 1, Art. no. e240006, 2024. doi: 10.20900/jsr20240006.
- [9] N. Amin, M. S. Shabbir, H. Song, and K. Abbass, "Renewable energy consumption and its impact on environmental quality: a pathway for achieving sustainable development goals in ASEAN countries," *Energy Environ.*, vol. 35, no. 4, pp. 2053–2080, 2024. doi: 10.1177/0958305X221134113.
- [10] K. S. B. Abdullah and A. Kiraz, "Exploring the impact of socio-economic dynamics, product cost perception on environmental education, and sustainable consumer behavior: a household level analysis," *Appl. Sci.*, vol. 16, no. 1, Art. no. 512, 2026. doi: 10.3390/app16010512.
- [11] S. A. Burkhardt et al., "The role of climate change education on individual lifetime carbon emissions," *PLOS ONE*, vol. 14, no. 2, Art. no. e0206266, 2020. doi: 10.1371/journal.pone.0206266.
- [12] M. Unuigbo, "Preparedness for a low-carbon future – knowledge level of built environment students," *Int. J. Disaster Resilience Built Environ.*, vol. 15, no. 3, pp. 357–369, 2024. doi: 10.1108/IJDRBE-06-2023-0069.
- [13] H.-H. Wang, S.-W. Chen, and T.-J. Lin, "Addressing the climate emergency with educational approaches: a bibliometric analysis of climate change education scholarship," *Environmental Education Research*, vol. 30, no. 12, pp. 1885–1912, 2024. doi: 10.1080/13504622.2024.2386443.
- [14] V. M.-J. Aeschbach, M. Schwichow, and W. Rieß, "Effectiveness of climate change education—a meta-analysis," *Frontiers in Education*, vol. 10, Art. no. 1563816, May 2025. doi: 10.3389/educ.2025.1563816.
- [15] J. van de Wetering, P. Leijten, J. E. Spitzer, and S. Thomaes, "Does environmental education benefit environmental outcomes in children and adolescents? A meta-analysis," *J. Environ. Psychol.*, vol. 81, Art. no. 101782, 2022. doi: 10.1016/j.jenvp.2022.101782.
- [16] S. C. Chien and C. Knoble, "Research of education for sustainable development: understanding new emerging trends and issues after SDG 4," *J. Sustain. Res.*, vol. 6, no. 1, Art. no. e240006, 2024. doi: 10.20900/jsr20240006.
- [17] Z. Xiong, Y. Song, and R. Zhu, "Pedagogical strategies for teaching environmental literacy in secondary school education: a systematic review," *Sustainability*, vol. 17, no. 20, Art. no. 9104, 2025. doi: 10.3390/su17209104.
- [18] L. F. Dupigny-Giroux, "Exploring the challenges of climate science literacy: lessons from students, teachers and lifelong learners," *Geogr. Compass*, vol. 4, no. 9, pp. 1203–1214, 2010. doi: 10.1111/j.1749-8198.2010.00368.x.
- [19] M. Kranz, K. Rasch, and C. Heidmeier, "A systematic review of climate change literacy assessment methods," *J. Environ. Educ.*, vol. 56, no. 1, pp. 3–22, 2025. doi: 10.1080/00958964.2024.2385333.
- [20] W. L. Pan, R. Fan, W. Pan, X. Ma, C. Hu, P. Fu, and J. Su, "The role of climate literacy in individual response to climate change: evidence from China," *J. Cleaner Prod.*, vol. 405, Art. no. 136874, 2023. doi: 10.1016/j.jclepro.2023.136874.
- [21] D. J. Hess and B. M. Collins, "Climate change and higher education: assessing factors that affect curriculum requirements," *J. Cleaner Prod.*, vol. 170, pp. 1451–1458, 2018. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.09.215.
- [22] J. Monroe, C. Andrews, and M. Biedenweg, "A framework for environmental education strategies," *Appl. Environ. Educ. Commun.*, vol. 7, no. 4, pp. 98–108, 2008. doi: 10.1080/15330150802502065.
- [23] L. Creswell and V. L. Plano Clark, *Designing and Conducting Mixed Methods Research*, 3rd ed. Thousand Oaks, CA, USA: SAGE, 2018.
- [24] H. R. Hungerford and T. L. Volk, "Changing learner behavior through environmental education," *J. Environ. Educ.*, vol. 21, no. 3, pp. 8–21, 1990. doi: 10.1080/00958964.1990.9943032.

- [25] S. M. Habibah et al., "Design of game to teach global warming concepts for supporting global citizenship education and sustainable development goals," *J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 20, no. 4, pp. 31–38, 2025.
