

Recibido 02 Nov 2025

ReCIBE, Año 15 No. 1, mayo 2025

Aceptado 22 Abr 2026

**Modelo de sostenibilidad humana para productos de software con
infraestructura limitada: Caso Providencia – Colombia**

**Human Sustainability Model for Software Products with Limited
Infrastructure: The Providencia – Colombia Case Human Sustainability
Model for Software Products with Limited Infrastructure: The Providencia –
Colombia Case**

Paola Noreña¹
panorenaaac@eafit.edu.co
Elizabeth Suescún¹
esuescu1 @eafit.edu.co
Santiago Manco¹
smancom@eafit.edu.co
Santiago Idárraga¹
sidarragac@eafit.edu.co

¹ *Universidad EAFIT, Medellín, Colombia.*

Resumen

La sostenibilidad del software se basa en integrar prácticas sostenibles en su desarrollo. Una de sus dimensiones es la sostenibilidad humana, que considera el impacto en los equipos de desarrollo y usuarios. Cuando esta infraestructura es insuficiente o presenta restricciones, se denomina infraestructura tecnológica limitada, lo que dificulta el desarrollo de software sostenible y su impacto positivo en la sociedad. Los estudios en sostenibilidad del software priorizan la infraestructura de las aplicaciones, dejando de lado la sostenibilidad humana y su impacto en comunidades vulnerables con infraestructura limitada. Estas comunidades enfrentan desafíos de conectividad, acceso a recursos tecnológicos, falta de habilidades en tecnologías de la información (TI) y habilidades blandas para el trabajo, lo que limita sus oportunidades en su contexto. En este artículo se propone un modelo de sostenibilidad humana en productos de software con infraestructura limitada. Este modelo busca incorporar prácticas sostenibles en el ciclo de vida del desarrollo de software, priorizando el aspecto humano y el acceso equitativo. El modelo se aplicó en la isla de Providencia-Colombia, una comunidad con características vulnerables que enfrenta desafíos en su infraestructura como recursos energéticos limitados, conectividad a internet inestable, acceso restringido a equipos y plataformas tecnológicas y falta de habilidades en TI. Este modelo fomenta el desarrollo de software sostenible desde la ingeniería de software, promueve el acceso a plataformas digitales, la equidad social y laboral mediante la formación en habilidades digitales, y el uso responsable de productos de software sostenible, impulsando así el desarrollo económico en las comunidades impactadas.

Palabras Clave: Infraestructura tecnológica limitada, sostenibilidad humana, sostenibilidad del software.

Abstract

Software sustainability is based on integrating sustainable practices into its development. One of its dimensions is human sustainability, which considers the impact on development teams and users. When this infrastructure is insufficient or restricted, it is called limited technological infrastructure, which hinders the development of sustainable software and its positive impact on society. Studies in software sustainability prioritize application infrastructure, neglecting human sustainability and its impact on vulnerable communities with limited infrastructure. These communities face challenges related to connectivity, access to technological resources, a lack of information technology (IT) skills, and a lack of soft skills for work, which limit their opportunities in their context. This article proposes a human sustainability model for software products with limited infrastructure. This model seeks to incorporate sustainable practices into the software development lifecycle, prioritizing the human aspect and equitable access. The model was applied on the island of Providencia, Colombia, a vulnerable community facing infrastructure challenges, including limited energy resources, unstable internet connectivity, restricted access to equipment and technological platforms, and a lack of IT skills. This model fosters the development of sustainable software from software engineering, promotes access to digital platforms, social and labor equity through training in digital skills, and the responsible use of sustainable software products, thus boosting economic development in the impacted communities.

Keywords: Human sustainability, Limited technological infrastructure, Software sustainability

1. Introducción

La sostenibilidad y el enfoque humano son dos temas relevantes en la industria 5.0, la cual es una evolución de la industria 4.0, donde enfatiza la colaboración entre humanos y máquinas inteligentes, priorizando la sostenibilidad (Breque et al., 2021). El software juega un papel importante en la sostenibilidad para generar eficiencia energética, ya que su comportamiento tiene una influencia significativa en las características de ahorro de energía integradas a las plataformas y tecnologías. La sostenibilidad del software se basa en prácticas que permiten incorporar la sostenibilidad desde tres dimensiones (Calero et al., 2021): software sostenible (productos de software que involucran procesos sostenibles en el ciclo de vida del software o en software que apoya la sostenibilidad en otras áreas; Noreña et al., 2024a), sostenibilidad humana (aspectos sociológicos y psicológicos de la comunidad del software, es decir, usuarios, equipos y sociedad; Noreña et al., 2024b) y sostenibilidad económica (aspectos financieros del proyecto). La infraestructura tecnológica se refiere al acceso y uso de tecnologías de información, hardware, conectividad de internet y recursos digitales que son imprescindibles para el desarrollo de software. Esta infraestructura suele ser suficiente cuando tiene los recursos requeridos o limitada cuando tiene restricción a estos recursos (Torres et al., 2010). Según Calero et al. (2021), para las tres dimensiones de sostenibilidad del software, algunos de los trabajos desde la literatura han sido en software verde que estudia el uso y mantenimiento del software con el objetivo de reducir su impacto ambiental, especialmente en términos de consumo de energía y emisión de gases de efecto invernadero, entre otros aspectos.

Algunos autores trabajaron en sostenibilidad humana: Semerikov et al. (2020) y Heldal et al. (2024) presentaron competencias sostenibles para ingeniería de software. Grundy et al. (2020) desarrollaron un laboratorio ágil y de co-creación entre los ingenieros de software y usuarios con extracción de aspectos humanos desde los requisitos. Amrutha y Geetha (2020) y Ramautar et al. (2021) definieron desafíos en esta dimensión: (i) capacitación de habilidades de TI, especialmente en desarrollo ágil, (ii) comercio transfronterizo en temas de empleabilidad y comunicación y (iii) barreras culturales. Un caso de estudio aplicado a Kenya en competencias de desarrollo permitiendo activar su economía (Were, et al., 2020) y un diseño de una arquitectura para el ambiente laboral de equipos de desarrollo fue realizado por Alavi, et al. (2018). También otros autores han trabajado en los siguientes enfoques desde software verde: Restrepo (2021) propuso un mapeo sistemático de la literatura guiado por el ciclo de vida del desarrollo de software con enfoque en la sostenibilidad, Restrepo et al. (2023) propuso un *framework* para el diseño arquitectural de sistemas ciber-físicos que contempla de manera transversal la sostenibilidad para el agro. Restrepo (2025) presenta un diseño arquitectural para sistemas ciber-físicos sostenibles. Restrepo et al. (2024) propone una ontología en la sostenibilidad del software a partir de atributos de calidad. Calero et al. (2021) y otros autores del libro presentaron procesos de medida para el software verde, un *framework* para pruebas de eficiencia energética del software, impacto de la sostenibilidad del software en la organización, entre otros. Los siguientes son enfoques desde la sostenibilidad económica: Peláez y Corrales (2022) proponen un *framework* de prácticas para el desarrollo sostenible en la dimensión económica y Ojameruaye y Bahsoon (2021) presentaron un enfoque basado en esta dimensión para medir requisitos sostenibles. Si bien se han logrado avances en las tres dimensiones de la sostenibilidad, persiste la necesidad de enfoques que incorporen el componente humano en las prácticas sostenibles del desarrollo de software.

