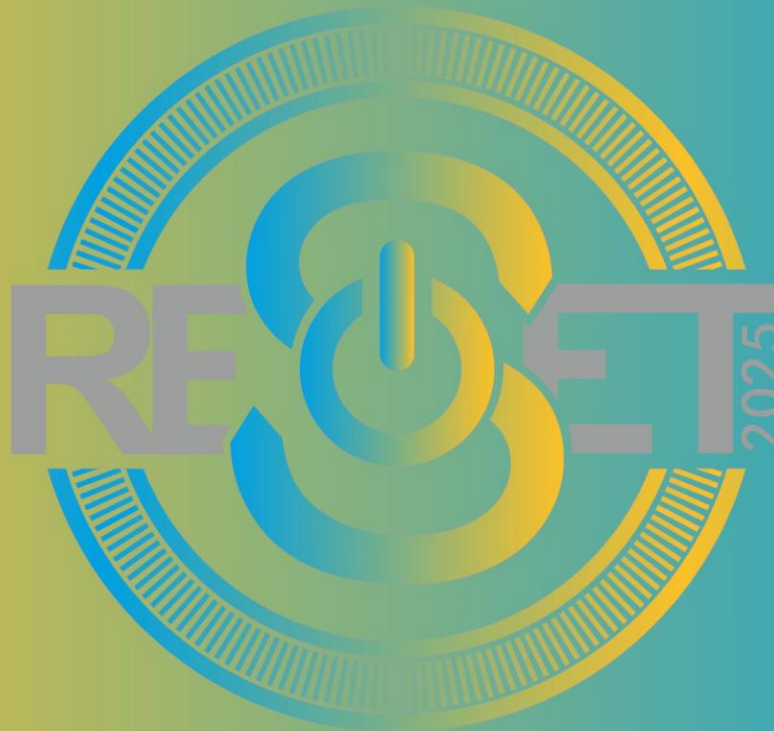


Conference proceedings
I International Congress



**Rethinking Energy for
Sustainability, Equity, and Transition**

Repensando la Energía para la
Sostenibilidad, Equidad y Transición

Repensando a Energia para a
Sustentabilidade, a Equidade e a Transição

Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá, 22nd - 23rd October 2025

CONFERENCE PROCEEDINGS LIBRO DE MEMORIAS ATAS DO CONGRESSO

**RETHINKING ENERGY
FOR SUSTAINABILITY,
EQUITY, AND
TRANSITION**

International Congress,
Scientific and Professional
Meetings

**REPENSANDO LA
ENERGÍA PARA LA
SOSTENIBILIDAD,
EQUIDAD Y
TRANSICIÓN**

Congreso Internacional,
Reuniones Científicas Y
Profesional

**REPENSANDO A
ENERGIA PARA A
SUSTENTABILIDADE,
A EQUIDADE E A
TRANSIÇÃO**

Congresso Internacional,
Reuniões Científicas e
Profissionais

22–23 October 2025Panamá City

EDITORS

DR. ALEXIS PÉREZ FARGALLO
Universidad de San Sebastián, Chile
DR. MARIO A. JIMENEZ TORRES
Universidad Autónoma de Campeche, México
DRA. (C) VALESKA CERDA FUENTES
Universidad del Bío Bio, Chile
DR. FÉLIX HENRÍQUEZ ESPINOSA
Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá
DRA. DAFNI MORA
Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá
DRA. SUSANA CLAVIJO NÚÑEZ
Universidad de La Laguna, España

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, whether electronic or mechanical, including photocopying, recording, or any information storage and retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

ISBN 978-84-15413-78-3

© 2022 Red Iberoamericana de Pobreza Energética y Bienestar Ambiental
Internet: www.cytod.org/es/ripeba

Attribution — You must give appropriate credit; cite the work as follows:
Surname, Initial(s). (Year). Title of the abstract. In Editor name(s) (Ed.), Title of the proceedings book (p. xx). Name of the organization or publisher.

SPONSORS · PATROCINADORES



COLLABORATORS · COLABORADORES





I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

COMITÉ ORGANIZADOR

Dra. Emanuela Giancola	Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, España
Dr. Félix Henríquez	Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá
Dr. Mario A. Jiménez Torres	Universidad Autónoma de Campeche, México
Dra. Dafni Mora	Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá
Dr. Alexis Pérez Fargallo	Universidad de San Sebastián, Chile

COMITÉ CIENTÍFICO

Dr. Bassam Ali	Universidad Autónoma de Yucatán, México
Dr. (C) Salomé Bessa	Nova School of Science and Technology of Nova University of Lisbon, Portugal
Dr. José David Bienvenido Huertas	Universidad de Granada, España
Dr. Àlex Boso	Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, España
Dr. Juan Cabrera	Universidad Privada Bolivariana, Bolivia
Dra.(C). Valeska Cerda Fuentes	Universidad del Bio-Bio, Chile
Dr. Miguel Condorí	Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional, Argentina
Dra. Teresa Cuervo Vilches	Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja- CSIC, España
Dr. Bruno Damián Arballo	Universidad Nacional de San Juan, Argentina
Dra. Yanelys Delgado Triana	Universidad Central "MARTA Abreu" de las Villas, Chile
Dra. Evelyn Delgado	Universidad de Sevilla, España
Dr. Rodrigo Javier Durán	Universidad Nacional de Salta – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina
Dr. Ernesto Fariñas Wong	Universidad Central "MARTA Abreu" de las Villas, Cuba
Dr. José Antonio Ferrer Tévar	Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, España
Dra. Dania González Couret	Universidad Tecnológica de la Habana, Cuba
Dr. Joao Pedro Gouveia	Nova School of Science and Technology of Nova University of Lisbon, Portugal
Dr. José Ignacio Huertas	Tecnológico de Monterrey, México
Dra. Maribel Jaimes Torres	Universidad Nacional Autónoma de México, México
Dra. Judit Lisoni	Universidad Austral de Chile, Chile
Mag. Javiera Leighton	Universidad San Sebastián, Chile
Dr. Oscar de Jesús May Tzuc	Universidad Autónoma de Campeche, México
Dra. Julia Judith Mundo Hernández	Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México
Dr. Cristian Muñoz	Universidad del Bio-Bio, Chile
Dr. Luis Manuel Navas	Universidad de Valladolid, España
Dr. Pedro Palma	Nova School of Science and Technology of Nova University of Lisbon, Portugal
Mag. Arq. Lucia Pereira Ruchansky	POIIUFADU-UdelaR, Uruguay



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

Dr. Fausto Posso Rivera	Universidad de Santander, Colombia
Dr. Quelbis Quintero	Universidad de Sucre, Colombia
Dr. Rodrigo Ramírez Pisco	Universitat Carlemany, Andorra
Dra. Carolina Rodríguez	Universidad Piloto de Colombia, Colombia
Dra. Silvia Soutullo Castro	Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, España
Dr. Álvaro Ruiz Pardo	Universidad de Cádiz, España
Dr. Antonio Serrano Jiménez	Universidad de Granada, España
Dr. Jaime Soto Muñoz	Universidad del Bio-Bio, Chile
Dra. Silvia Román Suero	Universidad de Extremadura, España
Dr. Rasikh Tariq	Tecnológico de Monterrey, México
Dra. Marta Torres González	Universidad de Sevilla, España
Dra. Maureen Trebilcock	Universidad del Bio-Bio, Chile
Dra. Claudia Eréndira Vázquez	Universidad Autónoma de Yucatán, México

COMITÉ REVISOR

Dr. José David Bienvenido Huertas	Universidad de Granada, España
Dr. Román Alejandro Canul Turriza	Universidad Autónoma de Campeche, México
Dra.(C). Valeska Cerda Fuentes	Universidad del Bio-Bio, Chile
Dr. Bruno Damián Arballo	Universidad Nacional de San Juan, Argentina
Dr. Rodrigo Javier Durán	Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO), Argentina
Dr. José Antonio Ferrer	Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, España
Dr. Joao Pedro Gouveia	Nova School of Science and Technology of Nova University of Lisbon, Portugal
Dr. Mario A. Jiménez Torres	Universidad Autónoma de Campeche, México
Dr. Oscar de Jesús May Tzuc	Universidad Autónoma de Campeche, México
Dra. Julia Judith Mundo Hernández	Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México
Dr. Cristian Muñoz	Universidad del Bio-Bio, Chile
Mag. Arq. Lucia Pereira Ruchansky	POIIUFADU-UdelaR, Uruguay
Dr. Alexis Pérez Fargallo	Universidad de San Sebastián, Chile
Dr. Rodrigo Ramírez Pisco	Universitat Carlemany, Andorra
Dr. Álvaro Ruiz Pardo	Universidad de Cádiz, España
Dra. Marta Torres González	Universidad de Sevilla, España



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

AGRADECIMIENTOS

El Comité Organizador del I International Congress RESET: Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition agradece profundamente a la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP) por acoger este encuentro en la Ciudad de Panamá, los días 22 y 23 de octubre de 2025, y por brindar el respaldo institucional y logístico que hizo posible su realización.

Extendemos un reconocimiento especial a la Red Iberoamericana de Pobreza Energética y Bienestar Ambiental (RIPEBA) y a Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED) por impulsar este espacio de diálogo académico y profesional, orientado a fortalecer la justicia energética, el bienestar ambiental y la construcción de evidencias para la toma de decisiones.

Agradecemos de manera particular a quienes integraron el Comité Organizador por su liderazgo, coordinación y dedicación sostenida en cada etapa del proceso: Dra. Emanuela Giancola, Dr. Félix Henríquez, Dr. Mario A. Jiménez Torres, Dra. Dafni Mora y Dr. Alexis Pérez Fargallo.

Asimismo, expresamos nuestra gratitud al Comité Científico y al Comité Revisor, cuyo trabajo riguroso garantizó la calidad académica de las contribuciones reunidas en este libro de memorias, fortaleciendo la coherencia y el estándar técnico de los trabajos presentados.

Agradecemos a las y los autores por confiar sus investigaciones a este congreso, y por aportar perspectivas diversas sobre transición energética, sostenibilidad, equidad, confort, calidad del aire, resiliencia y bienestar; contenidos que nutren una conversación necesaria y urgente en Iberoamérica.

Reconocemos también a todas las personas asistentes—académicos, profesionales, estudiantes y público interesado—y, de manera muy especial, a quienes viajaron desde Argentina, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, España, Panamá, Portugal, Uruguay y México, aportando pluralidad de miradas y experiencias que enriquecieron el encuentro.

Nuestro agradecimiento se extiende a las instituciones patrocinadoras y colaboradoras, cuyo apoyo contribuyó al desarrollo de las actividades científicas y de intercambio; así como a los equipos técnicos y administrativos que respaldaron la organización, comunicaciones, registro, soporte audiovisual y operación general del evento.

Finalmente, agradecemos al equipo editorial responsable de esta publicación—Dr. Alexis Pérez Fargallo, Dr. Mario A. Jiménez Torres, Dra. (C) Valeska Cerda Fuentes, Dr. Félix Henríquez Espinosa, Dra. Dafni Mora y Dra. Susana Clavijo Núñez—por su compromiso con la compilación y el cuidado de estas memorias, que aspiran a servir como referencia y punto de partida para nuevas colaboraciones y acciones transformadoras.

Comité Organizador del I International Congress RESET



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

PRÓLOGO

Las transformaciones energéticas que el mundo enfrenta hoy no pueden comprenderse únicamente como un cambio tecnológico de fuentes y vectores. La transición energética es, ante todo, un proceso social que afecta a nuestra vida cotidiana, salud, bienestar y oportunidades. En este contexto, resulta imprescindible repensar la energía desde una perspectiva que integre sostenibilidad, equidad y transición, tal como propone el I International Congress RESET, celebrado en la Universidad Tecnológica de Panamá, en la Ciudad de Panamá, los días 22 y 23 de octubre de 2025.

Este congreso se ha desarrollado en una coyuntura histórica marcada por la urgencia de avanzar hacia energías más limpias, pero también por la evidencia creciente de la vulnerabilidad de los sistemas energéticos ante crisis sanitarias, geopolíticas y climáticas globales que impactan con mayor fuerza a los hogares y territorios más vulnerables. En consecuencia, garantizar el acceso a servicios energéticos adecuados y asequibles debe entenderse como una condición habilitante para la justicia social y el desarrollo sostenible.

RESET se enmarca en el impulso y el trabajo de la Red Iberoamericana de Pobreza Energética y Bienestar Ambiental (RIPEBA), cuyo objetivo central es contribuir al estudio, evaluación y generación de indicadores, así como al desarrollo de estrategias de diseño y construcción sostenible que permitan reducir la pobreza energética y mejorar el bienestar ambiental. Desde esa misión, este encuentro reúne voces diversas para avanzar en soluciones aplicables y contextualizadas, capaces de dialogar con las realidades locales de nuestros países y comunidades.

Las jornadas de RESET se articularon en torno a cuatro propósitos fundamentales: contribuir a la justicia energética; discutir la importancia del confort y la calidad del aire como elementos clave para mejorar la habitabilidad; promover soluciones sostenibles y resilientes para reducir los efectos de la pobreza energética; y fomentar el intercambio de conocimientos y experiencias. Esta combinación de objetivos refleja nuestra convicción de que una transición energética exitosa debe incorporar la dimensión humana del habitar.

El libro de memorias que el lector tiene en sus manos es testimonio de esa convicción. Las contribuciones aquí reunidas abordan desafíos contemporáneos con enfoques metodológicos variados y con un énfasis claro en el impacto. En él se abordan desde análisis e indicadores para caracterizar vulnerabilidades, hasta propuestas de innovación tecnológica, estrategias de adaptación climática, y reflexiones sobre políticas públicas y planificación. En conjunto, el volumen muestra que la transición energética requiere integrar ciencia, técnica, gobernanza y participación social.

Del mismo modo, estas memorias dan cuenta del valor de la colaboración iberoamericana. La participación de investigadores, profesionales y estudiantes provenientes de múltiples países refuerza una idea esencial: los desafíos energéticos y ambientales no reconocen fronteras, pero sus soluciones deben construirse con sensibilidad territorial, comprensión cultural y cooperación entre disciplinas e instituciones. Invitamos, por tanto, a explorar la diversidad de conocimientos y perspectivas que ofrece esta obra.

Ciudad de Panamá, octubre de 2025.
Dr. Alexis Pérez Fargallo



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	V
PRÓLOGO	VI
TRANSICIÓN ENERGÉTICA, JUSTA Y ACCESIBLE	1
VALIDACIÓN DE MODELOS DE ELECTRÓLISIS PARA LA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO VERDE COMO ALTERNATIVA AL USO DE LEÑA EN ZONAS RURALES DE LA GUAJIRA, COLOMBIA <i>Ditta Granados, Julieth; Serrano-Florez, Darío; Bastidas-Barranco, Marlon; Ditta Granados, Jhon</i>	<i>2</i>
POBREZA ENERGÉTICA Y VULNERABILIDAD TÉRMICA EN VIVIENDAS CON APOYO PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD INTELECTUAL EN CHILE <i>Exss, Katherine; Cerda-Fuentes, Valeska</i>	<i>4</i>
INNOVACIÓN EN ENERGÍA SOCIAL PARA UNA TRANSICIÓN JUSTA: MAPEO Y CO-CREACIÓN DE POLÍTICAS EN ZONAS RURALES DEL SUR DE EUROPA <i>Gouveia, João Pedro ; Lopes, Rita; Mahoney, Katherine ; Castro, Carolina</i>	<i>6</i>
¿ENERGÍA SOLAR PARA QUIÉN? EQUIDAD, CONFORT Y LÍMITES DE LA DESCENTRALIZACIÓN RENOVABLE EN COSTA RICA <i>Vargas-Soto, Emily</i>	<i>8</i>
GENERACIÓN DE UN MODELO MULTICRITERIO DE PRIORIZACIÓN DE INSTITUCIONES EDUCATIVAS PARA LA INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AISLADOS <i>Chasi, Carolina ; Jijón, Diego*; Constante, Jessica; Vallejo, Catalina</i>	<i>10</i>
PERCEPCIÓN SOCIAL Y CALIDAD DEL AIRE: REALIDADES Y DESAFÍOS EN COMUNIDADES INDÍGENAS MAYAS DE MÉXICO <i>Vázquez-Torres, Claudia Eréndira; Sotelo Salas, Cristina; Cuerdo Vilches, Teresa; Ali, Bassam</i>	<i>12</i>
MODELADO DE LA PRODUCCIÓN DE DIÉSEL RENOVABLE MEDIANTE HIDROTRATAMIENTO CON HIDRÓGENO VERDE PARA LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA JUSTA EN ZONAS RURALES <i>Herrera, José; Lagos, Adriana; Serrano, Dario; Bastidas, Marlon</i>	<i>14</i>
ENERGÍA Y RESILIENCIA FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO	16
INTEGRACIÓN DE VARIABLES CLIMATOLÓGICAS EN EL DISEÑO DEL LANDSCAPE URBANO EN CAMPECHE <i>Canul Turriza, Román; May Tzuc, Oscar; Jiménez Torres, Mario; Turriza Mena, Roselia</i>	<i>17</i>
RESILIENCIA TÉRMICA FRENTE A OLAS DE CALOR EN EDIFICIOS <i>Escudero, Camila; Flores-Larsen, Silvana; Bre, Facundo</i>	<i>19</i>
CARACTERIZACIÓN DEL SOBRECALENTAMIENTO DURANTE OLAS DE CALOR EN DEPARTAMENTOS MULTIFAMILIARES DE SALTA, ARGENTINA <i>Flores Larsen, Silvana; Bre, Facundo; Filippín, Celina</i>	<i>21</i>
INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA A LA EVALUACIÓN DE CALIDAD DEL AIRE EN VIVIENDAS DEL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE MÉRIDA, MÉXICO <i>Hernandez Bautista, Anthony Jair; Vázquez Torres, Claudia Eréndira; Henríquez, Félix; Ali, Bassam</i>	<i>23</i>
INNOVACIÓN TECNOLÓGICA Y OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA	25



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

INNOVACIÓN EN AEROGENERADORES VERTICALES: OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA Y ESCALABILIDAD PARA UN DESARROLLO SOSTENIBLE

Fariñas Wong, Ernesto Yoel; Jaureguí Rigó, Sergio; Peláez Cervera, Alían 26

OPTIMIZACIÓN DEL MICROCLIMA INTERIOR DE UN EDIFICIO HISTÓRICO DE SALTA: MUSEO CASA ARIAS RENGEL28

Gea Salím, Camila; Flores Larsen, Silvana; Hongn, Marcos; González, Silvina 28

MODELOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE Y ENERGÍAS RENOVABLES 30

MODELADO PREDICTIVO DE LA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO EN CELDAS MICROTUBULARES DE ÓXIDO SÓLIDO

Castillo, Jesús; James, Arthur; Morales-Zapata, Miguel Ángel 31

SOLUCIONES INNOVADORAS DE CAPTURA DE CO₂ Y COSTOS EN INDUSTRIAS CLAVE

Morales-Zapata, Miguel Ángel..... 34

SALUD, BIENESTAR Y EQUIDAD ENERGÉTICA 37

ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIAS MÚLTIPLES PARA EL ESTUDIO DE LA POBREZA ENERGÉTICA BASADA EN LA SALUD AMBIENTAL EN HOGARES CHILENOS

Cerda-Fuentes, Valeska; Pérez-Fargallo, Alexis 38

EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL Y CONFORT TÉRMICO EXTERIOR EN PANAMÁ: IMPLICACIONES PARA LA PLANIFICACIÓN URBANA SOSTENIBLE

Chen Austin, Miguel; Mora, Dafni 40

APROXIMACIÓN A LA POBREZA ENERGÉTICA EN TERRITORIOS MEDITERRÁNEOS BAJO EL ENFOQUE DE LA TRANSICIÓN JUSTA

Clavijo Núñez, Susana 43

VEO – LO QUE NO SE VE: METODOLOGÍA MULTIVARIABLE PARA EVALUAR POBREZA ENERGÉTICA EN ENTORNOS URBANOS

Rodríguez, Carolina; Chorak, Aicha; Ángeles, Liliana; Valverde, Andrés; Castro, Alexander; Ahachad, Mohammed; Galindo, Eduardo 45

JUVENTUD UNIVERSITARIA ENERGÉTICAMENTE VULNERABLE: UN ANÁLISIS EXPLORATORIO DEL CASO MEXICANO

Cuerdo-Vilches, T.; Navas-Martín, M. A.; García-Casillas, E. M.; Vázquez-Torres, C. E.; Jaimes Torres, M.; Pérez Báez, M.; Gouveia, J. P. 48

CALIDAD AMBIENTAL DEL ESPACIO DE TELETRABAJO DOMÉSTICO EN ESPAÑA: UN ESTUDIO REPRESENTATIVO A NIVEL NACIONAL

Cuerdo-Vilches, T.; Romero, A.; Carrascal, T.; Casla, B.; Linares, P.; García-Ortega, S.; Larrumbide, E.; Queipo-de-Llano, J.; Frías-López, E.; Navas-Martín, M. A. 50

IMPLEMENTACIÓN DE IoT PARA EL ANÁLISIS DE CONTAMINANTES AMBIENTALES EN LA SALUBRIDAD AMBIENTAL, EN SAN FRANCISCO DE CAMPECHE, MÉXICO.

