



PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍA PIEZOELÉCTRICA PARA LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA
EN INSTITUCIONES DE EDUCACIÓN SUPERIOR

Katherin Victoria Sinuco Castro, Sebastian Bulla Matallana

Universidad Ean

Ingeniería

Ingeniería de sistemas

Bogotá, Colombia

08/03/2026

**PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍA PIEZOELÉCTRICA PARA LA
TRANSICIÓN ENERGÉTICA EN INSTITUCIONES DE EDUCACIÓN SUPERIOR**

Katherin Victoria Sinuco Castro, Sebastian Bulla Matallana

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Profesional en Ingeniería de sistemas

Director (a):

Diana Paola Figueroa Hernandez

Universidad Ean

Ingeniería

Ingeniería de sistemas

Bogotá, Colombia

08/03/2026

Nota de aceptación:

Firma del jurado

Firma del jurado

Firma del director del trabajo de grado

Ciudad, día/mes/año

Resumen

La creciente demanda de energía a nivel mundial y los acuerdos internacionales de sostenibilidad, en especial los Objetivos de Desarrollo Sostenible 7 y 12 de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas, fomentan la búsqueda de alternativas para la generación eléctrica a pequeña escala. Dentro de este marco de análisis, la tecnología piezoeléctrica, que convierte la energía mecánica generada por pasos humanos en electricidad útil, se presenta como una opción factible de micro generación en lugares institucionales con alto flujo de personas. Sin embargo, su aplicación en universidades de América Latina ha sido poco documentada, lo que representa la carencia que este proyecto pretende abordar.

Este estudio tiene como finalidad analizar la viabilidad técnica para implementar losas piezoeléctricas hechas de caucho reciclado proveniente de neumáticos, en la Universidad EAN, ubicada en el edificio Legacy en Bogotá, Colombia, como parte de una estrategia para la transición energética de la institución, el objetivo de la investigación que guía el análisis es: ¿Puede considerarse viable la instalación de losas piezoeléctricas en áreas de alta influencia de la Universidad EAN en términos técnicos como una fuente adicional de generación de electricidad?

La investigación utiliza un enfoque cuantitativo no experimental y con un alcance descriptivo y correlacional, la metodología se compone de: (1) revisión sistemática de literatura siguiendo el protocolo PRISMA; (2) Recopilación cuantitativa correspondientes al número de personas que ingresan a la universidad por la entrada principal durante un periodo de tiempo determinado; (3) modelado energético a través de la fórmula $E = N \times E_p$ donde N se refiere al número total de pasos contabilizados y E_p corresponde a la energía promedio por paso (entre 2 y 5 J, según estudios especializados); y (4) prototipado de una baldosa con todos los componentes piezoeléctricos y circuitos necesarios para la generación de electricidad. (5) Creación de un aplicativo web en el cual

se visualice y analice los datos obtenidos por medio de las baldosas para llamar la atención de la comunidad educativa de la institución y de esta manera generar interés por este proyecto.

Palabras clave: energía piezoeléctrica, transición energética, energy harvesting, sostenibilidad institucional.

Abstract

The growing global demand for energy and international sustainability agreements, especially the United Nations 2030 Agenda Sustainable Development Goals 7 and 12, encourage the search for alternatives for small-scale electricity generation. Within this analytical framework, piezoelectric technology, which converts the mechanical energy generated by human footsteps into usable electricity, emerges as a feasible option for microgeneration in institutional spaces with high pedestrian traffic. However, its application in universities across Latin America has been scarcely documented, representing the gap that this project seeks to address.

This study aims to analyze the technical feasibility of implementing piezoelectric paving tiles made from recycled tire rubber at EAN University, specifically in the Legacy building located in Bogotá, Colombia, as part of the institution's energy transition strategy. The research question guiding this analysis is: Can the installation of piezoelectric tiles in high-traffic areas of EAN University be considered technically viable as an additional source of electricity generation?

The research follows a quantitative, non-experimental approach with a descriptive and correlational scope. The methodology consists of: (1) a systematic literature review following the PRISMA protocol; (2) systematic pedestrian flow counting over five working days across three different time intervals; (3) energy modeling using the formula $E = N \times E_p$, where N refers to the total number of recorded footsteps and E_p corresponds to the average energy generated per step (between 2 and 5 Joules, according to specialized studies); (4) the prototyping of a tile including all piezoelectric components and electrical circuits and analyze the data collected through the tiles in order to attract the attention of the university community and encourage interest in the project; (5) Development of a web application to visualize and analyze the data collected through the tiles, in order to attract the attention of the university community and generate interest in the project.

Keywords: piezoelectric energy, energy transition, energy harvesting, institutional sustainability.

Introducción

Desde hace poco menos de una década, en septiembre de 2015, la Asamblea General de las Naciones Unidas aprobó la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, en donde se establecieron 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) para afrontar los desafíos más urgentes a los que nos enfrentamos cada día como humanidad. En estos objetivos se busca erradicar la pobreza extrema, frenar el cambio climático y la degradación ambiental, y promover sociedades justas, pacíficas e inclusivas, donde todas las personas gocen de dignidad, equidad y prosperidad para el año 2030. Objetivos y Metas de Desarrollo Sostenible - Desarrollo Sostenible (n.d.). En un mundo cada vez más interconectado y presionado por el crecimiento poblacional, la escasez de recursos y las emisiones de carbono, esta agenda representa un llamado colectivo a la concientización y a la acción innovadora responsable.

Desde este proyecto de grado, se propone un plan para contribuir de manera concreta al cumplimiento de dos ODS clave: el ODS7, que promueve la energía limpia y asequible (*Energía - Desarrollo Sostenible*, n.d.), y el ODS 12, enfocado en la producción y el consumo responsables (*Consumo y Producción Sostenibles - Desarrollo Sostenible*, n.d.). La iniciativa consiste en el planteamiento de implementación de baldosas piezoeléctricas fabricadas a partir de caucho reciclado de llantas desechadas, destinadas a su implementación en instituciones de educación superior en la ciudad de Bogotá. Como caso de estudio principal, se selecciona la Universidad EAN, un entorno dinámico con alto flujo peatonal diario de estudiantes, docentes, personal administrativo y visitantes, lo que lo convierte en un escenario ideal para generar energía renovable a partir del movimiento humano.

El propósito central de este plan de implementación no radica en sustituir por completo las fuentes energéticas convencionales del campus, sino evaluar de forma cuantitativa el porcentaje de

cobertura energética que podría alcanzarse mediante la tecnología piezoeléctrica. Esta se activa por la presión del paso de las personas sobre las baldosas, transformando la energía mecánica en la electricidad utilizable para la iluminación, carga de dispositivos o sistemas de bajo consumo en áreas de alto tránsito, como pasillos, entradas principales y zonas comunes. De esta manera, se aprovecha un recurso subutilizado —el movimiento cotidiano— para producir energía limpia sin emisiones, alineándose con principios de economía circular al reutilizar residuos industriales como el caucho de llantas, que de otro modo contaminarían vertederos, ríos o humedales de vital importancia, no solo para Colombia, sino también para la humanidad.

Adicional a esto, el proyecto incorpora un aplicativo web accesible para maximizar su impacto y adopción en la comunidad educativa. Se desarrollará el aplicativo donde se visualice en tiempo real datos clave: la cantidad de energía generada, una aproximación de los pasos registrados a lo largo del día y metas diarias o semanales desafiantes. Esta herramienta no solo fomentará la conciencia ambiental entre los usuarios, incentivándolos a transitar por las baldosas mediante elementos lúdicos como rankings, insignias o notificaciones motivacionales, sino que también proporcionalmente incrementará la generación de energía al potenciar el uso voluntario de zonas equipadas. Así, el plan no solo genera beneficios energéticos tangibles, sino que educa y empodera a la comunidad universitaria en prácticas sostenibles, posicionando a la Universidad EAN como referente en innovación verde en Bogotá.

Marco teórico

Transición energética y sostenibilidad en el contexto institucional

Se define la transición energética como el procedimiento de transformar el sistema energético que se fundamenta en combustible fósiles en uno que emplea recursos renovables, tecnologías ecológicas y modelos de eficiencia en el uso de energía, en las instituciones globales como la agencia internacional de energía han indicado que la disminución del dióxido de carbono en el sector eléctrico es crucial para alcanzar la neutralidad de carbono para el 2050, siendo así, en este escenario las instituciones educativas desempeñan un rol crucial no solo como consumidores de energía, sino también como lugares de evaluación para la innovación sustentable.

Las entidades educativas han comenzado a incorporar estrategias vinculadas con la generación distribuida, la eficiencia energética y la reducción de su huella de carbono en sus programas de sostenibilidad. La generación distribuida propone que se puede producir energía próxima al lugar de consumo, reduciendo de esta manera las pérdidas durante la transmisión y promoviendo la autonomía energética. Este planteamiento teórico respalda la implementación de tecnologías de micro generación, tales como la solar fotovoltaica, la eólica urbana y la piezoeléctrica en zonas de gran tráfico.

En el entorno colombiano basándose en las políticas públicas orientadas a energías renovables han avanzado con la diversificación de la matriz energética, lo que permite que se extiendan las oportunidades para que en universidades como la Universidad EAN implementen tecnologías emergentes como aporte a su estrategia ambiental institucional.

Fundamentos físicos de implementación de la tecnología piezoeléctrica

La tecnología piezoeléctrica se basa en el principio hallado por los hermanos Pierre y Jacques Curie en 1880, que señala que determinados cristales generan una variación en el voltaje al ser sometidos a presión mecánica, este fenómeno denominado efecto piezoeléctrico directo, se manifiesta en elementos como el cuarzo, cerámicas de PZT (titanato de zirconio y plomo) y polímeros particulares.

