



Aprendizaje Colaborativo Internacional (COIL) para la Sostenibilidad: Experiencia entre estudiantes de Honduras y Ecuador en el aprovechamiento de residuos plásticos

Collaborative International Learning (COIL) for Sustainability: A Case Study of Student Engagement from Honduras and Ecuador in Plastic Waste Utilization

Diego Venegas-Vásquez^{ID a}, Óscar Castro-García^{ID b}, Brigitte Moreira^{ID a}, Dolores Garcés^{ID a}, Gabriela Miranda^{ID a}, Carlos Pérez^{ID a}, Víctor Cevallos^{ID a}, Nicolás Rojas^{ID a}, Pedro Hidrobo^{ID a}, Rosa Garay-Flores^{ID b}, Óscar Peña-Espinal^{ID b}, Anais Bynens-Milla^{ID b}, Wilmer López-Díaz^{ID a}, Roger Fugón-Martínez^{ID b}, Dasly Benítez-Ortega^{ID a}

^aEscuela de Hábitat, Infraestructura y Creatividad, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ambato 180207, Ecuador.

^bIngeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Tecnológica Centroamericana (Campus San Pedro Sula, Honduras).

Autor de correspondencia: dfvenegav@pucesa.edu.ec

Creative Commons CC BY 4.0



Resumen

Este estudio presenta una experiencia de Collaborative Online International Learning (COIL) desarrollada entre estudiantes de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ambato (PUCESA) y la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), orientada al estudio del aprovechamiento de polímeros reciclados en la elaboración de concreto permeable sostenible. El objetivo del trabajo fue evaluar el potencial del aprendizaje colaborativo internacional como estrategia pedagógica para abordar problemáticas ambientales globales desde un enfoque interdisciplinario. La metodología se estructuró como un proyecto académico de cuatro semanas basado en aprendizaje por proyectos, en el cual equipos binacionales de estudiantes desarrollaron tres líneas de trabajo: identificación de las principales fuentes de residuos plásticos en Honduras y Ecuador, evaluación de las propiedades técnicas y ambientales del uso de plásticos reciclados en mezclas de concreto permeable, y evaluación de los impactos ambientales, sociales y económicos asociados a este material. Los resultados evidencian que la incorporación de plásticos reciclados puede contribuir a reducir la huella ambiental del concreto y mejorar propiedades térmicas del material, aunque con limitaciones en la resistencia mecánica para aplicaciones estructurales. Honduras presenta mayor contaminación plástica per cápita pese a generar volúmenes similares a Ecuador, evidenciando que la ineficiencia en la gestión de residuos, más que la generación, es el principal factor determinante del impacto ambiental. En cuanto a la experiencia de internacionalización, COIL no solo favoreció el desarrollo de competencias interculturales, trabajo colaborativo y pensamiento crítico, sino que también permitió articular estos aprendizajes con la aplicación técnica del diseño de concreto permeable con incorporación de plásticos reciclados. En consecuencia, la integración de proyectos COIL en programas de ingeniería no solo promueve la internacionalización del currículo, sino que también potencia la aplicación práctica del conocimiento técnico en la resolución de problemas ambientales contemporáneos.

Palabras Clave: Aprendizaje colaborativo internacional, internacionalización del currículo, concreto permeable, plásticos reciclados, sostenibilidad en ingeniería, economía circular.

Abstract

This study presents a Collaborative Online International Learning (COIL) experience developed by students from the Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ambato (PUCESA), and the Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), focused on the study of plastic waste utilization in the production of sustainable pervious concrete. The aim of the study was to evaluate the potential of international collaborative learning as a pedagogical strategy to address global environmental challenges through an interdisciplinary approach. The methodology was structured as a four-week academic project based on project-based learning, in which binational student teams developed three research components: identification of the main sources of plastic waste in Honduras and Ecuador, evaluation of the technical and environmental properties of recycled plastics incorporated into pervious concrete mixtures, and evaluation of the environmental, social, and economic impacts associated with the proposed material. Results indicate that incorporating recycled plastics can reduce concrete's environmental footprint and improve its thermal properties, though limitations remain regarding mechanical strength for structural applications. Honduras shows higher per capita plastic pollution despite similar waste generation compared to Ecuador, indicating that inefficient waste management, rather than total generation, is the main driver of environmental impact. The internationalization experience facilitated by COIL fostered the development of intercultural skills, collaborative work, and critical thinking. Additionally, it enabled the integration of these competencies into the technical application of permeable concrete design using recycled plastics. Therefore, incorporating COIL projects into engineering programs promotes curriculum internationalization and enhances the practical application of technical knowledge to address contemporary environmental challenges.

Keywords: Collaborative Online International Learning, curriculum internationalization, pervious concrete, recycled plastics, sustainable engineering, circular economy.

1. Introducción

La internacionalización de la educación superior se ha convertido en una prioridad estratégica para las universidades en un contexto marcado por la globalización del conocimiento, la movilidad académica y la necesidad de formar profesionales con capacidades interculturales. Tradicionalmente, esta internacionalización se ha materializado a través de programas de movilidad estudiantil y académica; sin embargo, estos modelos presentan limitaciones asociadas a costos, barreras geográficas y desigualdad en el acceso. En respuesta a estos desafíos, han surgido nuevas estrategias pedagógicas orientadas a promover experiencias internacionales sin requerir movilidad física, entre las cuales destaca el Collaborative Online International Learning (COIL) [1].

El enfoque COIL, desarrollado inicialmente en la red de universidades del State University of New York (SUNY), propone una metodología de enseñanza que conecta a estudiantes y profesores de diferentes países mediante actividades colaborativas mediadas por tecnologías digitales. Este modelo permite que los participantes trabajen conjuntamente en proyectos académicos compartidos, integrando perspectivas culturales diversas y fomentando el aprendizaje intercultural dentro del currículo formal de los cursos universitarios [2].

Desde una perspectiva pedagógica, COIL se considera una forma de virtual exchange o movilidad virtual que busca internacionalizar el currículo y ampliar el acceso a experiencias globales de aprendizaje. A través de la interacción en línea, los estudiantes desarrollan habilidades clave para el siglo XXI, tales como comunicación intercultural, trabajo colaborativo en entornos digitales y pensamiento crítico frente a problemáticas globales. Estas competencias son particularmente relevantes en un mundo laboral cada vez más interconectado y multicultural [3].

Diversos estudios han demostrado que la implementación de proyectos COIL puede generar beneficios significativos tanto para estudiantes como para docentes [4], [5]. En el caso de los estudiantes, se han reportado mejoras en la comprensión intercultural, el desarrollo de habilidades de colaboración internacional y una mayor motivación académica al interactuar con pares de otros contextos socioculturales. Asimismo, para el profesorado, esta metodología ofrece oportunidades para innovar en prácticas pedagógicas y fortalecer redes académicas internacionales [6].