También, se encuentran diversos trabajos que se enfocan en mejorar la conectividad de diferentes comunidades: la transformación de la infraestructura digital en África abrió las oportunidades de acceso digital mediante conectividad con financiamiento de diferentes empresas

de TI como Meta, Google, Orange, entre otras (White & Case, 2022). Países latinoamericanos también vienen haciendo esfuerzos en adoptar TI para comunidades rurales donde no tienen acceso a internet, como el proyecto Internet Society-Capítulo Panamá, el cual fomenta el desarrollo de la infraestructura con acceso a internet trabajando en cerrar las brechas de conectividad y permitiendo el involucramiento de las comunidades mediante capacitaciones con expertos técnicos para planificar, construir y mantener la infraestructura de interconexión (Internet Society Capítulo Panamá, s.f.). Sin embargo, no atienden temas en desarrollo de software. Los siguientes proyectos se enfocan en trabajar por los jóvenes de comunidades vulnerables y sus habilidades para el trabajo: (i) proyecto parceros, con el propósito de dar oportunidades a jóvenes para que tengan proyectos de vida, educación, formación laboral, proyectos de emprendimiento. “Durante el acompañamiento se ofrece intervención psicosocial, formación del ser, orientación vocacional, bolsa de empleo, formación para el trabajo, materiales de apoyo, transporte y refrigerios” (EL TIEMPO, 2024) y (ii) la Escuela de Código comuna 13 en Medellín-Colombia donde diferentes empresas se unieron para capacitar a jóvenes de estratos bajos en el desarrollo de habilidades en desarrollo de código e inteligencia emocional, con el objetivo de disminuir las brechas de desigualdad social y combatir la pobreza (Colombia Crea, s.f.).

Aunque la mayoría de estos trabajos en sostenibilidad del software se centran en la infraestructura tecnológica de las aplicaciones, desde el ciclo de vida del desarrollo de software (sus herramientas, procesos, metodologías y roles) rara vez consideran la sostenibilidad y la eficiencia energética como un objetivo (Calero et al., 2021). Sumado a esto, faltan esfuerzos desde la sostenibilidad humana para impactar comunidades (equipos de desarrollo y usuarios) con infraestructura tecnológica limitada; algunos desafíos visibles son: (i) habilidades de TI, especialmente en desarrollo ágil, (ii) comercio transfronterizo (donde un desarrollador pueda ofrecer sus servicios desde cualquier lugar y comunicarse desde su zona horaria) y (iii) barreras culturales (Amrutha & Geetha, 2019; Ramautar et al., 2021). Desde la infraestructura tecnológica limitada son (iv) energía eléctrica débil, (v) acceso a internet y (vi) acceso a recursos tecnológicos (Ortiz et al., 2019).

En este artículo se propone un modelo de sostenibilidad humana en productos de software con infraestructura tecnológica limitada, que permita aplicar prácticas sostenibles en el ciclo de vida del desarrollo de software integrando el aspecto humano (equipos de desarrollo y usuarios). Se aplica un caso de estudio a la infraestructura tecnológica y a la comunidad de Providencia-Colombia, que presenta características vulnerables como vulnerabilidad económica, ambiental y de infraestructura. Las características mencionadas sirvieron para seleccionar la comunidad de Providencia como un espacio de validación del modelo propuesto que busca la inclusión de estas comunidades con nuevas formas de crear y compartir conocimiento, de forma co-activa, auto-empoderada y co-creativa. Adicional a eso, las personas de estas comunidades de bajos ingresos pueden tener habilidades para el empleo y/o comenzar a interesarse por la tecnología digital. Por lo que se espera que el modelo propuesto permita generar procesos de desarrollo de software sostenible, promueva el acceso a plataformas en su contexto, equidad social y laboral al incentivar habilidades de desarrollo de software y el uso responsable de productos de software sostenibles, impactando también la dimensión económica del software en Colombia.

La estructura de este artículo es la siguiente: similares; la segunda sección contiene el método de investigación que guía este trabajo; la tercera sección presenta el modelo propuesto; la cuarta sección aborda el caso de aplicación en la comunidad de Providencia-Colombia; en la quinta sección se generan los resultados. Finalmente, se incluye la discusión y las conclusiones.

2. Método

Para la investigación se utilizó el método de *Design science*, el cual estructura el proceso para solucionar un problema en un contexto social donde se generan artefactos que responden a las preguntas y a la solución de sistemas de información e ingeniería de software (Weiringa, 2014). Las fases de la metodología se presentan en la Tabla 1. Este método se trabajó con estrategias de investigación aplicada desde el Semillero de investigación en Ingeniería de Software de la Universidad EAFIT, combinando co-creación y planeación en un entorno colaborativo y un enfoque basado en proyectos, donde los participantes identifican problemáticas, plantean soluciones, desarrollan propuestas y validan resultados. El trabajo se complementa con charlas y salidas de campo.

A continuación, se presentan los instrumentos utilizados en el método de investigación:

User persona: Técnica de creación de personas o *user persona*, que se utiliza para comprender cuáles son sus motivaciones, necesidades, gustos, rutinas, situaciones socioeconómicas, conocimientos base en tech, ocupaciones, expectativas y su contexto familiar mediante una ficha, que se utiliza en el diseño de experiencia usuario para el desarrollo de software (Goodwin, 2011). En el presente proyecto una encuesta socioeconómica para conocer al grupo y diseñar el material no era posible dado que los usuarios eran menores de edad e imposibilitaba el tratamiento de los datos; el *User Persona* resultó útil porque permitió representar quiénes son nuestros usuarios y guiar las decisiones de diseño e implementación del modelo (Véase la Figura 1).

Fases	Actividades
Diseño	Diseñar un modelo de sostenibilidad humana en productos de software con infraestructura tecnológica limitada (participación de expertos, investigadores en formación y profesores)
Demostración y evaluación	Validar el modelo en un caso de estudio con la infraestructura tecnológica y la comunidad de Providencia donde se pueda capacitar en habilidades de desarrollo y aplicar el modelo propuesto.
Comunicación	Generar una estrategia de divulgación en la comunidad de Providencia (mediante medios de comunicación oficiales de la Universidad y de la Isla y mediante la interacción presencial).

Tabla 1. Fases del método

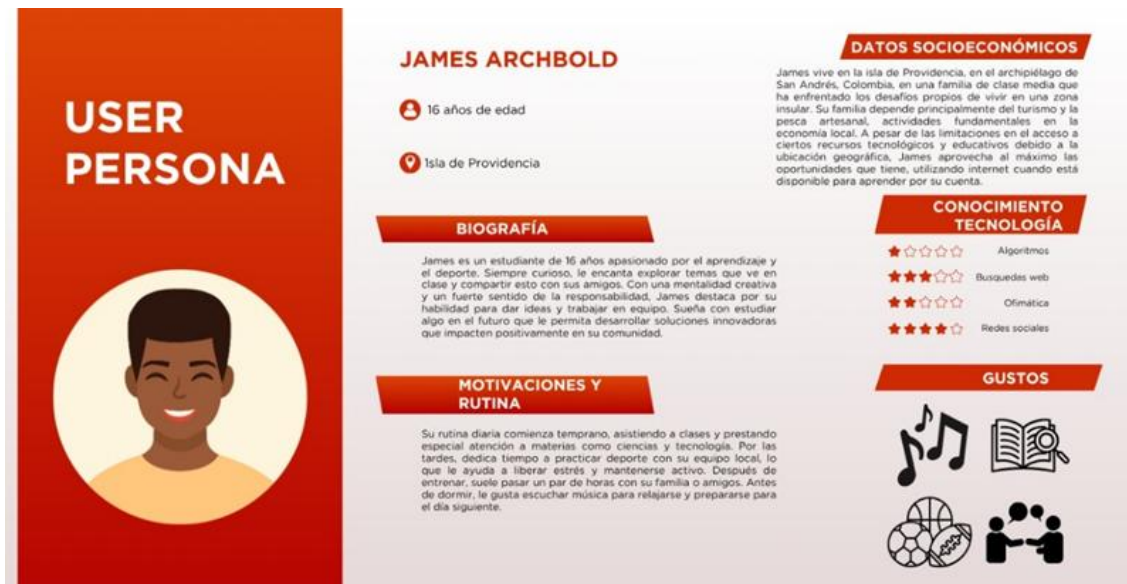


Figura 1. User persona de los jóvenes I.E. Junín

Diagnóstico de entrada: Instrumento estructurado para evaluar el nivel de conocimiento que tienen los participantes en relación con las tecnologías y sistemas. Se aplicó antes de la intervención para identificar brechas de aprendizaje y establecer una línea base que permitió diseñar estrategias didácticas adecuadas. En suma, las preguntas seleccionadas en el diagnóstico se relacionaron con los objetivos de la intervención, las competencias que se buscaban desarrollar y los conocimientos previos necesarios para el aprendizaje efectivo.