Desde el punto de vista físico, la relación entre la tensión mecánica y la respuesta eléctrica se describe mediante ecuaciones que vinculan la deformación mecánica con la polarización eléctrica del material, lo que ha permitido entender que este principio ha recibido un extenso análisis en el sector industrial, incluyendo su aplicación en sensores, actuadores y aparatos médicos, no obstante, en las últimas décadas, su relevancia ha crecido en los sistemas de captación de energía.

El concepto teórico del uso de energía piezoeléctrica indica que pequeñas cantidades de energía mecánica presentes en el entorno, tales como vibraciones, presión o acciones humanas, poseen la capacidad de transformarse en electricidad de uso, como ha logrado ser documentado en estudios difundidos en plataformas como Scopus y Web of Science han evaluado la eficacia de este proceso de transformación, las limitaciones productivas por cada ciclo de carga y la resistencia del material frente a cargas repetitivas.

Sistemas de energy harvesting en entornos urbanos

El proceso de obtención de energía en zonas urbanas implica el aprovechamiento de la energía residual que surge de las acciones humanas, de acuerdo con el sistema y la carga soportada, cada acción puede generar entre 2 y 5 Joules de energía, dependiendo del peso del usuario, el tipo del calzado y la configuración del material piezoeléctrico (Covaci & Gontean, 2020; Selim et al., 2024). Investigaciones realizadas en Tokio y Londres han evidenciado el potencial de uso de las baldosas piezoeléctricas en áreas de transporte público.

No obstante, el estudio también pone de relieve restricciones significativas como la baja densidad energética, costos altos de instalación y mantenimiento, además de largos periodos para reembolsar la inversión, lo que, al hacer análisis para establecer la viabilidad del proyecto frente a otras fuentes de energía renovable, ciertos modelos teóricos de análisis económico utilizan investigación de costo – beneficio y el valor presente neto (VPN).

Desde una perspectiva medioambiental, la evaluación se basa en el estudio del ciclo de vida, que permite determinar si la energía producida durante el funcionamiento del sistema es equivalente a la energía empleada en su fabricación e implementación.

Modelo de evacuación técnico

Para evaluar la posibilidad de implementar un sistema piezoeléctrico en una institución educativa, se utilizan un modelo de análisis técnico enfocado en la estimación de la energía generada a partir del tránsito peatonal. Desde este enfoque, la energía producida se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$E = N \times E_p$$

Donde E es la energía total producida (en Joules o Watios-hora), N es el número total de pisadas registradas en el periodo de análisis y E_p es la energía promedio por pisada (entre 2 y 5 J, según estudios especializados). Esta fórmula constituye el núcleo del modelo de estimación energética del presente proyecto.

Adicionalmente, el análisis técnico contempla variables como la cantidad de personas que transitan por la zona seleccionada, la frecuencia de uso del espacio, la capacidad de generación de las losas piezoeléctricas y las condiciones de instalación dentro de la infraestructura de la Universidad EAN. De esta manera, se busca determinar si la energía obtenida puede considerarse un aporte complementario para el consumo energético institucional.

Desde la perspectiva de la sostenibilidad institucional, el valor del proyecto no se limita únicamente a la generación de energía, sino que también a su impacto educativo y ambiental. La implementación de tecnología piezoeléctrica puede contribuir a fortalecer la conciencia ambiental de la comunidad académica y proyectar a la universidad como una institución coherente con sus objetivos de innovación y transición hacia fuentes de energía más sostenibles.

Sistema de almacenamiento de energía.

El sistema de almacenamiento de energía piezoeléctrica adoptado en este proyecto corresponde a una arquitectura híbrida de cuatro etapas. En primer lugar, la energía generada en la corriente alterna (CA) pasa por un puente rectificador que la convierte en corriente continua (CC). A continuación, un supercondensador absorbe los picos de energía rápidos y frecuentes, soportando los cambios bruscos de carga propios del tránsito peatonal intermitente. La señal continua y estabilizada ingresa luego a un convertidor DC-DC, cuya función es gestionar el flujo de energía desde el supercondensador hacia la etapa final, protegiendo la batería de cargas irregulares. Finalmente, una batería recargable almacena la energía de forma estable y mantiene disponible por períodos prolongados, garantizando una salida de energía regulada en CC lista para alimentar los dispositivos de bajo consumo conectadas al sistema (Pardo Farías et al., 2024).

Estado del arte (Metodología PRISMA)

En el contexto actual de la creciente necesidad de avanzar hacia una transición energética que permita reducir la dependencia de fuentes de energía convencionales, surge la importancia de explorar tecnologías innovadoras que complementen las alternativas de generación energética sostenible. En este escenario, las instituciones de educación superior desempeñan un papel fundamental como espacios de investigación, experimentación y desarrollo de soluciones orientadas a la sostenibilidad. En Colombia, la Universidad EAN se ha destacado por su enfoque en sostenibilidad, emprendimiento e innovación, lo que la convierte en un entorno adecuado para el análisis y la formulación de propuestas que contribuyan a estos objetivos, como se indica en (*Gerencia Estratégica-2024*, n.d.).

En este sentido, el presente trabajo se orienta al análisis de un plan de implementación de tecnología piezoeléctrica en espacios de alto tránsito dentro de instituciones de educación superior. Particularmente, se toma como caso de estudio el campus de la Universidad EAN, específicamente la entrada a las instalaciones de la sede principal (Edificio Legacy), un punto caracterizado por el constante flujo de estudiantes, docentes y visitantes. La elección de este espacio responde a la posibilidad de analizar cómo el movimiento cotidiano de las personas puede convertirse en una oportunidad para la generación de energía a pequeña escala mediante el aprovechamiento de la presión ejercida por las pisadas.

La tecnología piezoeléctrica ha adquirido un creciente interés en los últimos años debido a su capacidad de transformar energía mecánica en energía eléctrica a partir de la presión o vibración aplicada sobre determinados materiales. Este fenómeno, conocido como efecto piezoeléctrico, permite generar pequeñas cantidades de energía que pueden ser utilizadas para alimentar dispositivos electrónicos de bajo consumo, sensores o sistemas de monitoreo energético. Diversos estudios han demostrado el potencial de esta tecnología en entornos urbanos y espacios de alto

tránsito, donde la energía producida por el movimiento humano puede ser aprovechada como una fuente complementaria de generación energética (Selim et al., 2024)

Adicionalmente, algunas investigaciones han explorado la integración de materiales sostenibles en el desarrollo de sistemas piezoeléctricos, con el fin de aumentar su resistencia estructural y reducir su impacto ambiental. En este sentido, el uso de baldosas elaboradas a partir de caucho proveniente de llantas recicladas representa una alternativa interesante, ya que permite reutilizar un residuo que suele generar importantes problemas de contaminación cuando no es gestionado adecuadamente. Al mismo tiempo, este tipo de material ofrece propiedades de resistencia y flexibilidad que pueden resultar adecuadas para soportar el tránsito constante de personas en espacios públicos o institucionales.

Con el fin de identificar los principales avances científicos relacionados con la generación de energía mediante tecnología piezoeléctrica, se realizó una revisión sistemática de literatura siguiendo la metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), la cual permite estructurar de manera transparente el proceso de búsqueda, selección y análisis de estudios científicos. Para ello, se consultaron bases de datos académicas reconocidas como Scopus, ProQuest, ScienceDirect, debido a su amplia cobertura de publicaciones científicas en las áreas de ingeniería, energía y sostenibilidad.

La búsqueda se realizó utilizando ecuaciones basadas en palabras clave relacionadas con el aprovechamiento de energía piezoeléctrica y su aplicación en infraestructura. Para ampliar los resultados se utilizaron operadores booleanos que permitieran combinar diferentes términos relacionados con el tema de investigación. La ecuación de búsqueda fue la siguiente:

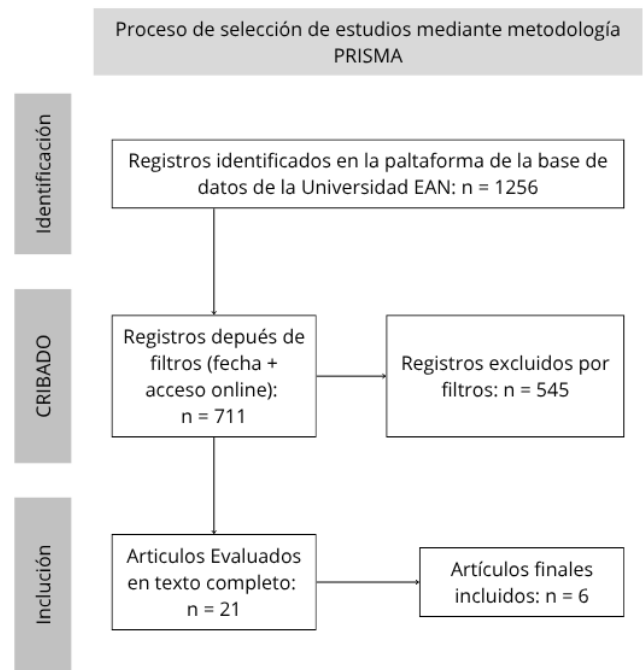
(“piezoelectric energy harvesting” OR “piezoelectric floor” OR “piezoelectric tiles”) AND (“renewable energy” OR “energy harvesting”). Asimismo, la búsqueda se limitó a publicaciones realizadas entre 2020 y 2026, con el fin de identificar investigaciones recientes que reflejen los avances actuales en el desarrollo de este tipo de tecnologías. Se consideraron únicamente artículos

publicados en inglés y español, que estuvieran indexados en revistas científicas reconocidas o bases de datos académicas confiables.