No obstante, la literatura actual evidencia un vacío crítico en la integración de enfoques COIL con el desarrollo de soluciones de ingeniería aplicada y su evaluación desde la sostenibilidad, especialmente en contextos latinoamericanos, donde estas sinergias permanecen escasamente exploradas. El presente trabajo muestra los resultados de una experiencia de Collaborative Online International Learning (COIL) entre la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC) de Honduras y la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ambato, con el propósito de vincular a estudiantes de Ingeniería Ambiental y Sostenibilidad en un proceso de aprendizaje participativo internacional. La iniciativa estuvo orientada al análisis de estrategias de gestión de residuos poliméricos y su potencial aprovechamiento en la elaboración de concreto permeable ecológico como alternativa sostenible para el sector de la construcción. A lo largo de cuatro semanas, equipos binacionales de estudiantes trabajaron de manera conjunta en actividades de investigación, diseño y evaluación de un material de construcción capaz de contribuir simultáneamente a la mitigación de la contaminación por plásticos y a la mejora de la infiltración de agua en entornos urbanos. Este proceso permitió integrar conocimientos técnicos, perspectivas locales y metodologías de aprendizaje activo en un contexto de cooperación académica internacional. En este marco se presentan los resultados cualitativos y cuantitativos de tres estudios desarrollados durante la actividad COIL: (1) la identificación de las principales fuentes y tipos de residuos plásticos en ambos países; (2) el análisis de las propiedades técnicas y ambientales del uso de plásticos reciclados en mezclas de concreto permeable; y (3) la evaluación de los impactos ambientales, sociales y económicos asociados al material propuesto.

2. Métodos y materiales

El diseño metodológico se estructuró como un proyecto colaborativo de corta duración integrado en asignaturas relacionadas con la ingeniería ambiental y la sostenibilidad, con el propósito de fomentar el aprendizaje intercultural y el desarrollo conjunto de soluciones tecnológicas orientadas a la gestión sostenible de residuos plásticos.

La experiencia se llevó a cabo durante un período de cuatro semanas, en el cual 14 estudiantes de ambas instituciones (7 PUCESA y 7 UNITEC) fueron organizados en 3 equipos de trabajo binacionales (Tabla 1).

Tabla 1. Actividades desarrolladas durante el intercambio COIL.

Semana	Actividades principales	Resultados esperados
Semana 1	Presentación de las universidades participantes, conformación de equipos binacionales y contextualización del problema en Honduras y Ecuador.	Formación de equipos de trabajo internacionales y comprensión del problema ambiental a abordar.
Semana 2	Revisión bibliográfica y análisis de las principales fuentes y tipos de residuos plásticos presentes en ambos países.	Identificación de los materiales con mayor potencial de reutilización en materiales de construcción.
Semana 3	Diseño conceptual de mezclas de concreto permeable incorporando plásticos reciclados y análisis preliminar de sus propiedades técnicas.	Propuesta inicial de material de construcción sostenible basado en el aprovechamiento de residuos plásticos.
Semana 4	Evaluación de los impactos ambientales, sociales y económicos del material propuesto y presentación final de resultados por los equipos binacionales.	Presentación de resultados de investigación y reflexión conjunta sobre los aprendizajes obtenidos en COIL.

Estos grupos colaboraron mediante el uso de plataformas digitales de comunicación, recursos compartidos y reuniones sincrónicas y asincrónicas que facilitaron la interacción continua entre los participantes. Este esquema de trabajo permitió el intercambio de conocimientos sobre los contextos ambientales locales de cada país, promoviendo el desarrollo de una investigación conjunta orientada a la resolución de un problema ambiental común.

La actividad académica se centró en el aprovechamiento de polímeros sintéticos reciclados para la elaboración de concreto permeable ecológico, un material de construcción sostenible diseñado para contribuir a la reducción de la contaminación por plásticos y mejorar la infiltración de agua en entornos urbanos. Durante el desarrollo del proyecto, los estudiantes realizaron revisiones bibliográficas, analizaron las dinámicas locales de generación y gestión de residuos plásticos y propusieron alternativas

preliminares de diseño de materiales de construcción sostenibles que incorporan plásticos reciclados.

Desde el punto de vista metodológico, la experiencia COIL se apoyó en un enfoque de aprendizaje basado en proyectos (Project-Based Learning, PBL), que integró actividades de investigación, diseño colaborativo y discusión crítica. Este enfoque permitió a los estudiantes articular conocimientos técnicos con análisis ambientales y competencias de comunicación intercultural. En este contexto, los resultados presentados en este trabajo se organizan en torno a tres estudios desarrollados durante la experiencia colaborativa:

- Identificación de las principales fuentes y tipos de residuos plásticos presentes en Honduras y Ecuador.
- Análisis de las propiedades técnicas y ambientales del uso de plásticos reciclados en mezclas de concreto permeable.
- Evaluación de los impactos ambientales, sociales y económicos asociados al material de construcción sostenible propuesto.

3. Resultados

Esta sección presenta los resultados de las investigaciones realizadas por los estudiantes de PUCESA y UNITEC.

3.1. Contaminación por plásticos y microplásticos en el Ecuador: síntesis de evidencias y análisis integrado

Esta parte de la investigación se dividió en tres secciones:

a) Marco normativo y gestión de residuos plásticos en Ecuador

El marco normativo ecuatoriano en materia de plásticos ha registrado avances significativos en las últimas décadas, incluyendo restricciones al uso de plásticos de un solo uso en las Islas Galápagos, la adopción de acuerdos ministeriales para la gestión integral de polímeros reciclados y la implementación de ordenanzas municipales orientadas a regular la producción, distribución y consumo de fundas y envases plásticos. Asimismo, se ha establecido un impuesto progresivo a las fundas plásticas con el objetivo de reducir su uso y fomentar alternativas reutilizables o biodegradables [7].

No obstante, diversos estudios señalan que la aplicación efectiva de estas políticas enfrenta limitaciones estructurales, particularmente en la gestión municipal de residuos y en el bajo conocimiento ciudadano sobre la normativa ambiental vigente. Estas condiciones se reflejan en bajas tasas de reciclaje, persistencia de botaderos informales y presencia recurrente de plásticos y microplásticos en ríos, playas y entornos urbanos [8].

En términos de generación de residuos, datos oficiales indican que durante el período 2020-2021 se recolectaron en Ecuador aproximadamente 12.613 toneladas diarias de residuos sólidos urbanos, de las cuales cerca del 11 % correspondió a plásticos, lo que equivale a más de 500.000 toneladas anuales [9]. Entre 2018 y 2021, además, el país importó 47.596 toneladas de desechos plásticos, incrementando la presión sobre los sistemas de gestión existentes. Según WWF, en 2022 Ecuador generó alrededor de

627.000 toneladas de residuos plásticos, de las cuales solo 7,7 % fue reciclado [4]. Frente a este escenario, el país ha impulsado la Hoja de Ruta para la Economía Circular de los Plásticos, que plantea reducir en 60 % la contaminación plástica hacia 2040 y alcanzar 45 % de circularidad del material, en concordancia con las recomendaciones internacionales orientadas a disminuir hasta 80 % de la contaminación plástica global para 2040 mediante estrategias de regulación, reutilización y economía circular [10] [11].

b) Contaminación por plásticos en entornos urbanos y fluviales

En los entornos urbanos ecuatorianos, la contaminación plástica se relaciona principalmente con el uso intensivo de fundas, envases desechables y botellas de bebidas. A pesar del potencial de reciclaje de estos materiales, los programas de separación en origen y reciclaje domiciliario presentan una cobertura limitada, lo que favorece la acumulación de residuos en rellenos sanitarios, drenajes urbanos, riberas de ríos y canales de riego [7]. La exposición de estos residuos a radiación solar, abrasión mecánica y otros procesos físicos favorece su fragmentación en microplásticos, contribuyendo a la contaminación difusa de los ecosistemas [8].

