A Capacity-Building Framework for Women's Leadership in Planetary Health and Climate Action through Engineering Education

Lorena Jacqueline Chamorro Chamorro, PhD[1] https://orcid.org/0000-0002-3252-2239; Yuri Alejandra Caicedo Paez[2] MsC https://orcid.org/0000-0001-9024-9931; Alejandra Chacón Gallardo[3] https://orcid.org/0009-0007-2174-5377; Cesar Aguirre Duran[4] https://orcid.org/0000-0002-8756-9886; Jeannette Cristina Rodríguez Torres[5] https://orcid.org/0009-0000-3300-3126

[1,2,4,5] Universidad Piloto de Colombia, Colombia, *lorena-chamorro@upc.edu.co, yuri-caicedo@unipiloto.edu.co, cesar-aguirre1@upc.edu.co*, *jrodriguez@unipiloto.edu.co*

[3] Regenerative Futures Consulting Corporation, Canada, *ceo@regenerativefutures.ca*

Abstract– ***Capacity building for climate action and planetary health requires educational frameworks that integrate technical knowledge, leadership, and effective mechanisms for transferring knowledge to communities. However, these dimensions are often addressed independently, and few studies have explored the development of women's leadership through engineering education. This paper proposes a training framework aimed at preparing women as knowledge multipliers within vulnerable communities by strengthening competencies in planetary health, sustainability, leadership, and climate action. The study was conducted using a Design-Based Research (DBR) approach, supported by a conceptual synthesis of a structured literature review of scientific publications from 2021 to 2026. The review identified five core components of the proposed framework: inter and transdisciplinary education, women's leadership, active learning methodologies, social appropriation and knowledge transfer, and sustainable territorial transformation. These components are integrated into a systemic architecture that connects professional education with bidirectional knowledge co-creation processes involving local communities. The framework will be validated through a pilot program involving women professionals and subsequently implemented in vulnerable communities to evaluate its relevance, replicability, and contribution to strengthening women's leadership and climate action.***

Keywords-- ***Engineering education, climate action, planetary health, Women's leadership, capacity building.***

Modelo de formación para el liderazgo femenino en salud planetaria y acción climática desde la educación en ingeniería

Lorena Jacqueline Chamorro Chamorro, PhD[1] https://orcid.org/0000-0002-3252-2239; Yuri Alejandra Caicedo Paez MsC[2] https://orcid.org/0000-0001-9024-9931; Alejandra Chacón Gallardo[3] https://orcid.org/0009-0007-2174-5377; Cesar Aguirre Duran MsC [4] https://orcid.org/0000-0002-8756-9886 ; Jeannette Cristina Rodríguez Torres[5] https://orcid.org/0009-0000-3300-3126

[1,2,4,5] Universidad Piloto de Colombia, Colombia, *lorena-chamorro@upc.edu.co, yuri-caicedo@unipiloto.edu.co, cesar-aguirre1@upc.edu.co*, *jrodriguez@unipiloto.edu.co*

[3] Regenerative Futures Consulting Corporation, Canada, *ceo@regenerativefutures.ca*

Resumen– ***La formación de capacidades para la acción climática y la salud planetaria requiere modelos educativos que integren conocimientos técnicos, liderazgo y mecanismos efectivos de transferencia del conocimiento hacia las comunidades. Generalmente, esos componentes son abordados de manera independiente y existen pocas propuestas sobre el fortalecimiento del liderazgo femenino desde la educación en ingeniería. Este trabajo propone un modelo de formación para mujeres multiplicadoras de conocimiento en comunidades vulnerables, orientado al desarrollo de competencias en salud planetaria, sostenibilidad, liderazgo y acción climática. La investigación se desarrolló bajo el enfoque de Investigación Basada en Diseño (Design-Based Research), mediante la síntesis conceptual de una revisión estructurada de literatura científica publicada entre 2021 y 2026. A partir de esa revisión, se identificaron cinco componentes estructurales del modelo: formación inter y transdisciplinaria, liderazgo femenino, metodologías activas de aprendizaje, apropiación social y transferencia del conocimiento, y transformación territorial sostenible. Estos componentes se integran en una arquitectura sistémica que articula la formación profesional con procesos bidireccionales de co-creación junto con las comunidades. El modelo será validado mediante un programa piloto dirigido a mujeres profesionales y posteriormente implementado en comunidades vulnerables, para evaluar su pertinencia, replicabilidad y contribución al fortalecimiento del liderazgo femenino y la acción climática.***

Palabras clave—Educación en ingeniería, acción climática, salud planetaria, liderazgo femenino, formación de capacidades.

I. Introducción

El cambio climático constituye uno de los principales desafíos globales debido al aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a las actividades humanas. Sus principales efectos incluyen el incremento de la temperatura global, el ascenso del nivel del mar y la alteración de los ecosistemas, con impactos ambientales, sociales y económicos [1], [2]. En 2026, las emisiones medias globales de CO_2 alcanzan 4.0 t per cápita [3], lo que evidencia la necesidad de fortalecer estrategias orientadas a la mitigación y al desarrollo de capacidades para la adaptación y la acción climática. Estas estrategias deben contextualizar el problema y las soluciones del cambio climático como parte de la crisis ambiental sistémica interrelacionada con la extinción masiva de las especies animales y vegetales (que provoca la pérdida de ecosistemas esenciales para la supervivencia humana), la degradación de la tierra y el agotamiento de recursos [4].