Para garantizar la pertinencia de los documentos analizados se establecieron criterios de inclusión y exclusión. En primer lugar, se incluyeron artículos científicos revisados por pares que abordaran el uso de tecnología piezoeléctrica para la generación de energía eléctrica, particularmente en entornos urbanos, edificaciones o espacios con alto tráfico de personas. Por otra parte, se excluyeron documentos que no estuvieran relacionados con aplicaciones energéticas, así como publicaciones anteriores al 2020 o fuentes sin respaldo académico. A partir de este proceso de filtrado se seleccionaron cuatro artículos científicos considerados relevantes para el análisis del estado del arte, los cuales presentan diferentes enfoques metodológicos y aplicaciones de esta tecnología.

Proceso de selección PRISMA

Figura 1



Nota: Elaboración propia.

Finalmente, se incluyeron 6 estudios en el análisis del estado del arte, los cuales cumplen con los criterios de inclusión establecidos y presentan una alta pertinencia con el enfoque de la investigación.

Tabla de síntesis de estudios

En la tabla que se presenta a continuación se puede observar los estudios previamente seleccionados para el estado del arte, para la correcta realización del análisis de cada uno de ellos. En esta se incluye información relacionada con los autores, título del documento, principales hallazgos, limitaciones reportadas y la relación con el proyecto en desarrollo, entre otros.

Tabla 1

Síntesis de estudios seleccionados sobre tecnología piezoeléctrica para captación de energía, uso de IoT, y almacenamiento de energía.

Autor(es) / Año	Título del estudio	Objetivo principal	Metodología empleada	Variables analizadas	Principales hallazgos	Limitaciones reportadas	Relación con el proyecto actual
Selim et al. (2024)	Piezoelectric Sensors Pressed by Human Footsteps for Energy Harvesting	Identificar cómo es posible generar energía eléctrica aprovechable por medio de energía mecánica usando tecnología piezoeléctrica.	Diseño experimental basado en sensores piezoeléctricos sometidos a presión mecánica simulando pisadas humanas, con medición del voltaje y potencia generada bajo diferentes condiciones.	Voltaje generado potencia eléctrica producida presión aplicada sobre el sensor frecuencia o número de pisadas	El estudio demuestra que los sensores piezoeléctricos pueden convertir la presión generada por las pisadas humanas en energía eléctrica utilizable para alimentar dispositivos electrónicos de bajo consumo, lo que evidencia el potencial de esta tecnología para aplicaciones en espacios de alto tránsito.	La energía generada por cada evento de presión es relativamente baja, por lo que el sistema resulta más adecuado como fuente complementaria de energía y no como sustituto principal de otras fuentes de energía.	El estudio demuestra la viabilidad de utilizar la presión generada por el tránsito de personas para producir energía eléctrica, lo cual respalda la propuesta de analizar la implementación de baldosas piezoeléctricas en espacios de alto flujo dentro de instituciones de educación superior.
(Covaci & Gontean, 2020)	Piezoelectric Energy Harvesting Solutions: A Review	Analizar y sintetizar diferentes métodos y tecnologías utilizadas para la captación de energía mediante materiales piezoeléctricos, así como los modelos y circuitos empleados para optimizar la generación y almacenamiento de energía.	Revisión sistemática de literatura sobre tecnologías de generación de energía piezoeléctrica, analizando modelos teóricos, materiales y circuitos utilizados para la captación de energía.	Tipo de materiales piezoeléctricos Métodos de captación de energía Configuración de transductores piezoeléctricos Circuitos de almacenamiento de energía Potencial de generación energética.	El estudio muestra que esta tecnología tiene un alto potencial para la captación de energía mecánica proveniente del movimiento humano o de vibraciones ambientales. Adicional a esto, identifica diferentes configuraciones de transductores y circuitos electrónicos que permiten mejorar la eficiencia en la conversión y almacenamiento de la energía generada.	Se identifica que la eficiencia de los sistemas depende de múltiples factores, como el tipo de material, la frecuencia de vibración y la optimización de los circuitos electrónicos, lo que puede limitar su aplicación a sistemas de generación energética	El estudio proporciona una base teórica de captación de energía piezoeléctrica y sus aplicaciones, lo cual respalda el análisis del potencial de implementar baldosas piezoeléctricas en espacios de alto tránsito dentro de instituciones de educación superior

						de pequeña escala.	
(Mirani et al., 2024)	Industrial IoT-Based Energy Monitoring System: Using Data Processing at Edge	Diseñar e implementar un sistema de monitoreo energético basado en IoT que permita recopilar y procesar datos de consumo eléctrico en tiempo real.	Diseño e implementación de un sistema experimental de monitoreo energético basado en IoT con sensores y medidores eléctricos conectados a una plataforma de procesamiento en el edge.	Consumo de energía eléctrica. Datos de sensores energéticos Frecuencia de medición Datos procesados en edge computing.	El sistema permite monitorear el consumo energético en tiempo real mediante sensores conectados a una plataforma IoT, facilitando el análisis y la gestión eficiente de la energía.	La implementación requiere infraestructura tecnológica adecuada y puede presentar desafíos relacionados en la integración de dispositivos y el manejo de grandes volúmenes de datos.	El estudio respalda la viabilidad de utilizar sensores y sistemas IoT para recopilar y procesar datos energéticos, lo cual se relaciona directamente con el uso de Arduino, bases de datos y sistemas de monitoreo propuestos en el proyecto.
(Cecchini et al., 2019)	A 3d platform for energy data visualization of building assets	Desarrollar una plataforma digital que permita visualizar datos energéticos de edificios mediante un entorno tridimensional que facilite el análisis del consumo energético y la gestión eficiente de la energía.	Diseño y desarrollo de una plataforma digital de visualización de datos energéticos basada en modelos 3D, integrando información proveniente de sistemas de monitoreo energético de edificios.	Consumo energético de los edificios Datos provenientes de sistemas de monitoreo Información energética de activos del edificio. Representación visual de datos en entorno 3D	El estudio demuestra que las plataformas de visualización energética permiten representar de forma clara y comprensible los datos de consumo energético de los edificios, facilitando el análisis de la información y apoyando la toma de decisiones relacionadas con la gestión energética.	La implementación de plataformas de visualización energética requiere infraestructura tecnológica adecuada y la integración de múltiples fuentes de datos, lo que puede incrementar la complejidad del sistema.	El estudio evidencia la importancia de contar con herramientas de visualización de datos energéticos, lo cual respalda la propuesta de implementar un dashboard web que permita visualizar la energía generada por las baldosas piezoeléctricas y la información recolectada por los sensores.

(Calderón et al., 2021)	Diseño y desarrollo de simulador de un sistema de almacenamiento de energía mediante sensores piezoeléctricos	Diseñar y desarrollar un simulador que permita analizar el comportamiento de sistemas de generación y almacenamiento de energía basados en sensores piezoeléctricos	Modelo matemático del comportamiento de cristales piezoeléctricos y desarrollo de un simulador en software (NI Multisim), complementado con la construcción de un sistema físico para validar los resultados obtenidos.	Fuerza aplicada al material piezoeléctrico Voltaje generado Comportamiento del sistema eléctrico equivalente Eficiencia del sistema de simulación.	El estudio realizado permitió establecer una relación entre la fuerza aplicada y energía generada, demostrando que es posible modelar sistemas piezoeléctricos con un margen de error aceptable y utilizarlos para predecir su comportamiento en aplicaciones reales.	Se requiere validación experimental constante para mejorar la precisión del simulador, ya que los resultados dependen de condiciones físicas reales que pueden variar.	Este estudio respalda la importancia de realizar un análisis previo mediante simulación y modelado antes de implementar sistemas piezoeléctricos, lo cual se relaciona con el enfoque del proyecto al plantear un plan de implementación y evaluación de viabilidad tecnológica. Este estudio contempla el proyecto al evidenciar la importancia del almacenamiento y gestión de la energía generada, lo cual es clave para sistemas piezoeléctricos, ya que la energía producida es intermitente y de baja escala, requiriendo estrategias adecuadas para su aprovechamiento y monitoreo dentro del plan de implementación.
	Análisis de tecnologías de almacenamiento de energía para mejorar la gestión de energía renovable.	Analizar las diferentes tecnologías de almacenamiento de energía y su contribución a la mejora de la gestión de energías renovables en sistemas energéticos sostenibles.	Revisión sistemática y análisis comparativo de tecnologías de almacenamiento de energía, basada en literatura científica reciente, donde se clasifican y evalúan distintas tecnologías según criterios técnicos, económicos y de desempeño.	Tipo de tecnología de almacenamiento (baterías, aire comprimido, hidrógeno, etc.) Densidad de energía Eficiencia Vida útil Costos Tiempo de respuesta Aplicaciones en sistemas energéticos	En el estudio se evidencia que las tecnologías de almacenamiento de energía son fundamentales para la integración eficiente de energías renovables, ya que permiten almacenar el exceso de energía y liberarlo cuando la demanda lo requiere. Asimismo, se destaca el creciente uso de baterías de ion-litio y el almacenamiento en hidrógeno como soluciones clave en la transición energética.	Existen desafíos relacionados con los altos costos, la escalabilidad de las tecnologías y la necesidad de marcos regulatorios adecuados para su implementación efectiva en sistemas energéticos reales.	