En la provincia del Guayas, por ejemplo, los ríos actúan como corredores de transporte de residuos hacia el estuario y el océano. Un estudio realizado en los ríos Vinces y Los Tintos identificó 940 ítems de residuos, de los cuales 85,2 % correspondía a plásticos, destacándose fundas plásticas (23 %), empaques de alimentos (17 %) y plásticos espumados (8 %). En la fracción microplástica predominaron las fibras (65,2 %), con concentraciones en sedimentos intermareales entre 5,55 y 8,17 partículas por gramo de sedimento seco, particularmente en zonas con alta densidad poblacional y actividad recreativa [12]. Asimismo, estudios recientes reportan elevadas concentraciones de microplásticos secundarios en playas del Guayas, como Varadero, Engabao y Playas de Villamil, generados por la fragmentación de polímeros reciclables expuestos a radiación solar y actividades pesqueras [13].

c) Contaminación por microplásticos en ecosistemas marino-costeros

En los ecosistemas marino-costeros ecuatorianos, los plásticos y microplásticos se acumulan en playas, columnas de agua y sedimentos marinos. Investigaciones realizadas en el litoral han identificado una alta abundancia de partículas plásticas, principalmente fibras, fragmentos y películas, asociadas a textiles sintéticos, redes de pesca y residuos de envases [14]. En sedimentos marinos de las islas Santa Cruz, San Cristóbal e Isabela se han documentado fragmentos de tapas, botellas y fundas plásticas, cuya distribución está influenciada por la actividad portuaria, los asentamientos humanos y la dinámica de corrientes oceánicas [15].

En la provincia de Manabí, estudios realizados en la playa de San Vicente reportaron una concentración promedio de 16,5 microplásticos por kilogramo de arena seca, con tamaños predominantes entre 1 y 4 mm y colores dominantes blanco y azul, asociados a residuos de envases y actividades pesqueras. Además, se observó una colonización microbiana significativa en la superficie de estas partículas, con valores de hasta 737 UFC/ml, lo que sugiere que los microplásticos pueden actuar como sustratos para biopelículas capaces de alterar procesos ecológicos locales. A nivel regional, Manabí concentra aproximadamente 39 % de los reportes de contaminación por microplásticos,

seguida por Santa Elena (31 %), mientras que Guayas, Esmeraldas y Galápagos presentan proporciones menores [15].

Las Islas Galápagos constituyen un caso particularmente sensible, ya que más del 95 % de los residuos plásticos encontrados en sus costas proviene de fuentes externas a la Reserva Marina, transportados por corrientes oceánicas. En playas de anidación de tortugas marinas se ha identificado que aproximadamente 24,5 % de los microplásticos corresponde a gránulos industriales, principalmente de polietileno. Asimismo, se estima que cerca del 40 % de la contaminación plástica marina en Galápagos está asociada a actividades pesqueras regionales e internacionales [16]. Diversos estudios han identificado polímeros como PE, PP, PET, PS y HDPE en tejidos y tractos digestivos de organismos marinos, evidenciando riesgos relacionados con la ingestión de microplásticos, el transporte de contaminantes y alteraciones fisiológicas que pueden afectar la supervivencia y el éxito reproductivo de múltiples especies [17].

d) Gestión de residuos plásticos en Ecuador y Honduras

- Los resultados de gestión de estos materiales de Ecuador y Honduras se muestran en la Tabla 2. Entre los valores más importantes se indican:
- Los residuos plásticos mal gestionados son aquellos que no se reciclan, incineran ni almacenan en vertederos sellados. Incluyen materiales quemados en fosas abiertas, vertidos en mares o aguas abiertas, o depositados en vertederos y basureros insalubres. El dato corresponde al año 2019.
- El porcentaje de residuos plásticos globales emitidos al océano. Cabe indicar que el total mostrado no incluye los residuos exportados al extranjero, que pueden tener un mayor riesgo de llegar al océano. El dato corresponde al año 2019.
- La contaminación por plásticos frente a generación de residuos plásticos por persona. La contaminación por plásticos se refiere a los plásticos emitidos al medio ambiente, ya sea por quema al aire libre o como residuos sólidos. Estos resultados se muestran como estimaciones modeladas para el año 2020.
- Residuos plásticos emitidos al océano per cápita. Esta es una estimación anual de las emisiones de plástico. El total de un país no incluye los residuos exportados al extranjero, que pueden tener un mayor riesgo de llegar al océano. El dato corresponde al año 2019.
- Generación de residuos plásticos diario per cápita. Esta medida cuantifica la tasa global de generación per cápita antes de su gestión, reciclaje o incineración. Por lo tanto, no indica directamente el riesgo de contaminación de los cursos de agua o los entornos marinos.
- Generación de residuos plásticos. Esta medida cuantifica la generación total de estos materiales antes de su gestión y, por consiguiente, no representa la cantidad de plástico en riesgo de contaminar vías fluviales, ríos y océanos.

- Contaminación total por plásticos per cápita. Cantidad total estimada de residuos liberados al medio ambiente por persona cada año a través de desechos y quema al aire libre, provenientes de fuentes municipales como hogares, tiendas y oficinas.

Tabla 2. Resultados de gestión de residuos plásticos de Ecuador y Honduras [18].

Semana	Unidades	Ecuador	Honduras
Residuos plásticos mal gestionados	kg/persona	6.26	14.98
Porcentaje de residuos plásticos globales emitidos al océano	%	0.12	0.25
Contaminación por plásticos frente a generación de residuos plásticos por persona	kg/persona vs kg/persona	5 vs 42.44	12.5 vs 25.26
Residuos plásticos emitidos al océano per cápita	kg/persona	0.06	0.25
Generación de residuos plásticos diario per cápita	kg/persona día	0.15	0.19
Generación de residuos plásticos	t	801321	565317
Contaminación total por plásticos per cápita	kg/persona	5.00	12.50

El análisis comparativo entre Ecuador y Honduras (Tabla 2) evidencia diferencias significativas en la gestión y el impacto ambiental de los residuos plásticos. Honduras presenta valores notablemente superiores en residuos mal gestionados (14.98 kg/persona) en comparación con Ecuador (6.26 kg/persona), lo que se traduce en una mayor contribución relativa a la contaminación marina (0.25% frente a 0.12%). Asimismo, la emisión de estos materiales al océano per cápita en Honduras (0.25 kg/persona) cuadruplica la de Ecuador (0.06 kg/persona), evidenciando deficiencias más marcadas en los sistemas de gestión de residuos.

Aunque la generación diaria per cápita es relativamente similar (0.19 kg/persona día en Honduras y 0.15 kg/persona día en Ecuador), Honduras presenta una mayor contaminación total per cápita (12.5 kg/persona frente a 5.0 kg/persona), lo que sugiere que el problema no radica únicamente en la generación, sino en la eficiencia del manejo de los residuos. En contraste, Ecuador, pese a generar un mayor volumen total de residuos plásticos (801,321 t frente a 565,317 t), muestra un menor impacto ambiental relativo.

Estos resultados confirman que la magnitud de la contaminación plástica está más asociada a la gestión inadecuada de residuos que a la cantidad total generada, destacando la necesidad de fortalecer las políticas de manejo integral de residuos, especialmente en países con mayores tasas de mala gestión.