Organizaciones internacionales como el Instituto Internacional para la Educación Superior en América Latina y el Caribe de la UNESCO [5], la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático [6] y el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático - IPCC [7] de la ONU, han contribuido en la educación integral sobre acción por el clima y planes para mitigar la crisis climática global, enfocados en alcanzar los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030. Sin embargo, persiste una brecha entre la generación de conocimiento científico sistémico y su aplicación efectiva en los territorios.

Los ODS constituyen un marco de referencia para plantear estrategias de formación. Particularmente, el ODS 4 “Educación de calidad”, el ODS 5 “Igualdad de género” y el ODS 6 “Agua limpia y saneamiento” convergen en fortalecer capacidades técnicas, promover el liderazgo femenino y fomentar la gestión sostenible de los recursos naturales, principalmente recursos hídricos, así como la gestión de residuos, mediante procesos educativos inclusivos y de calidad que permitan cumplir otros ODS [8], [9].

No obstante, la educación para el desarrollo sostenible y las iniciativas de empoderamiento femenino han evolucionado de forma independiente y aislada, con escasas propuestas sistémicas que integren la educación en ingeniería, la formación trans e interdisciplinaria en acción climática, el liderazgo femenino, la transferencia de conocimiento y el emprendimiento sostenible. Esta fragmentación limita la apropiación social sobre sostenibilidad.

En respuesta a esa necesidad, el presente estudio aborda la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo estructurar un modelo de formación inter y transdisciplinario que fortalezca el liderazgo femenino en acción climática y facilite la transferencia del conocimiento hacia comunidades vulnerables para producir un impacto sistémico a escala? Para responderla, se propone un modelo de formación desde la educación en ingeniería dirigido inicialmente a mujeres profesionales, que se convertirán en agentes multiplicadoras de conocimiento en comunidades vulnerables mediante procesos de apropiación social, emprendimiento sostenible y de resiliencia territorial.

Las mujeres profesionales constituyen un grupo estratégico que combina capacidades técnicas, liderazgo y alto potencial para ser agentes de cambio. Sin embargo, se requieren estrategias educativas que incluyan mecanismos estructurados y sistémicos de transferencia de conocimiento para generar cambio real en los territorios.

El objetivo de este trabajo es presentar los fundamentos conceptuales, la estructura y los componentes del modelo de formación para mujeres transformadoras, así como analizar su contribución en el fortalecimiento del liderazgo femenino y la acción climática desde la educación en ingeniería.

II. ESTADO DEL ARTE

A. Educación para la salud planetaria, acción climática y el desarrollo sostenible

La salud planetaria y la sostenibilidad requieren entender las causas y consecuencias de la crisis climática en sus dimensiones ambiental, económica, política y social. La educación es esencial para desarrollar competencias sociales, ambientales y profesionales para afrontar esos desafíos con enfoques sistémicos, inter y transdisciplinarios, que trasciendan la enseñanza de contenidos aislados y favorezcan la construcción de soluciones integrales, orientadas a la promoción de la salud planetaria, la mitigación y adaptación al cambio climático y regeneración de ecosistemas [6],[10], [11].

La actualización de las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC) de Colombia en 2025, en cumplimiento con el Acuerdo de París de 2015, enfatiza la necesidad de integrar la educación climática en todos los niveles del sistema educativo, articulando el conocimiento científico con los saberes locales y ancestrales para impulsar la apropiación y transferencia de conocimiento [6], [12].

En este escenario, las instituciones de educación superior desempeñan un papel estratégico al formar profesionales con pensamiento sistémico, crítico y capacidad de análisis para depurar la información antes de transmitirla, entender el comportamiento de los ecosistemas y proponer soluciones sostenibles que promuevan la regeneración del planeta mediante el desarrollo social. Por ende, la educación para la sostenibilidad y la salud planetaria debe trascender la transmisión de conocimientos técnicos, e incorporar dimensiones éticas, sociales, económicas y políticas que permitan comprender la complejidad de los territorios y orientar procesos de transformación social mediante la participación de múltiples actores [10], [13], [14].

La educación climática continúa enfrentando dificultades para transformar el conocimiento técnico en acciones concretas dentro de los territorios, debido a la limitada apropiación del conocimiento, la resistencia frente a la evidencia científica y la escasa articulación entre formación académica y participación comunitaria [15]. La literatura coincide en que la educación para la acción climática y la salud planetaria debe evolucionar desde la transmisión de conocimientos hacia el desarrollo de capacidades que permitan comprender las interacciones entre los sistemas ambientales, sociales y sanitarios desde la perspectiva de salud planetaria, y liderar procesos de transformación sostenible. La educación en ingeniería es fundamental para formar agentes de cambio, reconociendo el liderazgo femenino como un factor que estimula la innovación, la apropiación social del conocimiento y la acción climática en las comunidades y transformación social con visión sistémica y regenerativa

B. Liderazgo femenino y educación en ingeniería para la sostenibilidad

La educación en ingeniería es fundamental para el desarrollo sostenible al formar profesionales capaces de responder a problemas complejos con soluciones técnicas, ambientales y sociales. La formación debe incorporar pensamiento sistémico, competencias normativas, principios de economía circular y habilidades interpersonales que integren los ODS 4 y 9, Educación de calidad, e Industria, innovación e infraestructura, respectivamente [16], [17]. El desarrollo sostenible y la salud planetaria también requieren la participación estratégica de grupos históricamente subrepresentados, como las mujeres, para la regeneración de los ecosistemas y la promoción de la salud planetaria.