A partir del análisis de los estudios seleccionados, se identificaron diferentes enfoques, metodologías y resultados relacionados con la generación de energía mediante sistemas piezoeléctricos. Estos antecedentes permitieron establecer bases teóricas y técnicas importantes para el desarrollo del presente trabajo.

Metodología

Enfoque y alcance de la investigación

La investigación actual adopta un método cuantitativo, con el objetivo de medir la energía generada mediante tecnología piezoeléctrica a partir de variables que son susceptibles de ser cuantificadas, tales como el tráfico peatonal, la energía promedio por paso y la estimación de energía total almacenada, esta estructura es no experimental ya que no se modifican las variables independientes, sino que se estudian las condiciones que ya existen en el entorno institucional. El corte es transversal, dado que la recopilación de datos se realizará en un período acotado de tiempo, y el alcance es descriptivo-correlacional, puesto que se analizará el comportamiento del flujo peatonal y su relación estadística con la energía estimada generada Hernández-Sampieri et al. (2018)

Este enfoque se apoya en técnicas que han sido utilizadas en estudios sobre la captura de energía en áreas urbanas, como lo indican (Anton & Sodano, 2007) y (Lopes & Gallo, 2014) quienes aplican modelos cuantitativos para evaluar la energía generada sin realizar manipulaciones experimentales directas, así mismo, el análisis técnico se fundamenta en el modelo LCOE reportado por Lazard. (2023) y en los principios de generación distribuida promovidos por la IEA (2023).

Pregunta de investigación

¿En qué medida la implementación de baldosas piezoeléctricas fabricadas con caucho reciclado de llantas en zonas de alto tránsito de la Universidad EAN es técnicamente viable como fuente complementaria de generación eléctrica en el marco de la transición energética institucional?

Población y muestra

La población objeto de estudio está conformada por todas las personas que ingresan diariamente a la Universidad EAN, ubicada en Bogotá.

La elección de la muestra se llevará a cabo mediante la recopilación de información registrada en las talanqueras de acceso de la universidad EAN, ya que estas proporcionan datos reales y confiables para la realización de los cálculos requeridos en la presente investigación. Los datos serán suministrados directamente por un profesional de la gerencia de tecnologías de la información y comunicación de la institución.

Se empleará un muestreo no probabilístico por conveniencia, dado que el objetivo es estimar el flujo promedio diario de personas que ingresan a la universidad. Para ello se tendrán dos escenarios de análisis: el promedio habitual de personas que transitan diariamente, y el promedio correspondiente a días en los que se realizan eventos masivos dentro de la institución. Esta diferenciación permitirá evitar sesgos en la estimación de los datos y reducir la generación de expectativas irreales derivados de considerar únicamente los picos más altos de tránsito peatonal.

Este enfoque metodológico resulta adecuado cuando se busca obtener una estimación representativa del flujo de personas, sin profundizar en el análisis de variables sociodemográficas específicas (Hernández Sampieri et al., 2014).

Instrumentos

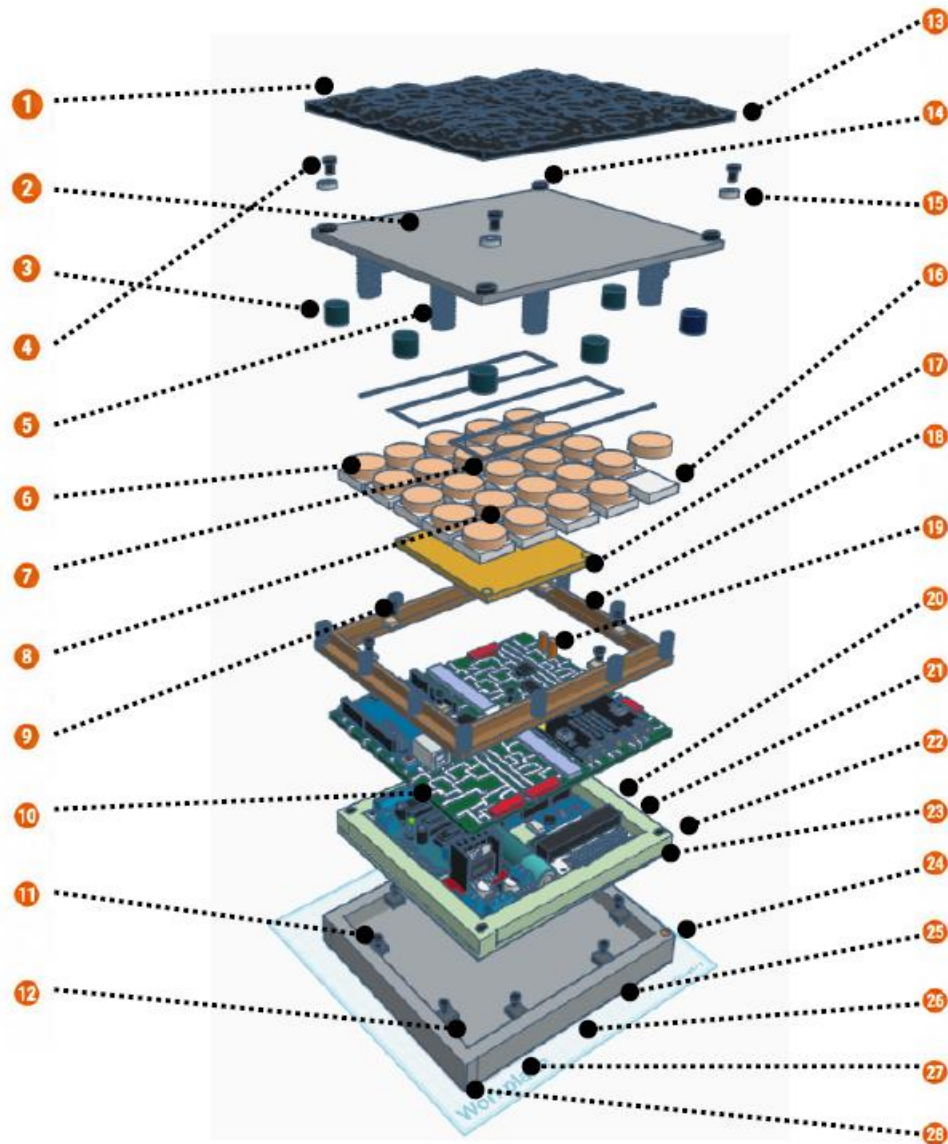
Para el desarrollo de la investigación se implementaron diferentes instrumentos de recolección y validación de información acordes con el enfoque cuantitativo y el alcance descriptivo – correlacional del estudio. Se empleo una matriz de revisión bibliográfica para organizar la información recopilada mediante el protocolo PRISMA, la cual permitió analizar la información obtenida de artículos científicos, tesis y documentos especializados relacionados con energía piezoeléctrica, generación de energía renovable y aprovechamiento energético del tránsito peatonal, para adaptar toda esta investigación al proyecto.

Asimismo, con el apoyo del área de Sistemas de Información de la Universidad EAN, se realizó la recopilación y análisis de los datos correspondientes al flujo de personas que ingresan diariamente por la entrada principal de la institución. La información fue obtenida a partir de los registros generados por las talanqueras ubicadas en dicho acceso, correspondientes al periodo comprendido entre el 1 de abril y 30 de abril del año en curso (J. J. Carrillo Bonilla Entrevistado, comunicación personal, 14 de mayo de 2026).

Los datos obtenidos evidenciaron que, entre colaboradores, estudiantes, visitantes y personal tercerizado, registra un promedio aproximado de 4.000 personas diarias. Asimismo, en jornadas con alta afluencia debido a eventos realizados dentro de la institución, el flujo peatonal alcanzó aproximadamente las 6.000 personas por día.

Para el análisis energético se empleó un modelo matemático de estimación, basado en la formula $E = N \times E_p$, donde N se refiere el número total de pasos contabilizados y E_p corresponde a la energía promedio por paso (entre 2 y 5 J, según estudios especializados). Adicionalmente, se desarrolló un prototipo 3D de la baldosa en el cual se evidencian todas las partes que permiten el correcto funcionamiento para la generación de energía. Ver figura 2.

Figura 2.



Nota: Elaboración propia

A continuación, se presentará cada componente del prototipo con su función y/o descripción

Tabla 2.