3.2. Propiedades térmicas, ambientales y técnicas del uso de plásticos reciclados en mezclas de concreto permanente o permeable

El uso de plásticos reciclados como reemplazo parcial de agregados en concretos convencionales y permeables ha sido ampliamente investigado como una estrategia para mejorar la sostenibilidad en la industria de la construcción. Los estudios coinciden en que esta alternativa responde al doble desafío de reducir la acumulación de estos desechos contaminantes y disminuir el consumo de recursos naturales como arena, grava y cemento [19].

a) Propiedades térmicas

En términos térmicos, la incorporación de plásticos reciclados reduce significativamente la conductividad térmica del concreto, pasando de valores cercanos a 1.7 W/mK en el concreto tradicional a aproximadamente 0.5 W/mK, lo que mejora el aislamiento térmico y contribuye a reducir las cargas energéticas de climatización en edificaciones. Este comportamiento se explica por la baja conductividad térmica de los polímeros, que oscila entre 0.15 y 0.40 W/mK, y que además puede contribuir a mitigar el efecto de isla de calor en pavimentos urbanos [20] [21].

b) Impacto ambiental

Desde el punto de vista ambiental, diversos análisis de ciclo de vida indican que el uso de plásticos reciclados en el concreto puede reducir entre 15 % y 30 % la huella de carbono del material, al disminuir la extracción de agregados naturales y evitar la disposición de residuos plásticos en rellenos sanitarios. En el caso del concreto permeable, este material también contribuye al desarrollo de infraestructura urbana sostenible, al favorecer la infiltración de agua de lluvia, reducir inundaciones y mejorar la recarga de acuíferos. Asimismo, la menor densidad del plástico reduce los impactos asociados al transporte de materiales, y se estima que la incorporación de 10–20 % de plástico reciclado puede sustituir entre 100 y 250 kg de agregados naturales por metro cúbico de concreto [22] [23].

La evaluación de los impactos ambientales, sociales y económicos del uso de plásticos reciclados en concreto permeable en Ecuador y Honduras evidencia beneficios potenciales relevantes. Ambientalmente, esta alternativa reduce la disposición inadecuada de residuos plásticos y la extracción de agregados naturales, contribuyendo a la mitigación de la contaminación. Desde el enfoque social, puede generar oportunidades en cadenas de reciclaje e inclusión de recicladores. Económicamente, aunque puede implicar costos iniciales de adaptación tecnológica, ofrece ventajas a mediano plazo mediante la valorización de residuos y reducción de costos de disposición. No obstante, en ambos países, la falta de implementación a escala real limita la cuantificación precisa de estos impactos.

c) Propiedades mecánicas

En cuanto a las propiedades mecánicas, la principal limitación identificada es la reducción de la resistencia a compresión, tracción y flexión, atribuida principalmente a la baja adherencia entre las partículas plásticas y la matriz cementicia. No obstante, la

incorporación de plástico también genera efectos positivos, como una menor densidad del material, mejoras en el aislamiento térmico y acústico, mayor absorción de energía y, en algunos casos, mayor resistencia química y durabilidad, lo que lo hace adecuado principalmente para elementos no estructurales y pavimentos permeables [20], [24]. En concretos permeables, la disminución de resistencia no suele ser crítica, ya que estos sistemas están diseñados para soportar cargas moderadas y requieren una mayor porosidad para facilitar el drenaje superficial. Estudios recientes reportan resistencias a compresión adecuadas para aplicaciones peatonales incluso con 10–15 % de plástico reciclado [25].

d) Nuevas Combinaciones y Tecnologías

Finalmente, investigaciones recientes exploran nuevas combinaciones de materiales y tecnologías de valorización de plásticos, incluyendo el uso de cenizas volantes, fibras sintéticas, residuos industriales y materiales de cambio de fase. Los polímeros más utilizados en estas aplicaciones son PET y HDPE, debido a su estabilidad dimensional y baja absorción de agua. Paralelamente, se investigan técnicas de modificación superficial del plástico y procesos de reciclaje avanzado —como reciclaje químico, biológico o transformación en nanomateriales— con el objetivo de mejorar la adherencia con la matriz cementicia y optimizar el desempeño mecánico del concreto [26].

Otra forma de valorización es mediante procesos termoquímicos como la pirólisis [27]. Esta tecnología se presenta como una alternativa viable para el aprovechamiento de residuos plásticos, permitiendo su conversión en combustibles líquidos y productos químicos que pueden sustituir derivados del petróleo [28].

Si bien el uso de plásticos reciclados en concreto permeable representa una alternativa técnicamente y ambientalmente interesante, con potencial para mejorar la permeabilidad y valorizar residuos, la evidencia científica disponible se limita principalmente a estudios teóricos [29]. En el contexto de Ecuador y Honduras, no se han reportado aplicaciones a escala real de esta tecnología, lo que evidencia una brecha entre la investigación y su implementación práctica, a pesar de sus beneficios potenciales en sostenibilidad y gestión de residuos.

3.3. Análisis bibliométrico de la literatura

Se presenta una revisión bibliométrica de la literatura científica relacionada con el uso de plásticos reciclados en concreto permeable y materiales de construcción sostenibles. El objetivo de este análisis es identificar la evolución de la producción científica, las principales tendencias de investigación y las áreas temáticas predominantes en el campo [30]. Para ello, se analizaron publicaciones indexadas en bases de datos científicas, lo que permitió examinar patrones de publicación, relaciones entre palabras clave y dinámicas editoriales que caracterizan el desarrollo reciente de esta línea de investigación.

a) Metodología de la revisión bibliométrica

La metodología se basó en una revisión bibliométrica de la literatura científica indexada en la base de datos Scopus [31]. La estrategia de búsqueda se construyó mediante combinaciones de palabras clave como “recycled plastics”, “sustainable pavements” y “polymer-modified concrete”, entre otras relacionadas con el uso de polímeros reciclados en materiales cementantes. Se aplicaron los siguientes criterios de filtrado:

- Periodo: 2006–2025,
- Tipo de documento: artículos científicos, trabajos de conferencia y capítulos de libro,
- Idioma: todos,
- Áreas temáticas: ingeniería, ciencia de materiales y ciencias ambientales.

Los registros obtenidos fueron analizados mediante el software VOSviewer, que permitió construir redes de co-ocurrencia de palabras clave para identificar las principales líneas temáticas del campo [32]. Asimismo, se elaboraron diagramas de relación editorial utilizando SankeyMATIC, con el fin de visualizar la distribución de publicaciones según tipo de documento, idioma y fuente editorial. Finalmente, la evolución anual de las publicaciones se representó mediante gráficos estadísticos generados en OriginPro [33].

b) Evolución histórica de las publicaciones

La Figura 1 muestra la evolución temporal de las investigaciones sobre el uso de plásticos reciclados en concreto permeable. Los resultados evidencian un crecimiento sostenido de la producción científica, particularmente notable a partir del año 2020. Mientras que entre 2006 y 2012 el número de publicaciones anuales fue inferior a diez estudios, durante el periodo 2020–2023 se superaron las cuarenta publicaciones por año, alcanzando un máximo cercano a cincuenta y cinco estudios en 2025. Este comportamiento confirma que el campo se encuentra en una fase de expansión científica, contrariamente a la percepción de estancamiento que podría suponerse en áreas de investigación emergentes.