Aunque se evidencian avances en políticas de equidad, la participación de mujeres y niñas en las áreas relacionadas con STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas) continúa siendo limitada, debido a barreras socioculturales, económicas e institucionales, que condicionan sus trayectorias educativas y profesionales desde edades tempranas [18]. Esas desigualdades persisten desde la educación básica hasta el ámbito profesional, evidenciando que reforzar del liderazgo femenino exige transformaciones estructurales que no solo se limiten al incremento de la matrícula, sino que promuevan el desarrollo de capacidades en condiciones de igualdad [8].

Diversos estudios evidencian que la participación femenina favorece la creatividad, la innovación y asertividad en la toma de decisiones dentro de equipos multidisciplinarios, lo que respalda la implementación de políticas orientadas a la equidad y liderazgo [8], [19], [20]. Las mujeres tienden a otorgar mayor relevancia a las dimensiones sociales de los proyectos de sostenibilidad, facilitando la apropiación y transferencia de conocimiento, y la adaptación de conceptos técnicos a las realidades de las comunidades [21].

En consecuencia, la educación en ingeniería debe impulsar a mujeres a actuar como agentes de cambio frente a los desafíos del desarrollo sostenible y salud planetaria [20], [21]. Aunque, la literatura reconoce el potencial de las mujeres profesionales para liderar procesos de innovación, adaptación climática y transformación social, aún son limitadas las propuestas que estructuran modelos de formación orientados a potenciar estas capacidades, facilitar la transferencia del conocimiento y generar impacto comunitario.

C. Modelos de formación y transferencia del conocimiento para la transformación social

Los modelos contemporáneos de educación para la sostenibilidad y la salud planetaria han evolucionado desde la

transmisión de conocimientos hacia el desarrollo de capacidades para la transformación social y la regeneración del planeta. Entre las competencias más relevantes se destacan la colaboración inter y transdisciplinaria, el pensamiento crítico y sistémico, la toma de decisiones, el compromiso ético y el liderazgo en la transición sostenible de territorios [22].

El desarrollo de competencias requiere estrategias de transferencia de conocimiento que contemplen la interacción comunitaria. Li et al. [23] proponen un entorno de aprendizaje bidireccional, basado en retroalimentación continua entre los expertos (profesionales), y los aprendices (comunidad), favoreciendo procesos de aprendizaje pertinentes, accesibles, equitativos y adaptados a las necesidades del territorio.

Los modelos orientados a la formación de agentes de cambio requieren metodologías activas que vinculen el aprendizaje con problemas reales. El Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) constituye una estrategia ampliamente utilizada en educación para sostenibilidad al favorecer el aprendizaje contextualizado, el trabajo colaborativo y la reflexión sobre las implicaciones sociales y ambientales, en una estructura de acompañamiento y evaluación [24], [25].

La transferencia de conocimiento no puede entenderse como un proceso unidireccional, puesto que requiere que las comunidades actúen como co-productoras del conocimiento, integrando saberes científicos y locales mediante procesos de aprendizaje mutuo, reconociendo las características culturales, sociales y territoriales propias de la comunidad, y atendiendo sus necesidades e intereses [26]. Este enfoque exige fortalecer competencias de comunicación, liderazgo y gestión participativa, ya que el dominio técnico por sí solo no garantiza una transferencia efectiva del conocimiento [24].

La evidencia muestra que el conocimiento técnico resulta insuficiente para generar transformación social, y se hace necesario acompañarlo de competencias socioemocionales, que permitan adaptarlo al contexto, promover la innovación y construir soluciones de manera colaborativa [27].

Los modelos basados en aprendizaje-servicio y resolución de problemas han demostrado su capacidad para conectar el aprendizaje con necesidades reales del entorno. Kim [28] muestra que la participación en proyectos de diseño e innovación favorece simultáneamente el aprendizaje en sostenibilidad y el fortalecimiento económico de mujeres en contextos vulnerables, evidenciando que la formación puede convertirse en un mecanismo de transformación territorial.

Aunque la literatura reconoce la importancia de integrar competencias técnicas, metodologías activas, liderazgo y participación comunitaria, la mayoría de los modelos continúan centrándose en la formación individual y dedica poca atención a mecanismos sistémicos de transferencia del conocimiento hacia comunidades vulnerables. Además, la articulación entre educación en ingeniería, regeneración de los ecosistemas, liderazgo femenino y apropiación social permanece escasamente abordada. Este vacío fundamenta la propuesta del modelo presentada en la siguiente sección.

III. CONTRIBUCIÓN DEL MODELO PROPUESTO

Como respuesta al vacío identificado en la literatura, se propone un modelo conceptual que articula el desarrollo de capacidades para la acción climática, la salud planetaria y el liderazgo femenino desde la educación en ingeniería incorporando un proceso estructurado de transferencia del conocimiento hacia comunidades vulnerables.

La principal contribución de la propuesta consiste en integrar, en un mismo marco conceptual, la educación en ingeniería, la sostenibilidad, la salud planetaria, el liderazgo femenino, las metodologías activas de aprendizaje y la apropiación social del conocimiento, mediante un mecanismo bidireccional entre el conocimiento científico y los saberes locales, para la co-creación de soluciones contextualizadas frente a los desafíos del cambio climático. A diferencia de los modelos revisados, la propuesta organiza estos componentes mediante una secuencia progresiva de desarrollo de capacidades y transferencia bidireccional de conocimiento orientada a la transformación territorial. El modelo se estructura en cinco componentes interrelacionados que conforman la arquitectura conceptual.