Diagnóstico de salida: Instrumento diseñado para evaluar el impacto de la intervención y recoger información sobre la percepción y el aprendizaje de los participantes. El diagnóstico de salida tuvo tres momentos: (i) un cuestionario teórico de conocimientos posteriores al taller, (ii) verificación de las actividades de desarrollo de software y habilidades blandas y (iii) una encuesta de satisfacción sobre la experiencia durante el taller. Este es un instrumento de valor ya que permite evaluar el aprendizaje alcanzado, valorar la efectividad del proceso de enseñanza y reflexionar sobre el desarrollo de competencias durante la intervención, permitiendo contrastar incluso con el diagnóstico de entrada.

3. Modelo de sostenibilidad humana para productos de software con infraestructura limitada con infraestructura tecnológica limitada

El modelo propuesto consta de cuatro fases que permiten introducir prácticas de sostenibilidad humana en productos de software con infraestructura tecnológica limitada, las cuales se representan en la Figura 2.

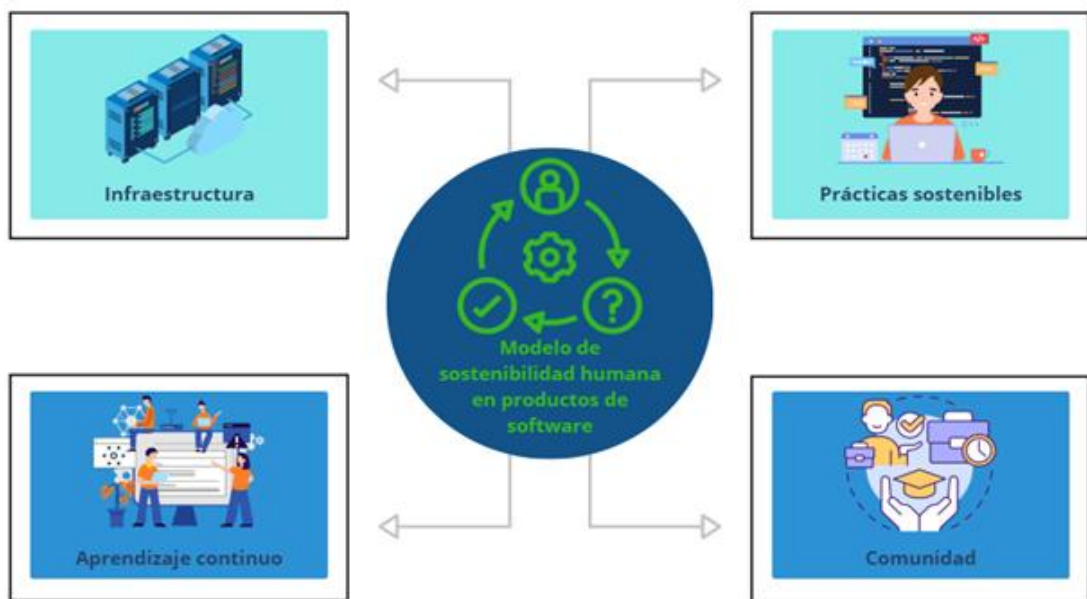


Figura 2. Fases del modelo propuesto

3.1 Infraestructura

La infraestructura tecnológica comprende el conjunto de recursos físicos, digitales y organizativos que permiten el acceso, uso y desarrollo de TI. En comunidades con infraestructura tecnológica limitada, estas condiciones se traducen en la falta de recursos en conectividad a internet, acceso a dispositivos tecnológicos, disponibilidad de software actualizado y capacidades técnicas para su mantenimiento y uso. Estas limitaciones pueden dificultar el desarrollo educativo, económico y social de las comunidades afectadas (Noreña et al., 2024c).

3.2 Prácticas sostenibles

Estrategias y acciones que buscan minimizar el impacto ambiental, económico y social en el uso de recursos. En el contexto tecnológico, las prácticas sostenibles promueven el reciclaje de dispositivos electrónicos, la reducción del consumo energético en infraestructuras digitales, la promoción de la economía circular en el desarrollo de hardware y software, y la adopción de tecnologías con menor huella ecológica, bienestar, equidad y equidad de las personas involucradas en el desarrollo de software. Para mayor detalle, se propusieron en un trabajo anterior las prácticas en sostenibilidad humana y sostenibilidad del software (Noreña et al., 2024c), las cuales se pueden observar en las Figuras 3 y 4.

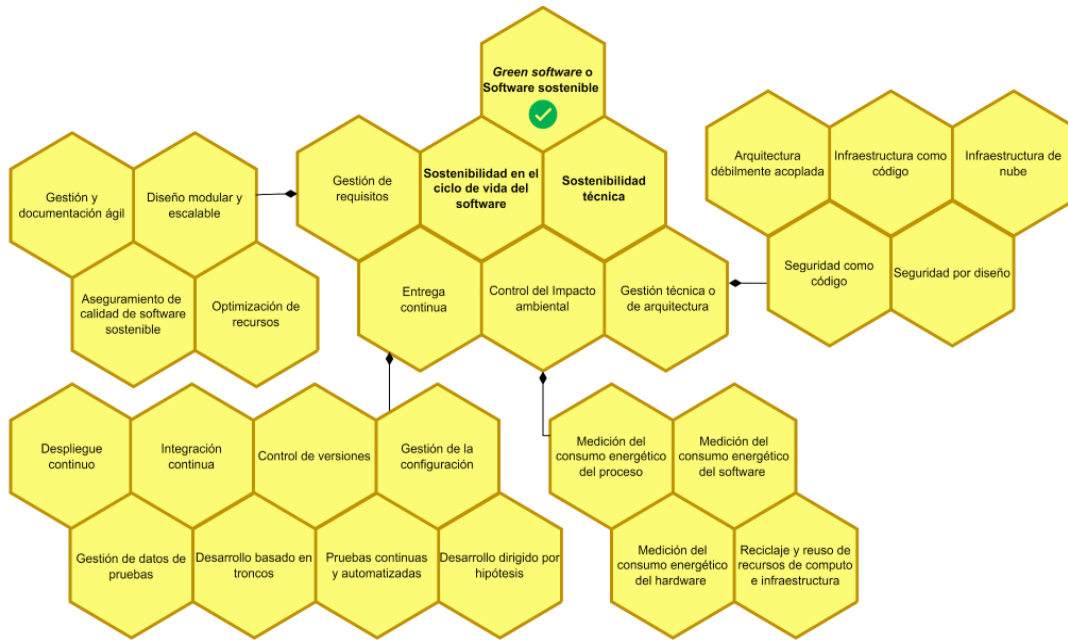


Figura 3. Prácticas de sostenibilidad humana en software (Noreña et al., 2024c)