Los registros anteriores a 2002 no fueron considerados en el análisis debido a su escaso volumen —inferior a tres publicaciones en algunos años— lo cual limita la posibilidad de realizar comparaciones bibliométricas representativas. A partir de esa fecha se observa un incremento progresivo en el interés académico por el tema. Durante el periodo 2006–2012 se identifica una fase de desarrollo inicial caracterizada por un crecimiento lento pero constante en la cantidad de estudios publicados. En esta etapa, las investigaciones se orientan principalmente a explorar la viabilidad técnica de incorporar plásticos reciclados como agregados o modificadores en mezclas de concreto permeable, evaluando sus efectos sobre las propiedades físicas y mecánicas del material. Paralelamente, la creciente preocupación ambiental por la acumulación de residuos plásticos comienza a impulsar el interés científico en soluciones constructivas más sostenibles. Entre 2013 y 2019 el campo experimenta una expansión más acelerada. En este periodo se multiplican los estudios centrados en propiedades mecánicas, comportamiento hidráulico, durabilidad, procesos de reciclaje y compatibilidad entre la

matriz cementante y los polímeros utilizados. Esta etapa puede considerarse una fase de consolidación científica, ya que los resultados experimentales comienzan a proporcionar evidencia sólida sobre el desempeño del concreto permeable modificado con materiales reciclados. Finalmente, entre 2020 y 2025 se observa el mayor crecimiento en la producción científica del área. Este aumento coincide con la creciente preocupación global por la contaminación por plásticos, el impulso de políticas de economía circular y la necesidad de desarrollar infraestructuras urbanas permeables capaces de reducir problemas de escorrentía superficial. Además, los avances en técnicas de procesamiento de plásticos reciclados —como la trituración controlada, el uso de partículas microplásticas y el refinamiento del agregado PET— han permitido obtener materiales más uniformes y compatibles con la matriz cementante, lo que fortalece la viabilidad técnica del concreto permeable modificado. Para 2025 el volumen de publicaciones se mantiene elevado, reflejando una comunidad científica activa y un interés sostenido en el desarrollo de materiales de construcción sostenibles.

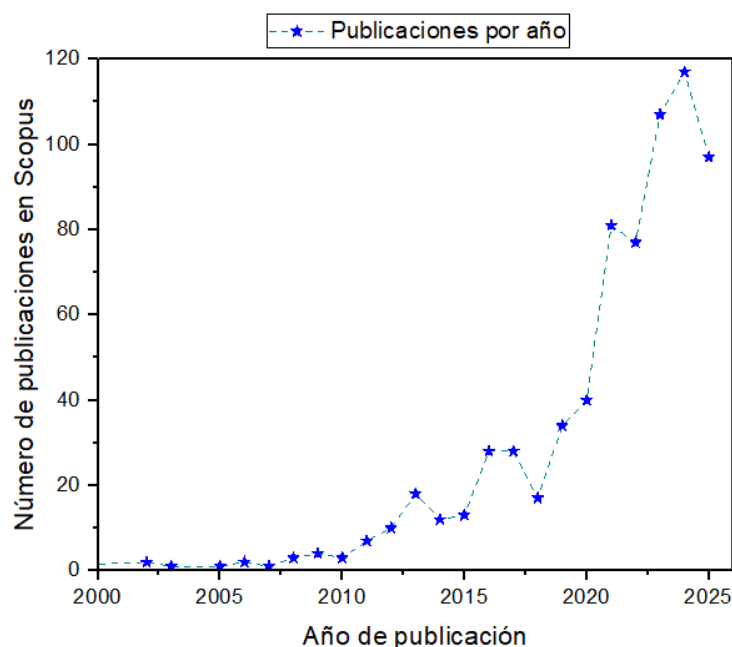


Figura 1. Evolución anual de publicaciones sobre plásticos reciclados aplicados en concreto permeable (2006–2025).

c) Co-ocurrencia de palabras clave

El análisis de co-ocurrencia de palabras clave, presentado en la Figura 2, permite identificar la estructura temática del campo de investigación. La red generada revela la presencia de cinco clústeres principales, los cuales representan las dimensiones más relevantes del estudio del concreto permeable modificado con plásticos reciclados.

El primer clúster (rojo) agrupa términos asociados al desempeño mecánico del material, incluyendo conceptos como resistencia a compresión, refuerzo y concreto reciclado. Este conjunto refleja la importancia de evaluar la capacidad estructural del concreto cuando incorpora polímeros reciclados, especialmente en aplicaciones de pavimentación permeable.

El segundo clúster (verde) se relaciona con sostenibilidad y reciclaje, integrando términos vinculados con economía circular, gestión de residuos y materiales reciclados.

La presencia de este grupo temático evidencia que la motivación ambiental constituye uno de los principales motores de esta línea de investigación.

El tercer clúster (azul) se enfoca en el comportamiento estructural y la respuesta bajo carga, abordando aspectos fundamentales para garantizar la seguridad y el desempeño funcional del material en aplicaciones reales.

El cuarto clúster (amarillo) está asociado con durabilidad y condiciones ambientales, incluyendo términos relacionados con corrosión, degradación y resistencia frente a condiciones de humedad o desgaste.

Finalmente, el quinto clúster (morado) se vincula con la microestructura del material, donde se analizan variables como la porosidad, la adherencia entre la pasta cementante y los agregados plásticos, así como la interacción con materiales cementantes suplementarios.

En conjunto, estos cinco clústeres evidencian que el estudio del concreto permeable con plásticos reciclados se ha consolidado como una línea de investigación multidimensional, en la que convergen aspectos de desempeño mecánico, sostenibilidad ambiental, microestructura y durabilidad del material.

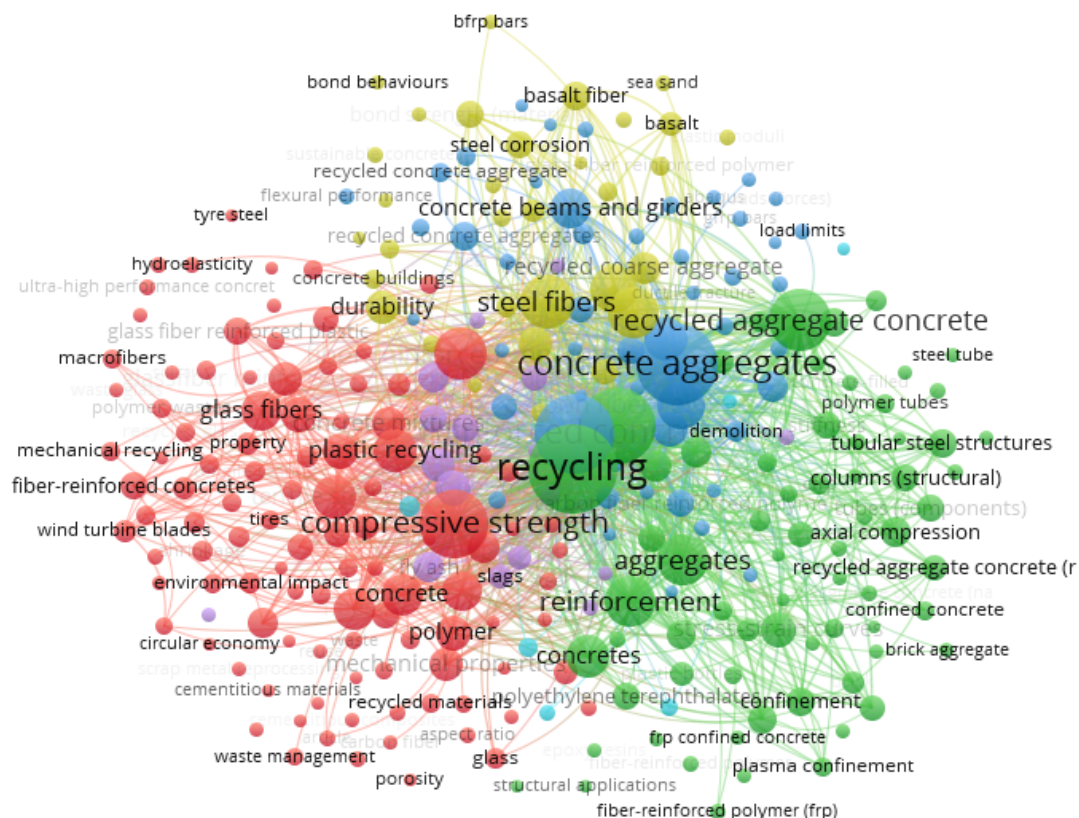


Figura 2. Red de co-ocurrencia de palabras clave en investigaciones sobre concreto permeable con plásticos reciclados.