IV. METODOLOGÍA

A. Diseño metodológico

Este estudio corresponde a una investigación de innovación educativa, desarrollada bajo el enfoque de Investigación Basada en Diseño (Design-Based Research, DBR), cuyo propósito es el diseño conceptual de una propuesta formativa para fortalecer capacidades en acción climática desde la educación en ingeniería. Este enfoque comprende cuatro etapas principales: análisis y exploración para definir las necesidades según el contexto, diseño y construcción de la intervención integrando teoría y conocimiento experto, evaluación y reflexión que permite recolectar datos, realizar ajustes y retroalimentar la propuesta de formación, y finalmente, implementación y difusión con aplicación en diferentes comunidades [29].

Este artículo presenta la fase de diseño conceptual del modelo; las etapas de implementación, evaluación y refinamiento se desarrollarán en un programa piloto y un proceso iterativo de validación. El diseño integra referentes de la educación para la salud planetaria, la sostenibilidad, la educación en ingeniería, el liderazgo femenino y la apropiación social del conocimiento. A partir de esos referentes, se identificaron los elementos conceptuales que sustentan la arquitectura del modelo, sus componentes, su esquema de operación y la estrategia general de validación.

B. Revisión de literatura para fundamentación del modelo

La fundamentación del modelo se realizó mediante una revisión estructurada de la literatura científica, orientada a identificar enfoques, componentes y estrategias empleados en procesos de formación para sostenibilidad y salud planetaria. La búsqueda bibliográfica se efectuó principalmente en las bases de datos Scopus y Web of Science, complementada con

ScienceDirect y JSTOR para ampliar la cobertura temática y acceder al texto completo de publicaciones relevantes.

La búsqueda incluyó publicaciones en inglés y español, del periodo 2021 a 2026; priorizando literatura reciente debido a la rápida evolución de los enfoques de educación en acción climática. Se seleccionaron artículos revisados por pares, publicados en revistas indexadas, relacionados con educación superior, salud planetaria, sostenibilidad, liderazgo femenino, metodologías activas de aprendizaje, transferencia del conocimiento y estrategias educativas con impacto social.

Tras aplicar los criterios de inclusión y depuración se seleccionaron veintidós estudios pertinentes para el análisis conceptual. En cada estudio se examinaron el enfoque metodológico, las competencias desarrolladas, las estrategias formativas, los mecanismos de transferencia de conocimiento, la participación comunitaria y los resultados reportados. La síntesis de esas categorías permitió definir la arquitectura conceptual y los cinco componentes del modelo propuesto.

C. Síntesis conceptual

El análisis de la literatura permitió identificar cinco categorías conceptuales recurrentes que sintetizan los principales elementos de los modelos de formación para la sostenibilidad. Esas categorías conforman la arquitectura conceptual del modelo: (1) formación interdisciplinaria para la sostenibilidad y la salud planetaria, (2) liderazgo femenino, (3) metodologías activas de aprendizaje, (4) apropiación social y transferencia del conocimiento y (5) transformación territorial mediante el emprendimiento sostenible (Tabla I).

TABLA I
SÍNTESIS CONCEPTUAL DEL MODELO DE FORMACIÓN

Variables analizadas en la literatura	***Categoría conceptual***	***Componente del modelo***	***Fuentes principales***
Pensamiento sistémico, competencias en sostenibilidad y salud planetaria, educación interdisciplinaria	Formación	Formación inter y transdisciplinaria para la sostenibilidad	[4], [6] [10], [11] [14], [15]
Liderazgo, empoderamiento, mentoría, equidad de género	Liderazgo	Liderazgo femenino	[18] [20] [21]
Aprendizaje basado en proyectos, aprendizaje experiencial, aprendizaje-servicio	Metodologías	Metodologías activas de aprendizaje	[24] [25]
Transferencia del conocimiento, co-creación, apropiación social, participación comunitaria	Transferencia	Apropiación social y transferencia del conocimiento	[26]
Innovación social, emprendimiento sostenible, resiliencia, impacto territorial	Transformación	Transformación territorial y emprendimiento sostenible	[27] [28]

D. Proceso de diseño conceptual del modelo

El diseño conceptual se desarrolló mediante un proceso secuencial que permitió organizar los cinco componentes identificados en la literatura, establecer sus relaciones funcionales y definir la arquitectura y operación del modelo.

Etapa 1. Organización conceptual: los componentes derivados de la síntesis conceptual se organizaron definiendo su función y las relaciones de complementariedad entre ellos.

Etapa 2. Integración sistémica: Se establecieron las relaciones de interacción entre los componentes (Tabla I) conformando la arquitectura conceptual orientada al desarrollo progresivo de competencias en sostenibilidad, liderazgo, transferencia de conocimiento y transformación territorial.

Etapa 3. Estructuración del modelo operativo: la arquitectura conceptual se tradujo en un esquema operativo compuesto por fases sucesivas de formación, interacción comunitaria, evaluación y retroalimentación continua.

E. Arquitectura conceptual del modelo

La Figura 1 presenta la arquitectura conceptual del modelo, ilustrando la interacción entre sus cinco componentes y la secuencia lógica que orienta el proceso formativo, desde el desarrollo de capacidades hasta la transformación territorial.