Dzib Can, Crystal Isabel; May Tzuc, Oscar de Jesús; Rodríguez Pérez, Manuel;..... 52

Jiménez Torres, Mario Antonio 52

DEL AULA AL MODELO: SIMULACIÓN CFD CALIBRADA CON DATOS REALES PARA OPTIMIZAR LA VENTILACIÓN EN ESCUELAS



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

<i>Escorcia Ariza, David; Trebilcock Kelly, Maureen; León Rodríguez, Ángel</i>	54
¿CONFORT PARA QUIEN? ANALISIS DE NORMATIVAS DE CONSTRUCCIÓN EN DOS CIUDADES MEXICANAS: CDMX Y CAMPECHE	
<i>May Tzuc, Oscar; Canul Turriza, Román Alejandro; Jiménez Torres, Mario; Cantún May, Antonio José</i>	56
SEGURIDAD ENERGÉTICA EN LA VIVIENDA-FÁBRICA DE LADRILLOS EN PUEBLA, MÉXICO	
<i>Mundo-Hernández, Julia Judith; Santiago Azpiazu, Gloria Carola; Rodríguez López, María Fernanda</i>	58
POBREZA ENERGÉTICA EN EUROPA: PERFILES SOCIOECONÓMICOS E INDICADORES DE UN PANEL DE PAÍSES DE LA UE	
<i>Egaña Marín, Álvaro; Romero, José Carlos; Barrella, Roberto</i>	61
EXPLORANDO LOS LÍMITES DE LA VENTILACIÓN NATURAL: EVIDENCIAS DESDE CHILE	
<i>Trebilcock, Maureen; Soto-Muñoz, Jaime; Neira, Karina</i>	63
INDICADORES PARA LA SOSTENIBILIDAD Y LA EQUIDAD ENERGÉTICA	65
POBREZA ENERGÉTICA EN EL SURESTE DE MÉXICO: VARIABILIDAD DEL CONFORT TÉRMICO DESDE UN ENFOQUE DE CONFORT ADAPTATIVO Y VULNERABILIDAD POR INGRESO	
<i>Jiménez Torres, Mario; May Tzuc, Oscar; Canul Turriza, Román; Herrera, José Israel; Pérez-Fargallo Alexis</i>	66
MEDICIÓN DE LA POBREZA ENERGÉTICA EN PORTUGAL CON MICRODATOS DE ENCUESTAS NACIONALES	
<i>Palma, Pedro; Angeletopoulou; Angeliki; Kostakis, Ioannis; Cann, Yuna; Gouveia, João Pedro</i>	68
EVALUACIÓN DE FIABILIDAD DE ARCHIVOS CLIMÁTICOS HORARIOS DE DATOS SINTÉTICOS EN COSTA RICA	
<i>Rodríguez-Arias, Priscila; Porras-Salazar, Jose Ali</i>	70
MONITOREO AMBIENTAL INTELIGENTE EN MÉRIDA: IDENTIFICACIÓN DE ZONAS URBANAS CLAVE PARA UNA GESTIÓN ESTRATÉGICA Y SOSTENIBLE	
<i>Vázquez-Torres, Claudia Eréndira; Quijano Cetina, Renán Gabriel; Castillo Atoche, Alejandro; Grajeda-Rosado, Ruth María</i>	72
ZONIFICACIONES SOCIO-ENERGÉTICAS PARA LA DEFINICIÓN DE ESTÁNDARES PARA ABORDAR LA POBREZA ENERGÉTICA	
<i>Pérez Fargallo, Alexis; Clavijo Núñez, Susana; Bienvenido Huertas, David; Serrano Jiménez, Antonio</i>	74
UNA VISIÓN GENERAL DE LA POBREZA ENERGÉTICA EN COMUNIDADES RURALES DE PANAMÁ	
<i>Velásquez, Aldrix; Henríquez, Félix; Mogollón, Luis; Villarreal Nicole; Mora, Dafni</i>	76



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

TRANSICIÓN ENERGÉTICA, JUSTA Y ACCESIBLE

Este eje aborda los desafíos y oportunidades en la transformación de los sistemas energéticos hacia modelos más sostenibles, con un enfoque en el acceso equitativo para todos los sectores sociales. Se invita a presentar investigaciones relacionadas con políticas públicas, marcos regulatorios y estrategias de transición energética, con especial atención a aquellas orientadas a beneficiar a comunidades vulnerables. También se valorarán trabajos que consideren el rol de la edificación en esta transición, tanto desde su planificación como desde su implementación a nivel urbano y rural.



VALIDACIÓN DE MODELOS DE ELECTRÓLISIS PARA LA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO VERDE COMO ALTERNATIVA AL USO DE LEÑA EN ZONAS RURALES DE LA GUAJIRA, COLOMBIA

VALIDATION OF ELECTROLYSIS MODELS FOR GREEN HYDROGEN PRODUCTION AS AN ALTERNATIVE TO FIREWOOD USE IN RURAL AREAS OF LA GUAJIRA, COLOMBIA

Ditta Granados, Julieth ^{(1)*}; Serrano-Florez, Darío ⁽¹⁾; Bastidas-Barranco, Marlon ⁽¹⁾; Ditta Granados, Jhon ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universidad de La Guajira, Grupo de Investigación DESTACAR, Colombia

*dserrano@uniguajira.edu.co

INTRODUCCIÓN

La Guajira, reconocida por su alto potencial en fuentes renovables como la energía solar y eólica, ofrece una oportunidad estratégica para impulsar soluciones energéticas sostenibles en zonas rurales y aisladas [1]. En este contexto, el presente trabajo se enfoca en la validación de modelos de producción de hidrógeno verde mediante electrólisis, utilizando un electrolizador comercial instalado en la Universidad de La Guajira y alimentado por estas fuentes renovables locales. A través de esta investigación se busca determinar la cantidad de hidrógeno que puede generarse a partir de una microplanta eólico-solar ubicada en dicha universidad, con el fin de evaluar su viabilidad y replicabilidad en comunidades indígenas que no cuentan con acceso a redes de gas natural ni al Sistema Interconectado Nacional. Para validar los modelos matemáticos propuestos frente a los datos experimentales obtenidos, se realizó un análisis estadístico que incluyó el coeficiente de determinación (R^2) y el error cuadrático medio (MSE), permitiendo establecer el grado de precisión y confiabilidad de las simulaciones. De esta forma, se plantea el uso del hidrógeno como sustituto de la leña tradicionalmente utilizada para cocinar, contribuyendo así a mejorar las condiciones de vida, reducir impactos en la salud y avanzar hacia una transición energética justa e inclusiva.

METODOLOGÍA

Este estudio se estructuró en tres fases para validar los modelos matemáticos del proceso de electrólisis en un sistema PtG. (1) *Identificación de los modelos*: Se escogieron tres modelos matemáticos existentes en la literatura sobre la producción de hidrógeno verde (H_2) a partir de electrólisis. (2) *Análisis de modelos*: Se estudiaron tres modelos matemáticos propuestos por los autores [2], los autores [3] y los autores [4]. En los modelos se evaluó: producción de H_2 vs potencia eléctrica, producción de H_2 vs eficiencia y potencia eléctrica vs eficiencia. (3) *Validación experimental y comparación*: Los modelos fueron validados con datos experimentales obtenidos del electrolizador tipo AEM de la planta PtG en la Universidad de La Guajira.

RESULTADOS

Los modelos 2 y 3 mostraron una tendencia similar a los datos experimentales en términos de producción de hidrógeno y eficiencia del electrolizador (Figs. 1–3). Aunque visualmente el Modelo 3 se ajusta mejor, el análisis estadístico con R^2 y MSE indicó que el Modelo 2; para la producción de H_2 versus potencia eléctrica, presenta una mayor precisión global, destacándose como el más confiable para representar el comportamiento real del sistema bajo condiciones de operación con fuentes renovables.

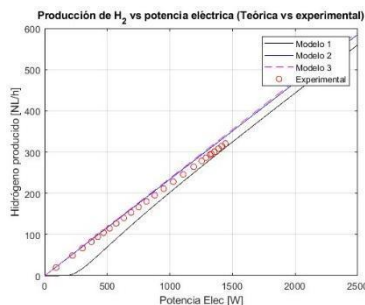


Fig. 1. Producción de H_2 versus potencia eléctrica

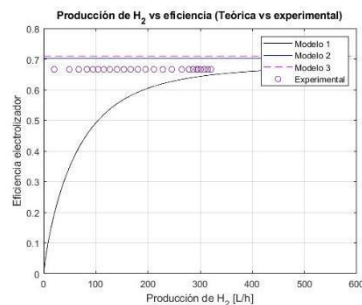


Fig. 2. Producción de H_2 versus eficiencia

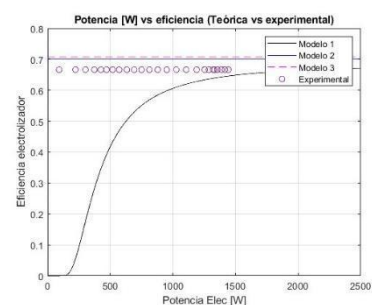


Fig. 3. Potencia eléctrica versus eficiencia.



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

Tabla 1: Errores de ajuste para la Producción de H₂ versus potencia eléctrica.

Error	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
MSE	835.9485	130.0476	187.3681
R ²	0.9023	0.9848	0.9781

CONCLUSIONES

La validación de modelos matemáticos de electrólisis alimentados por una microplanta eólico-solar permitió determinar con precisión la producción de hidrógeno verde en condiciones reales del departamento de La Guajira. Los resultados confirman que el Modelo 2 ofrece la mejor correlación con los datos experimentales, lo que lo convierte en una herramienta confiable para dimensionar sistemas Power-to-Gas adaptados a zonas rurales. Esta capacidad de generación local de hidrógeno verde representa una alternativa viable para sustituir el uso de leña en cocinas tradicionales de comunidades indígenas, contribuyendo a mejorar la calidad de vida, reducir riesgos en salud y avanzar hacia una transición energética justa, sostenible y contextualizada.

REFERENCIAS

- [1] Poncelas Villabrille, V. (2022). Conversión De Electricidad En Gas: Análisis Y Aplicaciones (Power to Gas).
- [2] Castañeda, M., Cano, A., Jurado, F., Sánchez, H., & Fernández, L. M. (2013). Sizing optimization, dynamic modeling and energy management strategies of a stand-alone PV/hydrogen/battery-based hybrid system. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(10), 3830-3845.
- [3] R. Rangel, Promigas S. A. E. S. P. (2023). Modelación de un sistema de producción e inyección de hidrógeno verde en redes de transporte de gas natural para evaluar el impacto de la dinámica del sistema en la operación de promigas.
- [4] Li, C., Zhu, X., Cao, G., Sui, S., & Hu, M. (2009). Dynamic modeling and sizing optimization of stand-alone photovoltaic power systems using hybrid energy storage technology. *Renewable Energy*, 34(3), 815-826.



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

POBREZA ENERGÉTICA Y VULNERABILIDAD TÉRMICA EN VIVIENDAS CON APOYO PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD INTELECTUAL EN CHILE

ENERGY POVERTY AND THERMAL VULNERABILITY IN SUPPORTED HOUSING FOR PEOPLE WITH INTELLECTUAL DISABILITIES IN CHILE

Exss, Katherine ⁽¹⁾⁽²⁾; Cerda-Fuentes, Valeska ⁽³⁾

(1) Escuela de Arquitectura y Diseño, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile

(2) Instituto Milenio para la Investigación del Cuidado (MICARE), Chile

(3) Universidad del Bío Bío, Chile

*kexss@ead.cl

INTRODUCCIÓN

La pobreza energética (PE) se refiere a la incapacidad de un hogar para satisfacer sus necesidades energéticas básicas de manera segura, eficiente y asequible. Aunque se ha avanzado en la medición y caracterización de la PE en América Latina [1], su relación con la discapacidad, y especialmente con la discapacidad intelectual (DI), ha sido escasamente abordada [2]. Las personas con DI enfrentan barreras estructurales y funcionales que las vuelven más susceptibles a los efectos de la PE, debido a factores fisiológicos, cognitivos y sociales que dificultan su capacidad de adaptación y grado de autonomía en ambientes térmicos extremos [3]. En el contexto chileno, si bien existen marcos normativos sobre eficiencia energética y subsidios habitacionales, estos rara vez integran criterios de accesibilidad o de inclusión de grupos vulnerables [4]. Esta investigación se sitúa en esa intersección crítica entre pobreza energética, discapacidad y derecho a una vivienda saludable.

METODOLOGÍA

Este estudio se realizó en dos viviendas sociales adosadas e idénticas, habitadas por ocho personas con DI que participan del programa “Transición a la Vida Independiente” de Fundación Coanil. Se aplicó una estrategia de investigación inclusiva, con consentimiento informado adaptado, capacitación previa para los participantes y adecuación de instrumentos. El enfoque metodológico combinó; (1) Monitoreo ambiental de temperatura interior mediante sensores (hobo datalogger) instalados en verano e invierno. (2) Monitoreo de temperatura exterior utilizó el servicio visualcrossing.com (3) Cuestionarios adaptados de confort térmico. (4) Entrevistas semiestructuradas a residentes y profesionales de apoyo. (5) Revisión de umbrales críticos de salubridad ambiental y consumo energético. Los indicadores de PE analizados incluyen condiciones de temperatura interior, percepción de confort térmico, tipo y uso de sistemas de calefacción y enfriamiento, y el consumo energético per cápita en relación con los umbrales 2M y M/2 definidos para la zona térmica del estudio, según lo sugerido por la literatura [5].

RESULTADOS

Los resultados mostraron que en invierno las temperaturas interiores descendieron hasta 8,8°C y en verano alcanzaron los 36,7°C, superando los límites definidos para el confort térmico, la salud y el bienestar. Las encuestas de sensación térmica revelaron un alto nivel de incomodidad percibida: sólo un 15,5% declaró sentirse térmicamente neutro en invierno y un 6% en verano. El análisis de consumo energético indica subconsumo en verano y consumo en el límite inferior en invierno. Esto, a pesar del elevado uso de sistemas personales de confort como estufas de gas, calefactor de aire y mantas eléctricas en invierno; y de ventiladores personales y grupales en verano. La evaluación de la vulnerabilidad mostró que siete de los ocho participantes presentan factores fisiológicos que los hacen más susceptibles al calor o al frío (edad avanzada, problemas circulatorios o respiratorios, deterioro cognitivo progresivo).



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

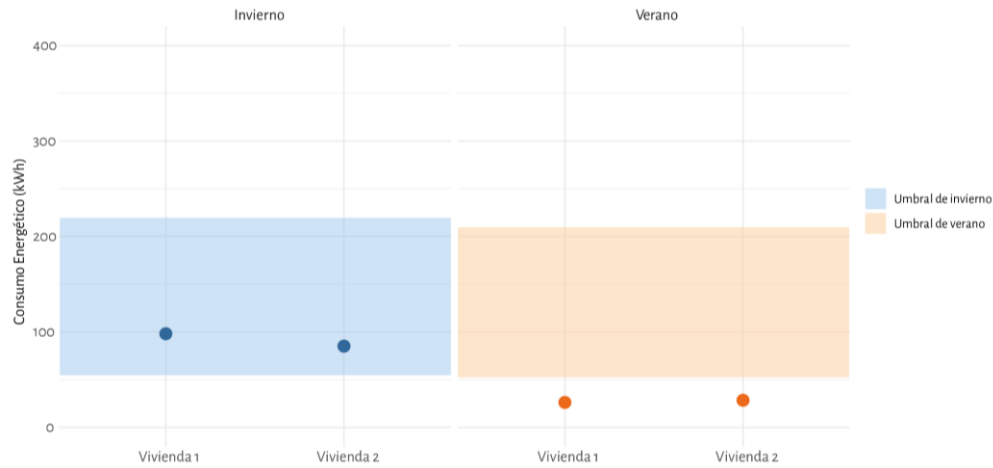


Fig 1. Consumo energético per cápita en invierno y verano, en relación a los umbrales 2M y M/2.

CONCLUSIONES

El cruce con los indicadores de salubridad ambiental permite caracterizar el caso como uno de pobreza energética, ya que se observaron condiciones ambientales de temperatura fuera de los umbrales de referencia. El estudio confirma que en el caso estudiado las personas con DI en situación de vida independiente enfrentan una forma específica de PE, asociada tanto a sus condiciones individuales como a la inadecuación térmica de sus viviendas. Este hallazgo evidencia la urgencia de incorporar criterios de equidad e inclusión en los marcos normativos y en los programas de mejora energética en vivienda social. Asimismo, los resultados sugieren que, para alcanzar niveles adecuados de bienestar y salubridad ambiental en contextos de alta vulnerabilidad, podría ser necesario un aumento del consumo energético, especialmente en calefacción y enfriamiento, además de la necesidad de invertir en la construcción de viviendas sociales (enfocadas en población vulnerable).

REFERENCIAS

- [1] Pérez-Fargallo, et al. (2023). Origen, evolución y aplicación de indicadores de pobreza energética en Iberoamérica. Revista INVI, 38(109), 100-133. <https://doi.org/10.5354/0718-8358.2023.70785>
- [2] Okyere, M. A., & Lin, B. (2023). Invisible among the vulnerable: A nuanced perspective of energy poverty at the intersection of gender and disability in South Africa. Humanities and Social Sciences Communications, 10(1), 1-14. <https://doi.org/10.1057/s41599-023-01604-2>
- [3] Ivanova, D., & Middlemiss, L. (2021). Characterizing the energy use of disabled people in the European Union towards inclusion in the energy transition. Nature Energy, 6(12), 1188-1197. <https://doi.org/10.1038/s41560-021-00932-4>
- [4] Cerda-Fuentes, V. et al. (2024). Consumption indicators, reflections on energy poverty and its effect on environmental conditions, a case study in central-southern Chile. CATE: Investing in Well-Being in a Challenging Future.
- [5] Siksnyte-Butkiene, et al. (2021). Energy poverty indicators: A systematic literature review and comprehensive analysis of integrity. Sustainable Cities and Society, 67, 102756. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102756>



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

INNOVACIÓN EN ENERGÍA SOCIAL PARA UNA TRANSICIÓN JUSTA: MAPEO Y CO-CREACIÓN DE POLÍTICAS EN ZONAS RURALES DEL SUR DE EUROPA

SOCIAL ENERGY INNOVATION FOR A JUST TRANSITION: MAPPING AND CO-CREATION OF POLICIES IN RURAL AREAS OF SOUTHERN EUROPE

Gouveia, João Pedro ^{(1)*}; Lopes, Rita ⁽¹⁾; Mahoney, Katherine ⁽¹⁾; Castro, Carolina ⁽¹⁾

(1) CENSE – Center for Environmental and Sustainability Research & CHANGE - Global Change and Sustainability Institute, NOVA School of Science and Technology, NOVA University Lisbon, Campus de Caparica, 2829-516, Caparica, (PORTUGAL)

*jplg@fct.unl.pt

INTRODUCCIÓN

The energy and climate transition should be more than merely replacing fossil fuels with renewables while maintaining unsustainable high energy consumption levels. A just energy transition requires equitable distribution of benefits across different social groups and regions, ensuring vulnerable populations are not disproportionately burdened. This is particularly important in the case of extremely vulnerable communities, such as those in rural areas.

Furthermore, as recognized by recent European Union (EU) policies and initiatives, local and regional authorities play a key role in implementing energy and climate targets to achieve EU climate neutrality by 2050. However, local policymakers—especially in rural communities—often lack the knowledge, technical capacity, and resources tailored to the needs of energy planning processes that are socially fairer.

METODOLOGÍA

In this research, supported by the European project ENTRACK (EU's LIFE CET programme) [1] we are addressing this gap by examining the main knowledge and skills deficiencies of local authorities to support the co-creation of socially just energy plans that respond to the real energy needs of regions and populations, including vulnerable citizens, while aligning with both European and national energy policy frameworks. The project brings together technical partners, including universities and companies, with local authorities and energy agencies in rural areas of Southern Europe.

Concretely, ENTRACK is developing a process of stakeholder integration and capacity building in eight rural municipalities across four Mediterranean countries: two in Greece (Eastern Macedonia and Thrace), two in Italy (Campania), two in Portugal (Alto Alentejo), and two in Spain (Catalonia-Pyrenees). The primary objective is to facilitate the co-creation of energy plans while providing practical policy development processes that can be replicated in other rural areas of Southern Europe.

After a diagnosis and mapping exercise of social/energy/climate policies and plans from the EU to the local level, which presents a comprehensive visual representation of around 40 interconnected policies [2]. These complex policy networks highlight the growing effort to develop cross-sectoral policies in energy, social, environmental, and climate domains. The taxonomy maps demonstrate how policies can work in synergy to achieve common goals, including a socially just and inclusive energy transition. Another step of the research covers the design and implementation of different pathways of engagement in rural areas [3] of the four countries that include i) ethnographic interviews with citizens [4]; ii) exploratory interviews with stakeholders; iii) policies self-assessment exercises with policymakers; iv) running a national Community of Practice; and v) supporting a Municipality Regional Partnership (Figure 1).

Engagement pathways methodological approach

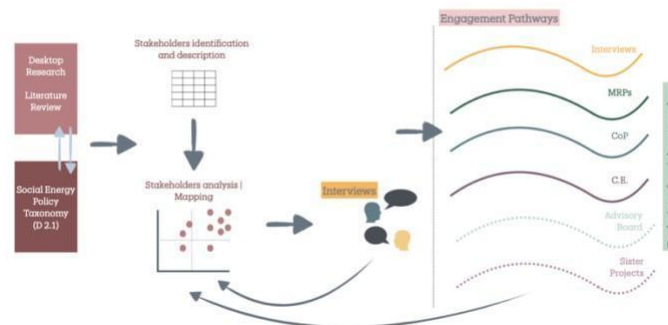


Fig. 1. Engagement Pathways Methodological Approach.



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

RESULTADOS

This work deepens our understanding of aligning local and regional policies with the perceptions of citizens and stakeholders, while actively engaging in research and policy design with those most affected, thereby shaping their future. Through their knowledge, experiences, and collective intelligence, policies can be designed that engage different actors to be more effective, equitable, and resilient.

CONCLUSIONES

Overall, achieving climate neutrality requires more than just high-level policy directives or technological innovation; it requires active, bottom-up engagement from local actors, ensuring the promise of the 2030 Agenda, “leave no one behind”. This means that the social dimension must be truly embraced while integrating ecological concerns, aligning human activities with ecological principles, and prioritizing fairness across generations and communities.

REFERENCIAS

- [1] ENTRACK Project (2025). Empowering local and regional authorities to design clean ENergy TRAnstition plans through Capacity and knowledge-building actions. EU LIFE Project 101120704. Available at: <https://entrack-project.eu/>
- [2] Castro, C. Mahoney, K., Lopes, R., Gouveia, J.P. (2024). ENTRACK - Taxonomy of social energy plans, strategies and policies from EU level down to municipal level. ENTRACK. 101120704. EU LIFE project. Available at: <https://entrack-project.eu/>
- [3] Castro, C. Mahoney, K., Lopes, R., Gouveia, J.P. (2024). ENTRACK - Stakeholder Matrix and Pathways of Engagement. ENTRACK. 101120704. EU LIFE project. Available at: <https://entrackproject.eu/>
- [4] Benaglia, B., Calzolari, F., Caliri, G., Musarò, S. *et al.* (2024). Report on perceptions, needs and priorities of citizens concerning the energy transitions. ENTRACK. 101120704. EU LIFE project. Available at: <https://entrack-project.eu/>



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

¿ENERGÍA SOLAR PARA QUIÉN? EQUIDAD, CONFORT Y LÍMITES DE LA DESCENTRALIZACIÓN RENOVABLE EN COSTA RICA

SOLAR FOR WHOM? EQUITY, COMFORT AND LIMITS OF RENEWABLE DECENTRALIZATION IN COSTA RICA

Vargas-Soto, Emily ^{(1)*}

(1) Escuela de Arquitectura, Universidad de Costa Rica, Costa Rica

[*emily.vargas@ucr.ac.cr](mailto:emily.vargas@ucr.ac.cr)

INTRODUCCIÓN

En Costa Rica, los sistemas solares fotovoltaicos independientes han sido una estrategia clave para electrificar comunidades rurales y remotas no conectadas al sistema eléctrico nacional [1,3]. Estos sistemas son una alternativa limpia y descentralizada que busca universalizar el acceso a energía, en línea con el Plan Nacional de Energía [2] y apoyadas por iniciativas del GEF y el BID [3,4]. No obstante, su aplicación genera dudas desde el enfoque de la justicia energética: ¿qué nivel de servicio ofrecen? ¿Aportan al bienestar térmico y a la calidad del aire? ¿Son justos y viables ante el cambio climático? Este trabajo examina sus alcances y limitaciones centrándose en la equidad, el confort en las viviendas y la resiliencia de las comunidades.