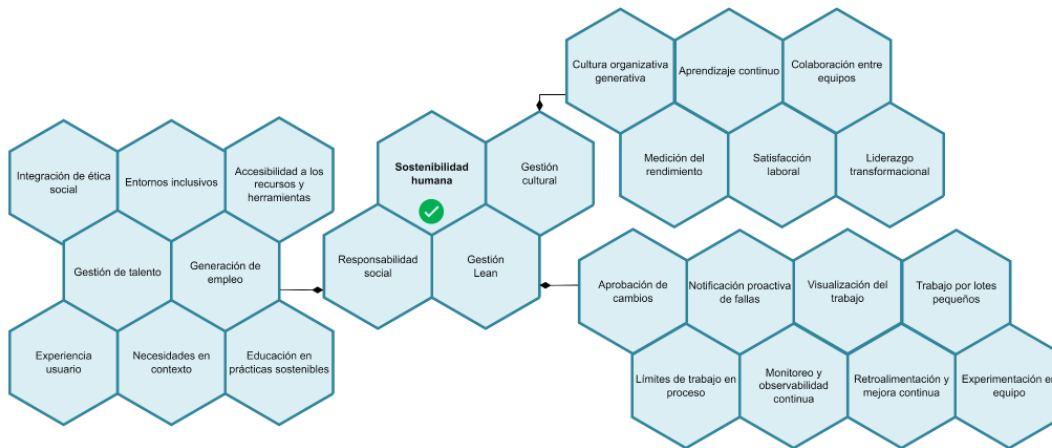


Figura 4. Prácticas de software sostenible (Noreña et al., 2024c)

3.3 Aprendizaje continuo

Actualización y adquisición de conocimientos sobre nuevas tecnologías y su relación con la sostenibilidad (Noreña et al., 2025a). En comunidades vulnerables, esto implica capacitaciones accesibles y permanentes que permitan el desarrollo de habilidades digitales, el aprovechamiento de herramientas tecnológicas y la implementación de soluciones innovadoras que promuevan la sostenibilidad del software y la sostenibilidad humana (Noreña et al., 2024d; Noreña et al., 2025b)

3.4 Comunidad

La integración de tecnologías y prácticas sostenibles en comunidades vulnerables tiene como objetivo mejorar su calidad de vida, promoviendo el acceso equitativo a los recursos tecnológicos, el acceso a internet, la educación, la salud, el empleo y otros servicios esenciales. Esto se logra mediante estrategias como la instalación de centros de conectividad comunitaria con energía renovable, el uso de tecnologías para facilitar el acceso a la educación en línea, el impulso de

emprendimientos digitales inclusivos, y la integración de tecnologías y prácticas sostenibles en comunidades vulnerables, constituye una estrategia clave para mejorar su calidad de vida y reducir las desigualdades sociales. Esta integración busca garantizar el acceso equitativo a recursos tecnológicos, servicios de conectividad, educación, salud, empleo y otros servicios esenciales. Entre las principales aplicaciones se destacan la instalación de centros comunitarios dotados de energía renovable, la implementación de plataformas digitales para educación a distancia, el fomento de emprendimientos digitales inclusivos y la promoción de programas de alfabetización digital con enfoque sostenible. Estas iniciativas no solo contribuyen a disminuir la brecha digital, sino que también favorecen el empoderamiento social y económico de las comunidades, fortaleciendo su resiliencia y capacidad de autogestión (UNESCO, 2023).

4. Caso de aplicación: Providencia – Colombia

4.1 Infraestructura

Los habitantes de la isla de Providencia reciben energía en sus hogares mediante tres posibles alternativas: servicio del sistema de energía, paneles solares y motores de combustión Diesel (Howard, 2024). La Isla cuenta con internet satelital, a pesar de que después del paso del huracán Iota en 2020 se mejoraron los servicios de infraestructura, no toda la Isla cuenta con acceso a internet y sólo se encuentran dos puntos gratuitos de conexión (UNGRD, 2020). En particular, la Institución Educativa (IE) Junín que presta los servicios educativos de enseñanza primaria y secundaria para aproximadamente 200 niños y jóvenes de la Isla, cuenta con algunos dispositivos electrónicos que conforman su infraestructura tecnológica, la cual se especifica en la Tabla 2.

Computadores (28)	
Disco duro	500Gb
Ram	4Gb
Procesador Intel celeron	1.80 Ghz
Sistema operativo	Windows 64-bits
Marca	Compumax
1 tablero interactivo (televisor)	65 pulgadas
Punto de acceso	Sin conexión a internet

Tabla 2. Especificación de tecnología institución

4.2 Prácticas sostenibles

Para una comunidad como la Isla de Providencia, se implementaron prácticas de sostenibilidad humana desde un enfoque de responsabilidad social y gestión en la sostenibilidad del software. Algunas de las prácticas aplicadas fueron (Noreña et al., 2024c):

- Entornos inclusivos: Se aseguraron condiciones que permitieran la participación de los jóvenes de la comunidad desde la IE Junín y miembros de la comunidad. Algunas de las actividades colaborativas buscaban transmitir saberes, tradiciones gastronómicas respetando su identidad cultural y promoviendo la equidad. Educación en prácticas sostenibles: Se impartieron conocimientos y herramientas sobre el uso eficiente de tecnologías de desarrollo de software en un modo desconectado, el aprovechamiento de sus recursos tecnológicos y fomentando una cultura de sostenibilidad dentro de la comunidad que permita aplicar y seguir enseñando estas prácticas. También, a través de los conceptos de software se enseñaron temáticas en contexto como fueron el ahorro y la gestión financiera personal y familiar.
- Accesibilidad a los recursos y herramientas: Se brindó acceso a tecnologías y metodologías clave para el desarrollo local. Un ejemplo fue la capacitación en herramientas de programación como Python, utilizando la *Suite Anaconda*, el cuaderno interactivo *Jupyter Notebook* y *Visual Studio Code*, lo que permitió a los participantes adquirir habilidades en desarrollo de software.
- Necesidades en contexto y generación de empleo: Se diseñaron estrategias alineadas con las condiciones específicas de la isla, promoviendo la adopción de tecnologías y conocimientos que permitieron nuevas habilidades para el trabajo, que incentivaron la autonomía económica de la comunidad.
- Colaboración entre equipos: Se fomenta el trabajo en equipo mediante el reto de desarrollar un módulo en la aplicación. Esta sinergia permite una mejor toma de decisiones y la implementación de soluciones adaptadas a la realidad local y a los participantes.

4.3 Aprendizaje continuo

El objetivo de aplicar el proyecto se centró en enseñar a los estudiantes diversos conceptos sobre los fundamentos de programación, los cuales son clave para el desarrollo de software. Posteriormente, con el fin de aplicar lo aprendido en el curso, se creó una plantilla base de una página web orientada al ahorro individual y familiar. Los estudiantes debían completar ciertas instrucciones en el código para que la plantilla fuera completamente funcional. Sin embargo, esta actividad, además de buscar consolidar conocimientos, esperaba despertar el interés por seguir aprendiendo. Por esta razón, los participantes del proyecto obtuvieron acceso a material adicional sobre emprendimiento, otras áreas de la programación, como ciencia y arquitectura de datos, y el desarrollo de habilidades blandas mediante talleres de escritura y preparación para el mundo laboral construido por diferentes áreas de la Universidad EAFIT: Escuela de Ciencias Aplicadas e Ingenierías, Escuela de Artes y Humanidades, On.going (Centro de emprendimiento) y Nodo EAFIT (Cursos virtuales) y las empresas Magneto Global y Smart Green IT.