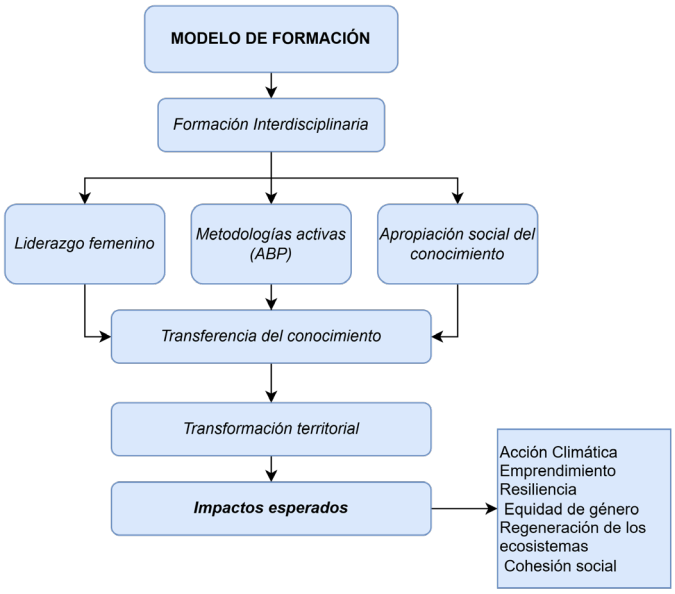


Fig. 1 Diagrama de fases de la arquitectura del modelo.

F. Esquema operativo del modelo

La Figura 2 presenta la operación del modelo mediante una secuencia de fases que articulan la formación de mujeres profesionales con la transferencia del conocimiento hacia comunidades vulnerables. Cada fase incorpora mecanismos de retroalimentación que favorecen el mejoramiento continuo.

El proceso inicia con el diagnóstico de necesidades y la caracterización del territorio, seguido por el fortalecimiento de competencias en sostenibilidad, salud planetaria y liderazgo mediante estrategias de formación inter y transdisciplinaria.

Posteriormente, el conocimiento se transfiere a las comunidades a través de procesos participativos que promueven la apropiación social. Experiencias de educación en ingeniería orientadas a la sostenibilidad, se han enfocado en

desarrollar habilidades sociales e incorporar a las comunidades como colaboradoras y coeducadoras, para favorecer la contextualización del aprendizaje y la construcción conjunta de soluciones que mantengan la salud planetaria [30].

Asimismo, proyectos sobre aprendizaje-servicio en programas de ingeniería, posibilitan el desarrollo de competencias técnicas y profesionales relacionadas a problemas de sostenbilidad, como la gestión del recurso hídrico [31]. Por ejemplo, una problemática identificada por las participantes en el territorio, como el uso eficiente del recurso hídrito, podrá convertirse en un proyecto colaborativo de diagnóstico, diseño de alternativas y emprendimiento sostenible, integrando conocimientos técnicos y saberes locales.

Finalmente, la evaluación de resultados para retroalimentar, ajustar y favorecer la mejora continua del modelo y aplicación en otros contextos.

G. Componentes

Los cinco componentes conforman una arquitectura conceptual organizada de manera progresiva. Cada componente desarrolla capacidades que sirven de base para el siguiente, integrando la formación técnica, el liderazgo y la apropiación social del conocimiento hasta promover procesos de transformación territorial.

1. Formación inter y transdisciplinaria para la salud planetaria y la sostenibilidad: integra conocimientos de ingeniería, salud planetaria, sostenibilidad, pensamiento sistémico, gestión, recursos hídricos y finanzas para comprender la complejidad del cambio climático y la regeneración de los ecosistemas desde una perspectiva inter y transdisciplinaria [10], [11], [14]. Este componente proporciona las bases para diseñar soluciones sostenibles adaptadas a diferentes contextos territoriales con una perspectiva transgeneracional.

2. Desarrollo del liderazgo femenino: fortalece capacidades de liderazgo, comunicación, toma de decisiones y trabajo colaborativo para que las participantes actúen como agentes de cambio sistémico [20], [21]. Así mismo, promueve el empoderamiento, la confianza y la consolidación de redes profesionales y comunitarias que favorecen la movilización de conocimiento.

3. Metodologías activas para el aprendizaje: incorpora principalmente el Aprendizaje Basado en Proyectos, y aprendizaje-servicio, vinculando la formación con problemas reales evaluación [24], [25], [31]. Estas estrategias favorecen el aprendizaje experiencial, el pensamiento crítico y la integración entre teoría y práctica. Su aplicación en programas de ingeniería vinculados con sostenibilidad ha mostrado resultados favorables en el desarrollo de competencias técnicas y profesionales mediate experiencias contextualizadas [31].

4. Apropiación social y transferencia del conocimiento: La transferencia del conocimiento se concibe como un proceso bidireccional de aprendizaje entre mujeres profesionales y comunidades vulnerables; articulando los conceptos científicos y técnicos con los saberes locales para generar soluciones pertinentes al contexto social, cultural y territorial [23], [26], [32].