- [26] S. C. Santos, A. A. Dinis, L. Pereira, and S. O'Sullivan, "The digital presence of universities: a case study on green taxation courses," *Lect. Notes Netw. Syst.*, vol. 1753, pp. 174–186, 2026. doi: 10.1007/978-3-032-12888-1_16.
- [27] R. Stevenson, J. Nicholls, and H. Whitehouse, "What is climate change education?," *Curriculum Perspectives*, vol. 37, no. 1, pp. 67–71, 2017. doi: 10.1007/s41297-017-0015-9.
- [28] UNESCO, "Greening Education Partnership: transforming education for a sustainable future," Paris, France, 2023. [Online]. Available: <https://www.unesco.org/en/education-sustainable-development/greening-future>
- [29] L. Maphosa, S. Zulu, and L. Moleko, "Assessing the role of environmental education practices towards the attainment of the 2030 sustainable development goals," *Sustainability*, vol. 17, no. 5, Art. no. 2043, 2025. doi: 10.3390/su17052043.
- [30] M. Zawadzki, A. Ociczek, and A. Kaizer, "Social perception of environmental and functional aspects of electric vehicles," *Energies*, vol. 18, no. 17, Art. no. 4583, 2025. doi: 10.3390/en18174583.
- [31] J. Palmer, *Environmental Education in the 21st Century: Theory, Practice, Progress and Promise*. London, UK: Routledge, 1998.
- [32] A. Wals, "Mirroring, Gestaltswitching and transformative social learning: stepping stones for developing sustainability competence," *Int. J. Sustain. Higher Educ.*, vol. 11, no. 4, pp. 380–390, 2010. doi: 10.1108/14676371011077595.
- [33] P. Vare and W. Scott, "Learning for a change: exploring the relationship between education and sustainable development," *J. Educ. Sustain. Dev.*, vol. 1, no. 2, pp. 191–198, 2007. doi: 10.1177/097340820700100209.
- [34] A. Eugenio-Gozalbo, J. L. González-Geraldo, and A. Aragón, "Teachers as promoters of transformative environmental education: perceptions and classroom practices," *Environmental Education Research*, 2025. doi: 10.1080/13504622.2025.2478436.
- [35] A. Wiek, L. Withycombe, and C. L. Redman, "Key competencies in sustainability: a reference framework for academic program development," *Sustain. Sci.*, vol. 6, no. 2, pp. 203–218, 2011. doi: 10.1007/s11625-011-0132-6.
- [36] M. Vesterinen and I. Ratinen, "Sustainability competences in primary school education – a systematic literature review," *Environmental Education Research*, vol. 29, no. 11, pp. 1611–1622, 2023. doi: 10.1080/13504622.2023.2170984.
- [37] UNFCCC, "Glasgow work programme on Action for Climate Empowerment," Bonn, Germany, 2022. [Online]. Available: <https://unfccc.int/topics/education-and-outreach/workstreams/ace-work-programme>
- [38] NOAA, "Climate Literacy: The Essential Principles of Climate Sciences," Washington, DC, USA, 2009. [Online]. Available: <https://www.climate.gov/teaching/essential-principles-climate-literacy>
- [39] X. He, T. Hong, L. Liu, and J. Tiefenbacher, "Exploring the landscape of climate change education in China: trends, knowledge, and future directions," *Int. J. Sustain. Higher Educ.*, vol. 25, no. 5, pp. 1027–1050, 2024. doi: 10.1108/IJSHE-08-2023-0367.
- [40] A. Kollmuss and J. Agyeman, "Mind the gap: why do people act environmentally and what are the barriers to pro-environmental behavior?," *Environ. Educ. Res.*, vol. 8, no. 3, pp. 239–260, 2002. doi: 10.1080/13504620220145401.
- [41] D. Kolenatý, J. Kroufek, and J. Činčera, "What triggers climate action: the impact of a climate change education program on students' climate literacy and their willingness to act," *Sustainability*, vol. 14, no. 16, Art. no. 10365, 2022. doi: 10.3390/su141610365.
- [42] C. A. Pittella, "Towards a transformative climate change education: questions and pedagogies," *Environmental Education Research*, vol. 30, no. 12, pp. 2376–2393, 2024. doi: 10.1080/13504622.2024.2365983.
- [43] M. Fuertes-Camacho, C. Graell-Martín, M. D. Fuentes-Loss, and M. V. Balaguer-Fàbregas, "Evaluating climate change competence in pre-teens: instrument development and validation," *J. Environ. Psychol.*, vol. 97, Art. no. 102362, 2024. doi: 10.1016/j.jenvp.2024.102362.
- [44] R. B. Stevenson, J. Nicholls, and H. Whitehouse, "What is climate change education?," *Curriculum Perspectives*, vol. 37, no. 1, pp. 67–71, 2017. doi: 10.1007/s41297-017-0015-9.