METODOLOGÍA

Se fundamenta en un análisis de documentos sobre políticas públicas, normativas técnicas y experiencias implementadas. Se revisaron documentos del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) relacionados con su programa nacional de electrificación rural [1], junto con directrices definidas en el Plan Nacional de Energía [2] y el proyecto GEF COS/02/G31 [3]. Se incluyeron estudios de caso elaborados por entidades como la UNED y la ONG Love for Life en áreas como Talamanca y la Zona Sur como evidencia empírica [4,5]. Con base en estos documentos, se organizaron datos con el objetivo de reconocer tanto los beneficios como las tensiones estructurales que surgen en estos modelos de electrificación descentralizada en el marco de la justicia energética.

RESULTADOS

Los sistemas fotovoltaicos han mejorado la iluminación, la comunicación y reducido el uso de contaminantes en zonas rurales, con efectos positivos en salud y confort térmico básico [5,6]. Sin embargo, su capacidad restringida (15–20 kWh/mes), el reemplazo de baterías y el mantenimiento dificultan su sostenibilidad. Las iniciativas más exitosas son las que combinan formación técnica local y participación activa y apoyo institucional posterior a la instalación. Aún persisten grandes brechas frente a usuarios conectados a red pública. A pesar de que las zonas rurales no indígenas en Costa Rica tienen acceso prácticamente total a la red eléctrica, aún presentan un 15 % de pobreza energética; en contraste, las comunidades indígenas con sistemas fotovoltaicos autónomos enfrentan una mayor vulnerabilidad, con solo un 30 % de acceso efectivo y un 30 % de pobreza energética. (Fig.1)



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá
22nd–23rd October 2025

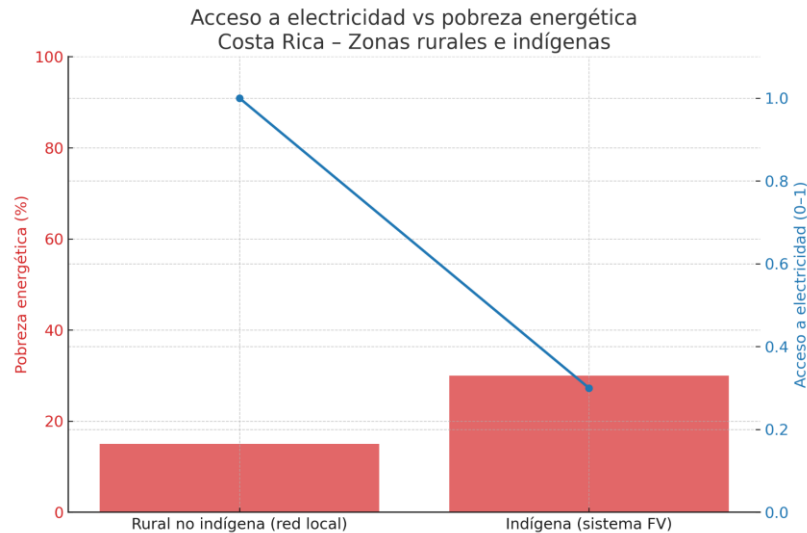


Fig. 1. Acceso eléctrico y pobreza energética en zonas rurales de Costa Rica. Las comunidades indígenas con FV (sistema fotovoltaico) tienen menor acceso y mayor vulnerabilidad. *Fuente: elaboración propia con base en datos del Banco Mundial, ICE y UNED (2021–2024).*

CONCLUSIONES

La electrificación solar ha reducido la exclusión energética en zonas rurales de Costa Rica, beneficiando a más de 3400 hogares y disminuyendo la exposición a contaminantes. [5][6]. No obstante, la capacidad reducida (15–20 kWh/mes) limita el confort manteniendo modalidades de exclusión energética [7]. Para avanzar hacia una transición energética justa, se requiere superar el acceso básico e incorporar criterios de confort, sostenibilidad técnica y empoderamiento comunitario. Casos como los aplicados en comunidades de Talamanca y la comunidad Ngäbe-Buglé muestran que la capacitación local y la gestión colaborativa son vitales en estos procesos.

REFERENCIAS

- [1] Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), Informe Programa de Electrificación Rural con Fuentes Renovables, San José, 2022.
- [2] Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), Plan Nacional de Energía 2015–2030, San José, 2016.
- [3] PNUD y GEF, Informe final del Proyecto COS/02/G31: Energía Renovable para Comunidades Aisladas, San José, 2011.
- [4] Love for Life y Asociación ADITICA, “Proyecto Imagine Light Costa Rica – Informe técnico de implementación,” Talamanca, 2021.
- [5] Universidad Estatal a Distancia (UNED), “Mujeres indígenas instalan paneles solares en la zona sur,” 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.uned.ac.cr>. [Accedido: 10-may-2025].
- [6] Instituto Mixto de Ayuda Social (IMAS), “Electrificación solar en comunidades indígenas Ngäbe-Buglé,” San José, 2021.



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

GENERACIÓN DE UN MODELO MULTICRITERIO DE PRIORIZACIÓN DE INSTITUCIONES EDUCATIVAS PARA LA INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AISLADOS

MULTICRITERIA ANALYSIS TO PRIORITIZE EDUCATIVE INSTITUTIONS FOR OFF-GRID PHOTOVOLTAIC SYSTEMS INSTALLATION

Chasi, Carolina ⁽¹⁾; Jijón, Diego ^{(1)*}; Constante, Jessica ⁽¹⁾, Vallejo, Catalina ⁽¹⁾⁽²⁾

⁽¹⁾ Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE), Quito 170518, Ecuador

⁽²⁾ Departamento de Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional, Ladrón de Guevara E11-253. Quito 170517, Ecuador

*juan.jijon@geoenergia.gob.ec

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial más de 940 millones de personas no tienen acceso a la electricidad, a pesar de estar directamente relacionado con el progreso y calidad de vida [1]. A nivel educativo varios estudios han identificado que la falta de acceso a la energía tiene un gran impacto en la educación ya que afecta al promedio de años de permanencia escolar, disminuye los resultados escolares, genera bajos niveles de educación, produce desigualdades educativas, y aumenta la deserción, lo que provoca un gran problema social [2].

La educación es considerada como un motor clave para el desarrollo sostenible de las sociedades y las naciones, ya que tiene un impacto significativo en diversos aspectos económicos, sociales y culturales, entre los que se destacan el crecimiento y desarrollo económico, la reducción de la pobreza, la promoción de la equidad y justicia social, el mejoramiento de la salud y el bienestar, y el fomento de la innovación y progreso sostenible [3]. En Ecuador, debido a factores como la dispersión geográfica y la ubicación remota, existen 497 instituciones educativas pertenecientes a nacionalidades y pueblos indígenas, que no tienen acceso a la electricidad proveniente del Sistema Nacional Interconectado (SNI), lo cual impide el aseguramiento de una educación inclusiva y equitativa en estas comunidades y su potencial desarrollo. Además, están localizadas en diferentes zonas climáticas (Aw, Am, Af, Cfb, Cwb, y ET de acuerdo con la clasificación de Koopen Geiger), que varían desde zonas tropicales a polares [4]. Por ello, en el presente estudio se desarrolla un análisis multicriterio que permita seleccionar 3 instituciones educativas representativas, para la implementación de sistemas fotovoltaicos que suplan necesidades energéticas básicas y que cuyos resultados sirvan como base para su potencial réplica en todo el país.

METODOLOGÍA

En el Ecuador están reconocidos 18 pueblos y 14 nacionalidades indígenas las cuales cuentan con 497 escuelas ubicadas en lugares aislados que carecen de servicios básicos [5], y en diferentes zonas climáticas como se muestra en la Figura 1. En las provincias de Carchi, Esmeraldas y Pastaza, están localizadas 165 instituciones educativas, de las cuales se priorizaron 26 que serán evaluadas en el futuro con el fin de seleccionar 3 para implementar sistemas fotovoltaicos e iluminación y solventar necesidades energéticas básicas. Se priorizan 26 ya que figuran una muestra representativa del total de las 165 instituciones que reflejan adecuadamente la situación del conjunto total.

La selección de las instituciones tiene un enfoque de representatividad del sistema SEIBE, el cual incluye las siguientes variables: a) evidencia del recurso renovable no convencional; b) número de beneficiarios directos; c) accesibilidad; d) sostenibilidad de los sistemas energéticos a instalarse en las escuelas; e) distancia a redes de telecomunicación; f) disponibilidad de espacios en terreno; g) materialidad de las escuelas; h) condiciones climáticas; entre otros. En la figura 1 se observa las diversas zonas climáticas y los centros educativos que son objeto de estudio, el gráfico permite evidenciar la diversidad que existe para el estudio. Considerando los múltiples criterios es necesario contar con una metodología que permita realizar una selección de escuelas de manera estructurada, que garantice una correcta implementación del sistema de generación fotovoltaico en beneficio de los alumnos y de la población de esa zona.

El análisis multicriterio es una metodología idónea, para la selección de escuelas objeto del presente estudio, ya que permite evaluar diversos factores o variables que pueden ser cuantitativos o cualitativos y que son comparados entre sí a través de la normalización o escalabilidad de los valores. Entre las técnicas más comunes para un análisis multicriterio está el “Proceso Analítico Jerárquico” (AHP, por sus siglas en inglés), la cual permite descomponer el problema en una jerarquía de criterios y subcriterios, facilitando la comparación pareada entre variables cualitativas y cuantitativas [6].

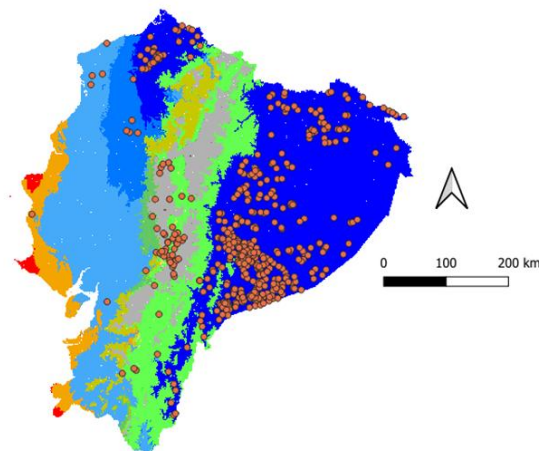


Fig. 1. Zonificación climática y ubicación de escuelas.



Fig. 2. Mapa de selección de escuelas priorizadas en el análisis multicriterio por provincia.

RESULTADOS

En base a los criterios y restricciones evaluados, se obtuvo una lista jerarquizada de las instituciones educativas por cada provincia, las cuales serán la línea base del estudio con la finalidad de evaluar su potencial selección como punto representativo para la implementación de 3 sistemas fotovoltaicos para suplir necesidades básicas en comunidades aisladas. En la provincia de Carchi se priorizaron 4 instituciones educativas, en la provincia de Pastaza se priorizaron 15 instituciones educativas y en Esmeraldas se priorizaron 7 instituciones educativas. Cómo resultado se obtuvieron mapas con los puntos de las instituciones priorizadas tal como se muestra en la Figura 2.

CONCLUSIONES

El análisis multicriterio aplicado en este estudio demuestra ser una herramienta altamente efectiva para abordar la complejidad inherente a contextos con características geográficas sociales y culturales únicas y realizar una adecuada toma de decisión. Este análisis ayudó a priorizar 26 instituciones educativas para su estudio y evaluación, de las cuales 3 serán seleccionadas para la implementación de los sistemas fotovoltaicos adoptando un proceso de decisión más transparente, justificable y equitativo.

REFERENCIAS

- [1] T. Ahmad, S. Ali, and A. Basit, "Distributed renewable energy systems for resilient and sustainable development of remote and vulnerable communities," *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, vol. 380, no. 2221, 2022, <https://doi.org/10.1098/rsta.2021.0143>.
- [2] M. Moner-Girona et al., "Empowering quality education through sustainable and equitable electricity access in African schools," *Joule*, 2025, <https://doi.org/10.1016/j.joule.2024.12.005>.
- [3] "Educación y aprendizaje | UNICEF." Accessed: May 27, 2025. [Online]. Available: <https://www.unicef.org/mexico/educación-y-aprendizaje>
- [4] H. E. Beck et al., "High-resolution (1 km) Köppen-Geiger maps for 1901–2099 based on constrained CMIP6 projections," *Sci Data*, vol. 10, no. 1, p. 724, Oct. 2023, <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02549-6>.
- [5] INEC, "Boletín de prensa." Accessed: May 27, 2025. [Online]. Available: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/boletin-prensa-ferias-autoidentificacion/>
- [6] G. Villacreses, D. Jijón, J. F. Nicolalde, J. Martínez-Gómez, and F. Betancourt, "Multicriteria Decision Analysis of Suitable Location for Wind and Photovoltaic Power Plants on the Galápagos Islands," *Energies (Basel)*, vol. 16, no. 1, 2023, <https://doi.org/10.3390/en16010029>.



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

PERCEPCIÓN SOCIAL Y CALIDAD DEL AIRE: REALIDADES Y DESAFÍOS EN COMUNIDADES INDÍGENAS MAYAS DE MÉXICO

SOCIAL PERCEPTION AND AIR QUALITY: REALITIES AND CHALLENGES IN MAYA INDIGENOUS COMMUNITIES OF MEXICO

Vázquez-Torres, Claudia Eréndira ^{(1)(2)*}; Sotelo Salas, Cristina ⁽³⁾; Cuervo Vilches, Teresa ⁽⁴⁾; Ali, Bassam ⁽¹⁾

(1) Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México

(2) Universidad de Guanajuato, México

(3) Facultad de arquitectura, Universidad Autónoma de Baja California, México

(4) Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja – Consejo Superior de Investigaciones Científicas, España

*claudia.vazquez@correo.uady.mx

INTRODUCCIÓN

La calidad del aire interior en contextos rurales e indígenas es un tema de creciente relevancia frente a los desafíos del cambio climático, la pobreza energética y la justicia ambiental. En las comunidades mayas de México, el uso de combustibles tradicionales para cocinar (leña y el carbón) persiste como una práctica común, muchas veces en espacios con ventilación limitada [1]. Estas condiciones pueden tener implicaciones negativas para la salud de los habitantes. Sin embargo, más allá de los riesgos físicos, las decisiones sobre el uso de estos combustibles están estrechamente vinculadas con las prácticas culturales, el conocimiento ancestral y la identidad comunitaria. Las políticas públicas, al centrarse en soluciones tecnológicas generalizadas, suelen excluir estas dimensiones culturales, lo que puede generar resistencia o desconfianza hacia las propuestas de mejora ambiental o energética. Es fundamental comprender cómo perciben los propios habitantes la calidad del aire interior, sus prácticas cotidianas y los cambios ambientales que enfrentan. Este estudio adoptó un enfoque cualitativo y se basó en la aplicación de una encuesta de percepción en una comunidad maya, con el objetivo de explorar estas dimensiones desde la mirada local. La información obtenida busca contribuir al diseño de estrategias de adaptación que integren el respeto por la cultura, la sostenibilidad ambiental y la equidad social, fortaleciendo así la resiliencia comunitaria ante los efectos del cambio climático [2].

METODOLOGÍA

La metodología involucró los siguientes pasos: Diseño del estudio, estructura de la encuesta, proceso de recolección y análisis de datos. Los estudios piloto como el que se llevó a cabo buscan probar aspectos logísticos y metodológicos, por este motivo, la muestra representativa podía variar entre 20 y 50 participantes que comprueben la viabilidad y logística metodológica de un estudio. En campo se completaron 35 resultados [3]. La encuesta se dividió en tres grupos de preguntas: 1) Características del usuario: datos demográficos y socioeconómicos de los participantes. 2) Características de la vivienda: infraestructura y condiciones de las viviendas. 3) Usos y costumbres para cocinar: prácticas tradicionales de cocción y disposición de los encuestados a considerar cambios respetando las costumbres y tradiciones. Para garantizar la seguridad y privacidad de los participantes, se tomaron medidas para proteger la identidad de los encuestados. Los datos recopilados fueron anónimos y se manejaron de manera confidencial a través de un número consecutivo como ID. La localidad de estudio, Pixyá, es una comunidad ubicada en el municipio de Tecoh, Yucatán, que representa la riqueza cultural indígena del país. Con apenas 1,116 habitantes, casi todos sus pobladores se reconocen como indígenas (99.1%) y la mayoría conserva viva su lengua materna, el maya (79.12%), según el Censo 2020 del INEGI [4]. La metodología cualitativa desarrollada permite comprender realidades y aspiraciones de comunidades como Pixyá, e identificar desafíos de interés nacional, debido a que forma parte de los Indicadores de la Población Indígena. Por un lado, reconoce la diversidad cultural que conlleva diferentes formas de ver y vivir el mundo; por otro, enriquece perspectivas para actualizar políticas públicas inclusivas y sostenibles. En esencia, Pixyá no solo conserva el legado maya, sino que nos recuerda la importancia por generar metodologías enfocadas en escuchar y aprender de nuestras raíces para construir entornos justos.

RESULTADOS

Se encontró que el 100 % de las encuestadas fueron mujeres, debido a la dinámica social de la localidad, donde los hombres suelen ausentarse por motivos laborales. Esta situación, común en comunidades rurales mexicanas, expone principalmente a mujeres y niños a la calidad del aire interior. Según la encuesta (Fig. 1), el 88.6 % de las participantes utiliza exclusivamente leña para cocinar, mientras que solo el 11.4 % emplea gas o una combinación de gas y leña. Esto implica una exposición constante a contaminantes por combustión de biomasa, afectando la calidad del aire en las viviendas y la salud de sus habitantes. El 23 % de las mujeres reportó problemas respiratorios, agravados por la deficiente ventilación en los espacios de



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

cocina. Aunque más del 75 % de las viviendas cuentan con un área específica para cocinar, muchas carecen de ventilación adecuada, lo que incrementa el riesgo sanitario.

CONCLUSIONES

La percepción social evidenció la necesidad de estrategias culturalmente sensibles y segmentadas por edad para mejorar la calidad del aire en comunidades indígenas, destacando la disposición al cambio entre mujeres jóvenes y los desafíos estructurales y económicos que aún persisten.

REFERENCIAS

- [1] M. Reyes, M. M. Ibañez Martín, and S. London, "Energías renovables como herramienta de inclusión una propuesta en poblaciones vulnerables," *Publicaciones e Investig.*, vol. 14, no. 2, Dec. 2020, <https://doi.org/10.22490/25394088.4439>.
- [2] M. F. Zabaloy, M. M. Ibañez Martín, and C. Guzowski, "transición energética justa y la pobreza energética en Argentina: ¿qué rol juega el territorio?," *Rev. PLANEO*, no. 47, p. 11, Jun. 2023, <https://doi.org/10.7764/plan.047.096>.
- [3] J. A. García-García, A. Reding-Bernal, and J. C. López-Alvarenga, "Cálculo del tamaño de la muestra en investigación en educación médica," *Investig. en Educ. Médica*, vol. 2, no. 8, pp. 217–224, Jan. 2013, [https://doi.org/10.1016/S2007-5057\(13\)72715-7](https://doi.org/10.1016/S2007-5057(13)72715-7).
- [4] Instituto Nacional de Estadística y Geografía, "Indicadores de la población indígena," https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/interactivos/?pxq=Indigenas_01_2542ff1a-dc4d-4e90-81fd08f0b684004e.



MODELADO DE LA PRODUCCIÓN DE DIÉSEL RENOVABLE MEDIANTE HIDROTRATAMIENTO CON HIDRÓGENO VERDE PARA LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA JUSTA EN ZONAS RURALES

MODELING THE PRODUCTION OF RENEWABLE DIESEL VIA HYDROTREATING WITH GREEN HYDROGEN FOR A JUST ENERGY TRANSITION IN RURAL AREAS

Herrera, José ⁽¹⁾; Lagos, Adriana ⁽¹⁾; Serrano, Dario ^{(1)*}; Bastidas, Marlon ⁽¹⁾

(1) Grupo de Investigación DESTACAR, Universidad de la Guajira, Riohacha, Colombia

*dserrano@uniguajira.edu.co

INTRODUCCIÓN

En Colombia, con el propósito de disminuir la dependencia de los combustibles fósiles y avanzar en la transición energética, se ha promovido el desarrollo y uso de biocombustibles, tales como el biodiésel y el bioetanol. Actualmente, el biodiésel cubre aproximadamente el 10 % de la demanda nacional, mientras que el bioetanol aporta cerca del 7 % [1]. En este contexto, una alternativa con mayor contenido energético y calidad es el diésel renovable (DR), el cual aún no se ha comercializado en el país. Esta situación representa una oportunidad para explorar su viabilidad técnica, especialmente considerando la producción de hidrógeno verde (HV) requerido para el proceso de hidrotreatment del aceite. La sustitución de combustibles fósiles por biocombustibles líquidos, como el DR, resulta particularmente relevante en zonas rurales con acceso limitado a combustibles tradicionales, donde estas soluciones pueden contribuir tanto a la seguridad energética como al desarrollo sostenible [2]. El presente estudio tiene como objetivo modelar y simular la producción de DR mediante hidrotreatment, utilizando HV como insumo clave. Este hidrógeno será producido mediante un electrolizador de membrana de intercambio aniónico (AEM), alimentado por una microplanta eólico-solar de 15 kW instalada en la Universidad de La Guajira.