d) Dinámica editorial de las publicaciones

La Figura 3 presenta un diagrama de Sankey que describe la distribución de las publicaciones según tipo de documento, idioma y fuente editorial, permitiendo comprender la dinámica de difusión científica del campo. Los resultados indican que se han identificado 516 artículos científicos, lo que confirma que este formato constituye el

principal medio de comunicación del conocimiento en esta área de investigación. En segundo lugar, se registran 320 trabajos publicados en conferencias, lo que evidencia un flujo constante de resultados preliminares y avances experimentales. Por su parte, los capítulos de libro, con 25 publicaciones, representan una contribución menor pero complementaria dentro de la producción académica.

En cuanto al idioma de publicación, se observa un claro predominio del inglés, con 701 documentos registrados, lo que confirma su papel como lengua franca de la ingeniería y la ciencia de materiales. Otros idiomas, como chino, alemán o japonés, representan en conjunto menos de treinta publicaciones, lo que refleja una participación marginal en comparación con la literatura en inglés. Esta distribución evidencia un proceso marcado de internacionalización de la investigación, donde la comunicación científica se orienta a maximizar la visibilidad y el alcance global de los estudios.

Respecto a las fuentes editoriales, las revistas científicas indexadas constituyen el principal canal de publicación, seguidas por los proceedings de conferencias y, en menor medida, por libros especializados. Este patrón sugiere la coexistencia de investigaciones consolidadas y desarrollos experimentales emergentes, lo que contribuye a fortalecer la dinámica editorial del campo y su difusión dentro de la comunidad científica internacional.

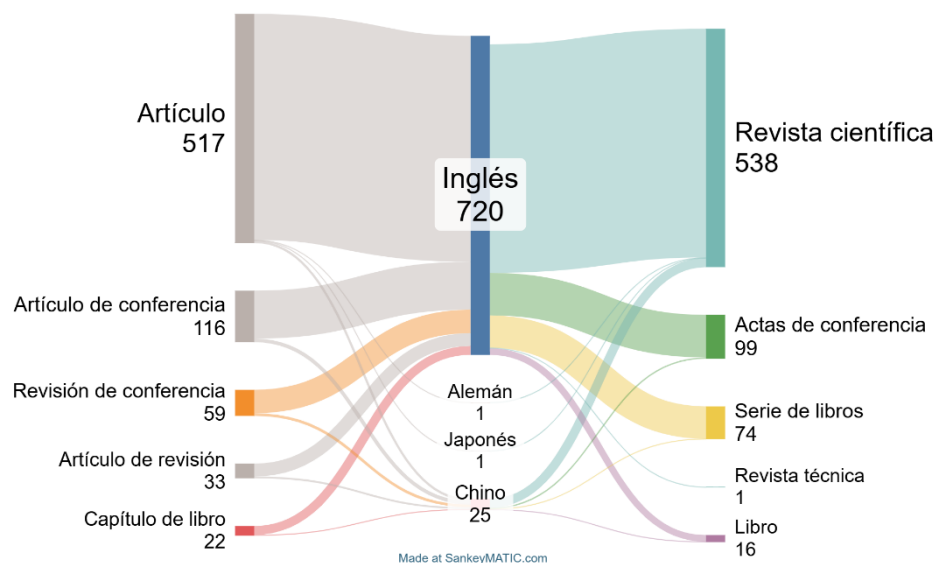


Figura 3. Diagrama de Sankey que muestra la distribución de publicaciones por tipo de documento, idioma y fuente editorial.

4. Discusión de la experiencia de internacionalización

Los resultados obtenidos durante la implementación del proyecto COIL evidencian que la colaboración académica entre la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ambato y la Universidad Tecnológica Centroamericana permitió generar un entorno de aprendizaje internacional con nivel científico para los estudiantes y docentes participantes. A través de sesiones virtuales sincrónicas y actividades colaborativas, los estudiantes tuvieron la oportunidad de interactuar con pares de otro contexto cultural y académico, lo que favoreció el intercambio de perspectivas, metodologías de trabajo y enfoques de análisis propios de cada institución.

Desde el punto de vista pedagógico, la experiencia contribuyó al fortalecimiento de competencias transversales asociadas con la internacionalización del currículo, tales como la comunicación intercultural, el trabajo en equipos multiculturales y la capacidad de abordar problemáticas académicas desde enfoques diversos [1]. Asimismo, la dinámica colaborativa facilitó la construcción conjunta de conocimiento, permitiendo que los estudiantes compartieran experiencias y contrastaran realidades académicas y profesionales de sus respectivos países.

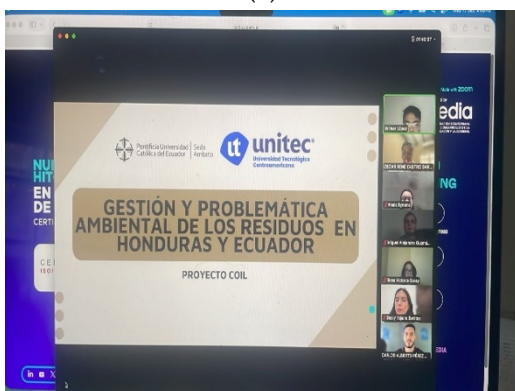
En términos institucionales, el proyecto también demostró el potencial de las iniciativas COIL como herramientas efectivas para promover procesos de internacionalización sin movilidad física, ampliando las oportunidades de interacción académica internacional y fortaleciendo los vínculos de cooperación entre ambas universidades [34]. Este tipo de experiencias representa una estrategia accesible y replicable para fomentar la internacionalización en contextos donde las limitaciones económicas o logísticas dificultan los intercambios presenciales.



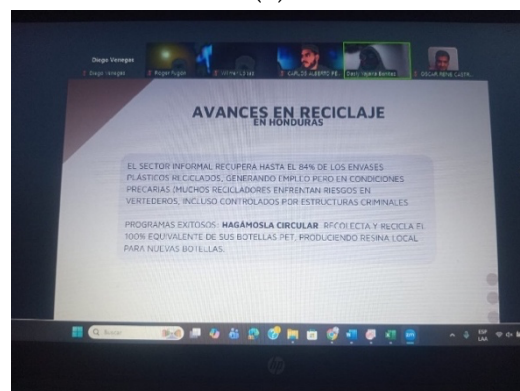
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 4. Evidencias fotográficas de las sesiones de trabajo desarrolladas durante el proyecto COIL UNITEC-PUCESA.