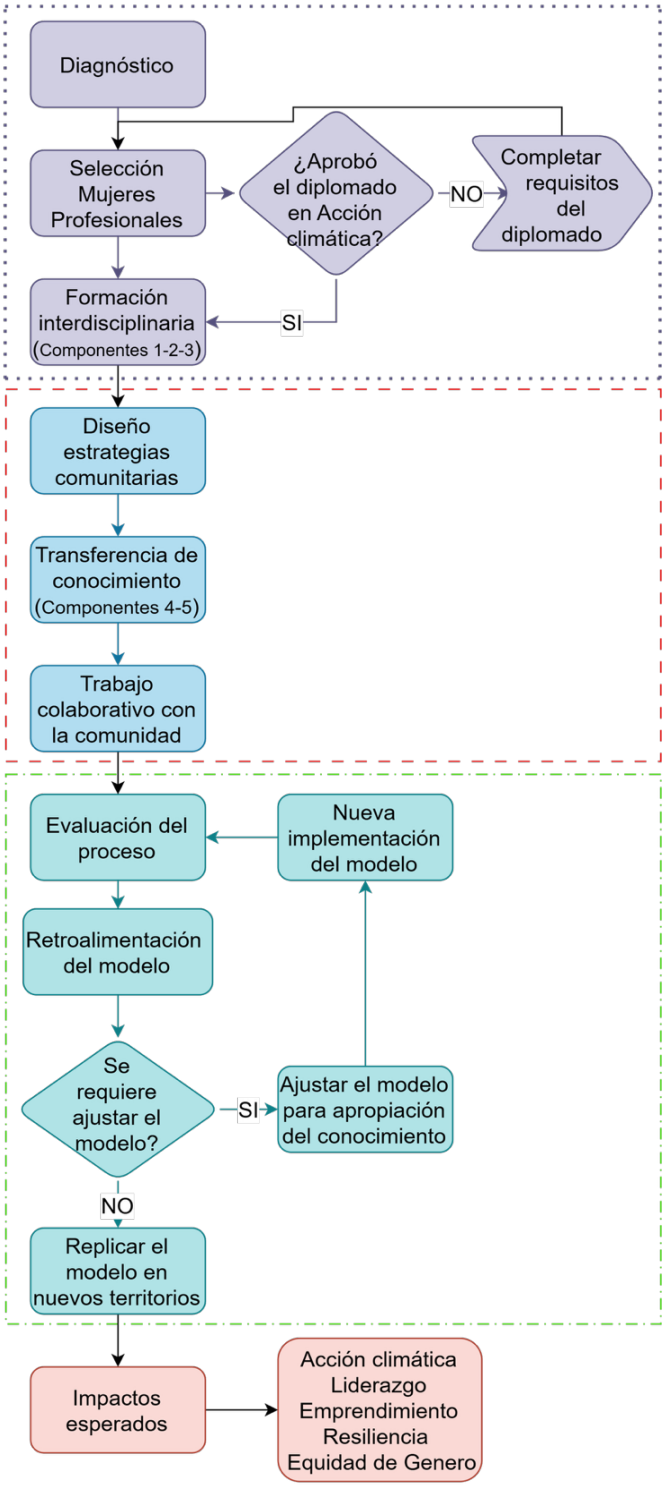


Fig. 2 Esquema operativo del modelo de formación para mujeres transformadoras

La coproducción del conocimiento favorece el aprendizaje social y fortalecimiento de capacidades adaptativas de las comunidades, integrando investigación colaborativa, sistemas de conocimiento inclusivos e iterativos y particularidades del contexto [32].

5. Transformación territorial y emprendimiento regenerativo y sostenible: orienta la aplicación del conocimiento hacia iniciativas comunitarias que fortalezcan el emprendimiento sostenible y regenerativo, la gestión responsable de recursos naturales y la resiliencia climática [27], [28], [32]. El propósito es generar impactos duraderos que contribuyan simultáneamente al desarrollo económico, la equidad de género, el bienestar de las comunidades y la salud planetaria.

H. Estrategia de validación

La validación del modelo se desarrollará en dos etapas complementarias. Inicialmente, la arquitectura conceptual, la coherencia metodológica y la pertinencia de sus componentes serán evaluadas por un panel de expertos en educación en ingeniería, salud planetaria, sostenibilidad, liderazgo y apropiación social del conocimiento. Investigaciones Basadas en Diseño, empleadas para el desarrollo y refinamiento iterativo de programas formativos orientados a la sostenibilidad, cuentan con una validación consistente y rigurosa por parte de juicios de expertos, retroalimentación e implementación de prueba piloto [33].

Posteriormente, el modelo se implementará en un programa piloto con mujeres profesionales de diferentes disciplinas, quienes desarrollarán procesos de transferencia del conocimiento con una comunidad vulnerable de Girardot (Cundinamarca, Colombia).

La evaluación del piloto considerará indicadores asociados al desarrollo de competencias en salud planetaria, sostenibilidad, liderazgo, aplicación del conocimiento, transferencia bidireccional e interacción comunitaria (Tabla II). Para ello se combinarán pruebas diagnósticas, rúbricas de desempeño, autoevaluaciones, encuestas de percepción y registros de participación. Los resultados serán analizados mediante comparación de las competencias evaluadas, análisis descriptivo de indicadores y triangulación entre observaciones, encuestas y rúbricas. La integración de esos instrumentos y la participación de los actores en la evaluación permitirá valorar el proceso formativo, la interacción con la comunidad y los efectos asociados a la coproducción del conocimiento [34].

El éxito de la prueba piloto se valorará a partir de la evidencia de mejora en las competencias de las participantes, el desarrollo de las capacidades de liderazgo, la aplicación del conocimiento en problemas contextualizados, la participación efectiva de la comunidad y la formulación de iniciativas orientadas a la sostenibilidad y resiliencia territorial. La evaluación se realizará de manera formativa durante la implementación, de forma que la retroalimentación permita identificar ajustes y refinar progresivamente el modelo, en concordancia con el carácter iterativo de la Investigación Basada en Diseño [29], [34].

Los resultados servirán para refinar la propuesta conceptual, verificar su pertinencia y factibilidad de implementación, y analizar su potencial de replicabilidad en otros contextos profesionales y territoriales.