Listado y descripción de componentes del prototipo de baldosa piezoeléctrica

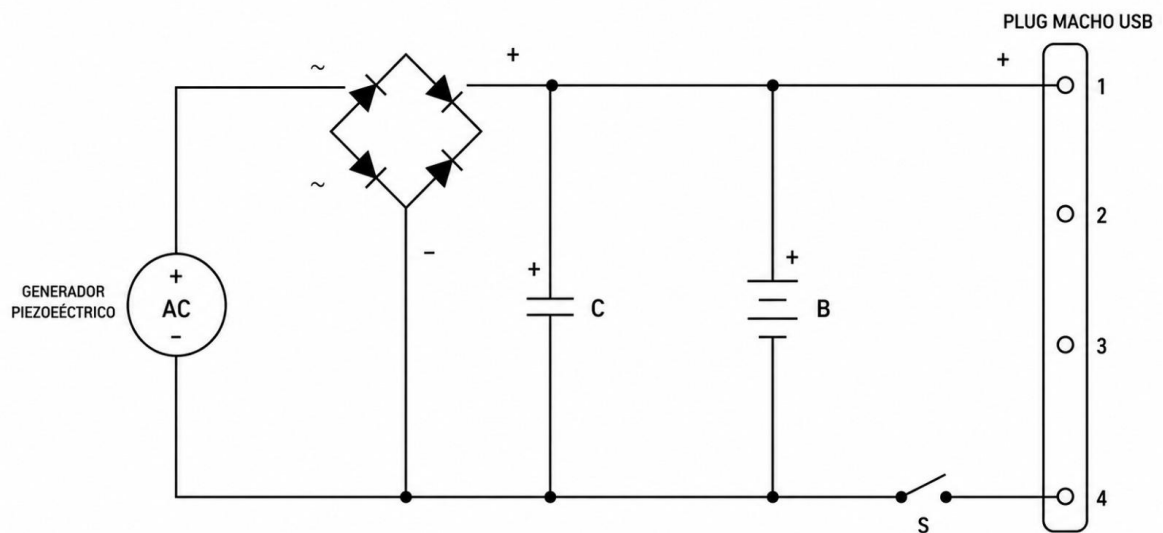
No.	Componente	Función / Descripción
1	Superficie superior.	Baldosa transpirable antideslizante que recibe la presión.
2	Placa de presión superior.	Distribuye la carga de forma uniforme sobre los discos.
3	Separadores.	Reducen vibraciones y evitan contacto directo.
4	Tornillos de fijación.	Sujetan la placa de presión y protegen los discos PZT.
5	Arandelas	Distribuyen la presión a la estructura.
6	Discos piezoeléctricos (PZT).	Generan electricidad al ser comprimidos.
7	Electros superiores.	Captan la carga generada en la cara superior del PZT.
8	Cables de conexión PZT.	Conectan los discos en serie/paralelo para optimizar voltaje.
9	Electrodos inferiores.	Captan la carga generada en la cara inferior del PZT.
10	Aislante eléctrico.	Aisla eléctricamente y protege las conexiones.
11	Sistema de retorno (resortes).	Devuelve la placa superior a su posición inicial.
12	Guías de resorte.	Mantienen la alineación y estabilidad de los resortes.

13	Estructura de soporte mecánico.	Sostiene y alinea todos los componentes del sistema.
14	Tornillos de fijación de estructura.	Aseguran el marco de soporte a la estructura.
15	Espaciadores estructurales.	Separan y protegen la PBC de la estructura.
16	Placa de circuito electrónico (PBC).	Controla, rectifica y gestiona la energía generada.
17	Conectores de señal.	Permiten la conexión entre módulos y placas.
18	Convertidor DC – C (Gestión de energía)	Regula y optimiza el voltaje para almacenamiento.
19	Supercapacitador	Almacena energía de forma rápida y estable.
20	Batería de litio	Almacenamiento de energía de largo plazo.
21	Módulo de protección BMS	Protege el sistema contra sobrecargas y descargas.
22	Fusible de protección	Protege el sistema contra cortocircuitos y sobrecargas.
23	Interruptor principal	Activa o desactiva el sistema de almacenamiento
24	Iniciador LED	Muestra el estado de carga y funcionamiento.
25	Puerto de salida USB	Entrega energía regulada a dispositivos externos.
26	Orificios de ventilación	Permiten la disipación de calor del sistema.
27	Tapas de sellado	Protegen los puertos y conexiones del sistema.
28	Base y carcasa inferior	Protege todos los componentes internos del sistema.

La presentación grafica de los componentes facilita la comprensión de la estructura interna del prototipo y evidencia la integración de los elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos necesarios para el funcionamiento del sistema.

Por otro lado, se realizó un diagrama de circuitos en el que se representa el funcionamiento eléctrico básico de la baldosa piezoeléctrica propuesta para este proyecto. En él se muestran los principales componentes encargados de transformar la energía mecánica producida por las pisadas en energía eléctrica aprovechable. El circuito integra elementos como los sensores piezoeléctricos, el puente rectificador, el sistema de almacenamiento y la salida de energía, permitiendo visualizar el proceso de conversión, regulación y acumulación de la energía generada. Este esquema facilita la comprensión técnica de la operación del sistema y sirve como base para el análisis de su implementación. Ver figura 3.

Figura 3



Nota: Elaboración propia

El diagrama muestra el circuito eléctrico básico de una baldosa piezoeléctrica utilizada para generar energía a partir de las pisadas de los usuarios. El sistema inicia con el generador piezoeléctrico, encargado de producir corriente alterna (AC) cuando se aplica presión sobre la superficie de la baldosa. Posteriormente, la energía pasa por un puente rectificador compuesto por diodos, cuya función es convertir la corriente alterna en corriente continua (DC) para ser aprovechable.

El circuito también incluye un condensador (C), utilizado para estabilizar y almacenar temporalmente la energía generada, así como la batería (B), encargada de acumular la energía eléctrica producida para su posterior uso. Además, se incorpora un interruptor (S) que permite controlar el flujo de energía dentro del sistema. Finalmente, la salida USB facilita la conexión de dispositivos de bajo consumo o sistemas de monitoreo energético, tecnología piezoeléctrica.

Técnicas y herramientas para el análisis de la información

De acuerdo con el enfoque cuantitativo y el alcance descriptivo-correlacional de la investigación, se emplearon técnicas de análisis documental, estadístico y comparativo para interpretar la información recolectada y evaluar la viabilidad del sistema de baldosas piezoeléctricas.

Inicialmente, se realizó un análisis documental de las fuentes bibliográficas seleccionadas, con el fin de identificar antecedentes, metodologías y resultados relevantes relacionados con la generación de energía piezoeléctrica y el aprovechamiento energético del tránsito peatonal. Este proceso permitió establecer fundamentos teóricos y técnicos para el desarrollo del proyecto.

Posteriormente, los datos obtenidos sobre el flujo peatonal fueron organizados y analizados mediante técnicas de estadística descriptiva, utilizando medidas de promedio y comparación entre distintos escenarios de afluencia de personas. Esto permitió estimar el comportamiento diario del tránsito peatonal y determinar variaciones entre jornadas regulares y días con eventos masivos.

Para el cálculo de la energía generada se aplicó un análisis matemático basado en la relación entre el número de pisadas registradas y la energía promedio producida por cada paso.

A partir de la formula se realizaron estimaciones energéticas en diferentes escenarios de tránsito, permitiendo evaluar el potencial de generación eléctrica del sistema piezoeléctrico dentro de la institución.

Asimismo, se efectuó un análisis comparativo de resultados para identificar el comportamiento energético del prototipo frente a distintas cantidades de usuarios y niveles de flujo peatonal. El diseño propuesto contempla la implementación de baldosas piezoeléctricas con dimensiones de 30 x 30 cm, distribuidas en un espacio aproximado de 5 x 8 metros dentro de la institución. Considerando estas dimensiones, se estima la instalación de 416 baldosas piezoeléctricas, las cuales conformarán el sistema de captación energética a analizar durante la investigación.

Para el procesamiento de los datos se utilizaron herramientas digitales como Microsoft Excel, empleado para la organización de la información, elaboración de tablas, cálculos y representación gráfica de resultados. De igual manera, el aplicativo web desarrollado permitió visualizar y monitorear los datos energéticos obtenidos por el sistema.

Finalmente, como método de validación de la investigación se realizó una entrevista semiestructurada con el ingeniero de Sistemas Pedro García, representante legal de la empresa Green Energy Factory, organización con más de 10 años de experiencia en el mercado de generación de energía mediante paneles solares y energía eólica. Durante la entrevista se presentó el proyecto completo, incluyendo la metodología, los cálculos energéticos, el diseño del prototipo y el aplicativo web propuesto, con el fin de obtener una evaluación técnica y metodológica de la propuesta.

A continuación, se presentan las preguntas realizadas y las principales respuestas obtenidas durante la validación:

¿Considera viable la implementación de baldosas piezoeléctricas en entornos educativos con alto flujo peatonal?

El experto indicó que la propuesta es total mente viable, teniendo en cuenta los datos obtenidos sobre el flujo de personas y su relación con la estimación de energía generada por el sistema.

¿La metodología planteada es adecuada para medir el potencial energético del tránsito peatonal?

El entrevistado afirmó que la metodología es adecuada, ya que el modelo matemático utilizado permite realizar estimaciones coherentes del potencial energético generado a partir de las pisadas, Asimismo, destacó que la relación entre el flujo peatonal y los cálculos energéticos facilita el análisis de viabilidad del proyecto.

¿El modelo matemático utilizado para estimar la energía generada es coherente con los objetivos del proyecto?

El experto señaló que el modelo matemático empleado es correcto y que los resultados obtenidos son viables para la implementación del proyecto, especialmente considerando que el objetivo principal es alimentar dispositivos de bajo consumo energético.

¿Qué aspectos técnicos recomendaría mejorar en el diseño del prototipo?

Como recomendación técnica, mencionó que en países como japon esta tecnología se está implementando mediante estructuras triangulares, por lo cual sugirió analizar qué geometría resulta más eficiente para el proyecto. Además, recomendó utilizar baterías de litio para el almacenamiento de la energía, debido a su mayor vida útil y capacidad de almacenamiento energético.

¿Considera pertinente el uso de materiales piezoeléctricos para proyectos de energía renovable en instituciones educativas?

El entrevistado consideró que la propuesta es innovadora y pertinente, destacando la importancia de implementar este tipo de tecnologías en un país latinoamericano y, especialmente, en un entorno educativo que fomente el interés por alternativas sostenibles de generación energética.