METODOLOGÍA

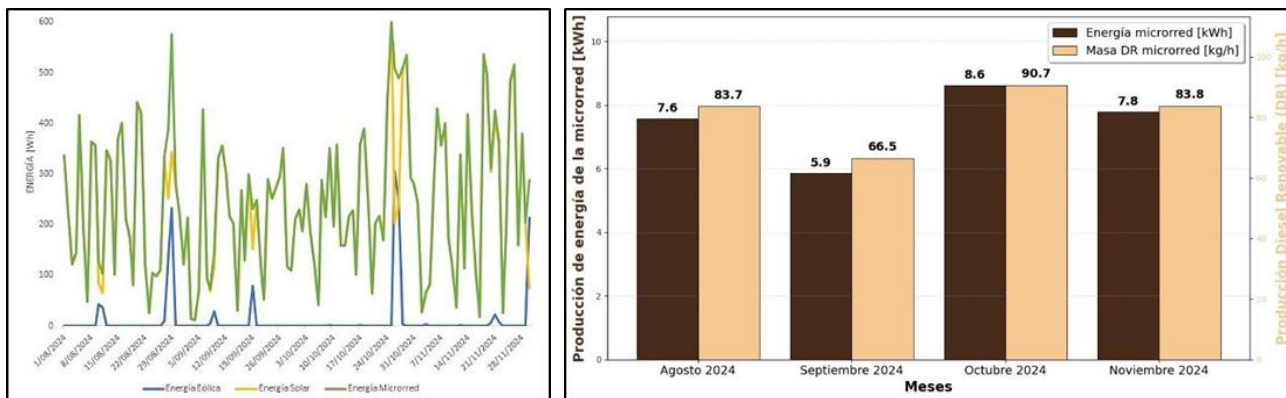
Para lograr este objetivo, se realizó una revisión de la literatura sobre modelos matemáticos que permitan simular la producción de hidrógeno a través del electrolizador tipo AEM y la producción de DR mediante hidrotreatment. Se compararon los resultados del modelo de producción de hidrógeno con los datos experimentales. En la ecuación (1) se presenta un modelo matemático de producción de hidrógeno [3].

$$n_{H_2} = \frac{n_F * P_{elect}}{2 * F * V_{elect}} * 3600 \quad (1)$$

RESULTADOS

Los datos de este estudio se tomaron entre agosto y noviembre del año 2024. En la Figura 1, se observa que la principal fuente de energía de alimentación de la microplanta es la solar fotovoltaica, pero se complementa con la eólica.

En el modelo de la ecuación (1) para la producción de hidrógeno son aproximados a los datos experimentales. La Figura 2 muestra que la mayor producción de diésel renovable ocurre con promedios mensuales de energía de 8,6 kWh. Con los datos de producción de hidrógeno experimental se pueden producir hasta 90.7 kg de DR.





I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

Fig. 1. Generación de energía por la microplanta de la Universidad de La Guajira.

Fig. 2. Producción de diésel renovable mensual a partir de la generación de energía de la microplanta.

CONCLUSIONES

La fuente solar fotovoltaica es la encargada de aportar mayor cantidad de energía para la producción de HVy se complementa con al eólica en algunos puntos del análisis. A pesar de ser poca la producción de diésel renovable es tolerable para escala de laboratorio. La alternativa, la producción de diésel renovable se puede utilizar en aplicaciones para electrificación rural en zonas rurales que utilizan planta diésel con combustible fósil.

REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Minas y Energía de Colombia. "Balance Energético Nacional".
- [2] FAO. (2020). "Bioenergía y desarrollo rural: oportunidades para América Latina".
- [3] Rangel, R., & Promigas, D. (2023.). Modelación de un sistema de producción e inyección de HV en redes de transporte de gas natural para evaluar el impacto de la dinámica del sistema en la operación de Promigas.



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

ENERGÍA Y RESILIENCIA FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

Este eje se centra en comunicaciones que exploren el papel de los edificios y sistemas energéticos en los procesos de adaptación y mitigación del cambio climático. Se incluyen trabajos sobre construcciones e infraestructuras resilientes, planificación energética sostenible, gestión de riesgos climáticos y soluciones descentralizadas que mejoren la capacidad de respuesta ante eventos extremos. También se considerarán estrategias para la rehabilitación energética del parque edificatorio existente.



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

INTEGRACIÓN DE VARIABLES CLIMATOLÓGICAS EN EL DISEÑO DEL LANDSCAPE URBANO EN CAMPECHE

INTEGRATION OF CLIMATOLOGICAL VARIABLES IN URBAN LANDSCAPE DESIGN IN CAMPECHE

Canul Turriza, Román ^{(1)*}; May Tzuc, Oscar ⁽¹⁾; Jiménez Torres, Mario ⁽²⁾; Turriza Mena, Roselia ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Campeche, México

⁽²⁾ Centro de Investigaciones Jurídicas, Universidad Autónoma de Campeche, México

*roacanul@uacam.mx

INTRODUCCIÓN

Las ciudades costeras con valor patrimonial, como San Francisco de Campeche, enfrentan crecientes amenazas derivadas del cambio climático, como el incremento del nivel del mar, eventos meteorológicos extremos y olas de calor [1]. En este contexto, el diseño del paisaje urbano debe adaptarse para fortalecer la resiliencia sin comprometer la identidad cultural ni arquitectónica. La incorporación de variables climatológicas como temperatura, humedad, viento y precipitación en el diseño de espacios verdes urbanos permite mitigar impactos climáticos y mejorar el confort térmico, especialmente en zonas densamente urbanizadas como el centro histórico de Campeche que son altamente vulnerables a la exposición de calor. Finalmente, la incorporación de vegetación nativa y soluciones basadas en la naturaleza no sólo mejora el microclima, sino que aporta en la reducción de riesgos para salud y los costos energéticos para los sectores vulnerables.

METODOLOGÍA

El estudio utilizó datos de estaciones climatológicas de bajo costo instaladas en la ciudad desde 2020 y 2022, complementados con datos de reanálisis climático ERA5 del Copernicus Climate Data Store [2]. Se analizaron las variables temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento y precipitación. Se empleó ArcGIS para la integración espacial de los datos y el análisis de patrones microclimáticos mediante interpolaciones y modelos de distribución térmica urbana. Adicionalmente, se inició la aplicación del modelo de simulación microclimática ENVI-met, con el objetivo de evaluar los efectos de configuraciones específicas de vegetación e infraestructura verde sobre la temperatura superficial, la ventilación urbana y la retención de humedad, como se ha realizado en estudios similares a las planteadas por [3].

Se desarrollaron escenarios de diseño urbano considerando tres ejes principales:

- Selección de especies vegetales nativas con alta tolerancia al calor y la sequía;
- Configuración estratégica de corredores verdes para promover ventilación natural;
- Incorporación de infraestructura verde para la captación de escorrentía, como jardines de lluvia y superficies permeables [4].

RESULTADOS

Los resultados preliminares de ENVI-met se calibraron utilizando registros horarios de temperatura y humedad de estaciones climatológicas locales, lo que permitió ajustar los parámetros de albedo y rugosidad superficial para representar con mayor precisión las condiciones reales. Estos resultados, muestran que las zonas con vegetación densa presentan temperaturas superficiales entre 2.5 °C y 3.5 °C más bajas que áreas con superficies impermeables, confirmando hallazgos previos sobre el efecto de la vegetación urbana en la mitigación del calor. Además, se observó que la orientación de áreas verdes mejora el flujo de viento en espacios urbanos cerrados, reduciendo la acumulación de calor y aumentando el confort térmico. Algunas especies como *Tabebuia rosea* y *Bursera simaruba* mostraron alto potencial de supervivencia bajo escenarios de incremento térmico y estrés hídrico, lo cual es esencial para garantizar sostenibilidad a largo plazo. Por otro lado, estimaciones hidrológicas preliminares indican que las soluciones basadas en infraestructura verde podrían reducir entre un 35 % y 45 % la escorrentía superficial en eventos de lluvia intensa, contribuyendo al control de inundaciones urbanas [4].



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

CONCLUSIONES

La integración de variables climatológicas en el diseño del paisaje urbano permite desarrollar estrategias basadas en datos que aumentan la resiliencia ante el cambio climático, mejoran el confort térmico y reducen los efectos de la isla de calor urbana. La reducción de temperaturas superficiales y la mejora en la ventilación natural, obtenidas mediante el diseño verde propuesto, pueden disminuir la demanda de climatización en edificaciones históricas y contemporáneas, contribuyendo así a la transición energética mediante el ahorro de energía y la reducción de emisiones asociadas. Esta aproximación, aplicada en el contexto de Campeche, ofrece un modelo replicable para ciudades patrimoniales costeras en regiones similares de Latinoamérica y el Caribe, contribuyendo al bienestar social y a la conservación del patrimonio ambiental. El modelo es replicable en ciudades patrimoniales costeras con climas tropicales o subtropicales que cuenten con datos climatológicos básicos y herramientas de SIG y modelación micro climática. La metodología es adaptable, permitiendo ajustar especies vegetales, configuraciones urbanas y escenarios hidrológicos según el contexto local.

REFERENCIAS

- [1] IPCC. (2021). Sixth Assessment Report – Climate Change 2021: The Physical Science Basis. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>.
- [2] Copernicus Climate Data Store. (2024). ERA5 Reanalysis. <https://cds.climate.copernicus.eu/>
- [3] Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., & Pullin, A. S. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, 97(3), 147–155.
- [4] Arreguín Cortés Felipe I., Mario López Pérez, Olivia Rodríguez López y Martín José Montero Martínez. (2015). Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 148 p.



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

RESILIENCIA TÉRMICA FRENTE A OLAS DE CALOR EN EDIFICIOS

THERMAL RESILIENCE TO HEATWAVES IN BUILDINGS

Escudero, Camila ⁽¹⁾ ; Flores-Larsen, Silvana ⁽¹⁾; Bre, Facundo ⁽²⁾

(1) Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional, Universidad Nacional de Salta/CONICET, 4400 Salta, Argentina

(2) Luxembourg Institute of Science and Technology, L-4362 Esch-sur-Alzette, Luxemburgo

[*camilaescudero@fiqueni@gmail.com](mailto:camilaescudero@fiqueni@gmail.com)

INTRODUCCIÓN

Los eventos de calor extremo son cada vez más severos y frecuentes debido al cambio climático [1]. La exposición continua a altas temperaturas se relaciona con impactos negativos en la salud humana, que llevan a un aumento en la mortalidad [2]. Para mitigar el calentamiento en interiores durante olas de calor, es necesario estudiar y promover la resiliencia térmica de edificios. En este trabajo se realiza una recopilación y análisis de investigaciones recientes sobre resiliencia térmica en edificios frente a olas de calor, buscando definir resiliencia en este contexto y conocer los indicadores más usados para medirla.

METODOLOGÍA

En un esfuerzo para reducir sesgos y subjetividades, se seleccionaron estudios de distintas fuentes, utilizando herramientas de análisis bibliométrico (ScienceDirect, OpenAlex, SciSpace y Litmaps). En esta recopilación no se tienen en cuenta artículos que estudien la resiliencia térmica de forma anual, incluyendo olas de frío, ni artículos que analicen resiliencia térmica a escala urbana, ya que el objetivo es abordar el efecto de olas de calor en edificios. La selección final resultó en 19 artículos considerados más relevantes.

RESULTADOS

Definición de resiliencia: El concepto de resiliencia tiene un largo y multidisciplinario recorrido en la literatura científica, y ha sido adoptado por campos como la ingeniería, ecología, psicología y economía [3]. En este estudio, se toma la definición de resiliencia proveniente de la ingeniería, “capacidad de un sistema para recuperar el equilibrio tras una perturbación”. Para evaluar la resiliencia, es fundamental identificar el evento disruptivo (como olas de calor, foco de este trabajo) y definir con precisión el sistema afectado, que puede ser un edificio, zona térmica o incluso sus ocupantes. Attia et al. [4] revisaron 90 artículos y definieron la resiliencia como un proceso que involucra vulnerabilidad, resistencia, robustez y recuperación. Hong et al. [5] agregan la preparación y adaptación del edificio, y destacan la importancia de mantener condiciones térmicas seguras durante eventos extremos. Además, identifican factores clave como el entorno exterior, las características del edificio y de los ocupantes, y la red eléctrica. Por su parte, Peri et al. [3] señalan que un edificio resiliente ofrece confort con bajo consumo energético, incluso ante condiciones cambiantes o shocks térmicos. Si bien hay avances, los autores coinciden en la necesidad de consensuar definiciones y métricas para facilitar evaluaciones comparables y herramientas estandarizadas. Medición de resiliencia y métricas populares: La evaluación de la resiliencia en la literatura científica, según Hosseini et al. [6], se aborda desde enfoques cualitativos y cuantitativos. Los primeros emplean marcos conceptuales sin recurrir a datos numéricos, mientras que los segundos se subdividen en dos enfoques, los generales, que usan métricas observables del rendimiento del edificio sin simular su estructura (triángulo de resiliencia, trapecio de resiliencia); y los enfoques basados en la estructura, que simulan el comportamiento de los edificios ante perturbaciones para estimar su rendimiento. En el contexto de resiliencia térmica de edificios frente a olas de calor, predominan las métricas cuantitativas. En busca de estandarización, el proyecto IEA-EBC Annex 80 [7] recopiló los indicadores clave de desempeño (KPIs), clasificándolos en confort y estrés térmicos. Siu et al. [8] distinguen entre métricas que miden estrés térmico (como temperatura operativa o Heat Index) y las que evalúan resiliencia, clasificándolas en prevención de niveles críticos, reducción de exposición y recuperación.

CONCLUSIONES

La resiliencia térmica de los edificios frente a olas de calor es un campo en crecimiento, impulsado por el aumento en frecuencia e intensidad de eventos extremos. Este busca identificar las principales definiciones, enfoques y métricas utilizadas para evaluar la resiliencia, destacando la prevalencia de abordajes cuantitativos centrados en indicadores de desempeño térmico. Esta recopilación, evidencia la necesidad de un mayor consenso en torno a las definiciones e indicadores, que permitan estandarizar evaluaciones y facilitar comparaciones entre estudios.



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

REFERENCIAS

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Summary for Policymakers. En: Climate Change 2021 The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press; 2023. p. 3-32.
- [2] Alari A, Letellier N, Benmarhnia T. Effect of different heat wave timing on cardiovascular and respiratory mortality in France. Science of the Total Environment. 20 de septiembre de 2023; 892:164543.
- [3] Peri G, Cirrincione L, Mazzeo D, Matera N, Scaccianoce G. Building resilience to a warming world: A contribution toward a definition of “Integrated Climate Resilience” specific for buildings – Literature review and proposals. Energy and Buildings. 15 de julio de 2024; 315:114319.
- [4] Attia S, Levinson R, Ndongo E, Holzer P, Berk Kazanci O, Homaei S, et al. Resilient cooling of buildings to protect against heat waves and power outages: Key concepts and definition. Energy and Buildings. 15 de mayo de 2021; 239: 110869.
- [5] Hong T, Malik J, Krelling A, O'Brien W, Sun K, Lamberts R, et al. Ten questions concerning thermal resilience of buildings and occupants for climate adaptation. Building and Environment. 1 de octubre de 2023; 244:110806.
- [6] Hosseini S, Barker K, Ramirez-Marquez JE. A review of definitions and measures of system resilience. Reliability Engineering & System Safety. enero de 2016;145:47-61.
- [7] Holzer P, Arens E, Attia 阿提亚 S, Corrado V, Gupta R, Hamdy M, et al. Resilient Cooling of Buildings Key Performance Indicators Report (Annex 80). 2024
- [8] Siu CY, O'Brien W, Touchie M, Armstrong M, Laouadi A, Gaur A, et al. Evaluating thermal resilience of building designs using building performance simulation – A review of existing practices. Building and Environment. 2023; 234:110124.



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

CARACTERIZACION DEL SOBRECALENTAMIENTO DURANTE OLAS DE CALOR EN DEPARTAMENTOS MULTIFAMILIARES DE SALTA, ARGENTINA

CHARACTERIZATION OF OVERHEATING DURING HEAT WAVES IN MULTI-FAMILY APARTMENTS IN SALTA, ARGENTINA

Flores Larsen, Silvana ⁽¹⁾ ; Bre, Facundo ⁽²⁾ ; Filippín, Celina ⁽³⁾

(1) Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional, Universidad Nacional de Salta/CONICET, 4400 Salta, Argentina

(2) Luxembourg Institute of Science and Technology, L-4362 Esch-sur-Alzette, Luxemburgo

(3) CONICET, Santa Rosa, (6300) La Pampa, Argentina

[*seflores@unsa.edu.ar](mailto:seflores@unsa.edu.ar)

INTRODUCCIÓN

A medida que el cambio climático continúa intensificándose, las olas de calor y los periodos prolongados de temperaturas extremas se vuelven cada vez más frecuentes, duraderos e intensos. En América del Sur, esta situación se agudizará, con estimaciones que apuntan a un incremento de entre tres y diez veces en la exposición de la población a estas condiciones extremas [2] y transformándose en una creciente amenaza para la salud humana. Este fenómeno global, agravado por la creciente densificación urbana que potencia el efecto de isla de calor, produce un preocupante aumento del sobrecalentamiento en edificios residenciales [1]. Dado que las personas pasan aproximadamente el 90% de su tiempo dentro de edificaciones, estas se transforman en el refugio natural frente a eventos extremos de calor. Sin embargo, muchas construcciones presentan temperaturas interiores elevadas durante los meses más cálidos, comprometiendo el bienestar y la salud de los ocupantes y generando un aumento significativo en el consumo energético destinado a refrigeración. Este sobrecalentamiento se ha observado particularmente en edificios multifamiliares, en los que generalmente existe mayor densidad de ocupación, mayor área vidriada que incrementa las ganancias solares y menor área de ventilación natural [3]. Por otro lado, se identifica una significativa falta de datos empíricos sobre el sobrecalentamiento interior en América del Sur. Este estudio contribuye a reducir esa brecha mediante la presentación de datos experimentales sobre el comportamiento térmico de cuatro departamentos ubicados en Salta, Argentina, durante una de las olas de calor más intensas registradas en los últimos años, ocurrida en diciembre de 2023.

METODOLOGÍA

Se seleccionaron cuatro departamentos en edificios multifamiliares de la ciudad de Salta, uno en planta baja, dos en niveles intermedios y uno en el último piso, todos sin equipos de aire acondicionado. Se monitoreó, cada 15 minutos y durante el periodo cálido Oct-23 a Feb-24, la temperatura y humedad relativa de dos espacios de cada uno de los departamentos (cocina-comedor y dormitorio principal) mediante adquisidores de datos HOBO U12-013 (12 bits de resolución, $\pm 0.35^{\circ}\text{C}$, $\pm 2.5\%$ en humedad relativa). Para el presente trabajo se seleccionó la ola de calor más severa, de 6 días de duración y 41°C de temperatura máxima. A partir de las mediciones se estimaron dos métricas de sobrecalentamiento: el IOD (Indoor Overheating Degree) y el HI (Heat Index) [4, 5]. El IOD representa el exceso de temperatura respecto del nivel de confort, promediado durante el periodo de ocupación y caracteriza el sobrecalentamiento en tres niveles (*moderado*, *fuerte* y *extremo*). Por su parte, HI permite caracterizar el nivel de impacto sobre la salud en cuatro niveles (*seguro*, *precaución*, *precaución extrema*, *peligroso* y *extremadamente peligroso*), a partir de la temperatura y la humedad relativa interior. Dichas métricas se calcularon de manera horaria para todos los espacios y departamentos y permitieron caracterizar el nivel de sobrecalentamiento interior y su posible impacto en la salud.

RESULTADOS

La Figura 1 muestra las mediciones horarias de la temperatura del aire exterior y del aire interior en los dos espacios de los departamentos. Se observa que la temperatura exterior durante la ola de calor alcanzó los 41°C y que las temperaturas interiores alcanzaron 36.7°C , siendo particularmente elevadas en los dormitorios durante la noche, con consecuencias negativas sobre las condiciones de sueño. El departamento más fresco fue el de planta baja, mientras que el más caluroso fue el ubicado en el último piso, en donde el techo sin aislación térmica provocó sobrecalentamientos importantes.



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

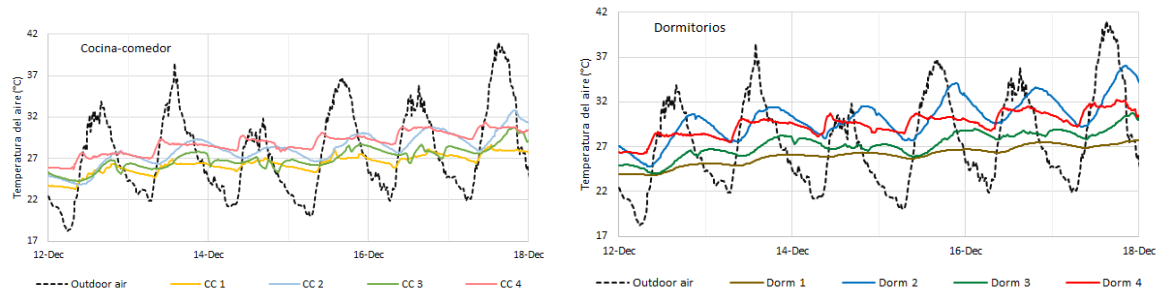


Fig. 1. Temperatura del aire interior en la cocina-comedor (izquierda) y en los dormitorios (derecha) de los 4 departamentos durante la ola de calor de Dic/2023.

Considerando un periodo de ocupación diurno (de 8 a 21) para la cocina-comedor y una ocupación nocturna (de 22 a 7) para el dormitorio, se calculó IOD, resultando en valores muy diferentes para los cuatro departamentos: IOD de entre 0.2 y 2.3 para la cocina-comedor y entre 0.1 y 2.9 para los dormitorios. En el caso de HI, el porcentaje del tiempo de ocupación con valores seguros para la salud fue de entre 0 y 24% en las cocinas-comedores y de entre 0 y 32%. Esto indica que el sobrecalentamiento fue entre fuerte y extremo para los dormitorios con niveles de hasta precaución extrema para la salud.

CONCLUSIONES

Los resultados muestran que durante la ola de calor monitoreada los espacios interiores sobrecalentaron, con niveles entre *fuerte* y *extremo*, excepto para el departamento en planta baja (*moderado*). Esto se debe al aporte de la masa térmica de la tierra y a la baja ganancia solar por áreas vidriadas. Por otra parte, estos resultados evidencian la urgente necesidad de incorporar al diseño estrategias de refrescamiento pasivas que permitan disminuir las altas temperaturas ocasionadas por eventos de calor cada vez más frecuentes e intensos y que las regulaciones nacionales consideren estos aspectos de eficiencia energética y resiliencia.