TABLA II
INDICADORES E INSTRUMENTOS DE VALIDACIÓN

Componente	***Resultado esperado***	***Indicadores***	***Instrumento***
Formación inter y transdisciplinaria	Fortalecimiento de conocimientos y capacidades para la acción climática	Nivel de comprensión de conceptos de sostenibilidad y de salud planetaria	Prueba diagnóstica y rúbrica
Liderazgo femenino	Fortalecimiento de capacidades para liderar procesos de transformación	Desarrollo de competencias de liderazgo	Rúbrica y autoevaluación
Metodologías activas	Aplicación del conocimiento en problemas contextualizados	Participación y resolución de problemas	Observación y rúbrica
Transferencia del conocimiento	Intercambio y co-creación de conocimiento entre profesionales y comunidad	Calidad de las actividades desarrolladas con la comunidad	Encuesta y observación
Transformación territorial	Formulación de soluciones con potencial de aplicación territorial	Formulación de iniciativas o emprendimientos	Rúbrica de proyectos y encuesta de percepción

V. RESULTADOS ESPERADOS

Se espera que el modelo fortalezca las competencias de mujeres profesionales en sostenibilidad, salud planetaria, acción climática, liderazgo y apropiación social del conocimiento, preparándolas como agentes multiplicadoras capaces de transferir estos saberes a mujeres de comunidades vulnerables. La primera fase del programa piloto corresponde al Diplomado en Acción Climática para Mujeres Profesionales, previsto para el primer semestre de 2027, durante el cual se implementarán los componentes de formación inter y transdisciplinaria, liderazgo femenino y metodologías activas de aprendizaje (Componentes 1, 2 y 3). Esta etapa permitirá el acercamiento al territorio y el reconocimiento de las necesidades de la comunidad de Girardot (Cundinamarca), como base para contextualizar las actividades de transferencia y co-creación del conocimiento.

En la segunda fase, programada para el segundo semestre de 2027, se implementarán los componentes de apropiación social, transferencia del conocimiento, transformación territorial y emprendimiento sostenible (Componentes 4 y 5).

Paralelamente, se desarrollará la estrategia de validación para evaluar la efectividad de la transferencia del conocimiento y su contribución al uso responsable de los recursos naturales —especialmente del recurso hídrico—, la

regeneración de los ecosistemas, la resiliencia territorial y la reducción de brechas de género.

Se espera que la implementación del modelo permita evaluar la viabilidad de articular la educación en ingeniería, el liderazgo femenino y la apropiación social del conocimiento en un proceso formativo orientado a la acción climática y la salud planetaria. Los indicadores definidos en la Tabla II permitirán analizar los resultados de cada componente y establecer su relación con el proceso de formación, transferencia del conocimiento e interacción comunitaria. Los resultados permitirán refinar la propuesta conceptual, y analizar su potencial de adaptación y aplicación en otros contextos territoriales y programas de formación.

V. CONCLUSIONES

Este trabajo presenta un modelo conceptual de formación que articula educación en ingeniería, salud planetaria, sostenibilidad, liderazgo femenino, metodologías activas y apropiación social del conocimiento, estructurado en cinco componentes que vinculan la formación de mujeres profesionales con procesos bidireccionales de transferencia y co-creación de conocimiento. La principal contribución consiste en preparar a las participantes como agentes multiplicadoras que promueven la transformación territorial. El alcance del estudio corresponde al diseño conceptual del modelo, cuya validación constituye la siguiente fase de la investigación, así como la implementación del programa piloto. Los resultados de estas etapas permitirán refinar el modelo, evaluar su pertinencia y aplicabilidad, y analizar su potencial de replicabilidad en otros contextos.

AGRADECIMIENTO

Los autores expresan su agradecimiento a los docentes de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Piloto de Colombia por sus aportes académicos en la construcción de esta propuesta, así como a la Cátedra UNESCO por promover espacios de reflexión sobre sostenibilidad, educación e innovación social. De igual forma, agradecen a la Dirección de Investigación, Innovación y Proyección Social de la Universidad Piloto de Colombia por su permanente respaldo al desarrollo de la investigación y la generación de conocimiento con impacto académico y social. Finalmente, expresan su reconocimiento a Regenerative Futures Consulting Corp. por su apoyo en la consolidación de alianzas estratégicas, la promoción de proyectos colaborativos y el fortalecimiento de iniciativas de investigación e innovación orientadas a la sostenibilidad y la resiliencia de los territorios.

REFERENCIAS

[1] National Geographic Society, «Climate change,» [En línea]. Available: https://education.nationalgeographic.org/resource/resource-library-climate-change/.

[2] J. Romm, Climate Change : What Everyone Needs to Know, Second edition ed., New York, NY: United States of America: Oxford University Press, 2018.

[3] World Country Data, «Países por CO_2 per cápita 2026,» 2026. [En línea]. Available: https://www.worldcountrydata.com/en/rankings/co2-per-capita.

[4] G. Ceballos y P. R. Ehrlich, «Mutilation of the Tree of Life via Mass Extinction of Animal Genera,» *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,* vol. 120, nº 39, 2023.

[5] UNESCO, «Instituto Internacional para la Educación Superior en América Latina y el Caribe,» [En línea]. Available: https://www.iesalc.unesco.org/es.

[6] United Nations, «United Nations Climate Change,» [En línea]. Available: https://unfccc.int/es.

[7] United Nations, «The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC),» [En línea]. Available: https://www.ipcc.ch/.

[8] United Nations, «Sustainable Development Goals,» [En línea]. Available: https://www.un.org/sustainabledevelopment/gender-equality/.

[9] United Nations, «UN Women For All Women and Girls,» [En línea]. Available: https://www.unwomen.org/en/about-us/about-un-women.

[10] E. M. Núñez y P. Szczys, Higher Education's Leadership in Climate Action and Sustainability, Hershey, PA: IGI Global, 2025.

[11] C. Jochem, G. Doyle, K. Sørensen, I. Kickbusch, S. Rüegg y a. D. G. S. Maria, «A Call for a Shared Future Vision for Planetary and One Health Literacy,» *Health Promotion International,* vol. 40, nº 6, 2025.