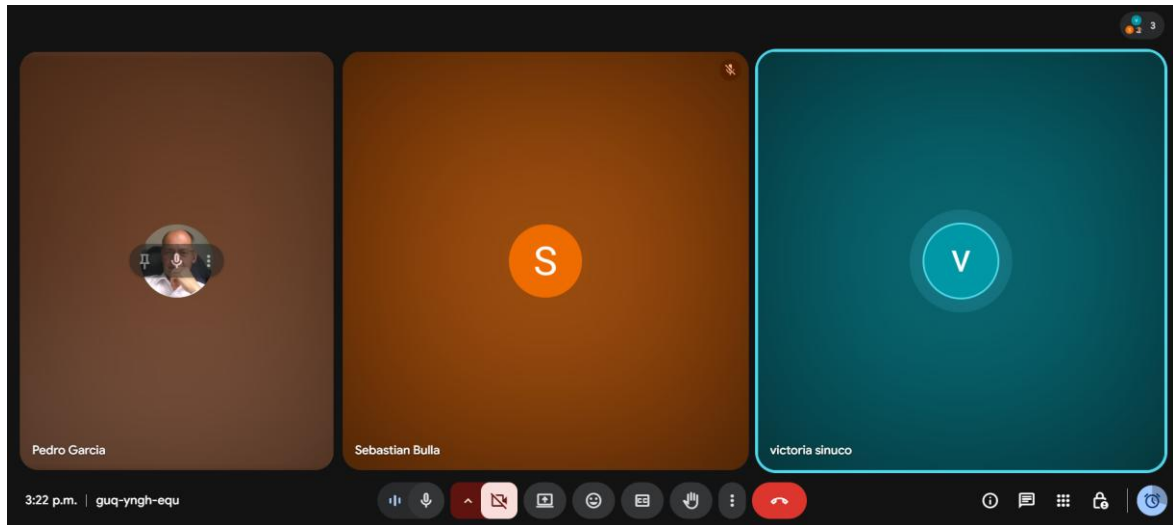
¿Cómo puede usted determinar la viabilidad de este proyecto?

Ante esta pregunta, el entrevistado afirmó que el proyecto es viable debido a que la tecnología piezoeléctrica ya cuenta con aplicaciones implementadas en diferentes partes del mundo, especialmente en espacios con alto flujo peatonal. Asimismo, señaló que existen diseños previamente desarrollados, documentación técnica y antecedentes que facilitan la adaptación e implementación de este tipo de sistemas en otros contextos, como el entorno educativo planteado en la presente investigación.

¿El aplicativo web propuesto aporta valor al análisis y divulgación de los resultados obtenidos?

Finalmente, recomendó revisar minuciosamente los cálculos realizados y expresar los resultados energéticos en kWh, dado que esta corresponde a la unidad de medida estándar utilizada en el sector energético.

En conclusión, la validación realizada permitió evidenciar la viabilidad técnica y metodológica del proyecto, además de proporcionar recomendaciones orientadas al fortalecimiento del diseño del prototipo, el sistema de almacenamiento energético y la presentación de resultados. La imagen presentada a continuación evidencia la reunión de la entrevista realizada al experto.



Resultados

La presente investigación tuvo como propósito analizar la viabilidad de implementar tecnología piezoeléctrica como alternativa de generación energética en instituciones de educación superior, tomando como caso de estudio la Universidad EAN. A partir de la revisión bibliográfica, el análisis de datos de flujo peatonal y el modelado energético realizado, se obtuvieron resultados que evidencian el potencial de este tipo de tecnología para la generación de energía de bajo consumo en entornos educativos.

Inicialmente, mediante la recopilación de información suministrada por el área de Sistemas de Información de la Universidad EAN, se identificó que el flujo promedio diario de personas que ingresan por la entrada principal de la institución es aproximadamente de 4.000 personas. Asimismo, durante jornadas con eventos institucionales o actividades de alta concurrencia, el flujo peatonal alcanzó las 6.000 personas diarias. Estos datos permitieron establecer dos escenarios de análisis para la estimación energética del sistema piezoeléctrico.

El diseño propuesto contempla la implementación de baldosas piezoeléctricas con dimensiones de 30 x 30 cm, distribuidas en un espacio aproximado de 5 x 8 metros dentro de la

institución. Considerando dichas dimensiones, se estimó la instalación de aproximadamente 416 baldosas piezoeléctricas destinadas a la captación de energía generada por el tránsito peatonal.

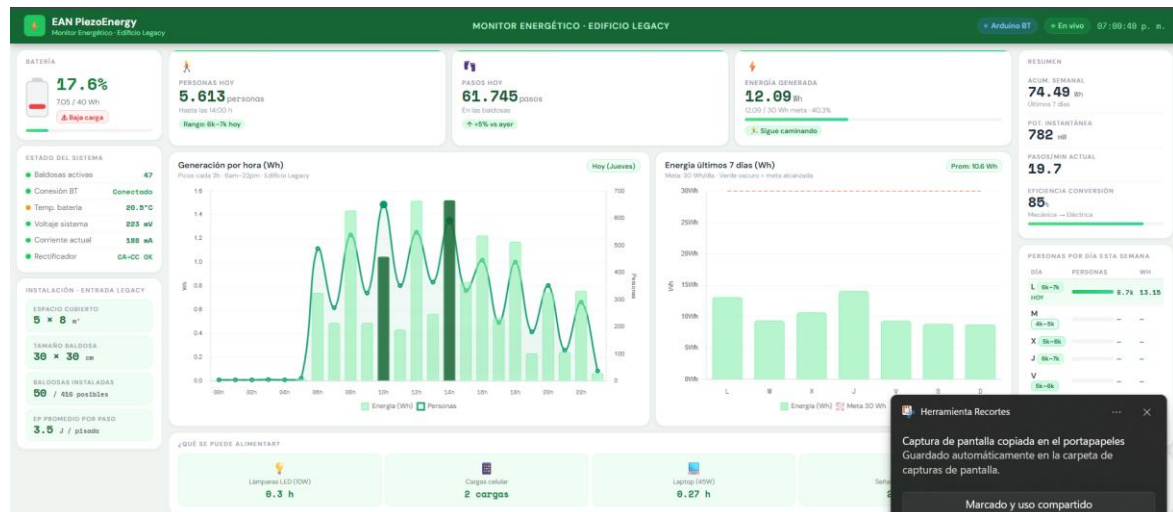
A partir de los datos recopilados y utilizando el modelo matemático planteado para el cálculo energético, se estimó que la generación de energía producida por las pisadas de los usuarios. Para ellos, se tomó como referencia una producción promedio entre 2 y 5 Joules por pisada, de acuerdo con estudios especializados sobre materiales piezoeléctricos.

En el escenario promedio de 4.000 personas diarias, se estimó una generación energética aproximada de 240.000 Joules diarios (aproximadamente 11,111 W), considerando un promedio de 10 a 12 pasos por persona. Por otro lado, en escenarios de alta concurrencia aproximadamente 6.000 personas, la generación energética podría alcanzar valores cercanos a 360.000 J (16.666 W aproximadamente). Estos resultados evidencian el potencial de la implementación de esta tecnología.

Adicionalmente, como parte de la propuesta tecnológica, se desarrolló un prototipo tridimensional de la baldosa piezoeléctrica, en el cual se representaron los componentes estructurales, eléctricos y electrónicos necesarios para el funcionamiento del sistema. Este prototipo permitió visualizar la distribución interna de los materiales y comprender el proceso de captación y alimento de energía generado por las pisadas.

De igual manera se diseñó un aplicativo web desarrollado en html, orientado a la visualización y monitoreo de los datos obtenidos por el sistema piezoeléctrico. El aplicativo permite mostrar información relacionada con la cantidad de personas registradas, el número de pasos contabilizados, la energía almacenada y los picos de tránsito por horario, facilitando así el análisis de resultados y promoviendo el interés de la comunidad universitaria hacia alternativas de generación energética sostenible. Ver figura 4.

Figura 4.



Nota: Elaboración propia.

Finalmente, la validación realizada por el experto entrevistado permitió corroborar la viabilidad técnica y metodológica del proyecto. Dentro de las principales observaciones, se destacó la pertinencia de implementar este tipo de tecnologías en entornos educativos, especialmente en instituciones que promueven iniciativas de sostenibilidad y transición energética. Asimismo, se identificó que la propuesta podría contribuir al fortalecimiento de la imagen institucional de la Universidad EAN, evidenciando coherencia entre sus políticas de sostenibilidad y la implementación de soluciones innovadoras orientadas al aprovechamiento de energías renovables.

Análisis de resultados

Los resultados obtenidos durante la investigación permitieron evidenciar que la implementación de baldosas piezoeléctricas en entornos educativos con alto flujo peatonal representa una alternativa viable como apoyo a estrategias de transición energética y sostenibilidad institucional. A partir de la información suministrada por la Universidad EAN sobre el tránsito de personas en la entrada principal, fue posible establecer escenarios de análisis que permitieron estimar el potencial energético del sistema propuesto.

En primer lugar, el flujo peatonal registrado evidencia una circulación promedio aproximada de 4000 personas diarias, alcanzando valores cercanos a 6000 personas durante

jornadas de con eventos institucionales. Estos datos permitieron identificar que la universidad cuenta con condiciones adecuadas para la implementación de tecnologías piezoeléctricas, dado que el funcionamiento de este tipo de sistemas depende directamente de la cantidad de pisadas generadas sobre la superficie instalada.

Asimismo, el análisis matemático realizado permitió determinar que la generación energética del sistema Aumenta proporcionalmente al flujo de personas y la cantidad de pasos realizados sobre las baldosas. Considerando un promedio entre 10 y 12 pisadas por persona dentro del área de instalación propuesta, se evidenció que el sistema puede producir una cantidad significativa de energía acumulada orientada al funcionamiento de dispositivos de bajo consumo energético.