- [45] UNESCO, "Education for Sustainable Development Goals: Learning Objectives," Paris, France, 2017. [Online]. Available: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247444>
- [46] H. Hyytinen, S. Laakso, J. Pietikäinen, R. Ratvio, L. Ruippo, T. Tuononen, and A. Vainio, "Perceived interest in learning sustainability competencies among higher education students," *Int. J. Sustain. Higher Educ.*, vol. 24, no. 9, pp. 118–137, 2023. doi: 10.1108/IJSHE-06-2022-0198.
- [47] M. Schnögass, R. Rauter, and R. J. Martinuzzi, "Empirical scale development of meta-competences for interdisciplinary teaching in the context of the SDGs," *Int. J. Sustain. Higher Educ.*, vol. 26, no. 9, pp. 466–489, 2025. doi: 10.1108/IJSHE-03-2024-0121.
- [48] K. Brundiers et al., "Key competencies in sustainability in higher education—toward an agreed-upon reference framework," *Sustain. Sci.*, vol. 16, no. 1, pp. 13–29, 2021. doi: 10.1007/s11625-020-00838-2.
- [49] M. Cebrián-Bernat, M. Junyent, and I. Mulà, "Competencies in education for sustainable development: a self-perception study with future secondary school teachers," *Int. J. Sustain. Higher Educ.*, vol. 25, no. 3, pp. 537–555, 2024. doi: 10.1108/IJSHE-05-2023-0185.
- [50] H. Lotz-Sisitka, A. Wals, D. Kronlid, and D. McGarry, "Transformative, transgressive social learning: rethinking higher education pedagogy in times of systemic global dysfunction," *Current Opinion Environ. Sustain.*, vol. 16, pp. 73–80, 2015. doi: 10.1016/j.cosust.2015.07.018.
- [51] United Nations General Assembly, "Resolution 70/1. Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development," A/RES/70/1, New York, USA, 2015.
- [52] R. Lozano, K. Ceulemans, M. Alonso-Almeida, D. Huisinigh, F. J. Lozano, T. Waas, W. Lambrechts, R. Lukman, and J. Hugé, "A review of commitment and implementation of sustainable development in higher education: results from a worldwide survey," *J. Cleaner Prod.*, vol. 108, pp. 1–18, 2015. doi: 10.1016/j.jclepro.2014.09.048.
- [53] J. Pedrinaci-Rico, C. Vélchez-González, and F. Gil-Flores, "Secondary school students' perceptions and concerns on sustainability and climate change," *Climate*, vol. 12, no. 2, Art. no. 17, 2024. doi: 10.3390/cli12020017.
- [54] W. Leal Filho, M. Shiel, A. Paço, M. Mifsud, L. Ávila, L. Brandli, P. Molthan-Hill, P. Pace, U. Azeiteiro, V. Ruiz Vargas, and L. Caeiro, "Sustainable development goals and sustainability teaching at universities: falling behind or getting ahead of the pack?," *J. Cleaner Prod.*, vol. 232, pp. 285–294, 2019. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.05.309.
- [55] B. R. Cooper, K. Brown, and D. Roberts, "Student perceptions of an online course on climate change co-designed and co-delivered over 20 years by universities in the Asia Pacific region," *Sustain. Sci.*, vol. 20, pp. 493–510, 2025. doi: 10.1007/s11625-025-01768-7.
- [56] C. Gómez-Echeverri and P. Foldvary, "The impact of environmental education on environmental and renewable energy technology awareness: empirical evidence from Colombia," *Int. J. Sci. Math. Educ.*, vol. 18, no. 4, pp. 611–634, 2020. doi: 10.1007/s10763-019-09988-x.
- [57] P. Maniatis, "Quality education in the field of sustainability using a statistical analysis," *Sustain. Dev.*, vol. 32, no. 5, pp. 4977–4991, 2024. doi: 10.1002/sd.2931.
- [58] G. Biesta, "Good education in an age of measurement: on the need to reconnect with the question of purpose in education," *Educ. Assessment, Eval. Account.*, vol. 21, no. 1, pp. 33–46, 2009. doi: 10.1007/s11092-008-9064-9.
- [59] M. Rieckmann, "Future-oriented higher education: which key competencies should be fostered through university teaching and learning?," *Futures*, vol. 44, no. 2, pp. 127–135, 2012. doi: 10.1016/j.futures.2011.09.005.
- [60] W. Leal Filho, L. Brandli, P. Becker, U. Azeiteiro, T. Wall, R. Salvia, L. Ávila, F. Rayman-Bacchus, J. Hugé, and F. Doni, "What do university students know about climate change? A multi-country survey," *Int. J. Sustain. Higher Educ.*, vol. 24, no. 4, pp. 749–766, 2023. doi: 10.1108/IJSHE-05-2022-0161.