REFERENCIAS

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte et al. (eds.)]. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>; 2021.
- [2] Ramarao, M. V. S., Arunachalam, S., Sánchez, B. N. et al., Projected changes in heatwaves over Central and South America using high-resolution regional climate simulations. Scientific Reports 14, 23145 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-73521-6>
- [3] K.J. Lomas, S.M. Porrit, Overheating in buildings: Lessons from research. Building Research & Information, 45 (2017), 1–18. <https://doi.org/10.1080/09613218.2017.1256136>



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA A LA EVALUACIÓN DE CALIDAD DEL AIRE EN VIVIENDAS DEL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE MÉRIDA, MÉXICO.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLIED TO ASSESS AIR QUALITY IN HOMES IN THE HISTORIC CENTER OF THE CITY OF MÉRIDA, MEXICO.

Hernandez Bautista, Anthony Jair ⁽¹⁾; Vázquez Torres, Claudia Eréndira ⁽¹⁾; Henríquez, Félix ⁽²⁾; Ali, Bassam ⁽¹⁾

(1) Laboratorio de Modelado y Optimización de Procesos Energéticos y Ambientales, Posgrado en Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, Av. Industrias No Contaminantes, Mérida, Yucatán, México

(2) Universidad Tecnológica de Panamá (Panamá)

*anthony_jair@outlook.com; baali@correo.uady.mx

INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica es un problema mundial que afecta directamente a la salud de la población y al medio ambiente y está reconocida como una de las cinco principales causas de muerte en todo el mundo (Lelieveld et al., 2020). Los niveles más graves de contaminación atmosférica se han documentado en zonas urbanas (Kaginalkar et al., 2022). En América Latina, en particular, las personas pasan una cantidad significativa de tiempo en interiores. Por lo tanto, la calidad del aire se convierte en un factor extremadamente importante para su salud y productividad (Nilandita et al., 2019). Sin embargo, dada la situación económica específica de México, es esencial implementar soluciones rentables que se ajusten a los limitados recursos financieros del país (Vázquez-Torres et al., 2024). El estudio propone una metodología para predecir el confort térmico y la calidad del aire en viviendas del centro de Mérida, México. Para ello, se recopilarán datos al interior de la vivienda y climatológicos externos. Estos se usarán para entrenar un modelo de regresión basado en aprendizaje automático. El modelo será evaluado estadísticamente y se realizará un análisis de sensibilidad para determinar el impacto de las variables.

METODOLOGÍA

La metodología implementada en esta investigación consta de tres fases principales. La primera consiste en la instrumentación y medición de datos en una vivienda social ubicada en el centro de Mérida, México. El sistema de adquisición de datos permite detectar variables dentro de la vivienda, como la temperatura, humedad relativa, ozono, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, nivel de ruido y partículas en suspensión (PM₁, PM_{2.5} y PM₁₀), además se adquirirá información climatológica externa del mismo periodo de tiempo mediante PVGIS. Posteriormente, la información se preprocesará para estandarizar el conjunto de datos y se entrenará mediante inteligencia artificial empleando Ensemble Trees (ET). El modelo se evaluará mediante cuatro métricas estadísticas: Error absoluto medio (MAE), Error cuadrático medio (MSE), Error cuadrático medio cuadrático (RMSE) y Coeficiente de determinación (R²), con el fin de determinar el comportamiento del algoritmo. Por último, mediante un análisis de sensibilidad global de Sobol, se determinará el efecto de las variables de entrada en las de salida, es decir, qué variable tiene mayor influencia. Los resultados obtenidos servirán de base para desarrollar sensores inteligentes en sistemas de ventilación que mejoren la calidad del aire y de vida de la población local.

RESULTADOS

Las variables medidas experimentalmente dieron como resultado una temperatura interior media de la vivienda de 30,05 °C. Las concentraciones promedio fueron de 451,33 ppm para dióxido de carbono, 137,33 ppm de sulfuro de hidrógeno, 234,35 µg/m³ de ozono y 2,86 µg/m³ de partículas en suspensión (PM₁), 4,86 µg/m³ de PM_{2.5} y 5,68 µg/m³ de PM₁₀. Estos resultados nos permiten identificar problemas de calidad ambiental en el interior de las viviendas que afectan directamente a sus habitantes. En cuanto al entrenamiento del algoritmo basado en Ensemble Trees (ET), se obtuvieron coeficientes de determinación R² de 0.8443, 0.9201, 0.8093, 0.6989, 0.8165, 0.7715 y 0.7736, correspondientes a las variables CO₂, H₂S, ruido, O₃, PM₁, PM_{2.5} y PM₁₀, respectivamente. Estos resultados evidencian relativamente un considerable desempeño del modelo en algunas variables, no obstante, es posible explorar otros algoritmos de aprendizaje que puedan reflejar mejor precisión de las predicciones. El análisis de sensibilidad de Sobol permitió cuantificar la contribución relativa de cada variable de entrada sobre la variabilidad de las variables de salida. La Figura 1 presenta los índices de sensibilidad total (ST) correspondientes a siete contaminantes (CO₂, H₂S, Ruido, Ozono, PM₁, PM_{2.5} y PM₁₀), evaluados con respecto a seis variables de entrada. Un índice ST cercano a 1 refleja una alta incidencia de dicha variable en el comportamiento del contaminante. En general, las variables con mayor influencia fueron la temperatura exterior (T_{out}) y la humedad exterior (H_{out}).



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

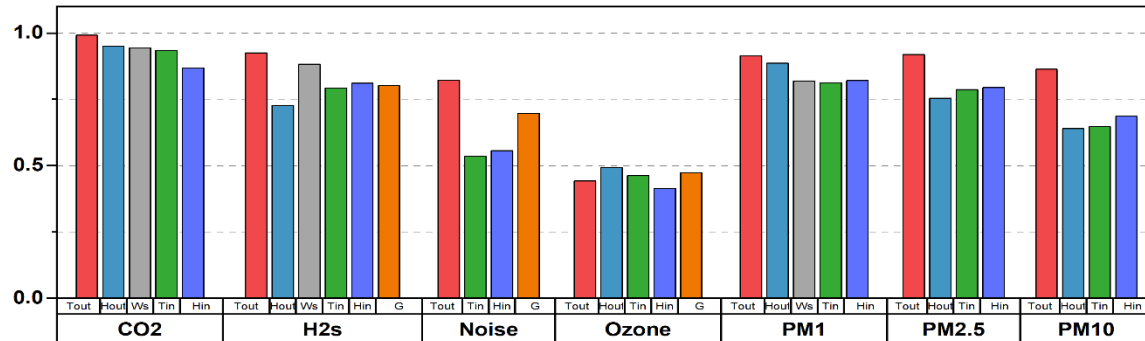


Fig. 1. Índices de sensibilidad total (ST) de los contaminantes respecto a las variables de entrada.

REFERENCIAS

- [1] Kaginalkar, A., Kumar, S., Gargava, P., Kharkar, N., & Niyogi, D. (2022). SmartAirQ: A Big Data Governance Framework for Urban Air Quality Management in Smart Cities. In *Frontiers in Environmental Science* (Vol. 10). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.785129>
- [2] Lelieveld, J., Pozzer, A., Pöschl, U., Fnais, M., Haines, A., & Münzel, T. (2020). Loss of life expectancy from air pollution compared to other risk factors: A worldwide perspective. *Cardiovascular Research*, 116(11), 1910–1917. <https://doi.org/10.1093/cvr/cvaa025>
- [3] Nilandita, W., Munfarida, I., Ratodi, M., Nurmaningsih, D. R., & Suprayogi, D. (2019). The Indoor Air Quality in Laboratory Buildings. A Case Study in Integrated Laboratory of UIN Sunan Ampel Surabaya. *KnE Social Sciences*, 873-882–873–882. <https://doi.org/10.18502/KSS.V3I21.5018>
- [4] Vázquez-Torres, C. E., Quijano-Cetina, R. G., Sánchez-Domínguez, I., & Ali, B. (2024). POTENTIAL OF A LOW-COST SYSTEM FOR MEASURING INDOOR ENVIRONMENTAL QUALITY IN LATIN AMERICAN EXTREME CLIMATES TOWARDS ENERGY EQUITY. *Habitat Sustentable*, 14(2), 76–85. <https://doi.org/10.22320/07190700.2024.14.02.06>



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

INNOVACIÓN TECNOLÓGICA Y OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA

Este tema se enfoca en los avances tecnológicos que permiten una mayor eficiencia en la producción, distribución y uso de la energía. Se incluyen edificios y sistemas inteligentes, digitalización, almacenamiento energético, redes inteligentes (*smart grids*) e integración eficiente y segura de fuentes renovables. Se valorarán propuestas que aborden la aplicación de estas tecnologías en el sector de la edificación, tanto en nuevas construcciones como en procesos de renovación.



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

INNOVACIÓN EN AEROGENERADORES VERTICALES: OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA Y ESCALABILIDAD PARA UN DESARROLLO SOSTENIBLE

INNOVATION IN VERTICAL-AXIS WIND TURBINES: ENERGY OPTIMIZATION AND SCALABILITY FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Fariñas Wong, Ernesto Yoel ⁽¹⁾; Jaureguí Rigó, Sergio ⁽¹⁾; Peláez Cervera, Alián ⁽¹⁾

(1) Centro de Estudios Energéticos y tecnologías Ambientales (CEETA), Universidad Central de Las Villas, Cuba

*ernstoyoel@gmail.com

INTRODUCCIÓN

Este estudio presenta el desarrollo integral de un aerogenerador de eje vertical (VAWT) innovador, diseñado para abordar los desafíos actuales en la generación de energía eólica distribuida. El prototipo combina tecnologías avanzadas de diseño aerodinámico [1] con un enfoque de fabricación accesible, permitiendo su producción en talleres locales con equipamiento convencional [2]. La investigación se centra en tres pilares fundamentales: (1) optimización energética mediante perfiles de palas mejorados computacionalmente [3], (2) modularidad para aplicaciones escalables [4], y (3) integración de materiales compuestos de bajo costo [1].

El diseño propuesto supera limitaciones de VAWT convencionales mediante:

- Geometría adaptativa que regula automáticamente el ángulo de ataque en vientos turbulentos [3].
- Sistema de transmisión directa que reduce pérdidas mecánicas en un 15-20% respecto a modelos anteriores [4].
- Estructura desmontable que facilita mantenimiento y transporte [2].

Los ensayos de validación, programados para el último trimestre de 2024, incluirán:

- Monitoreo continuo de parámetros operativos (torque, RPM, potencia) bajo diversas condiciones de viento [1].
- Análisis estructural mediante sensores de deformación en componentes críticos [3].
- Evaluación comparativa con turbinas horizontales de similar escala en condiciones reales [4].

Resultados preliminares de simulaciones CFD muestran un coeficiente de potencia (C_p) mejorado en 22% para velocidades entre 4-8 m/s [3], mientras que el análisis económico proyecta retornos de inversión 30% más rápidos que soluciones comerciales equivalentes [2]. Este desarrollo representa un avance significativo para la energía eólica urbana y rural, particularmente en regiones con infraestructura limitada [1].

METODOLOGÍA

El desarrollo del aerogenerador vertical VAWT se abordó mediante una metodología integral que combinó investigación teórica, modelado computacional y validación experimental. Inicialmente, se realizó una revisión exhaustiva del estado del arte de turbinas eólicas de eje vertical, analizando diseños como los rotores Savonius, Darrieus y Giromill [5, 6]. Esta fase incluyó la evaluación de túneles de viento atmosféricos, seleccionándose un diseño de circuito abierto según la norma AMCA STANDARD 210 [7] por su menor complejidad constructiva [8].

Para el diseño aerodinámico, se adoptó el rotor Lenz II debido a su eficiencia en bajas velocidades de viento [9], cuyos parámetros geométricos (índice de curvatura = 0.1875, ángulo de ataque = 9°) se optimizaron mediante simulaciones CFD en SolidWorks [10]. Los ensayos numéricos incluyeron análisis de coeficientes de sustentación (CL), arrastre (CD) y momento (Cm), validados con principios de dinámica de fluidos [11] y la norma IEC 61400-12-1 [12].

La construcción del prototipo priorizó componentes nacionales, como el generador adaptado de motorinas cubanas [13] y estructuras metálicas conforme a la norma NC 93-02-104 [14]. Finalmente, se diseñó un túnel de viento experimental con instrumentación calibrada [15] para pruebas de potencia y resistencia estructural.

RESULTADOS

Los resultados demostraron la viabilidad del diseño propuesto. El rotor Lenz II, con un diámetro de 0.91 m y altura de 1.22 m, alcanzó un coeficiente de potencia (C_p) máximo de 0.35 a una relación de velocidad en la punta (TSR) de 0.8, superando el rendimiento de rotores convencionales en entornos turbulentos [9]. Las simulaciones CFD revelaron fuerzas aerodinámicas equilibradas, con sustentación (FL) de 0.53 kg y arrastre (FD) de 2.79 kg a 7 m/s de velocidad del viento [16].

El análisis estructural mediante FEA confirmó una tensión máxima de Von Mises de 85.3 MPa y desplazamientos mínimos (0.02 mm), garantizando la integridad del sistema [17]. En pruebas experimentales, el prototipo generó 100 W de potencia eléctrica, cumpliendo con los objetivos de escalabilidad y adaptabilidad a bajas velocidades. La integración de componentes nacionales redujo costos en un 30% respecto a alternativas importadas [13], validando su aplicabilidad en contextos con limitaciones industriales.



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

CONCLUSIONES

Este desarrollo demuestra cómo el aerogenerador de eje vertical (VAWT) integra modelos de desarrollo sostenible, innovación tecnológica y eficiencia energética, ofreciendo una solución alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU, particularmente el ODS 7 (energía asequible y no contaminante) y el ODS 9 (industria, innovación e infraestructura). El diseño optimizado del rotor Lenz II, con geometría adaptativa y transmisión directa, representa un avance en tecnologías limpias, alcanzando valores de potencia (C_p) deseables para este tipo de máquinas por encima de las configuraciones tradicionales.

La metodología combinó ensayos de mecánica de fluidos computacional CFD, análisis estructural (FEA) y fabricación con materiales locales, demostrando que la innovación puede ser accesible y replicable en contextos con limitaciones industriales. El prototipo fue validando en su entrega de potencia y su potencial para sistemas energéticos distribuidos, clave para reducir pérdidas en transmisión y democratizar el acceso a energía renovable.

La reducción del 15-20% en pérdidas mecánicas y el uso de materiales compuestos de bajo costo optimizan la relación entre inversión y eficiencia, crucial para economías en desarrollo.

La escalabilidad del diseño y su fabricación local promueven cadenas de valor regionales, alineándose con principios de economía circular y soberanía tecnológica.

Su aplicación en entornos urbanos y rurales mitiga la pobreza energética, al ofrecer una alternativa viable donde la infraestructura convencional es inviable.

Para maximizar su impacto, se recomienda: Integrar estos VAWT con sistemas híbridos (solar-eólico) y almacenamiento en baterías. Desarrollar políticas públicas que incentiven su adopción, vinculándolas a programas de transición energética justa.

REFERENCIAS

- [1] L. Wang, Y. Chen, Z. Liu, Recent advances in vertical-axis wind turbine design: From urban applications to offshore systems, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 189 (2024) 113987. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113987>
- [2] M. Rodríguez-García, A. Pérez-López, J. Fernández-Gámiz, Computational fluid dynamics analysis of novel blade designs for small-scale VAWTs, *Energy Convers. Manag.* 292 (2023) 117384. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117384>
- [3] S. Patel, R.K. Singh, Modular VAWT systems for decentralized energy generation: Technical and economic assessment, *Appl. Energy*. 351 (2024) 121876. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121876>
- [4] K. Tanaka, H. Yamamoto, Comparative field testing of vertical and horizontal axis wind turbines in low-wind conditions, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.* 244 (2024) 105672. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2023.105672>
- [5] Cuesta, Aerogeneradores de eje vertical: Fundamentos y aplicaciones. Editorial Renovetec, 2008.
- [6] Paraschivoiu, Wind Turbine Design: Darrieus Concept and CFD Modeling. Wiley, 2009.
- [7] AMCA, ANSI/AMCA 210-16: Laboratory Methods of Testing Fans for Certified Aerodynamic Performance Rating. Air Movement and Control Association, 2016.
- [8] E. Bermeo, Diseño de túneles de viento para aplicaciones en energías renovables. *Revista Ingeniería Mecánica*, 15(2), 45-60, 2012.
- [9] E. Lenz, Lenz Rotor: A Hybrid Vertical Axis Wind Turbine Design. *Renewable Energy Journal*, 30(4), 112-125, 2005.
- [10] F. Furtmayr, Optimización de rotores eólicos híbridos mediante CFD. Tesis doctoral, TU München, 2013.
- [11] R. Caila, G. Molina, Fluid Dynamics in Wind Turbines: Theory and Applications. Springer, 2015.
- [12] IEC, IEC 61400-12-1: Wind Turbine Power Performance Testing. International Electrotechnical Commission, 2017.
- [13] EMI Che Guevara, Informe técnico: Adaptación de motores para generación eólica. Documento interno, 2023.
- [14] ONN, NC 93-02-104: Norma Cubana para Estructuras Metálicas. Oficina Nacional de Normalización, 2020.
- [15] ISO, ISO 3966:2008. Measurement of Fluid Flow in Closed Conduits. International Organization for Standardization, 2008.
- [16] E. Quispe, Análisis de perfiles aerodinámicos para turbinas eólicas urbanas. *Revista Ingeniería Energética*, 12(3), 78-92, 2017.
- [17] R. G. Budynas, J. K. Nisbett, Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley (9ª ed.). McGraw-Hill, 2008.



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá
22nd–23rd October 2025

OPTIMIZACIÓN DEL MICROCLIMA INTERIOR DE UN EDIFICIO HISTÓRICO DE SALTA: MUSEO CASA ARIAS RENGEL

INDOOR MICROCLIMATE OPTIMIZATION OF A HISTORIC BUILDING IN SALTA: CASA ARIAS RENGEL MUSEUM

Gea Salim, Camila ⁽¹⁾; Flores Larsen, Silvana ⁽¹⁾; Hongn, Marcos ⁽¹⁾; González, Silvina ⁽¹⁾

(1) Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO) - Universidad Nacional de Salta – CONICET, Argentina

[*camilagea@unsa.edu.ar](mailto:camilagea@unsa.edu.ar)

INTRODUCCIÓN

La rehabilitación energética de edificios históricos es uno de los pilares fundamentales de las estrategias de eficiencia energética orientadas a transformar el entorno construido hacia un futuro sostenible. Este tipo de edificios presenta uno de los consumos energéticos más elevados del parque edificado, principalmente debido a la baja capacidad de aislamiento térmico de la envolvente, la deficiente calidad de las carpinterías frente a las infiltraciones de aire y la alta inercia térmica derivada de los gruesos muros, entre otras características [1][2]. Al planificar la rehabilitación energética, los museos que funcionan en edificios históricos enfrentan un desafío único: **equilibrar la mejora energética con los objetivos de preservar el patrimonio cultural y de mantener las condiciones ambientales óptimas para sus colecciones.**

METODOLOGÍA

La metodología adoptada en este estudio se encuentra detallada en un trabajo previo realizado por los autores [3] y se resume en la Figura 1.

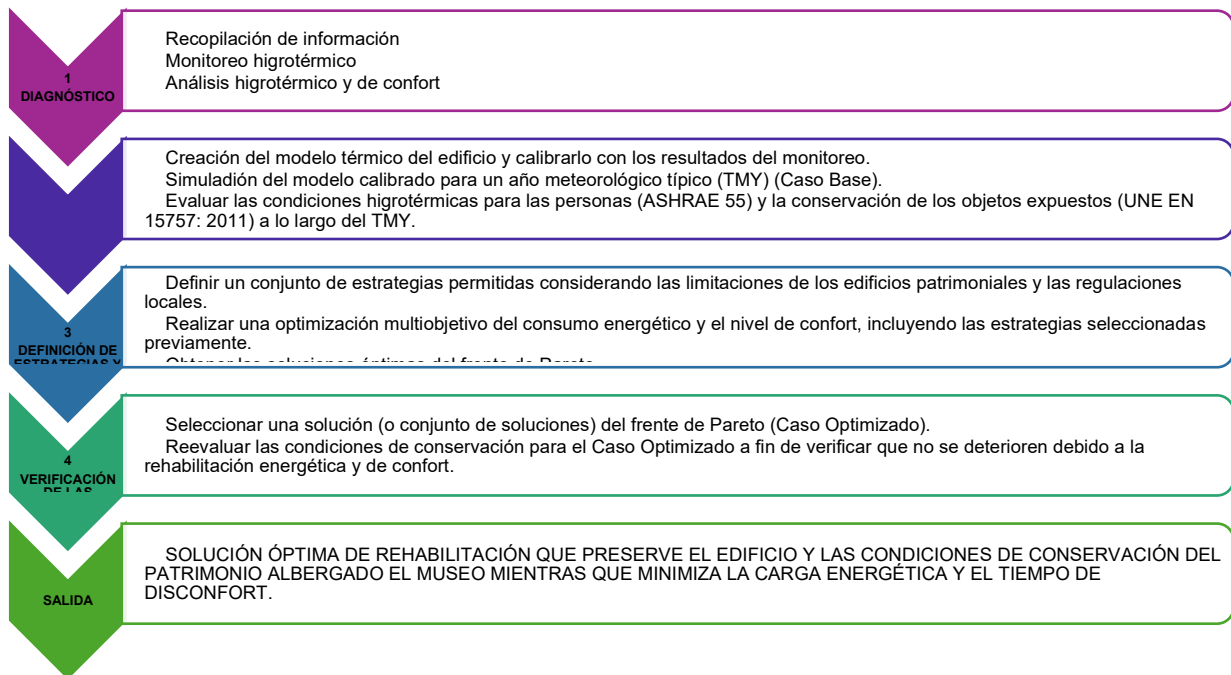


Fig. 1. Esquema de la metodología utilizada.

RESULTADOS

A partir de la simulación dinámica calibrada y la optimización multiobjetivo los parámetros de la solución optimizada representan el caso de utilizar aislación en paredes de planta alta (con un espesor de aislación de 0,14 m en el interior y de 0,095 m en el exterior), en planta baja únicamente aislación interior de 0,075 m en oficinas y 0,095 en salas, aislación en cubierta de 0,2 m de espesor, y una disminución de las renovaciones de aire hasta 0,2 (que es el menor valor posible) tanto para salas como para oficinas. Los resultados de la optimización se ilustran en la Figura 2.