Aunque los resultados obtenidos muestran que la energía generada no sería suficiente para abastecer sistemas eléctricos de gran escala dentro de la institución, si permiten identificar las aplicaciones funcionales y viables para este tipo de tecnología. Entre ellas se destacan sistemas de iluminación LED, sensores inteligentes y puntos de carga de dispositivos móviles. Esto evidencia que la implementación del sistema no busca reemplazar completamente las fuentes energéticas convencionales, sino complementar estrategias de eficiencia energética y sostenibilidad institucional.

De igual manera, el análisis del prototipo tridimensional permitió comprender la distribución de los componentes internos necesarios para el funcionamiento de la baldosa piezoeléctrica, facilitando la visualización del sistema y la relación entre los elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos involucrados en la captación y almacenamiento energético. Este aspecto permitió validar técnicamente la propuesta desde un enfoque estructural y funcional.

Por otra parte, el aplicativo web desarrollado, permitió fortalecer el componente tecnológico del proyecto al facilitar la visualización y análisis de los datos recolectados por el sistema piezoeléctrico. La posibilidad de monitorear variables como la cantidad de personas

registradas, el número de pasos y la energía almacenada, contribuye no solo en análisis de resultados, sino que también a la generación de interés por parte de la comunidad universitaria y alternativas de energía renovable.

Adicionalmente, la validación realizada por el experto entrevistado permitió respaldar la viabilidad metodológica y técnica de la propuesta. Las observaciones realizadas evidenciaron que el método matemático utilizado es coherente con los objetivos planteados y que la propuesta posee potencial de aplicación en contextos educativos con alta circulación de personas. Asimismo, las recomendaciones relacionadas con el almacenamiento energético y el diseño estructural del sistema aportarán elementos importantes para el fortalecimiento futuro del proyecto.

Finalmente, los resultados obtenidos permiten concluir que la implementación de baldosas piezoeléctricas en la Universidad EAN representa una propuesta innovadora orientada al aprovechamiento de energías renovables y el fortalecimiento de iniciativas de sostenibilidad institucional. Además del aporte energético, el proyecto posee un componente educativo y de impacto social importante, ya que promueve la conciencia ambiental y evidencia coherencia entre las políticas de sostenibilidad promovidas por la institución y la aplicación de soluciones tecnológicas reales dentro de su entorno universitario.

Propuesta de solución a la problemática

Situación actual

En la actualidad, la humanidad se enfrenta al desafío de fortalecer sus estrategias de sostenibilidad y transición energética mediante implementación de tecnologías innovadoras que permiten reducir el impacto ambiental y promover el uso de energías renovables. Aunque muchas universidades desarrollan campañas relacionadas con responsabilidad ambiental y eficiencia energética en numerosos casos, las iniciativas no se traducen en soluciones tecnológicas visibles dentro de los espacios físicos de las instituciones.

En el caso de la Universidad eran se identificó el alto flujo peatonal en la entrada principal de la institución, registrándose aproximadamente 4000 personas diarias y alcanzando valores cercanos a 6000 personas en jornadas con eventos institucionales. Este comportamiento evidencia la existencia de una fuente de energía mecánica desaprovechada generada continuamente por las pisadas de estudiantes, colaboradores, visitantes y personal tercerizado.

Asimismo, se identificó que actualmente no existe un sistema orientado al aprovechamiento de esta energía residual dentro de la universidad, lo que presenta una oportunidad de innovación en términos de sostenibilidad institucional, transición energética y generación de conciencia ambiental dentro de la comunidad educativa.

Oportunidades identificadas

A partir de los resultados obtenidos durante la investigación, se identificaron diferentes oportunidades asociadas a la implementación de tecnología piezoeléctrica dentro de la institución. En primer lugar, el alto flujo de personas registrador diariamente permite evidenciar condiciones favorables para la instalación de baldosas piezoeléctricas en zonas estratégicas de tránsito peatonal.

De igual manera, la implementación de este sistema permitirá aprovechar la energía mecánica generada por las pisadas para alimentar dispositivos de bajo consumo energético, como sistemas de iluminación LED, sensores inteligentes o carga de dispositivos móviles. Aunque la energía generada no está orientada al abastecimiento total de la infraestructura eléctrica institucional, si presenta una alternativa complementaria alineada con estrategias de sostenibilidad y eficiencia energética.

Otra oportunidad importante identificada corresponde al impacto educativo y social del proyecto. La instalación de baldosas piezoeléctricas dentro del campus universitario podría fomentar el interés de estudiantes y docentes hacia las energías renovables. La innovación tecnológica y el desarrollo sostenible, además, el proyecto fortalecerá la imagen institucional de la

Universidad EAN, evidenciando coherencia entre sus principios de sostenibilidad y la aplicación de soluciones reales orientadas al cuidado ambiental.

Adicionalmente, el desarrollo del aplicativo web permitirá visualizar y analizar en tiempo real los datos relacionados con el flujo peatonal, la cantidad de pisadas registradas y la energía generada por el sistema. Esto facilitará el monitoreo energético y promoverá la participación de la comunidad universitaria, mediante el acceso a información clara y dinámica sobre el impacto del proyecto.

Propuesta de solución.

Como solución a la problemática identificada, se propone la implementación de un sistema de baldosas piezoeléctricas en la entrada principal de la Universidad EAN, orientado al aprovechamiento de energía mecánica generada por el tránsito peatonal. El sistema estaría conformado por aproximadamente 416 baldosas. Es eléctricas de 30 x 30 cm, distribuidas en un espacio aproximado de 5 x 8 metros, ubicado en una de las zonas de mayor circulación dentro de la institución.

El funcionamiento del sistema se basa en la capacidad de los materiales piezoeléctricos para transformar la presión ejercida por las pisadas en energía eléctrica. A partir de los cálculos realizados durante la investigación, se estimó que el flujo diario de personas permitiría generar energía suficiente para alimentar dispositivos de bajo consumo energético dentro de la universidad.

Asimismo, la propuesta contempla la incorporación de sistemas de almacenamiento energético mediante baterías de litio recomendadas durante el proceso de validación técnica, debido a su mayor capacidad de almacenamiento y vida útil. Esto permitirá conservar la energía generada y utilizarla de manera eficiente en aplicaciones específicas dentro del campus universitario.

De igual manera, la propuesta incluye el desarrollo de un aplicativo web orientado al monitoreo y visualización de datos energéticos. Este sistema permitirá mostrar la información

relacionada con la cantidad de personas registradas, las pisadas contabilizadas, la energía generada y los horarios de mayor tránsito peatonal. La integración de esta herramienta tecnológica busca fortalecer el componente educativo y divulgación del proyecto, promoviendo el interés de la comunidad universitaria hacia alternativas sostenibles de generación energética.

Finalmente, la implementación de esta propuesta permitirá a la Universidad EAN fortalecer sus estrategias de sostenibilidad institucional mediante la aplicación de tecnologías innovadoras enfocadas en energías renovables. Además del impacto energético, el proyecto contribuiría al desarrollo de espacios académicos orientados a la investigación, la innovación y la generación de conciencia ambiental dentro de la educación superior.

Discusión

Los resultados obtenidos durante el desarrollo de la investigación permiten evidenciar que la implementación de tecnología piezoeléctrica en instituciones de educación superior constituye una alternativa viable y como estrategia complementaria de transición energética y sostenibilidad institucional. A partir de los datos recopilados sobre el flujo peatonal en la universidad y del análisis energético realizado, fue posible identificar que el tránsito constante de personas dentro de espacios universitarios representa una fuente de energía mecánica que puede ser aprovechado mediante sistemas piezoeléctricos.

Estos hallazgos evidencian que en las instituciones educativas no solo pueden desempeñar un papel importante desde la formación académica y la promoción de la sostenibilidad, sino que también desde la implementación de soluciones tecnológicas reales dentro de sus espacios físicos. En este sentido, la investigación permitió constatar que el aprovechamiento energético de las pisadas, aunque limitado en comparación con otras fuentes renovables como la solar o la eólica. Poseen un valor significativo desde el componente educativo, ambiental y de innovación tecnológica.

Y a partir de ello se constata. Que la viabilidad del proyecto no depende únicamente de la cantidad de energía producida, sino también del impacto que puede generar dentro de la comunidad universitaria. Aunque los resultados de energéticos obtenidos están orientados principalmente al funcionamiento de dispositivos de bajo consumo, el proyecto demuestra que es posible transformar actividades cotidianas como caminar e Asimismo, los resultados obtenidos para en relación con las investigaciones previas encontradas durante la revisión bibliográfica, en las cuales se evidenció que la tecnología piezoeléctrica ha sido implementada principalmente en espacios con la circulación de personas como estaciones de transporte, centros comerciales y espacios públicos. Esto permitió identificar que el éxito de este tipo de sistemas depende directamente de la densidad del flujo peatonal y de la adecuada implementación de las baldosas dentro del entorno de implementación.

De igual manera, el análisis realizado permite identificar que uno de los principales aportes del proyecto corresponde a su enfoque aplicado dentro del contexto universitario colombiano. La mayoría de los antecedentes encontrados se realizarán en países asiáticos o europeos, donde este tipo de tecnologías poseen mayores niveles de implementación. Por ello, en la presente investigación representa una aproximación innovadora orientada al contexto latinoamericano y específicamente al entorno de educación superior en Colombia.

Sin embargo, también se identificaron algunas limitaciones dentro de la investigación. En primer lugar, los cálculos energéticos realizados corresponden a estimaciones basadas en modelos matemáticos y datos promedios del flujo peatonal, por lo que los resultados reales podrían variar dependiendo de factores como el peso de las personas, la frecuencia de las pisadas, la eficiencia de los materiales piezoeléctricos y las condiciones físicas del entorno. Asimismo, el proyecto no contempló la construcción del prototipo funcional a escala real, lo que limita la posibilidad de medir experimentalmente la energía producida por el sistema.