[12] República de Colombia - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, «Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC 3.0) de Colombia - Transformaciones para la Vida.,» Bogotá, Colombia, 2025.

[13] L. Sund y J. Öhman, «Revisiting the political in environmental and sustainability education - a global justice - oriented approach,» *Environmental Education Research,* vol. 32, nº 4, pp. 947 - 963, 2026.

[14] J. Jayawickrama y A. Chakraborty, «Decolonizing Education: Learning from Ancient South Asian Pedagogies for Human and Planetary Health,» *Postcolonial Studies,* vol. 27, nº 4, pp. 421-436, 2024.

[15] L. Urberg, Á. Tryggvason y J. Öhman, «Teachers' didactic approaches to students' resistance in Environmental and Sustainability Education,» *Environmental Education Research,* pp. 1-20, 2026.

[16] J.-E. Dahlin, «Aligning engineering education for sustainable development with what industry needs to drive the transformation,» *European Journal of Engineering Education,* pp. 1-17, 2026.

[17] O. Denissova, E. Sánchez-García, J. Martínez-Falcó, Z. Konurbayeva y B. M.-L. &. S. Suieubayeva, «Reimagining engineering education through the lens of sustainable development goals,» *Circular Economy and Sustainability,* vol. 6, nº 185, pp. 1-24, 2026.

[18] A. Master, A. N. Meltzoff y S. Cheryan, «Gender stereotypes about interests start early and cause gender disparities in computer science and engineering,» *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,* vol. 118, nº 48, pp. 1-7, 2021.

[19] U. N. G. Assembly, «Improvement in the status of women in the United Nations system - Report of the Secretary-General,» Office of the Focal Point for Women in the UN System/Gender Parity (OFPW), 2025.

[20] D. R. E. Ewim y A. G. Dosunmu, «Bridging gaps: the intersection of women in engineering and gender studies—challenges, advances, and future directions,» *Discover Global Society,* vol. 3, nº 43, 2025.

[21] M. Nakad, H. Charif, L. Gardelle y R. J. Abboud, «Empowering sustainability: Can women engineers play a key role in achieving a sustainable future?,» *Sustainable Futures,* vol. 10, nº 100977, 2025.

[22] UNESCO, Education for Sustainable Development Goals: learning objectives, Paris, France: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2017, p. 62.

[23] H. Li, Z. Huang, T. Yang, W. Zhang, M. Chen, Z. Li y K. Ren, «Individual sustainability competence development in engineering education: Community interaction open-source learning,» *Plos One,* vol. 18, nº 11, 2023.

[24] T. Bolstad, L. Lundheim, M. Orlandic, A. Strømberg y P. H. Zimmermann, «Do Students Reflect on Sustainability? Student Development of Competencies for Sustainability in Project-Based Learning,» *Nordic Journal of STEM Education,* vol. 7, nº 1, pp. 72-83, 2023.

[25] J. Birdman, A. Wiek y D. J. Lang, «Developing key competencies in sustainability through project-based learning in graduate sustainability programs,» *International Journal of Sustainability in Higher Education,* vol. 23, nº 5, pp. 1139-1157, 2021.

[26] M. Zurba, M. A. Petriello, C. Madge, P. McCarney, B. Bishop, S. McBeth, M. Denniston, H. Bodwitch y M. Bailey, «Learning from knowledge co-production research and practice in the twenty-first century: global lessons and what they mean for collaborative research in Nunatsiavut,» *Sustainability Science,* vol. 17, pp. 449 - 467, 2022.

[27] N. J. C. Juárez, J. L. García-Alcaraz, J. L. Romero, Y. Aryanfar y A. Keçebas, «Modeling the knowledge-innovation-sustainability nexus: Human factors and nonlinear pathways to social sustainability,» *Journal of Cleaner Production,* vol. 572, nº 148892, 2026.

[28] E. Kim, «Sustainable New Product Development for Ten Thousand Villages, a Fair-Trade Social Enterprise: Empowering Women and Economic Development through Problem-Based Service Learning,» *Sustainability,* vol. 15, nº 8, p. 6452, 2023.

[29] S. McKenney y T. Reeves, Conducting Educational Design Research, 2nd Edition ed., London and New York: Routledge, 2019, p. 326.

[30] R. Y. Y.-C. S. W. Jennifer Hirsch, «Teaching students to collaborate with communities: expanding engineering education to create a sustainable future,» *Engineering Studies,* vol. 15, pp. 30-49, 2023.

[31] J. R.-C. Ana Cabarcas-Fuentes, «Making it crystal clear: Educating for water sustainability through service-learning,» *Education for Chemical Engineers,* vol. 54, nº 100499, 2026.

[32] C. N. K. J. L. W. E. B. E. E. A. R. d. F. B. G. C. I. G. M. C. I. T. S. D. G. W. Rebecca Witinok-Huber, «Does knowledge co-production influence adaptive capacity?: A framework for evaluation,» *Environmental Science & Policy,* vol. 164, nº 104008, 2025.

[33] A. Á. Silva-Hormazábal M, «Promoviendo el desarrollo profesional docente en STEAM: Diseño y validación de un programa de formación,» *Revista de Estudios y Experiencias en Educación,* vol. 22, nº 50, pp. 99-120, 2023.

[34] K. A. Á. G. S. J. l.-J. Mathilda Englund, «Four Methodological Guidelines to Evaluate the Research Impact of Co-produced Climate Services,» *Climate Services. Front. Clim.,* vol. 4, nº 909422, 2022.