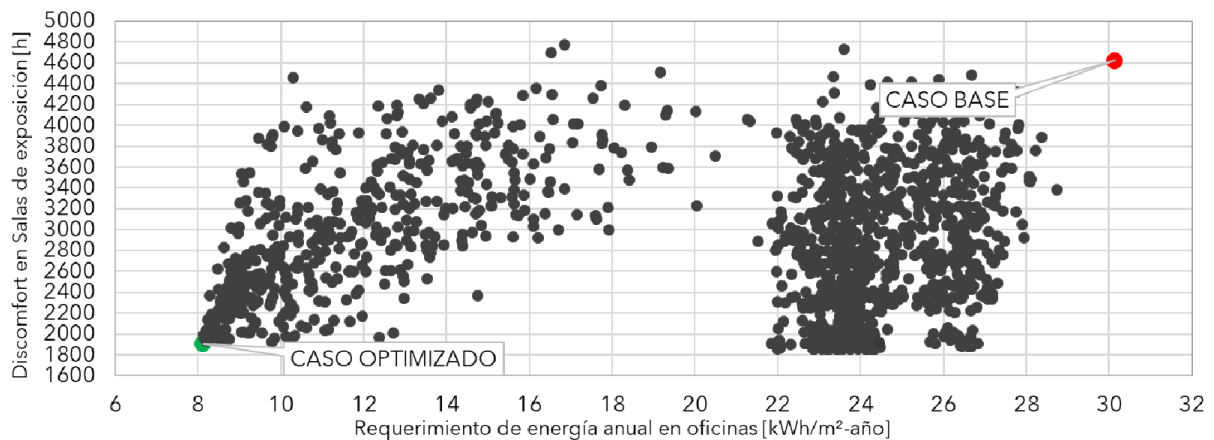


Fig. 2. Optimización paramétrica multiobjetivo. En verde: caso optimizado. En rojo: caso base.

CONCLUSIONES

Los resultados muestran que es posible reducir el requerimiento de energía anual (en un 71 %) en oficinas con sistemas de climatización y reducir las horas anuales de discomfort en salas (en un 59%) con la implementación de mejoras en la envolvente edilicia. Al mismo tiempo se pudo verificar que las mejoras en el ambiente no perjudican la conservación preventiva de los objetos y obras de artes resguardados en el museo.

REFERENCIAS

- [1] Kyritsi, E., Philokyprou, M., Kyriakidis, A., Michael, A., & Michopoulos, A. (2023). Energy retrofitting of heritage buildings: An integrated methodology. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1196(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1196/1/012108>
- [2] Calcerano, F., Thravalou, S., Martinelli, L., Alexandrou, K., Artopoulos, G., & Gigliarelli, E. (2023). Energy and Environmental Improvement of Built Heritage: HBIM Simulation-Based Approach Applied to Nine Mediterranean Case Studies. Building Research & Information, 52(1–2), 225–247.
- [3] Gea-Salim, C., Flores-Larsen, S., Hongn, M., & Gonzalez, S. (2024). A Framework for Multi-Objective Optimization in Energy Retrofit of Heritage Museums: Enhancing Preservation, Comfort, and Conservation Conditions. Heritage, 7(12), 7210–7235. <https://doi.org/10.3390/heritage7120333>



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

MODELOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE Y ENERGÍAS RENOVABLES

Aborda la relación entre energía, desarrollo edificatorio y territorial, promoviendo modelos que integren energías renovables con respeto al medio ambiente, inclusión social y dinamización económica local. Se analizarán casos de éxito, barreras y oportunidades para implementar soluciones sostenibles en diferentes contextos urbanos y rurales de América Latina y otras regiones del mundo.



MODELADO PREDICTIVO DE LA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO EN CELDAS MICROTUBULARES DE ÓXIDO SÓLIDO

PREDICTIVE MODELING OF HYDROGEN PRODUCTION IN MICROTUBULAR SOLID OXIDE CELLS

Castillo, Jesús ⁽¹⁾; James, Arthur ⁽¹⁾; Morales-Zapata, Miguel Ángel ⁽²⁾

(1) Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Panamá, Av. Universidad Tecnológica de Panamá, Vía Puente Centenario, Campus Metropolitano Víctor Levi Sasso, Ciudad de Panamá, Panamá

(2) Centro de Investigación e Innovación en Eléctrica, Mecánica y de la Industria, Av. Domingo Díaz (Vía Tocumen), Campus de Investigación de la Universidad Tecnológica de Panamá, Pabellón C, Ciudad de Panamá, Panamá

*miguel.morales2@utp.ac.pa

INTRODUCCIÓN

En el contexto de la transición energética justa de Panamá, donde la seguridad energética y el acceso equitativo a nuevas tecnologías son pilares fundamentales para el desarrollo sostenible del país, las celdas de óxido sólido (SOCs) emergen como dispositivos de gran promesa. Panamá, con su compromiso de aumentar la participación de energías renovables y descarbonizar su matriz energética, se enfrenta a desafíos como la intermitencia de fuentes renovables y la necesidad de reducir su dependencia de combustibles fósiles importados. Las SOCs son dispositivos versátiles capaces de separar moléculas de hidrógeno del vapor de agua para su almacenamiento y uso posterior, ofreciendo una solución clave para la producción y almacenamiento de hidrógeno verde, un vector energético limpio esencial para la descarbonización de sectores clave como el transporte marítimo en el Canal de Panamá. También pueden operar en modo inverso, funcionando como celdas de combustible para convertir la energía química en energía eléctrica [1], lo que las hace valiosas para la estabilización de la red y el suministro de energía cuando las fuentes renovables no están disponibles (Fig. 1).

Entre varias configuraciones, las celdas de óxido sólido microtubulares han ganado una atención significativa debido a su alta eficiencia en condiciones de operación a altas temperaturas y su capacidad para soportar ciclos térmicos rápidos. Esta robustez mejorada se atribuye a una mejor distribución del calor en toda la estructura. Además, la reducción del diámetro en la geometría microtubular aumenta la densidad de potencia por unidad de volumen al proporcionar una mayor área activa para la reacción electroquímica. Para Panamá, la implementación de estas tecnologías podría significar un paso significativo hacia una mayor independencia energética, la mitigación del cambio climático y la creación de nuevas oportunidades económicas. Este estudio en curso se centra específicamente en la predicción de la producción de hidrógeno (por electrolizadores de óxido sólido o SOEC, Fig. 1) y el rendimiento operativo de las SOCs microtubulares de alta temperatura cuando operan en modo electrolizador a 800 °C [2], sentando las bases para su futura aplicación en el panorama energético panameño.

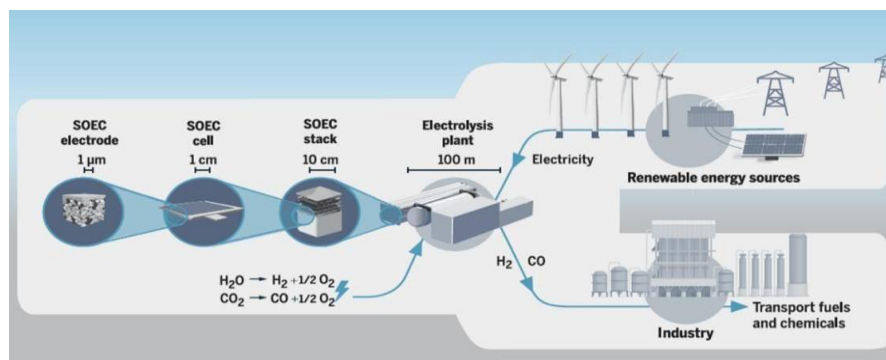


Fig. 1. La descomposición del H₂O se produce en los electrodos de las celdas de electrólisis de óxido sólido (SOEC). Varias celdas se combinan en stacks, que a su vez se combinan en plantas electrolizadoras. Cuando se utiliza electricidad renovable, la producción de combustibles para el transporte y productos químicos puede desvincularse de los recursos fósiles [3].



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá
22nd–23rd October 2025

METODOLOGÍA

La metodología de este estudio se basa en la simulación computacional de la respuesta electroquímica y el rendimiento operativo de SOC microtubulares de 6 cm de largo, operando en modo electrolizador a 800 °C. Este enfoque permite una comprensión profunda de los fenómenos multifísicos. La investigación se lleva a cabo utilizando Ansys y Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) para capturar las interacciones entre los procesos electroquímicos, el transporte de masa y las condiciones térmicas.

El proceso de simulación se desglosa en fases clave (Fig. 2):

- **Modelado Geométrico:** Se construye un modelo tridimensional preciso de la celda micro tubular de 6 cm, detallando la geometría interna y externa utilizando el CAD de Ansys.
- **Mallado (Meshing):** Se genera una malla computacional refinada y adaptativa en todas las regiones relevantes para asegurar la precisión de los resultados.
- **Simulación en Ansys y CFD:** Se configuran las ecuaciones de gobierno para el transporte de especies, transferencia de calor y flujo de corriente. Se implementan modelos electroquímicos (Butler-Volmer), de transporte de masa y de transferencia de calor. El aspecto crítico es el acoplamiento bidireccional entre la física electroquímica, el transporte de fluidos y la transferencia de calor utilizando Ansys Fluent.
- **Comparación y Validación con Resultados Experimentales:** Los resultados de las simulaciones se comparan y validan rigurosamente con datos experimentales para ajustar y refinar los parámetros del modelo, aumentando la confianza en su capacidad predictiva.
- **Variación de Condiciones Operativas:** Se investiga el impacto de la variación de presión, temperatura y flujo de reactantes en el rendimiento de la celda, identificando condiciones óptimas.
- **Discusión y Análisis de Resultados:** Se realiza un análisis exhaustivo de los resultados de las simulaciones, incluyendo densidades de corriente, perfiles de concentración y mapas de temperatura. Se interpretan las implicaciones de las simulaciones mecánicas, electroquímicas y de CFD para comprender cuellos de botella y oportunidades de mejora, crucial para el desarrollo y futura implementación de las SOC en Panamá.



Fig. 2. Esquemático con la secuencia en que se realizará la metodología de este estudio.

RESULTADOS

Este trabajo ha avanzado significativamente, pasando de la conceptualización a las fases iniciales de ejecución. Se ha completado con éxito el modelado geométrico detallado (Fig. 3a) y el mallado computacional de las SOC microtubulares de 6 cm (Fig. 3b), un paso crítico para la precisión de nuestras simulaciones. Este mallado, meticulosamente refinado, establece los cimientos sobre los cuales se construirá mayor comprensión de los complejos fenómenos electroquímicos y de transporte.

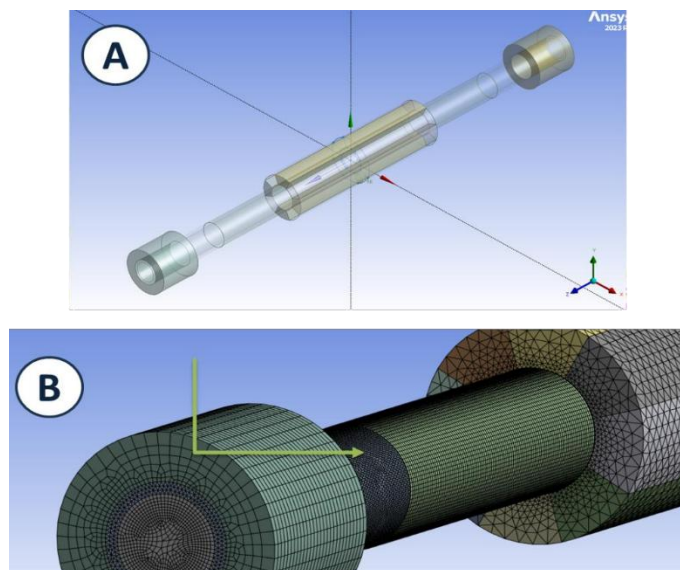


Fig. 3. Resultados preliminares de las simulaciones en Ansys: a) diseño geométrico de los componentes de la SOC y la posición de los contactos eléctricos. b) Mallado de los componentes de Fig. 3a.

Actualmente, las primeras simulaciones multifísicas, utilizando Ansys Fluent, ya están en marcha. Estamos procesando datos que nos permitirán vislumbrar el comportamiento interno de estas celdas a 800 °C en modo electrolizador. Estas simulaciones iniciales están revelando perspectivas sobre las distribuciones de temperatura, los flujos de especies y las densidades de corriente, aspectos fundamentales para optimizar la producción de hidrógeno.

Sin embargo, es crucial destacar que estos resultados iniciales se encuentran en proceso de rigurosa validación. El principal resultado esperado de este trabajo es un modelo simulado que pueda predecir de manera confiable las tasas de producción de hidrógeno y las características de rendimiento de las celdas de óxido sólido microtubulares. Para asegurar su precisión y fiabilidad, los resultados de la simulación se compararán y validarán intensivamente con datos experimentales. Este proceso de validación es un pilar central de nuestra metodología, garantizando que nuestro modelo no solo sea teóricamente sólido, sino también empíricamente robusto y aplicable a las realidades operativas de la producción de hidrógeno en Panamá.

CONCLUSIONES

Se anticipa que esta investigación contribuirá significativamente a una mejor comprensión del impacto de la producción de hidrógeno en el rendimiento de las celdas de óxido sólido microtubulares. Más importante aún, el modelo simulado validado servirá como una valiosa herramienta de diseño para la optimización y el desarrollo de futuros sistemas de celdas de óxido sólido microtubulares de alta temperatura, facilitando una producción de hidrógeno más eficiente y robusta.

REFERENCIAS

- [1] S. Horr, H. Mohcene, H. Bouguettaia, H. B. Moussa, Performance analysis of AS-SOFC fuel cell combining single and sinusoidal flow field: numerical study, *Renew. Energy Environ. Sustain.* 6, 18 (2021). <https://doi.org/10.1051/rees/2021018>
- [2] M. A. Morales-Zapata, A. Larrea, M. A. Laguna-Bercero, Reversible operation performance of microtubular solid oxide cells with a nickelate-based oxygen electrode, *International Journal of Hydrogen Energy* 45, 8 (2020) 5535-5542. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.05.122>
- [3] A. Hauch, R. Küngas, P. Blennow, A.B. Hansen, J.B. Hansen, B. V. Mathiesen, M.B. Mogensen, Recent advances in solid oxide cell technology for electrolysis, *Science* 370(6513) (2020), eaba6118. <https://doi.org/10.1126/science.aba6118>



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

SOLUCIONES INNOVADORAS DE CAPTURA DE CO₂ Y COSTOS EN INDUSTRIAS CLAVE INNOVATIVE CO₂ CAPTURE AND COST SOLUTIONS IN KEY INDUSTRIES

Morales-Zapata, Miguel Ángel ⁽¹⁾

(1) Centro de Investigación e Innovación en Eléctrica, Mecánica y de la Industria, Av. Domingo Díaz (Vía Tocumen), Campus de Investigación de la Universidad Tecnológica de Panamá, Pabellón C, Ciudad de Panamá, Panamá

[*miguel.morales2@utp.ac.pa](mailto:miguel.morales2@utp.ac.pa)

INTRODUCCIÓN

La captura de CO₂ (CCS, por sus siglas en inglés) es una tecnología crucial para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero. Dada la diversidad de fuentes industriales de CO₂, la eficiencia y el costo de su captura varían significativamente según el proceso. La captura de CO₂ (CCO) ha sido ampliamente estudiada como estrategia clave para la descarbonización industrial. Según Rubin et al. [1], los costos de captura varían significativamente según la concentración de CO₂ en el flujo de gases, siendo más bajos en industrias con emisiones de alta pureza, como el amoníaco y el etanol. Tecnologías como la absorción química con aminas, utilizada en procesos postcombustión, han sido aplicadas en sectores como el acero y el cemento, aunque con mayores costos operativos [2]. Asimismo, estudios recientes destacan el potencial de nuevos materiales como solventes eutécticos y líquidos iónicos para reducir el consumo energético del proceso [3]. La evaluación técnico-económica, basada en herramientas como Aspen Plus, permite comparar configuraciones y ajustar las tecnologías a condiciones específicas de cada industria [4], lo que es esencial para una implementación efectiva y rentable de la CCO a gran escala. Este trabajo explora soluciones innovadoras y sus costos asociados para la captura de CO₂ en siete industrias clave, destacando las particularidades de cada una que influyen en la viabilidad económica de la captura [5].

METODOLOGÍA

Esta metodología integral evalúa la captura de CO₂ en industrias específicas, considerando procesos y flujos de descarga, y promoviendo la innovación en materiales. Su objetivo es desarrollar soluciones eficientes y adaptables que cumplan con los estándares requeridos para aplicaciones como la Recuperación Mejorada de Petróleo (EOR), abordando aspectos técnicos, económicos y regulatorios.

El primer paso es la caracterización detallada del flujo de CO₂, identificando impurezas como N₂, O₂, SO₂, NO_x, CO, H₂O e hidrocarburos. También se determinan condiciones de operación (presión, temperatura, caudal) y su variabilidad. Se utilizan herramientas como cromatografía de gases, espectrometría de masas, sensores específicos, termopares y sistemas de adquisición de datos en tiempo real.

En segundo lugar, se promueve la fabricación y optimización de materiales innovadores como líquidos iónicos, cerámicos eutécticos (Fig. 1) y materiales porosos (MOFs). Se busca aumentar la selectividad, reducir la energía de regeneración y mejorar la estabilidad térmica. Para ello, se aplican técnicas de síntesis, caracterización estructural (XRD, SEM, FTIR), análisis termofísico (DSC, TGA) y pruebas de captura a alta presión. Además, se consideran los costos de producción, la sostenibilidad y la integración con tecnologías industriales existentes.

El tercer componente aborda los requisitos de purificación del CO₂ capturado, asegurando que cumpla con los límites de impurezas establecidos por normas como API e ISO. Se realiza un monitoreo en línea del gas purificado y se estudian casos reales de transporte por tubería y uso en EOR.

En cuarto lugar, se realiza la selección y diseño de sistemas de captura, según la composición del flujo. Para emisiones de baja pureza (como gases de combustión), se priorizan tecnologías de absorción con aminas o materiales novedosos. En flujos de alta pureza (como hidrógeno), se consideran membranas o adsorción. La integración con los procesos existentes se evalúa mediante pruebas en laboratorio, plantas piloto, simulación (Aspen Plus, HYSYS) y análisis de datos operacionales.

Finalmente, se evalúan los costos y la viabilidad del proyecto, tanto para nuevas instalaciones ("greenfield") como para adaptaciones ("retrofit"), con eficiencias del 90% y 99%. Se consideran inversiones (CAPEX), costos operativos (OPEX), análisis financiero (VAN, TIR, Payback) y análisis de sensibilidad y riesgo. También se integran beneficios ambientales como reducción de emisiones y créditos de carbono.

En conjunto, esta metodología impulsa la adopción tecnológica y el desarrollo de materiales avanzados para lograr una captura de CO₂ eficiente y sostenible.

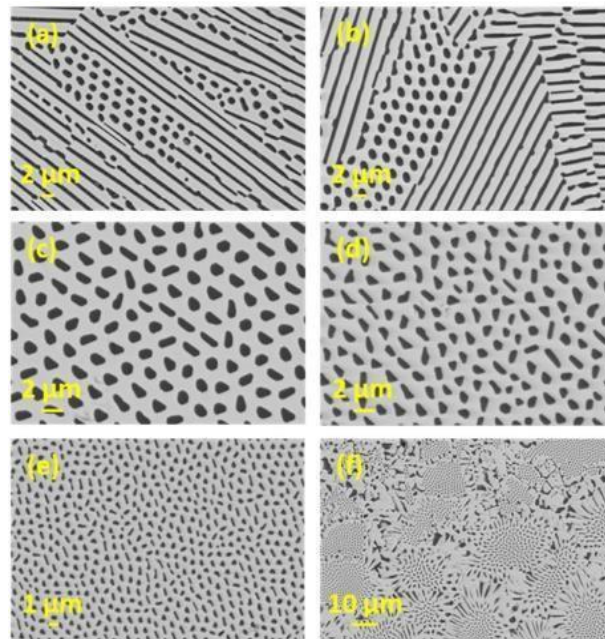


Fig. 1. Micrográficas electrónicas de barrido (SEM) retrodispersadas de las secciones transversales de bastoncillos del eutéctico $(\text{Ce}_x\text{Zr}_{1-x})_{1-y}\text{Mg}_y\text{O}_{2-y}-\text{MgO}$ cultivados a 25 mm/h para (a) $x = 0,05$, (b) $x = 0,15$, (c) $x = 0,3$ y (d) $x = 0,5$; (e) y (f) muestran regiones fibrilares y de tipo colonia de la muestra $x = 0,5$ cultivada a 100 mm/h, respectivamente. El MgO es la fase oscura [3].

RESULTADOS

Los costos de captura de CO₂ (CCO) varían considerablemente entre las industrias, influenciados principalmente por la pureza inicial del CO₂ y los requisitos de procesamiento:

- Plantas de Amoniaco: La alta pureza del CO₂ y la capacidad de las plantas para actuar como su propio medio de separación hacen que la captura sea muy eficiente, con un costo de \$19 por tonelada de CO₂ para una nueva planta. Solo se requiere enfriamiento y compresión.
- Producción de Hidrógeno en Refinerías: Los costos son más elevados debido a la necesidad de separación, eliminación de agua, compresión y enfriamiento de los gases de síntesis por reformado de metano en vapor (SMR). El CCO se estima en \$57 por tonelada de CO₂ para una captura del 99% y \$60 por tonelada de CO₂ para una captura del 90% en nuevas instalaciones.
- Procesamiento de Gas Natural: Genera una corriente de CO₂ de alta pureza (96-99%), lo que simplifica el proceso a solo compresión, deshidratación con glicol y enfriamiento. El CCO es notablemente bajo, de \$16 por tonelada de CO₂ para una nueva planta.
- Etanol: Las plantas de etanol producen CO₂ de alta pureza, eliminando la necesidad de costosos procesos de separación. La compresión recíproca es suficiente, resultando en un CCO de \$32 por tonelada de CO₂ para una nueva planta.
- Acero: Requiere purificación del CO₂ de los gases de coque (COG/BFS y COG PPS) utilizando sistemas de captura postcombustión como CANSOLV de Shell. El vapor para la regeneración del solvente proviene de una caldera industrial. Los costos son de \$65 por tonelada de CO₂ para una captura del 99% y \$66 por tonelada de CO₂ para una captura del 90% en sitios de adaptación.
- Carbón a Líquidos (CTL): Las plantas de CTL producen corrientes de CO₂ de alta pureza, haciendo que la captura sea una parte rentable de sus operaciones. El CCO es el más bajo entre las industrias analizadas, con solo \$6 por tonelada de CO₂ para una nueva instalación.