La Figura 4 presenta algunas evidencias fotográficas de las sesiones de trabajo desarrolladas durante el proyecto, en las cuales se observa la participación activa de los estudiantes y docentes en actividades de discusión, presentación de resultados y trabajo colaborativo. Estas imágenes reflejan el carácter dinámico y participativo de las sesiones, así como el ambiente de cooperación académica que se generó entre los participantes de

ambas instituciones. En conjunto, la experiencia desarrollada entre la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ambato y la Universidad Tecnológica Centroamericana pone de manifiesto el valor de los proyectos COIL como una estrategia efectiva para fortalecer la internacionalización de la educación superior, al tiempo que promueve el desarrollo de competencias globales en los estudiantes y fomenta nuevas oportunidades de colaboración académica entre instituciones de diferentes países.

5. Conclusiones

El presente estudio permitió analizar de manera integrada la problemática de los residuos plásticos y su potencial valorización en materiales de construcción sostenibles, al mismo tiempo que evaluó el impacto pedagógico de una experiencia de aprendizaje internacional basada en la metodología COIL.

El análisis del contexto ambiental evidenció que la generación de desechos plásticos constituye un desafío significativo tanto en Ecuador como en otros países de la región, debido a las limitaciones en los sistemas de gestión de residuos y a las bajas tasas de reciclaje. En este escenario, la reutilización de plásticos en materiales de construcción emerge como una alternativa prometedora dentro de los enfoques de economía circular. Los resultados evidencian que la gestión inadecuada de residuos plásticos, más que su generación total, determina el nivel de contaminación ambiental, siendo prioritario fortalecer los sistemas de manejo en países con mayores tasas de residuos mal gestionados.

La revisión de la literatura y el análisis técnico de las propiedades del concreto permeable modificado con plásticos reciclados muestran que este material presenta ventajas en términos de sostenibilidad, reducción de la huella de carbono y mejoras en el aislamiento térmico. No obstante, también se identifican limitaciones relacionadas con la disminución de la resistencia mecánica, lo que sugiere que su aplicación es más adecuada para elementos no estructurales y pavimentos permeables en entornos urbanos.

El análisis bibliométrico confirmó que el interés científico en el uso de plásticos reciclados en concreto permeable ha experimentado un crecimiento sostenido en las últimas dos décadas, consolidándose como una línea de investigación multidisciplinaria que integra ingeniería de materiales, sostenibilidad ambiental y economía circular.

Desde la perspectiva educativa, la internacionalización COIL desarrollada entre la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ambato y la Universidad Tecnológica Centroamericana demostró ser una estrategia efectiva para promover la internacionalización del currículo universitario. La interacción entre estudiantes de distintos contextos culturales favoreció el desarrollo de competencias interculturales, el trabajo colaborativo y la generación de soluciones conjuntas a problemáticas ambientales compartidas.

A diferencia de estudios previos que se centran principalmente en el desarrollo de competencias interculturales de manera general, este trabajo demuestra cómo el modelo COIL puede integrarse eficazmente con el análisis de datos cuantitativos y la resolución de problemáticas concretas, como la gestión de residuos plásticos.

En cuanto a la proyección futura, se plantea la necesidad de ampliar este tipo de estudios mediante evaluaciones longitudinales que permitan medir el impacto del COIL en el desarrollo profesional de los estudiantes, así como su contribución a la generación de soluciones innovadoras frente a problemáticas globales. De igual forma, futuras investigaciones podrían explorar la integración de herramientas tecnológicas emergentes, como analítica de aprendizaje o inteligencia artificial, para optimizar la colaboración internacional y fortalecer la toma de decisiones basada en datos.

Este estudio permite evidenciar y abordar un vacío relevante en la literatura, relacionado con la escasa integración entre metodologías COIL, aplicaciones de ingeniería y evaluación de sostenibilidad en contextos latinoamericanos. El principal aporte radica en su carácter integrador, al articular la formación pedagógica con la aplicación técnica en la resolución de problemáticas ambientales. Asimismo, los resultados obtenidos proyectan implicaciones significativas para el fortalecimiento de la internacionalización del currículo en ingeniería, promoviendo el desarrollo de soluciones sostenibles contextualizadas y replicables en la región.

Agradecimientos

Los agradecimientos expresan de forma breve el apoyo recibido durante la investigación. Deben ser profesionales, concisos y específicos, evitando lenguaje informal o emocional (ejemplo: A mi gato por su compañía, listados interminables de personas, menciones a religiones o creencias personales (a menos que sea un estudio sobre el tema).

Contribución de los autores

Los autores declaran sus contribuciones en la siguiente matriz:

	DV	OC	BM	DG	GM	CP	VC	NR	PH	RG	OP	AB	WL	RF	DB
Conceptualización															
Análisis formal															
Investigación															
Metodología															
Recursos															
Validación															
Redacción – revisión y edición															

Referencias

[1] S. Hackett, M. Dawson, J. Janssen, y J. Van Tartwijk, “Defining Collaborative Online International Learning (COIL) and Distinguishing it from Virtual Exchange”, *TechTrends*, vol. 68, núm. 6, pp. 1078-1094, nov. 2024, doi: 10.1007/s11528-024-01000-w.

- [2] A. Naicker, E. Singh, y T. Van Genugten, "Collaborative Online International Learning (COIL): Preparedness and experiences of South African students", *Innov. Educ. Teach. Int.*, vol. 59, núm. 5, pp. 499-510, sep. 2022, doi: 10.1080/14703297.2021.1895867.
- [3] C. Ka Yuk Chan, "A scoping review of empirical research on Collaborative Online International Learning (COIL) implementation", *Educ. Res. Rev.*, vol. 49, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2025.100749>.
- [4] M. Ballesteros-Sola y N. Magomedova, "Impactful social entrepreneurship education: A US-Spanish service learning collaborative online international learning (COIL) project", *Int. J. Manag. Educ.*, vol. 21, núm. 3, p. 100866, nov. 2023, doi: 10.1016/j.ijme.2023.100866.
- [5] L. Vaquerizo, I. D. Gil, S. Tututi-Avila, y R. B. Mato, "Collaborative Online International Learning (COIL) in chemical engineering: Preparing students for multicultural and international work environments", *Educ. Chem. Eng.*, vol. 53, pp. 26-36, oct. 2025, doi: 10.1016/j.ece.2025.07.001.
- [6] M. E. Núñez, P. M. García, y A. Abbas, "The mediating role of self-regulation between emotional intelligence and student performance in online global classroom-based collaborative international online learning (COIL): Empirical evidence from four partner universities of Latin America", *Res. Glob.*, vol. 7, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.resglo.2023.100178>.
- [7] D. M. S. Jiménez, "DETERMINACIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL URBANA DE LA CIUDAD DE LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI, PERIODO 2020-2021.", UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES, LATACUNGA - ECUADOR, 2021.
- [8] G. A. P. Proaño, "Análisis de la normativa pública para la reducción del uso de envases plásticos en Ecuador.", Gestión Administrativa y Sociedad, UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL ESCUELA DE POSGRADOS, Quito - Ecuador, 2020.
- [9] R. A. Ruiz Araujo, "Microplásticos en playas del Guayas: análisis y comparación de abundancia en dos playas de arenas", Escuela Superior Politécnica del Litoral Facultad Ciencias de la Vida., Guayaquil - Ecuador, 2024.
- [10] WWF, "Ecuador lidera una histórica hoja de ruta para reducir la contaminación por plásticos.", WWF-Ecuador. [En línea]. Disponible en: https://www.wwf.org.ec/?389213%2FEcuador-lidera-una-historica-hoja-de-ruta-para-reducir-la-contaminacion--por-plasticos=&utm_source=chatgpt.com
- [11] Chemicals & pollution action, "La ONU traza una hoja de ruta para solucionar la contaminación mundial por plásticos.", ONU programa para el medio ambiente. [En línea]. Disponible en: <https://surli.li/gxufib>
- [12] R. Talbot *et al.*, "Macroplastics and Microplastics in Intertidal Sediment of Vines and Los Tintos Rivers, Guayas Province, Ecuador", *Microplastics*, vol. 1, núm. 4, pp. 651-668, dic. 2022, doi: 10.3390/microplastics1040045.
- [13] E. Vera, "RLA 7028: muestreo de microplásticos en playas de Guayas, Ecuador.", REMARCO. [En línea]. Disponible en: <https://surli.cc/qfojzz>