Además, se designaron mentores en la isla con el propósito de dar continuidad al desafío de transmitir los conocimientos adquiridos durante el taller, inspirar a las próximas generaciones y asegurar que lo impartido genere un impacto a largo plazo. Por tanto, se espera que esta iniciativa

se comparta con la comunidad y sirva de motor para que más personas exploren el mundo de la tecnología y la utilicen como herramienta para construir sus proyectos de vida. Para explorar el contenido abordado en esta fase de aprendizaje continuo, puede ingresar al siguiente enlace: [Workshop](#)

4.4 Comunidad

La Isla de Providencia está ubicada en el mar Caribe, en el departamento colombiano del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina (véase la Figura 5). La isla cuenta con una población aproximada de 5000 habitantes en total (Asociación Colombiana de Ciudades Capitales, s.f.). Es una comunidad vulnerable que en su mayoría vive de actividades turísticas y pesca. La comunidad raizal (personas nativas de la Isla) cuenta con gran ventaja en temas de barreras culturales e idiomáticas, además de hablar su idioma creole, hablan español e inglés. En términos culturales, esta comunidad se caracteriza por sus costumbres y/o tradiciones que engloban su gastronomía isleña, su arquitectura raizal con la que se construyen los hogares, su música, entre otros.

A partir de la investigación y análisis de usuarios reales se muestra en la Figura 1 el instrumento *user* persona para caracterizar a los jóvenes impactados en el proyecto y su contexto.

Este enfoque permitió analizar sus necesidades, motivaciones y desafíos en el aprendizaje de programación, para diseñar estrategias con un aprendizaje cercano a la realidad de su comunidad. En total, participaron 17 estudiantes de undécimo grado de la IE Junín, ubicada en la Isla de Providencia-Colombia (este representa el último grado de la secundaria). Sus edades oscilaron entre 16 y 18 años, reflejando un grupo homogéneo en términos de nivel académico, pero diverso en intereses y habilidades previas en tecnología. Este instrumento también permitió identificar aspectos clave como el nivel de familiaridad de los estudiantes con herramientas digitales, su acceso a dispositivos y conectividad, así como sus expectativas sobre el aprendizaje de fundamentos de programación. Además, proporcionó información valiosa sobre sus motivaciones personales, aspiraciones profesionales y los desafíos que enfrentan en su contexto educativo y social.

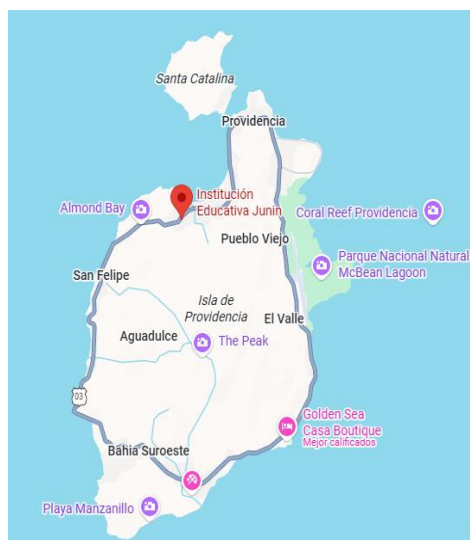


Figura 5. Isla de Providencia-Colombia (Google Maps)

5. Resultados

De manera previa se compartió material de estudio para familiarizar a los estudiantes con las temáticas objetivo, luego se realizó una salida de campo a Providencia-Colombia donde se llevó a cabo el primer Workshop de Desarrollo de software impartido por el Semillero de Ingeniería de software EAFIT, en temas de proyectos de software, prácticas sostenibles, producto mínimo viable, escritura, desarrollo de software en Python (Variables, operadores, condicionales, ciclos y listas) y habilidades blandas como trabajo en equipo, comunicación y liderazgo. Se delegan mentores con el objetivo de compartir con otros grupos y personas el conocimiento recibido.

Los Semilleras impartieron sus conocimientos durante cinco días a 17 estudiantes de undécimo grado de la Institución Educativa Junín, como se observa en la Figura 6.



Figura 6. Semilleras y estudiantes en el Workshop

5.1 Diagnóstico de entrada

El diagnóstico de entrada permitió establecer un punto de referencia sobre los conocimientos previos de los participantes en el ámbito tecnológico. Se aplicó una encuesta inicial para identificar su familiaridad con herramientas digitales, su nivel de experiencia en programación y sus necesidades específicas de aprendizaje. Los resultados mostraron que la mayoría de los participantes tenían conocimientos en herramientas ofimáticas, redes sociales e internet, lo que indica una familiaridad básica con el uso de tecnologías digitales. Sin embargo, se evidenció una ausencia significativa de experiencia en desarrollo de software. Para complementar este análisis, se empleó un instrumento del *user persona* (véase la Figura 1).

A partir de la información recopilada, se construyeron perfiles representativos de los participantes, permitiendo clasificar sus niveles de conocimiento y sus expectativas con el workshop. Esta estrategia ayudó a planificar y personalizar la fase de aprendizaje continuo, asegurando que el contenido y las tecnologías fueran accesibles y relevantes para su contexto con un acompañamiento didáctico y actividades prácticas que facilitarán la comprensión de conceptos clave.

5.2 Diagnóstico de salida

Con el fin de contrastar los resultados del workshop con el diagnóstico de entrada, se realizó un diagnóstico de salida basado en tres pilares:

- Cuestionario teórico: Como parte del proceso metodológico, se aplicó un cuestionario teórico para evaluar la adquisición de conocimientos fundamentales en programación y pensamiento computacional. Esta evaluación incluyó preguntas sobre conceptos clave, tales como: fundamentos de programación y su aplicación en el desarrollo de software, pilares del pensamiento computacional, incluyendo descomposición de problemas, reconocimiento de patrones, abstracción y diseño de algoritmos; conceptos básicos de programación, como el uso de variables y operadores lógicos y aritméticos y estructuras de control de flujo, abarcando ciclos (*for* y *while*) y condicionales (*if-else*). permitieran nuevas habilidades para el trabajo, que incentivaran la autonomía económica de la comunidad.

Los resultados obtenidos en esta evaluación reflejaron que, en el proceso de aprendizaje en el workshop, los participantes lograron responder adecuadamente las preguntas planteadas, evidenciando una apropiación efectiva del conocimiento. Este desempeño sugiere que los objetivos de enseñanza se cumplieron satisfactoriamente, permitiendo a los asistentes comprender los principios fundamentales de la programación y aplicarlos en la resolución de problemas computacionales.

- Verificación de actividades en el desarrollo de software y actividades de habilidades blandas: A lo largo del taller, se realizó un seguimiento constante del progreso de los participantes tanto en el desarrollo de software como en el fortalecimiento de sus habilidades blandas. Cada día, lograron superar los retos planteados y avanzar en la creación de la aplicación propuesta, lo que les permitió culminar exitosamente el taller. Como parte de la metodología, se incluyó una actividad de co-creación y colaboración en la que los participantes trabajaron en equipo para diseñar soluciones alineadas con las necesidades del contexto. Esta dinámica fue guiada desde el curso de escritura impartido por profesores de la Escuela de Artes y Humanidades de la Universidad EAFIT, promoviendo no solo el pensamiento crítico y la creatividad, sino también la integración de la tecnología con la narrativa y la identidad cultural de la comunidad. Uno de los productos resultantes de esta actividad fue un texto elaborado colectivamente por los equipos, en el que expresaron su visión sobre Providencia y su proceso de resiliencia tras el paso del huracán Iota: “*Bienvenidos a Providencia, una isla pequeña con mucha vegetación y naturaleza hermosa, cultura y tradiciones que tiene un tesoro: el mar de siete colores. La comunidad es muy unida, eso se pudo evidenciar cuando llegó el huracán Iota. La hermosa isla no se veía igual, pero algunos meses después, los isleños unieron esfuerzos para plantar vegetación y manglares, y en algunos años, la isla volvió a resplandecer.*”

Este ejercicio no sólo permitió integrar el aprendizaje técnico con la reflexión sobre el entorno y la identidad de la comunidad, sino que también fortaleció la capacidad de los participantes para trabajar en equipo, comunicar ideas y desarrollar soluciones de manera colaborativa.