A pesar de estas limitaciones, los resultados permiten concluir que la implementación de baldosas piezoeléctricas en la Universidad EAN representa una propuesta innovadora y coherente con las estrategias de sostenibilidad promovidas actualmente por las instituciones de educación superior. Además de contribuir al aprovechamiento de energías renovables, el proyecto promueve la conciencia ambiental, iniciativa de interés por la innovación tecnológica y fortalecer la relación entre sostenibilidad y transición energética dentro del entorno universitario

Finalmente, es la investigación de abierta la posibilidad de desarrollar futuras líneas de trabajo orientadas a la construcción de prototipos funcionales, la optimización de materiales piezoeléctricos, el análisis económico del sistema y la integración de otras tecnologías Renovables complementarias. De esta manera, el proyecto no sólo aporta resultados académicos, sino también una base para el desarrollo de nuevas propuestas enfocadas en sostenibilidad e innovación energética en Colombia.

Plan de divulgación

La divulgación de los resultados obtenidos en la presente investigación se proyecta más allá del ámbito académico, con el propósito de visibilizar el potencial de la tecnología piezoeléctrica como alternativa de transición energética en instituciones de educación superior. Para ello, se propone desarrollar un artículo científico y una propuesta de presentación institucional orientada a escenarios de innovación y sostenibilidad universitaria.

Como principal producto de divulgación se plantea la elaboración de un artículo científico de enfocado en la habilidad de implementación de baldosas piezoeléctricas en entornos educativos con alto flujo peatonal. Este medio se considera adecuado debido a que permite presentar de manera estructurada la metodología, los cálculos energéticos y el diseño del prototipo y los resultados obtenidos durante la investigación. Asimismo, posibilita la compartir el conocimiento

generado con la comunidad académica y con otros investigadores interesados en energías renovables y de sostenibilidad.

De igual manera se proyecta la socialización del proyecto entre espacios institucionales relacionados con la innovación, sostenibilidad y emprendimiento, como ferias académicas, eventos universitarios o convocatorias internas enfocadas en proyectos de impacto ambiental, esto permitirá fortalecer la visibilidad del proyecto y promover el interés por la implementación de tecnologías sostenibles dentro de la comunidad educativa.

Como apoyo al proceso de divulgación, se utilizará el aplicativo web desarrollado durante la investigación, el cual permitirá mostrar de manera dinámica información relacionada con el flujo peatonal, la cantidad de pasos registrados y la energía generada por el sistema piezoeléctrico. Esta herramienta facilitará la comprensión de resultados y contribuirá a generar mayor interacción con estudiantes, docentes y visitantes interesados en el proyecto.

Para la materialización de esta propuesta se requerirá la organización de los resultados obtenidos, la preparación del manuscrito académico y la consolidación de evidencias gráficas relacionadas con el propio tipo tridimensional y el aplicativo web. Asimismo, será importante contar con acompañamiento institucional por parte de docentes, semilleros de investigación o espacios de innovación de la universidad EAN que permitan fortalecer el alcance de la divulgación.

El cronograma estimado contempla inicialmente la consolidación y revisión del documento académico, seguida por la adaptación del contenido para eventos institucionales y espacios de divulgación tecnológica. Posteriormente se proyecta la publicación y socialización de resultados dentro de nariz académicos relacionados con sostenibilidad e innovación energética.

Finalmente, se espera que el proceso de divulgación contribuya a fortalecer la visibilidad del proyecto, promover el interés por alternativas de generación energética sostenible y evidenciar

la importancia de implementar soluciones tecnológicas innovadoras dentro de las instituciones de educación superior.

Conclusiones

La presente investigación permitió evidenciar que la implementación de tecnología piezoeléctrica en instituciones de educación superior representa una alternativa viable como estrategia complementaria de transición energética y sostenibilidad institucional. A partir del análisis realizado en la Universidad EAN, se identificó que el alto flujo peatonal registrado diariamente en la entrada principal constituye una fuente de energía mecánica aprovechable mediante sistemas piezoeléctricos orientados a la generación de energía de bajo consumo.

Los resultados obtenidos demostraron que, considerando un flujo promedio entre 4.000 y 6.000 personas diarias, es posible generar una cantidad significativa de energía acumulada a partir de las pisadas realizadas sobre las baldosas piezoeléctricas. Aunque esta energía no está orientada al abastecimiento de sistemas eléctricos a gran escala, si resulta funcional para alimentar dispositivos de bajo consumo energético. Esto permite concluir que la tecnología práctica puede ser utilizada como complemento dentro de las estrategias institucionales de eficiencia energética.

Asimismo, la revisión bibliográfica realizada permitió identificar que este tipo de tecnologías ha sido implementado principalmente en países con altos niveles de desarrollo tecnológico, especialmente en espacios públicos y zonas de alto tránsito peatonal. En este sentido, el proyecto aporta una aproximación innovadora dentro del contexto universitario, colombiano y latinoamericano, evidenciando que las instituciones educativas pueden convertirse en espacios de experimentación y aplicaciones soluciones sostenibles basadas en energías renovables.

De igual manera, el desarrollo del prototipo tridimensional y del aplicativo web fortaleció el componente tecnológico y educativo de la investigación. El prototipo permitió comprender la estructura y funcionamiento interno del sistema piezoeléctrico, mientras que la aplicativo facilitó la visualización y análisis de los datos obtenidos. Estos elementos contribuyen no sólo análisis

técnico del proyecto, sino también a la generación de interés y conciencia en venta dentro de la comunidad universitaria.

Por otra parte, la validación realizada por el experto en energías renovables permitió coherencia metodológica y técnica del proyecto, así como la habilidad de la propuesta en entornos educativos con alto flujo peatonal. Las recomendaciones obtenidas durante el proceso de validación evidenciaron oportunidades de mejoras relacionadas con el almacenamiento energético, la optimización del diseño estructural y la presentación de resultados en unidades energéticas estándar.

Sin embargo, la investigación también presentó algunas limitaciones. Los resultados energéticos obtenidos corresponden a estimaciones matemáticas basadas en datos promedio del tránsito peatonal, por lo que, a factores como la eficiencia real de los materiales piezoeléctricos, el peso de los usuarios o las condiciones físicas del entorno podrían modificar el rendimiento energético del sistema. Asimismo, no se desarrolla un prototipo funcional a escala real, lo que limita la validación experimental de los cálculos realizados.

Finalmente, se concluye, implementación de baldosas Piezoeléctricas en la Universidad EAN no sólo representa una propuesta técnicamente viable, sino también una oportunidad para fortalecer la sostenibilidad institucional, promover la innovación tecnológica y generar ciencia sobre el aprovechamiento de energías renovables dentro de los espacios educativos. Además, el proyecto deja abierta la posibilidad de desarrollar futuras instalaciones orientadas a la optimización de materiales, construcción de prototipos funcionales y ampliación de aplicaciones energéticas entre el contexto universitario.

Referencias bibliográficas

- Anton, S. R., & Sodano, H. A. (2007). A review of power harvesting using piezoelectric materials (2003–2006). *Smart Materials and Structures*, 16(3), R1.
<https://doi.org/10.1088/0964-1726/16/3/R01>
- Calderón, A., Ortega, S., & Moreno, I. (2021). Diseño y desarrollo de simulador de un sistema de almacenamiento de energía mediante sensores piezoeléctricos. *Revista de Iniciación Científica*, 7, 44–51. <https://doi.org/10.33412/REV-RIC.V7.0.3250>
- Cecchini, C., Magrini, A., & Gobbi, L. (2019). A 3d platform for energy data visualization of building assets. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 296(1).
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/296/1/012035>
- Consumo y producción sostenibles - Desarrollo Sostenible*. (n.d.). Retrieved March 3, 2026, from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>
- Covaci, C., & Gontean, A. (2020). Piezoelectric energy harvesting solutions: A review. *Sensors (Switzerland)*, 20(12), 1–37. <https://doi.org/10.3390/s20123512>
- Energía - Desarrollo Sostenible*. (n.d.). Retrieved March 3, 2026, from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>
- Gerencia Estratégica-2024*. (n.d.).
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. D. P. (2014). Metodología de la investigación. *Metodología de La Investigación*, 1–634.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=775008&info=resumen&idioma=SPA>
- Lopes, C. M. A., & Gallo, C. A. (2014). A review of piezoelectrical energy harvesting and applications. *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, 1284–1288.
<https://doi.org/10.1109/ISIE.2014.6864799>

Mirani, A. A., Awasthi, A., O'Mahony, N., & Walsh, J. (2024). Industrial IoT-Based Energy Monitoring System: Using Data Processing at Edge. *Internet of Things*, 5(4), 608–633. <https://doi.org/10.3390/iot5040027>

Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible. (n.d.). Retrieved March 3, 2026, from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>

Pardo Farías, E. A., Corrales Bonilla, J. I., & Pazuña Naranjo, W. P. (2024). Análisis de tecnologías de almacenamiento de energía para mejorar la gestión de energía renovable. *Polo Del Conocimiento*, 9(7), 1425–1439. <https://doi.org/10.23857/PC.V9I7.7574>

Selim, K. K., Smaili, I. H., Yehia, H. M., Ahmed, M. M. R., & Saleeb, D. A. (2024). Piezoelectric Sensors Pressed by Human Footsteps for Energy Harvesting. *Energies*, 17(10). <https://doi.org/10.3390/en17102297>