- [14] V. Salazar y A. Byun, "Análisis de la contaminación marina y costera producida por los plásticos generados por la actividad pesquera artesanal en Ecuador.", *ECUADOR Plataforma accion plasticos*, Ecuador, 2025.
- [15] K. T. Zambrano Witong, J. C. Medina Cedeño, M. F. Pincay Cantos, y J. M. Calderón Pincay, "Valoración de la presencia de microplásticos en la playa de San Vicente de la provincia de Manabí - Ecuador", *Rev. Científica Tecnológica UPSE*, vol. 11, núm. 2, pp. 36-45, dic. 2024, doi: 10.26423/rctu.v11i2.826.
- [16] GALAPAGOS CONSERVATION TRUST (GCT y DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS (DPNG), "GALÁPAGOS LIBRE DE CONTAMINACIÓN PLÁSTICA 5 AÑOS DE CIENCIA A SOLUCIONES.", *PACIFIC PLASTICS: SCIENCE TO SOLUTIONS*, 2024.
- [17] Villamar Lucas Joselyn Elizabeth, "ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE MICROPLÁSTICO EN DIFERENTES ORGANISMOS MARINOS DEL ECUADOR 2018- 2021.", UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA., FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR - ESCUELA DE BIOLOGÍA MARINA., 2022.
- [18] Global Change Data Lab, "Our World in Data", Our World in Data. [En línea]. Disponible en: <https://ourworldindata.org/search?topics=Plastic+Pollution&countries=Ecuador%7EHonduras>
- [19] N. Akkouri, O. Bourzik, K. Baba, y A. Nounah, "Experimental study of the thermal and mechanical properties of concrete incorporating recycled polyethylene", presentado en Materials Today: Proceedings, 2022, pp. 1525-1529. doi: 10.1016/j.matpr.2022.03.293.
- [20] S. I. Basha, M. R. Ali, S. U. Al-Dulaijan, y M. Maslehuddin, "Mechanical and thermal properties of lightweight recycled plastic aggregate concrete", *J. Build. Eng.*, vol. 32, 2020, doi: 10.1016/j.job.2020.101710.
- [21] V. Athithan y L. T. Natarajan, "Enhancing thermal properties of eco-bricks through integration of post-consumer plastic waste: a sustainable construction approach", *J. Build. Pathol. Rehabil.*, vol. 10, núm. 1, 2025, doi: 10.1007/s41024-025-00597-6.
- [22] O. Damdelen y A. Tansu, "Influence of Recycled Plastic on the Thermal Transmittance and Sustainable Assessment of Concrete Mixes", *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 148, núm. 12, 2022, doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002292.
- [23] P. Soroushian y N. Roz-Ud-Din, "High-recycled-content concrete for energy-efficient building construction", *J. Solid Waste Technol. Manag.*, vol. 36, núm. 3, pp. 143-152, 2010, doi: 10.5276/JSWTM.2010.143.
- [24] K. E. El-Aidy, M. Ellithy, M. H. Mahmoud, y T. F. El-Shafiey, "Mechanical and physical properties of eco-friendly recycled plastic concrete (RPC)", *J. Build. Eng.*, vol. 97, 2024, doi: 10.1016/j.job.2024.110907.
- [25] H. M. Hamada *et al.*, "Enhancing sustainability in concrete construction: A comprehensive review of plastic waste as an aggregate material", *Sustain. Mater. Technol.*, vol. 40, 2024, doi: 10.1016/j.susmat.2024.e00877.

- [26] A. Mohan, G. Prabha, B. Balapriya, M. Deepika, y B. Hemanthimekala, "TRIBOLOGICAL INVESTIGATIONS ON THE PROPERTIES OF CONCRETE CONTAINING RECYCLED PLASTIC AGGREGATES", *J. Balk. Tribol. Assoc.*, vol. 27, núm. 6, pp. 1010–1020, 2021.
- [27] D. Venegas-Vásquez, L. Orejuela-Escobar, A. Valarezo-Garcés, V. H. Guerrero, L. Tipanluisa-Sarchi, y S. Alejandro-Martín, "Biomass Valorization through Catalytic Pyrolysis Using Metal-Impregnated Natural Zeolites: From Waste to Resources", *Polymers*, vol. 16, núm. 13, p. 1912, jul. 2024, doi: 10.3390/polym16131912.
- [28] F. Abnisa, "Enhanced Liquid Fuel Production from Pyrolysis of Plastic Waste Mixtures Using a Natural Mineral Catalyst", *Energies*, vol. 16, núm. 3, 2023, doi: 10.3390/en16031224.
- [29] M. A. A. Guerra, E. Carrión, y E. Cervantes, "Study of Literature Review on the use of plastic in concrete mixes", *Proc. Int. Struct. Eng. Constr.*, vol. 11, núm. 1, mar. 2024, doi: 10.14455/ISEC.2024.11(1).MAT-08.
- [30] A. E. Navas-Ulloa *et al.*, "Scientific Mapping of Mining Expansion in Ecuador: A PRISMA Systematic Review of Territorial Change and Biosanitary Implications in Latin America", *Environments*, vol. 13, núm. 5, p. 235, abr. 2026, doi: 10.3390/environments13050235.
- [31] D. Venegas-Vásquez, "Inteligencia artificial e ingeniería mecánica: Revisión bibliométrica sobre tendencias de investigación, aplicaciones industriales y perspectivas futuras", *Rev. Digit. Cienc. Ing. Tecnol. NOVASINERGIA*, vol. 9, núm. 2, pp. 21–40, ene. 2026, doi: 10.37135/ns.01.17.02.
- [32] D. Venegas-Vásquez *et al.*, "Microwave Pretreatment for Biomass Pyrolysis: A Systematic Review on Efficiency and Environmental Aspects", *Processes*, vol. 13, núm. 10, p. 3194, oct. 2025, doi: 10.3390/pr13103194.
- [33] D. Venegas-Vásquez y A. Tirado-Lozada, "Análisis de ciclo de vida en el diseño de productos de ingeniería: Una revisión sistemática", *Arksis-J.*, pp. 33–49, 2026, doi: 10.63957/arksis.v1i1.0001.
- [34] C. N. Loes, "Applied Learning through Collaborative Educational Experiences", *New Dir. High. Educ.*, vol. 2019, núm. 188, pp. 13–21, dic. 2019, doi: 10.1002/he.20341.