- Cuestionario de satisfacción: Con el fin de evaluar el workshop desde la perspectiva de los estudiantes, se realizó un cuestionario que consta de cinco preguntas: en la primera pregunta, los participantes calificaron la experiencia de aprendizaje en una escala del 1 al 5, donde 1 representa la menor satisfacción y 5 la mayor. De los 17 encuestados, la

mayoría (9 personas, 52.9%) otorgó la calificación más alta (5), mientras que 6 personas (35.3%) calificaron con un 4 como se observa en la Figura 7. Estos resultados reflejan una percepción mayoritariamente positiva del workshop, con un 88.2% de las respuestas ubicándose en los niveles más altos de satisfacción (4 y 5). La ausencia de calificaciones en el nivel más bajo (1) sugiere que ningún participante percibió la experiencia como totalmente insatisfactoria. Importante resaltar que, aunque el cuestionario fue breve, su diseño se centró en captar los aspectos esenciales del objetivo planteado: conocer el grado de satisfacción de los participantes respecto a la metodología, los contenidos y la experiencia global de la intervención. Además, la simplicidad del formato favoreció respuestas honestas y rápidas, reduciendo la fatiga del encuestado y aumentando la confiabilidad de los datos obtenidos.

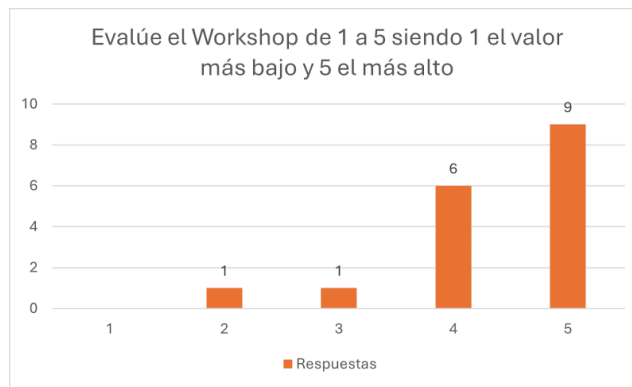


Figura 7. Resultados de la pregunta 1

En la segunda pregunta, se indaga a los participantes si consideran haber adquirido más conocimientos tras la actividad. Los resultados de la Figura 8 reflejan una percepción mayoritariamente positiva: 9 personas (52.9%) manifestaron estar muy de acuerdo, 6 personas (35.3%) estuvieron de acuerdo y 1 persona (5.9%) se mantuvo neutral. En total, el 88.2% reconoció haber mejorado sus habilidades en programación tras el workshop, lo que sugiere que las metodologías y herramientas empleadas fueron efectivas para el aprendizaje.

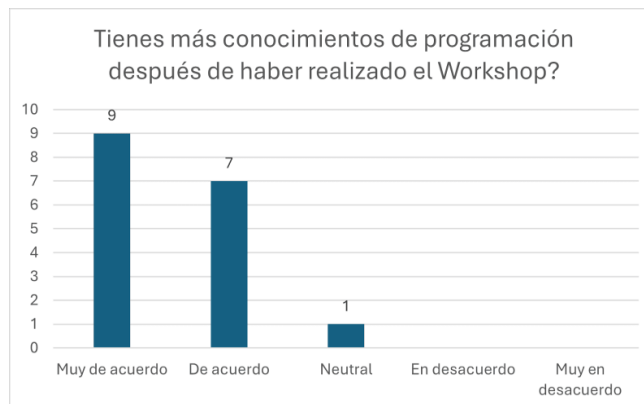


Figura 8. Resultados de la pregunta 2

En la pregunta tres, se consultó a los participantes si consideraban haber adquirido conocimientos en el lenguaje de programación Python tras el workshop. Los resultados fueron los siguientes de acuerdo con la Figura 9: 5 personas (29.4%) indicaron estar muy de acuerdo en haber aprendido sobre Python, 9 personas (52.9%) expresaron estar de acuerdo con esta afirmación y 3 personas (17.6%) se posicionaron de manera neutral. En total, el 82.3% de los encuestados reconoció haber adquirido conocimientos en Python, evidenciando un impacto positivo del workshop en la formación de los participantes. La presencia de respuestas neutrales sugiere la posibilidad de distintos niveles de familiarización previa con el lenguaje o diferencias en la apropiación de los contenidos abordados.

En la pregunta cuatro, se consultó si los participantes consideraban haber desarrollado habilidades blandas como trabajo en equipo, comunicación y liderazgo durante el workshop. Los resultados mostraron una percepción positiva basada en la Figura 10: 6 personas (35.3%) indicaron estar muy de acuerdo en haber fortalecido estas habilidades, 7 personas (41.2%) señalaron estar de acuerdo y 4 personas (23.5%) se posicionaron de manera neutral. En total, el 76.5% de los participantes reconoció haber mejorado en estas habilidades, lo que indica que la dinámica del workshop fomentó la interacción, la colaboración y la toma de decisiones en equipo. La presencia de respuestas neutrales puede indicar que algunos participantes percibieron un impacto menor en su desarrollo.

En la última pregunta cualitativa de observaciones se obtuvieron comentarios positivos como: el workshop es recomendado porque aprendes a crear un MVP (producto mínimo viable) o versión más simple que permite validar una idea, programación, Python y habilidades blandas y algunos indicaron que les gustaron las clases y la experiencia de aprendizaje en el taller. Los documentos de la salida de campo, instrumentos y plantillas usadas se pueden encontrar en el siguiente enlace: [Salida de campo](#)