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

- **Cemento:** Los gases de escape del horno tienen bajo contenido de CO₂, lo que exige purificación mediante sistemas de captura como CANSOLV de Shell. El CCO es de \$61 por tonelada de CO₂ y \$63 por tonelada de CO₂ para una nueva planta con captura del 99% y 90% respectivamente.

Los resultados demuestran cómo la pureza inicial del flujo y los requisitos de procesamiento influyen directamente en los costos de captura (CCO) por industria. Industrias con emisiones de alta pureza, como plantas de amoníaco, etanol, gas natural y CTL, presentan menores costos (\$6–\$32/ton CO₂), ya que requieren procesos simples como compresión y deshidratación. En estos casos, la integración con el proceso existente es eficiente y los requerimientos de purificación son mínimos. Por el contrario, sectores como acero, refinerías y cemento enfrentan flujos más complejos y diluidos, lo que demanda tecnologías avanzadas como CANSOLV, así como separación, enfriamiento y regeneración de solventes, elevando los costos hasta \$66/ton CO₂. La evaluación de viabilidad técnica y económica en estos casos requiere

CONCLUSIONES

La viabilidad económica de la captura de CO₂ está intrínsecamente ligada a la pureza y las características del flujo de CO₂ en cada industria. Las industrias que producen CO₂ de alta pureza, como las plantas de amoníaco, procesamiento de gas natural y CTL, presentan los costos de captura más bajos, haciéndolas candidatas ideales para la implementación de CCS. Por otro lado, sectores como el acero y el cemento, con flujos de CO₂ de baja pureza, enfrentan costos de captura más elevados debido a la necesidad de sistemas de purificación avanzados. Comprender estas diferencias es fundamental para desarrollar estrategias de CCS más eficientes y rentables a escala industrial.

REFERENCIAS

- [1] E. Bose, J.E. Davison, H.J. Herzog, The cost of CO₂ capture and storage, *International Journal of Greenhouse Gas Control* 40 (2015) 378-400. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2015.05.018>
- [2] M.E. Boot-Handford, J.C. Abanades, E.J. Anthony, M.J. Blunt, S. Brandani, N.M. Dowell, J.R. Fernández, M.-C. Ferrari, R. Gross, J.P. Hallett, R.S. Haszeldine, P. Heptonstall, A. Lyngfelt, Z. Makuch, E. Mangano, R.T. J. Porter, M. Pourkashanian, G.T. Rochelle, N. Shah, J.G. Yao, P.S. Fennell, Carbon capture and storage update, *Energy and Environmental Science* 7 (2014) 130-189. <https://doi.org/10.1039/C3EE42350F>
- [3] A. Orera, P.B. Oliete, R.I. Merino, M.L. Sanjuán, Eutectic ceramics of the CeO₂ – ZrO₂ – MgO system produced by laser-assisted directional solidification, *Journal of Solid State Chemistry* 315 (2022) 123525. <https://doi.org/10.1016/j.ccst.2024.100238>
- [4] IEA. (2020). CCUS in Clean Energy Transitions. International Energy Agency.
- [5] D. Bose, R. Bhattacharya, T. Kaur, R. Pandya, A. Sarkar, A. Ray, S. Mondal, A. Mondal, P. Ghosh, R. I. Chemudupati, Innovative approaches for carbon capture and storage as crucial measures for emission reduction within industrial sectors, *Carbon Capture Science & Technology* 12 (2024) 100238. <https://doi.org/10.1016/j.ccst.2024.100>



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

SALUD, BIENESTAR Y EQUIDAD ENERGÉTICA

Este eje analiza cómo el acceso, la falta de acceso o el coste de los servicios energéticos seguros, limpios y asequibles impacta en la salud y el bienestar de las personas. Se discutirán temas como la pobreza energética, la calidad del aire interior, confort térmico en edificaciones, y enfoques intersectoriales que vinculen energía, salud y justicia social



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIAS MÚLTIPLES PARA EL ESTUDIO DE LA POBREZA ENERGÉTICA BASADA EN LA SALUD AMBIENTAL EN HOGARES CHILENOS.

MULTIPLE CORRESPONDENCE ANALYSIS FOR THE STUDY OF ENERGY POVERTY BASED ON ENVIRONMENTAL HEALTH IN CHILEAN HOUSEHOLDS

Cerda-Fuentes, Valeska ⁽¹⁾; Pérez-Fargallo, Alexis ⁽²⁾

(1) Universidad del Bío Bío, Chile

(2) Universidad San Sebastian, Chile

* valeska.cerda@ucn.cl

INTRODUCCIÓN

Sobre la identificación y medición de la Pobreza Energética (PE) ha sido tradicionalmente una tarea compleja por su naturaleza [1] y se ha demostrado que los indicadores más utilizados a nivel global que consideran criterios objetivos basados en ingresos, consumo y gasto energético [2] y criterios subjetivos como el confort térmico y la percepción ambiental de los hogares son limitados [3]. Estas limitaciones se observan en los indicadores unidimensionales determinados por las variables objetivas de consumo y gasto energético, para mantener una condición térmica adecuada, la cual está condicionada por la capacidad económica de los hogares [4]. En este contexto, este estudio exploratorio tiene como objetivo reconocer patrones comunes, desde las características de los hogares y sus viviendas, relacionados con los requerimientos de calefacción y las condiciones ambientales de sus viviendas en el periodo invernal, en ciudades con un clima templado cálido con lluvias invernales y gran humedad atmosférica. De esta manera, se evaluó la capacidad de indicadores autoinformados (aplicados por medio de encuestas) para identificar PE desde la dimensión de salubridad ambiental [3] en base a parámetros ambientales de las viviendas temperatura (T°C), humedad (HR%) y calidad del aire (CO₂ ppm).

METODOLOGÍA

En el periodo invernal (julio-agosto) se evaluaron 22 hogares residentes de departamentos, ubicadas en la zona centro norte, sur y sur de Chile (Valparaíso, Concepción, Temuco, Valdivia y Temuco). Se construyeron indicadores de medición directa e indirecta en base a información primaria levantada. (i) Indicadores de medición directa (IMD): IMD de calidad ambiental interior (CAI), se construyeron en base a los parámetros ambientales, por medio de monitorización remota con 3 sensores dispuestos: uno en el living, en el dormitorio principal y otro en terraza o balcón del inmueble. IMD de consumo de fuentes de energía (CFE), determinado desde el consumo de fuentes de energía que presentan los hogares en los meses de monitorización, respecto a los umbrales de consumo de definidos en base a la mediana de consumo per cápita de fuentes de energía para la calefacción de cada comuna donde se ubica cada caso de estudio. (ii) Indicadores de medición indirecta (IMI): IMI de características de los hogares y sus viviendas (CHV): estos indicadores se determinaron en base a preguntas realizadas en una primera encuesta general (aplicada de manera presencial y en una sola oportunidad, a un representante de cada hogar), consideró dimensiones relacionadas con PE como las dimensiones socio económicas (cantidad de integrantes, Ingreso económico), dinámica del hogar respecto a la ventilación y uso de artefactos de calefacción (consumo de fuentes de energía y tipos de energía utilizadas), salud de los integrantes del hogar (cantidad de eventos respiratorios que presentaron), eficiencia energética de las viviendas como la data de construcción de las viviendas (antes o después de la normativa térmica), calidad de ventana y su marco (vidrio simple y marco). IMI de sensación térmica de los hogares (STH): Este indicador fue determinado en base a las respuestas de una encuesta de confort térmico, realizada de manera remota a todos los integrantes del hogar mayores de edad (18 años), entre las 18:00 y 23:00 hrs, por 7 días consecutivos. Tales indicadores fueron aplicados a cada caso de estudio y se observó la asociación entre sus categorías desde un análisis de asociación de correspondencia múltiple (ACM).

RESULTADOS

En la **Figura 1**, desde los IMD de CAI y CFE se reconocen 2 grupos de hogares. El grupo A, viviendas con condiciones ambientales en categoría 1, sin pobreza energética (SPE). Relacionado con hogares que informaron ingresos entre 1.000 y 2.000 USD. Con un consumo de fuentes de energía para la calefacción dentro de la media (M) y doble de la media (2M) y con una sensación térmica local de confort térmico. En su dinámica de ventilación estos no dejan de ventilar para mantener el calor. No presentan moho, y olor a humedad en el interior de sus viviendas. El grupo B, viviendas categoría 2, con Pobreza Energética (PE). Este grupo se asoció a hogares entre dos rangos de ingreso mensual < 500 y entre 500 a 1.000 USD, con un subconsumo en las fuentes energéticas (M/2). Este grupo mantuvo una sensación térmica local de frío, y se asocia con la

dinámica de no ventilar para mantener el calor y presentar patologías físicas en el interior de sus viviendas como moho y olor a humedad.

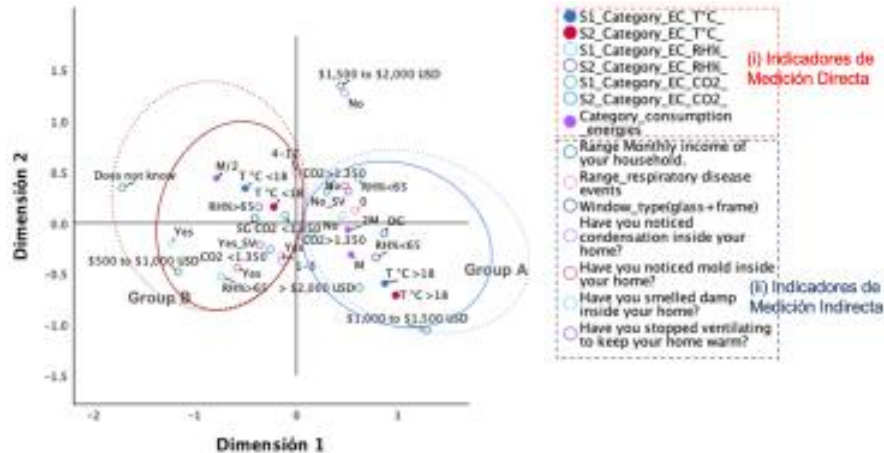


Fig. 1. Mapa distribución factorial categorías indicadores de medición directa e indirecta.

CONCLUSIONES

Se evidenció una relación directa entre las condiciones ambientales de las viviendas caracterizadas por los indicadores objetivos observables, con las características identificadas desde los indicadores objetivos como, el tipo de ventana, régimen de consumo de fuentes de energía o bien la cantidad de eventos respiratorios. Asimismo, con indicadores subjetivos autoinformados como la sensación térmica de los ocupantes y percepción de condición ambiental. Se destacó que este tipo de indicadores mostraron tener capacidad para identificar PE en contextos donde no es posible realizar observación directa y demostró la posibilidad de su aplicación por medio de instrumentos documentales simplificados.

REFERENCIAS

- [1] S. Bouzarovski, "Energy poverty in the European Union: landscapes of vulnerability," *Wiley Interdiscip Rev Energy Environ*, vol. 3, no. 3, pp. 276–289, May 2014, <https://doi.org/10.1002/WENE.89>.
- [2] A. Pérez-Fargallo, V. Cerda-Fuentes, E. Delgado-Gutierrez, and J. A. Porras-Salazar, "Origen, evolución y aplicación de indicadores de pobreza energética en Iberoamérica," *Revista INVI*, vol. 38, no. 109, pp. 100–133, Nov. 2023, <https://doi.org/10.5354/0718-8358.2023.70785>.
- [3] J. C. Romero, P. Linares, and X. López, "The policy implications of energy poverty indicators," *Energy Policy*, vol. 115, pp. 98–108, Apr. 2018, <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2017.12.054>.
- [4] A. Pérez-Fargallo, L. Marín-Restrepo, S. Contreras-Espinoza, and D. Bienvenido-Huertas, "Do we need complex and multidimensional indicators to assess energy poverty? The case of the Chilean indicator," *Energy Build*, vol. 295, p. 113314, Sep. 2023, <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2023.113314>.



EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL Y CONFORT TÉRMICO EXTERIOR EN PANAMÁ: IMPLICACIONES PARA LA PLANIFICACIÓN URBANA SOSTENIBLE

Multitemporal assessment of vegetation cover and outdoor thermal comfort in Panama: Implications for sustainable urban planning

Chen Austin, Miguel ⁽¹⁾; Mora, Dafni ⁽²⁾

(1) Centro de Investigación e Innovación Eléctrica, Mecánica y de la Industria (CINEMI), Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

(2) Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

*dafni.mora@utp.ac.pa

INTRODUCTION

In tropical regions, urban heat islands (UHIs) represent an increase in temperature in urbanized areas compared to rural surroundings. These variations are widely studied by satellite remote sensing (e.g., Landsat imagery) and Geographic Information Systems (GIS) analysis. A typical approach is to obtain land surface temperature (LST) from thermal bands and calculate indices such as NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) for vegetation or NDBI (Normalized Difference Built-up Area Index) for built-up areas [1], [2]. These variables enable mapping heat distribution and assessing UHI intensity. NDVI is widely used to distinguish vegetation, water, or anthropic use [3]; and derived thermal indices such as the Urban Thermal Field Variation Index (UTFVI) can estimate the severity of heat islands [1]. Studies generally show a negative correlation between NDVI-LST, and a positive correlation NDBI-LST, indicating that vegetation attenuates heat. Numerous studies illustrate these patterns. In San Francisco de Campeche, Mexico (coastal tropical climate), urban expansion (1990-2022) raised surface temperatures by about 6°C and reduced vegetation cover, quadrupling low-NDVI areas [4]. In Jaén, Peru, LST from Landsat (mono-window algorithm) showed urban areas 3-6°C warmer than rural vegetated areas, with negative LST-NDVI and positive LST-NDBI correlations [2]. In São Paulo, Brazil, 10 years of Landsat 8 imagery revealed recurrent heat islands in dense zones, while greener peripheral districts had higher NDVI and lower temperatures, underscoring vegetation's role in mitigating UHI [1]. In Panama City, in situ measurements in areas with major road infrastructure during dry, rainy, and transition seasons showed urban-rural thermal gaps up to 10.5°C (morning) and 8.1°C (afternoon), linked to tall building density, asphalt, and heavy traffic, and exacerbated by precipitation, cloud cover, and winds [5]. Thus, this work evaluates whether thermal variations in Via Argentina are a consequence of climate change or urban planning, contributing local evidence to UHI research in Panama and assessing impacts on pedestrian health.

METHODOLOGY

The study is descriptive and analytical, based on satellite image analysis in Panama for different years, and was conducted in four phases: (i) definition of the case study, (ii) data collection, (iii) spatio-temporal processing of thermal and vegetation indicators (NDVI, LST), and (iv) validation, interpretation and discussion of results. Case study selection considered the availability of satellite images with visual data (e.g., Google Earth) and thermal data (e.g., Infrared Bands), minimal cloud interference, and areas showing notable changes in the green-to-gray area ratio. Based on these criteria, the urban area around Via Argentina in the Bella Vista district of Panama City was chosen (Fig.1).

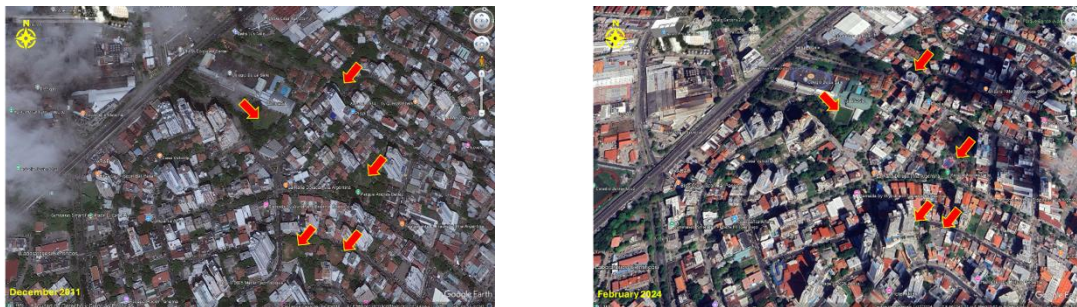


Fig. 1. Some identified changes (red arrows) in land use occurred between December 2011 and February 2024 in the urban area surrounding Via Argentina in the district of Bella Vista in Panama City.

NDVI was used to quantify vegetation variations, and LST to determine thermal changes. Both were derived from Landsat 8 and 9 (OLI/TIRS) images from the Earth Explorer platform (acquired daily at 15:36; 30 m optical and 100 m thermal

resolution) for the selected years. Figure 1 shows changes at the neighborhood scale between December 2011 and February 2024, including apartment construction and replacement of tree-covered areas with synthetic sport fields. Variations in NDVI and LST have implications for urban planning and pedestrian health. To assess potential impacts, the Humidex index [6] was calculated from temperature and relative humidity.

RESULTS

Figure 2 shows the NDVI values for March 2015 and 2024, with most of the area sparsely vegetated and values predominantly below 0.2. Average NDVI was 0.100 in 2015 and 0.098 in 2024, indicating that the green-to-gray area ratio remained stable despite changes between 2015 and 2019.



Fig. 2. NDVI maps and distributions for March 2015 and 2024 in the urban area around Vía Argentina, in the district of Bella Vista in Panama City.

Although the green-to-gray ratio remained stable, Fig. 3 shows LST values between 30 and 38 °C, with averages of 34.16°C in 2015 and 34.65°C in 2024. This may indicate that the temperature increase is more closely related to climate variations than to land-use variations for this specific urban area.



Fig. 3. LST maps and distributions for March 2015 and 2024 in the urban area around Vía Argentina, in the district of Bella Vista in Panama City.

Finally, based on the previous information, pedestrian vulnerability in this area was estimated using the Humidex index, calculated from LTS and a constant relative humidity of 76% (approximation based on meteorological data) for each year. Results for March 2015 and 2024 indicate significant exposure to thermal discomfort during peak hours, a condition that can impair heat dissipation and increase health risks in humid tropical climates.

CONCLUSIONS

The results show that, although vegetation cover remained relatively constant in Via Argentina between 2015 and 2024, the average surface temperature increased, suggesting climatic factors beyond immediate land use. This reinforces the need to integrate climate change adaptation strategies into urban planning, in addition to conserving green areas. The Humidex index confirms significant pedestrian exposure to thermal discomfort. Public space design and urban materials should be considered, and thermal comfort metrics incorporated into decision-making. This study provides local evidence to guide resilient and sustainable urban policies in tropical climates.

REFERENCES

- [1] I. N. Liguori and L. M. Monteiro, "Surface urban heat island and geospatial indicators: comparative decadal assessment through remote sensing," *Ambient. constr.*, vol. 24, p. e138042, Dec. 2024, <https://doi.org/10.1590/s1678-86212024000100769>.



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

- [2] W. García Vásquez, "Islas de calor urbano: Efecto del crecimiento no planificado del área urbana de la ciudad de Jaén, Cajamarca (1995 -2015)," 2020.
- [3] C. R. D. Almeida, A. C. Teodoro, and A. Gonçalves, "Study of the Urban Heat Island (UHI) Using Remote Sensing Data/Techniques: A Systematic Review," *Environments*, vol. 8, no. 10, p. 105, Oct. 2021, <https://doi.org/10.3390/environments8100105>.
- [4] R. A. Canul-Turrisa, K. Aké-Turrisa, O. May-Tzuc, and M. Jiménez-Torres, "Spatial-temporal analysis of heat islands applied to the coastal city of San Francisco de Campeche, Mexico," *RU*, vol. 27, no. 49, pp. 08–23, May 2024, <https://doi.org/10.22320/07183607.2024.27.49.01>.
- [5] D. Villarreal and M. Candanedo, "Efecto de las islas de calor urbano en las principales vías de la Ciudad de Panamá," *I+D Tecnológico*, vol. 16, no. 2, July 2020, <https://doi.org/10.33412/idt.v16.2.2829>.
- [6] C. C. for O. H. and S. Government of Canada, "CCOHS: Humidex Rating and Work." Accessed: May 31, 2025. [Online]. Available: https://www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/humidex.html



APROXIMACIÓN A LA POBREZA ENERGÉTICA EN TERRITORIOS MEDITERRÁNEOS BAJO EL ENFOQUE DE LA TRANSICIÓN JUSTA

APPROACH TO ENERGY POVERTY IN MEDITERRANEAN TERRITORIES UNDER THE JUST TRANSITION APPROACH

Clavijo Núñez, Susana ⁽¹⁾

(1) Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, Universidad de La Laguna, España

*sclavijo@ull.edu.es

INTRODUCCIÓN

La crisis energética actual, marcada por el agotamiento de recursos fósiles, pérdida de biodiversidad y cambio climático, refuerza la necesidad de considerar la energía como un Derecho Humano. Esto se relaciona con la pobreza energética, que alude a aquellos hogares “incapaces de alcanzar un nivel social y materialmente necesario de servicios domésticos de la energía” [1]; afectando con mayor intensidad a personas y colectivos vulnerables como migrantes, personas mayores o mujeres.

Dado su carácter multidimensional y territorial, se manifiesta de múltiples formas, por lo que las estrategias energéticas deben ser capaces de adaptarse a los diferentes contextos, así como abordar los principios fundamentales de la justicia energética, es decir, la justicia distributiva, de reconocimiento y de procedimiento [2]. Entre los enfoques que abordan estos principios, destaca el concepto de transición energética justa que busca visibilizar desigualdades sistémicas y cuestionar modelos de desarrollo sin límites [3,4]. No obstante, se detecta la falta de metodologías que aborden esta problemática incorporando enfoques más transformadores que cuestionen las desigualdades energéticas a nivel global.

METODOLOGÍA

El estudio propone enfoques basados en la transición energética justa para el diseño de políticas contra la pobreza energética; concretamente la descentralización de estrategias e indicadores, el fomento de la participación ciudadana y el análisis de la feminización de la pobreza energética. Estos tres enfoques se incorporan de manera integral, desarrollando una metodología híbrida que combina bases de datos estadísticas e información recopilada a través de consultas ciudadanas.