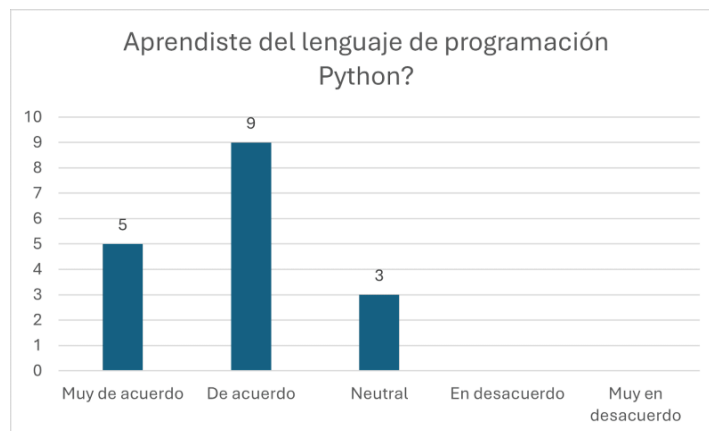


Figura 9. Resultados de la pregunta 3

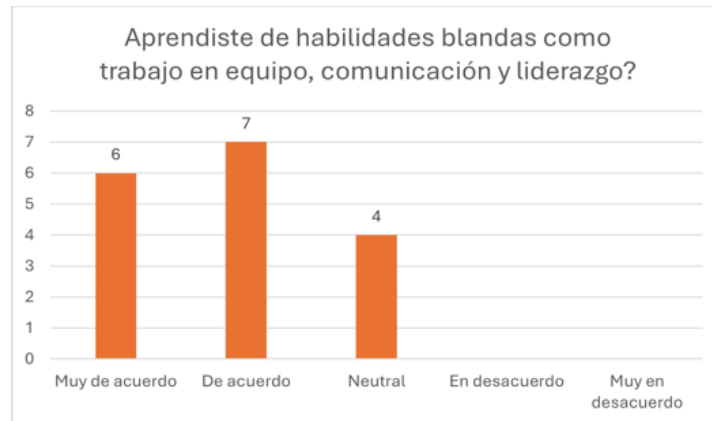


Figura 10. Resultados de la pregunta 4

5.3 Sesgos y limitaciones de la investigación

La encuesta fue aplicada a 17 participantes, lo que representa un grupo reducido. Si bien los resultados reflejan una tendencia positiva, una muestra más amplia permitiría obtener conclusiones más generalizables. También, aunque la primera parte se inició tiempo antes de forma virtual, la duración del workshop pudo haber limitado la profundidad con la que se abordan ciertos temas, especialmente aquellos relacionados con estructuras más avanzadas de programación. Un periodo de formación más extenso podría haber permitido un aprendizaje más consolidado. Por otro lado, algunos resultados, como los obtenidos en las encuestas de satisfacción, dependen de la percepción subjetiva de los participantes y no necesariamente reflejan una medición objetiva del aprendizaje. También, aunque se proporcionaron herramientas digitales para desarrollar software, no todos los participantes contaban con acceso continuo a dispositivos adecuados o conexión estable a internet fuera del workshop, lo que podría afectar la continuidad del aprendizaje después de la actividad. Estas limitaciones ayudan a contextualizar los resultados y pueden servir como base para mejorar futuras implementaciones del modelo propuesto.

De manera general, al aplicar la metodología *Design science*, es fundamental reconocer y declarar posibles sesgos que puedan afectar la validez del estudio. Entre los más relevantes identificados por los participantes son: (i) el sesgo de confirmación, al tener trabajos que respalden el presente trabajo y al posiblemente haber obviado trabajos que pudieron haber aportado al presente estudio, el cual fue mitigado socializando el modelo con actores externos para recibir retroalimentación; (ii) el sesgo en el diseño el cual puede presentar preferencias personales, este fue mitigado al evaluar distintas alternativas antes de decidir la definición y aplicación del modelo; (iii) el sesgo de usuario representativo, para ello se garantiza una muestra diversa en la evaluación, y (iv) el sesgo de generalización, para ello se hizo necesario documentar el proceso evidenciando su replicabilidad y su relevancia en el contexto real.

6. Discusión y conclusiones

En conclusión, al abordar la sostenibilidad del software parece obligatoria la perspectiva técnica y que esta sea el punto de partida, sin embargo, se hace necesario evidenciar la integración de la dimensión humana, especialmente en contextos con infraestructura tecnológica limitada, este concepto puede referirse a las limitaciones de una plataforma o a las condiciones de infraestructura

tecnológica que tiene una comunidad. El modelo propuesto demuestra que es posible desarrollar productos de software sostenibles que no solo minimicen el impacto ambiental, sino que también promuevan la equidad digital y la inclusión social.

En este contexto, la aplicación del modelo propuesto en la isla de Providencia-Colombia resaltó la importancia de identificar las necesidades específicas de comunidades vulnerables, mostró que diseñar en contexto y garantizar el acceso a la tecnología puede hacer de nuestra sociedad más inclusiva, también evidenció que la formación en habilidades digitales permite democratizar las tecnologías y ofrecer caminos hacia otras oportunidades laborales para este tipo de población. Así, este tipo de enfoque contribuye al tejido social, al desarrollo sostenible, impulsando el crecimiento económico y social a través de la tecnología.

El presente trabajo representa una oportunidad y un punto de partida para que sea implementado en otros contextos, otras comunidades con características socioeconómicas y tecnológicas diversas para evaluar su adaptabilidad y efectividad. Se evidenció que una de las principales barreras para la digitalización en muchas comunidades es la infraestructura con la que cuentan. Ya que muchas de estas comunidades suelen estar situadas en zonas alejadas de las principales ciudades, donde sí se cuenta con acceso, uso de hardware, conectividad a internet y recursos digitales de manera adecuada. Es por esto que la experiencia aquí presentada abre la posibilidad de mejorar el modelo para promover la inclusión digital en otros ámbitos, por ejemplo, tenemos planes de usar el modelo en contextos de economía plateada, dado que la autonomía y la participación significativa de las personas mayores en entornos donde la tecnología cumple un papel cada vez más central. La experiencia previa en contextos educativos con infraestructura limitada demuestra que el modelo puede implementarse con éxito en escenarios de diversa complejidad tecnológica, lo que también favorece su aplicación en comunidades con distintos niveles de alfabetización digital.

Finalmente, las características de la infraestructura en ciertas comunidades como la presentada en este artículo tienen limitaciones y restricciones para el crecimiento social y económico. Superar ese desafío es posible conociendo y entendiendo cómo es su infraestructura e identificando mecanismos para optimizar dicho recurso en función de un mejor aprovechamiento, el impacto positivo y la generación de valor, en pocas palabras, aplicando un modelo que contemple prácticas sostenibles en el ciclo de vida del desarrollo de software y que integre el aspecto humano. Es así como esta propuesta tiene el potencial de mejorar significativamente la calidad de vida y resulta fundamental para reducir la brecha digital.

Agradecimientos

Este artículo surge como resultado del proyecto “Modelo de sostenibilidad humana en productos de desarrollo de software con infraestructura tecnológica limitada” en el programa de Mujeres en la ciencia 2023 patrocinado por Minciencias, Icetex y L’oreal-Unesco y ejecución en Universidad EAFIT. Agradecimientos especiales a los estudiantes del Semillero de Ingeniería de software de la Universidad EAFIT: Isis Amaya, Diego Galvis, Jonathan Betancur, Alejandro Restrepo, Laura Restrepo, Miguel Sosa, Laura Castrillón, Miguel Mercado, Sofía Flores y Paula Llanos. También sinceros agradecimientos a Nodo y On.going EAFIT, a los profesores Liliana González, Carlos Álvarez, Carolina Ospina, Paula Colorado y Giovanni Gómez; a Felipe Soto (independiente), a Gerardo Archbold y Julieta Hooker (IE Junín), a los estudiantes del grado 11 en el año 2024 (IE Junín), a la comunidad de Providencia, Canal TeleIslas y a las empresas Source Meridian, Smart Green IT y Magneto por sus contribuciones al proyecto.

Referencias

- [1] Alavi, H. S., Verma, H., Mlynar, J., & Lalanne, D. (2018, April). The hide and seek of workspace: Towards human-centric sustainable architecture. In *Proceedings of the 2018 CHI conference on human factors in computing systems* (pp. 1-12).
- [2] Amrutha, V. N., & Geetha, S. N. (2020). A systematic review on green human resource management: Implications for social sustainability. *Journal of Cleaner production*, 247, 119131.
- [3] Asociación Colombiana de Ciudades Capitales. (s.f.). "Providencia y Santa Catalina," Available: <https://www.asocapitales.co/providencia-y-santa-catalina/>
- [4] Breque, M., De Nul, L., & Petridis, A. (2021). *Industry 5.0: towards a sustainable, human-centric and resilient European industry* (No. KI-BD-20-021-EN-N). Directorate General for Research and Innovation (DG RTD) of the European Commission.
- [5] Calero, C., Moraga, M. Á., & Piattini, M. (2021). Introduction to software sustainability. In *Software Sustainability* (pp. 1-15). Cham: Springer International Publishing.
- [6] Colombia Crea (s.f.). "Código comuna 13" Available: <https://colombiacrea.org/proyecto/codigo-comuna-13-escuela-de-formacion-de-programacion-de-software/>
- [7] EL TIEMPO (2024). "Alcaldía de Medellín lanzó 'Parceros', el programa con el que busca evitar el reclutamiento y la explotación sexual," Available: <https://www.eltiempo.com/colombia/medellin/alcaldia-de-medellin-lanzo-parceros-el-programa-con-el-que-busca-evitar-el-reclutamiento-y-la-explotacion-sexual-3345463>
- [8] Goodwin, K. (2011). *Designing for the digital age: How to create human-centered products and services*. John Wiley & Sons.
- [9] Grundy, J., Khalajzadeh, H., McIntosh, J., Kanij, T., & Mueller, I. (2020). Humanise: Approaches to achieve more human-centric software engineering. In *International Conference on Evaluation of Novel Approaches to Software Engineering* (pp. 444-468). Cham: Springer International Publishing.
- [10] Heldal, R., Nguyen, N. T., Moreira, A., Lago, P., Duboc, L., Betz, S., ... & Venters, C. C. (2024). Sustainability competencies and skills in software engineering: An industry perspective. *Journal of Systems and Software*, 211, 111978.
- [11] Howard, E. (2024). "Santa Catalina Verde tendrá el 100% de energía renovable," El Isleño, 29-feb-2024. Available: https://www.elisleño.com/index.php?option=com_content&view=article&id=28737%3A2024-02-29-08-58-35&catid=41%3AAmbiental&Itemid=83
- [12] Internet Society Capítulo Panamá (s.f.). Available: <https://www.isoc.org.pa/>
- [13] Noreña, P. A., Suescún, E., & Mejía, J. (2024a). Desarrollo dirigido por hipótesis en productos de software sostenible: Un mapeo sistemático. JAIIO, Jornadas Argentinas de Informática, 10(2), 46-59.
- [14] Noreña, P., Suescún, E., Caro, M., Toro, M., & Fernández, P. (2024b). Integration of human sustainability practices to a LMS using cognitive functions for early dropout risk alerts at Universidad EAFIT: a representation in PCS. In *International Conference in Information Technology and Education* (pp. 248-257). Cham: Springer Nature Switzerland.
- [15] Noreña, P. A., Suescún, E., & González, L. (2024c). Caracterización de prácticas sostenibles en el desarrollo de software y la sostenibilidad humana usando Essence. *CISTI*, 1-6.
- [16] Noreña, P., Suescún, E., Calle, J., Orozco, C., Álvarez, C. (2024d). "Representación de dominios de software científico: un aprendizaje continuo a partir de estructuras matemáticas de los esquemas preconceptuales," Congr. Col. Computación.
- [17] Noreña, P., Durango, C., Suescún, E., & Pardo, C. (2025a). Improving understanding of the DevOps framework using Essence a visual representation. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 13(2), 305-326.
- [18] Noreña, P., Suescún, E., Zapata, C. M., Scaunasu, B., Elliot, G., Jacobsen, H. A., & Mosquera, D. (2025b). Continuous learning of event-based systems by using pre-conceptual schemas. *Journal of Systems and Software*, 230, 112529.
- [19] Ojameruaye B. y Bahsoon R. (2021). Sustainability ArchDebts: AnEconomics-Driven Approach for Evaluating Sustainable Requirements", 369-398. *Software Sustainability*. Springer.
- [20] Ortiz, M. L., Ortega, I. D. M., Martinell, A. R., & Alvarado, M. A. C. (2019). La integración de Colombia a la sociedad de la información. *RevIISE-Revista de Ciencias Sociales y Humanas*, 14(14), 73-86.
- [21] Peláez, D. A., y Corrales, C. A. (2018). Identificación y caracterización de buenas prácticas orientadas al desarrollo de software sostenible desde el punto de vista económico, Trabajo de grado, Tecnológico de Antioquia.

- [22] Ramautar, V., Overbeek, S., & España, S. (2021). Human sustainability in software development. In *Software sustainability* (pp. 329-348). Cham: Springer International Publishing.
- [23] Restrepo, L. (2025). *A conceptual framework for the architectural design of sustainable cyber-physical systems (CPS)*. PhD Thesis. Universidad EAFIT.
- [24] Restrepo, L., Aguilar, J., Toro, M., & Suescun, E. (2021). A sustainable-development approach for self-adaptive cyber-physical system's life cycle: A systematic mapping study. *Journal of Systems and Software, 180*, 111010.
- [25] Restrepo, L., Bernal, P., Suescun, E., Toro, M., Aguilar, J. & Pardo, C. (2023). Toward a conceptual framework for designing sustainable cyber-physical system architectures: A systematic mapping study. *Heritage and Sustainable Development, 5*(2), 253.
- [26] Restrepo, L., Pardo, C., Aguilar, J., Toro, M., & Suescún, E. (2024). SinSO: An ontology of sustainability in software. *Applied Ontology, 19*(3), 231-263.
- [27] Semerikov, S., Striuk, A., Striuk, L., Striuk, M., & Shalatska, H. (2020). Sustainability in Software Engineering Education: a case of general professional competencies. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 166, p. 10036). EDP Sciences.
- [28] Torres, S. Á., Barona, C., & García, O. (2010). Infraestructura tecnológica y apropiación de las TIC en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos: Estudio de caso. *Perfiles educativos, 32*(127), 105-127.
- [29] UNESCO. (2023). "Technology and sustainable development: Bridging digital divides in vulnerable communities. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization".
- [30] UNGRD. (2020). "Avanzan las acciones en materia de telecomunicaciones y conectividad en San Andrés, Providencia y Santa Catalina," 2020. Available: <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Noticias/2020/Avanzan-las-acciones-en-materia-de-telecomunicaciones-y-conectividad-en-San-Andres-Providencia-y-Santa-Catalina.aspx>
- [31] Were, P., Madeley, J., & Munsell, M. (2020). Fair Trade Software: empowering people, enabling economies. *Journal of Fair Trade, 2*(1), 4-12.
- [32] White & Case (2022). "Africa's digital infrastructure transformation," Available: <https://www.whitecase.com/insight-our-thinking/africas-digital-infrastructure-transformation>
- [33] Wieringa, R. (2014). *Design science methodology for information systems and software engineering*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

NOTAS BIOGRÁFICAS



Paola Andrea Noreña Cardona es profesional, M.Sc. y Ph.D. en Ingeniería de Sistemas de la Universidad Nacional de Colombia. Actualmente es profesora e investigadora de la Universidad EAFIT. Sus áreas de interés son Ingeniería de Software, Diseño y Sostenibilidad.



Elizabeth Suescún Monsalve es Ingeniera Informática por el Politécnico Colombiano JIC, Magíster en Ciencias de la Computación y Doctor en Ciencias de la Computación por la Universidade Católica do Rio de Janeiro Brasil. Sus áreas de interés son la Ingeniería de Software, IHC, UX-UI, Transparencia de Software.



Santiago Manco Maya es estudiante del Pregrado en Ingeniería de Sistemas de la Universidad EAFIT. Actualmente hace parte del Semillero de Ingeniería de Software y es el Presidente del Capítulo SPIE de la Universidad EAFIT. Sus áreas de interés son la Ingeniería de Software, la Inteligencia Artificial y la Arquitectura de Software.



Santiago Idárraga Ceballos es estudiante del pregrado en Ingeniería de Sistemas de la Universidad EAFIT. Actualmente es miembro activo del Semillero de Ingeniería de Software, Representante Estudiantil ante el comité de pregrado en Ingeniería de Sistemas y es el Director Logístico del comité de Innovación y Emprendimiento de la Organización Estudiantil (VISIÓN OE). Sus áreas de interés son la Ingeniería de Software y los Sistemas de Gestión de Datos.