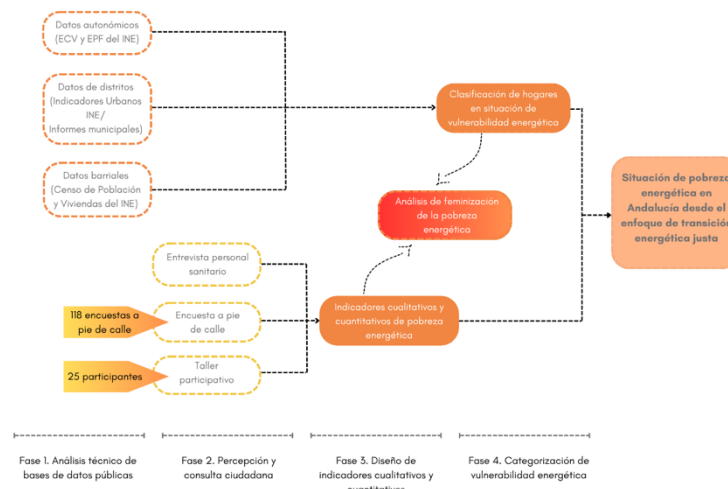


Fig. 1. Esquema de la metodología aplicada a la investigación.

El método de investigación se estructura en cuatro fases (Figura 1), incluyendo (i) un análisis técnico de bases de datos públicas; (ii) organización de talleres de consulta ciudadana; (iii) el desarrollo de indicadores cualitativos y cuantitativos; (iv) y una propuesta para clasificar barrios y distritos en situación de vulnerabilidad energética en función del análisis de variables indirectas [5,6,7]. El estudio se centra en Andalucía como ámbito de estudio representativo de la región mediterránea, concretando las acciones en el barrio de San Pablo A y B de Sevilla, que presenta importantes carencias de habitabilidad vinculadas las necesidades tipológicas, los usos de las viviendas o la eficiencia energética [6,7].



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

RESULTADOS

Los indicadores revelan que el 86% de la población sufre temperaturas extremas en sus viviendas, el 48% tiene dificultades de acceso a su hogar, el 65% considera incómodos los espacios públicos, el 26% identifica escasa vegetación y el 69% carece de formación energética básica. Respecto los niveles de vulnerabilidad propuestos, San Pablo A y B se clasifica con un nivel muy alto de vulnerabilidad energética, mostrando problemas constructivos y socioeconómicos. Por último, cabe destacar los resultados relativos a la feminización de la pobreza energética, pues del 50,5% de personas con alta responsabilidad doméstica, un 68,1% son mujeres. Además, el 11,43% de la población son mujeres con dificultad para pagar facturas energéticas y el 20% carece de educación energética básica.

CONCLUSIONES

La incorporación de enfoques de transición energética justa ha permitido visibilizar situaciones que métodos a gran escala omitirían, como la falta de acceso a viviendas o el aislamiento social y sus impactos en la salud. Se subraya la necesidad urgente de políticas que promuevan la educación energética, el acceso adecuado a viviendas no ubicadas a cota cero y la mejora de espacios públicos como alternativa para aliviar la pobreza energética. Estas políticas deben priorizar a los grupos más vulnerables, como mujeres y personas mayores, con un enfoque interseccional que aborde la complejidad de las desigualdades. Con todo ello, se contribuye a desarrollar nuevos enfoques para diseñar políticas energéticas que protejan a los hogares andaluces vulnerables, replicables en contextos similares.

REFERENCIAS

- [1] S. Bouzarovski and S. Petrova, "A global perspective on domestic energy deprivation: Overcoming the energy poverty-fuel poverty binary," *Energy Res Soc Sci*, vol. 10, pp. 31–40, Jul. 2015, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.06.007>.
- [2] C. Tornel Curzio, R. E. Fonseca Chávez, A. S. Tamborrel Signoret, and D. M. Guevara López, "Transición energética en América Latina y el Caribe. Tendencias regionales y orientaciones de política pública para una transformación eco-social," 2022.
- [3] P. Araya et al., "¿De qué hablamos cuando hablamos de Transición Energética Justa? Articulando múltiples escalas, resoluciones y sentidos," Santiago, Chile, 2023. [Online]. Available: www.nest-r3.cl
- [4] D. Schlosberg, "Defining Environmental Justice: Theories, Movements, and Nature," 2007.
- [5] S. Clavijo-Núñez, R. Herrera-Limones, J. Rey-Pérez, and M. Torres-García, "Energy poverty in Andalusia. An analysis through decentralised indicators," *Energy Policy*, vol. 167, Aug. 2022, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113083>.
- [6] S. Clavijo-Núñez, R. Herrera-Limones, J. Rey-Pérez, J. Roa-Fernández, and M. Hernández-Valencia, "Analysis of the distribution of energy poverty in southern Spain: the relevance of working at the neighbourhood level," *GeoJournal*, vol. 89, no. 3, Jun. 2024, <https://doi.org/10.1007/s10708-024-11070-1>.
- [7] S. Clavijo-Núñez, G. M. Núñez-Camarena, R. Herrera-Limones, M. Hernández-Valencia, and A. Millán-Jiménez, "The importance of citizen participation in improving comfort and health in obsolete neighbourhoods affected by energy poverty," *Energy Policy*, vol. 191, Aug. 2024, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2024.114177>.



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

VEO – LO QUE NO SE VE: METODOLOGÍA MULTIVARIABLE PARA EVALUAR POBREZA ENERGÉTICA EN ENTORNOS URBANOS

VEO – SEEING THE INVISIBLE: MULTIVARIABLE ASSESSMENT OF ENERGY POVERTY IN URBAN ENVIRONMENTS

Rodríguez, Carolina ⁽¹⁾; Chorak, Aicha ⁽²⁾; Ángeles, Liliana ⁽³⁾; Valverde, Andrés ⁽⁴⁾; Castro, Alexander ⁽⁵⁾; Ahachad, Mohammed ⁽⁶⁾; Galindo, Eduardo ⁽³⁾

(1) Facultad Arquitectura y Artes, Universidad Piloto de Colombia, Colombia

(2) Laboratorio de Sistemas, Control y Decisión (LSCD), Escuela de Nuevas Ciencias e Ingeniería (ENSI) Marruecos

(3) Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México, México

(4) Facultad de Arquitectura y Artes, Universidad Piloto de Colombia, Colombia

(5) Facultad de Ciencias Humanas, Universidad Piloto de Colombia, Colombia

(6) Laboratorio MaSEEL, FSTT, Universidad Abdelmalek Essaâdi, Marruecos

*carolina-rodriguez1@unipiloto.edu.co

INTRODUCCIÓN

La pobreza energética oculta es una forma silenciosa pero persistente de exclusión en muchas ciudades del mundo. Afecta a hogares que, aunque tienen acceso formal a los servicios energéticos, no logran mantener condiciones adecuadas de confort térmico. Esta situación no suele reflejarse en los indicadores tradicionales para medir la pobreza energética basados en ingreso o consumo, que ignoran dimensiones clave como la percepción del ambiente, las estrategias de adaptación o la resignación frente a entornos insalubres. En contextos marcados por precios energéticos elevados, construcciones deficientes y una fuerte dependencia de soluciones pasivas no siempre efectivas [1, 2], esta forma de vulnerabilidad energética tiene consecuencias significativas sobre la salud, la equidad y el bienestar [3,4], sin que exista aún un consenso internacional sobre cómo medirla adecuadamente [5-7]. La pobreza energética presenta implicaciones y desafíos diversos que varían considerablemente según el nivel de desarrollo de cada país. Las Naciones Unidas la definen desde una perspectiva multidimensional, destacando obstáculos como la falta de acceso a una energía fiable, asequible, de alta calidad, segura y ambientalmente sostenible [8]. Comprender los factores contextuales específicos de la pobreza energética con una metodología multivariable es fundamental para diseñar intervenciones eficaces y adaptadas. Este artículo presenta el modelo VEO (Vulnerabilidad Energética Oculta), una metodología multivariable y comparativa diseñada para visibilizar estas formas de exclusión no evidentes. VEO integra variables físicas, emocionales, conductuales y estructurales, y propone una visión del confort térmico como derecho urbano y dimensión esencial de la justicia ambiental. Actualmente se aplica como piloto en Colombia, Marruecos y México, países seleccionados por su diversidad climática y socioeconómica. Esta publicación describe el desarrollo y refinamiento de la herramienta, y argumenta su valor como insumo metodológico para políticas públicas centradas en la equidad energética.

METODOLOGÍA

El modelo VEO se sustenta en un enfoque mixto y multidimensional que combina encuestas estructuradas con mediciones ambientales in situ. Su diseño permite capturar tanto condiciones físicas del entorno como experiencias subjetivas de los ocupantes. El objetivo no es solo medir el acceso a la energía, sino entender cómo las personas viven —o no— el confort en sus hogares. Las herramientas que conforman el modelo fueron desarrolladas originalmente durante un proyecto aplicado en Colombia en 2024, y su diseño se basó en evidencia empírica y experiencias locales. Actualmente, el modelo se encuentra en proceso de refinamiento y validación intercultural a través de su aplicación piloto en Colombia, Marruecos y México, como parte de una colaboración internacional. Este proceso de expansión metodológica y adaptación contextual se resume en la Figura 1, que ilustra las etapas clave del proyecto.

PROCESO DE DISEÑO Y VALIDACIÓN DEL MODELO VEO

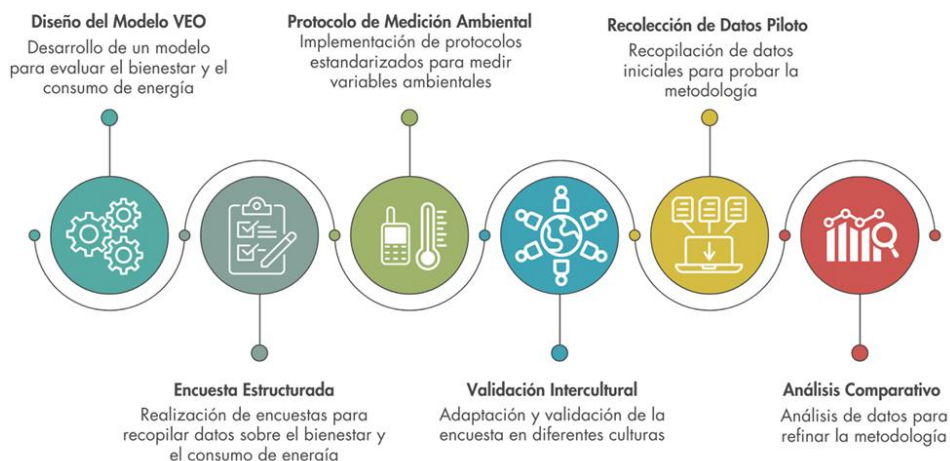


Fig. 1. Proceso de Diseño y Validación del Modelo VEO.

La encuesta VEO se organiza en seis dimensiones clave (Tabla 1), que permiten una lectura integral de la pobreza energética y permite adaptar el instrumento a distintas realidades sin perder coherencia metodológica, facilitando el análisis comparativo entre regiones.

Tabla 1. Estructura de la encuesta por dimensiones.

Dimensión	Indicadores evaluados
1. Sensación, Preferencia y Satisfacción	Percepción ambiental (E4–E8), satisfacción (E10) y preferencias de cambio (E12)
2. Bienestar Emocional y Físico	Emociones vinculadas al ambiente (CC1), consecuencias de la incomodidad (CC2–CC3), enfermedades (CC4–CC6)
3. Estrategias de Adaptación	Acciones ante el disconfort (AS1), mejoras realizadas o deseadas (AS2, Ei1)
4. Agencia e Inversión	Disposición a invertir (Ei2, Ei4–Ei5), percepción sobre sistemas activos (Ei6), barreras (Ei7–Ei8)
5. Contexto Energético	Gastos y hábitos de consumo (CE1–CE5)
6. Perfil Sociodemográfico y del Hogar	Edad, género, educación (O5–O7), tipo de tenencia, ocupación, configuración del hogar (O1–O4, O8–O12)

La herramienta fue validada por al menos tres expertos por país, incluyendo profesionales en arquitectura, energía, sostenibilidad y ciencias sociales. Se tradujo al francés y árabe para su aplicación en Marruecos, y se adaptó al lenguaje regional mexicano, incorporando ajustes en:

- Tarifación y formas de pago de servicios.
- Tipologías de vivienda y materiales locales.
- Uso tradicional de estrategias pasivas de climatización.
- Relación entre agencia, propiedad y toma de decisiones.

Se aplicó un protocolo estandarizado de medición en los tres países, que incluye variables como temperatura, humedad relativa, calidad del aire (PM2.5, PM10, CO₂, HCHO), velocidad del aire, iluminación, ruido y temperatura radiante media. Las mediciones se realizan en tres zonas de cada vivienda durante tres días consecutivos, con registro de datos cada 15 minutos.



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

Para garantizar la comparabilidad, se usaron equipos equivalentes en todos los países, seleccionados por su precisión, portabilidad y disponibilidad local: por ejemplo, Hobo U12 o Elitech RC-51H para temperatura y humedad, FLIR TG165-X para imágenes térmicas y Temtop M2000 para calidad del aire.

RESULTADOS

El proceso de diseño y ajuste de la herramienta VEO produjo tres resultados clave:

1. Consolidación metodológica

El modelo logró articular indicadores físicos y subjetivos en una estructura coherente, sensible y aplicable en diversos contextos. La división en seis dimensiones permite identificar distintos perfiles de vulnerabilidad energética más allá del consumo o la pobreza monetaria.

2. Ajuste intercultural exitoso

Las adaptaciones lingüísticas, semánticas y contextuales mejoraron la comprensión y pertinencia de la herramienta. Esto facilitó su integración en realidades urbanas diversas, incorporando factores como percepción de agencia, sistemas de tenencia, prácticas culturales y estrategias de adaptación pasiva.

3. Protocolo técnico unificado

La estandarización del protocolo de medición y la selección de equipos equivalentes garantizan una base sólida para la comparación internacional. Esta compatibilidad técnica es clave para futuros análisis conjuntos y la construcción de indicadores regionales.

Durante la fase piloto, también se identificaron fenómenos de gran valor analítico: disonancia entre percepción térmica y satisfacción (resignación), barreras económicas y simbólicas para intervenir la vivienda, y una fuerte dependencia de estrategias adaptativas pasivas no siempre eficaces.

CONCLUSIONES

VEO es una herramienta pionera para diagnosticar formas invisibles de pobreza energética en ciudades del Sur Global. Su enfoque multivariable, su capacidad de adaptación intercultural y su integración de datos físicos y subjetivos la convierten en una metodología robusta para estudios comparativos y políticas públicas orientadas al bienestar.

A diferencia de los enfoques tradicionales centrados en ingreso o consumo, VEO permite identificar desigualdades estructurales que se manifiestan en el cuerpo, en las emociones y en la vida cotidiana de los hogares. Además, su diseño modular permite que pueda ser replicado y escalado a otros países o regiones con mínimos ajustes.

Este artículo establece las bases conceptuales y metodológicas del modelo. Los resultados del trabajo de campo en Colombia, Marruecos y México serán presentados en futuras publicaciones, con el objetivo de construir un sistema de indicadores comparables y útiles para la planificación urbana, la certificación de viviendas y el diseño de programas de mejora habitacional.

REFERENCIAS

- [1] B. Boardman., 'Fuel poverty: From cold homes to affordable warmth Belhaven Press', p. 267, 1991.
- [2] B. E. Harrington, B. Heyman, N. Merleau-Ponty, H. Stockton, N. Ritchie, and A. Heyman, 'Keeping warm and staying well: findings from the qualitative arm of the Warm Homes Project', Health and Social Care in the Community, vol. 13, no. 3, pp. 259–267, May 2005, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2524.2005.00558.x>.
- [3] B. Boardman, Fixing Fuel Poverty. Challenges and Solutions. London: Earthscan, 2010. <https://doi.org/10.4324/9781849774482>.
- [4] Y. Wu et al., 'Global, regional, and national burden of mortality associated with short-term temperature variability from 2000–19: a three-stage modelling study', The Lancet Planetary Health, vol. 6, no. 5, pp. e410–e421, May 2022, [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(22\)00073-0](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(22)00073-0).
- [5] P. Nussbaumer, M. Bazilian, and V. Modi, 'Measuring energy poverty: Focusing on what matters', Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 16, no. 1, pp. 231–243, Jan. 2012, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.150>.
- [6] S. Cong, D. Nock, Y. L. Qiu, and B. Xing, 'Unveiling hidden energy poverty using the energy equity gap', Nature Communications, vol. 13, no. 1, p. 2456, May 2022, <https://doi.org/10.1038/s41467-022-30146-5>.
- [7] P. Nussbaumer, F. Nerini, I. Onyeji, and M. Howells, 'Global Insights Based on the Multidimensional Energy Poverty Index (MEPI)', Sustainability, vol. 5, no. 5, pp. 2060–2076, May 2013, <https://doi.org/10.3390/su5052060>.
- [8] United Nations. World energy assessment: energy and the challenge of sustainability. New York, United States; 2000. <https://doi.org/10.2105/ajph.64.12.1166-b>.



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

JUVENTUD UNIVERSITARIA ENERGÉTICAMENTE VULNERABLE: UN ANÁLISIS EXPLORATORIO DEL CASO MEXICANO

ENERGY-VULNERABLE UNIVERSITY YOUTH: AN EXPLORATORY ANALYSIS OF THE MEXICAN CASE

Cuerdo-Vilches, T. ⁽¹⁾; Navas-Martín, M. A. ⁽²⁾; García-Casillas, E. M. ⁽³⁾; Vázquez-Torres, C. E. ⁽⁴⁾; Jaimes Torres, M ⁽⁵⁾ ⁽⁶⁾; Pérez Báez, M. ⁽⁷⁾; Gouveia, J. P. ⁽⁸⁾

(1) Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja (IETcc), CSIC, España

(2) Universidad Atlántico Medio, España

(3) Instituto Politécnico Nacional, México

(4) Universidad Autónoma de Yucatán, México

(5) Universidad La Salle, México

(6) Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México

(7) Universidad Anáhuac, México

(8) Universidad NOVA Lisboa, Portugal

*teresacuerdo@ietcc.csic.es

INTRODUCCIÓN

La vulnerabilidad energética afecta de forma creciente a los estudiantes universitarios, quienes suelen residir en viviendas precarias y afrontar costes energéticos sin los recursos ni la autonomía necesarios. Esta situación se agrava en contextos urbanos marcados por la gentrificación y el encarecimiento del alquiler, afectando al confort térmico y al bienestar físico y mental de los jóvenes. El proyecto iberoamericano VEnUS (Vulnerabilidad Energética entre eStudentes Universitarios), financiado por el CSIC, aborda este problema desde una perspectiva diagnóstica, formativa y propositiva. Esta contribución presenta los resultados preliminares del caso mexicano, a partir de una encuesta aplicada a 564 estudiantes, que analiza variables relacionadas con la vivienda, el confort térmico, el uso y los costes de la energía, y su impacto en la salud y el rendimiento académico. El objetivo es visibilizar y comprender los factores incidentes en su vulnerabilidad energética, para diseñar medidas de alivio y acción pública.

METODOLOGÍA

Se realizó un estudio exploratorio en México mediante una encuesta online compuesta por 51 preguntas, desarrollada en el marco del proyecto iberoamericano VEnUS y adaptada a nivel nacional para garantizar la participación y calidad de las respuestas. La recogida de datos tuvo lugar entre agosto de 2024 y abril de 2025, principalmente de forma presencial en aulas universitarias, con apoyo de profesorado colaborador que facilitó la comprensión del cuestionario. La participación también se promovió por medios digitales (CAWI), ampliando el alcance a través de redes de estudiantes y docentes. El análisis estadístico se realizó con el software JASP para explorar relaciones entre variables sociodemográficas, condiciones de vivienda, confort térmico y aspectos energéticos. Para tratamiento de datos y la elaboración de gráficos se utilizó R.

RESULTADOS

Durante la campaña se recogieron 564 respuestas válidas de estudiantes en México, con predominancia de Ciudad de México (46,8%), Estado de México (30,3%) y Guanajuato (11,3%). La mayoría vivía con adultos, con escasa presencia de menores o mayores de 65 años. Un tercio residía en viviendas alquiladas y un 34 % en viviendas autoconstruidas (30,7 % no sabía). En cuanto a su situación, la mayoría eran estudiantes a tiempo completo (74 %) y presenciales (83,2 %). Solo el 15,1 % recibía apoyo económico para vivienda y servicios, y un 27,3 % contribuía parcial o totalmente a los costos energéticos, con un 36,7 % destinando entre el 10–20 % de sus ingresos, y un 5 % más del 30 %. En cuanto a estrategias de ahorro energético, se observó una evitación relevante del uso de calefacción y aire acondicionado, aunque también de agua caliente y luz artificial. En torno al 16 % declaró retrasos en el pago de servicios. Aunque más de la mitad consideraba buena la capacidad térmica de su vivienda, un 48,1 % la percibía calurosa en verano y un 50 % fría en invierno. Comparando con sus viviendas de origen, un 45 % consideraba más confortable la actual. Respecto al impacto del desconfort térmico, un 25 % lo percibía en su concentración siempre o casi siempre, y un 15 % en su salud. Los análisis bivalente y multivalente sugieren que estudiantes desplazados desde regiones más frescas muestran una capacidad adaptativa condicionada por el tiempo de residencia, la tenencia o la autoconstrucción de la vivienda. Se observó una correlación positiva y significativa entre la percepción del verano y la vulnerabilidad térmica autodeclarada ($p = 0.268$, $p < 0.001$; IC95% [0.190, 0.343]) (Figura 1), indicando que quienes perciben mayor exposición al calor tienden a sentirse más vulnerables al mismo. Además, se identificó una correlación negativa y significativa entre el esfuerzo económico percibido y el desconfort cognitivo ($p = -0.167$, $p = 0.036$; IC95% [-0.319, -0.010]), y una correlación positiva alta entre desconfort en concentración y en salud ($p = 0.498$, $p < 0.001$; IC95% [0.392,



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

0.589]) (Figura 2). No se encontraron relaciones significativas entre esfuerzo económico y discomfort en salud ($p = 0.092$, $p = 0.249$).

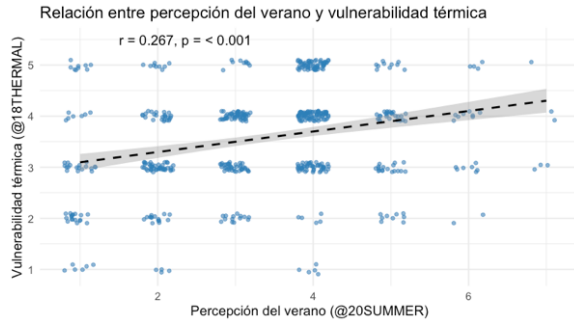


Fig. 1. Relación entre percepción del verano y vulnerabilidad térmica.

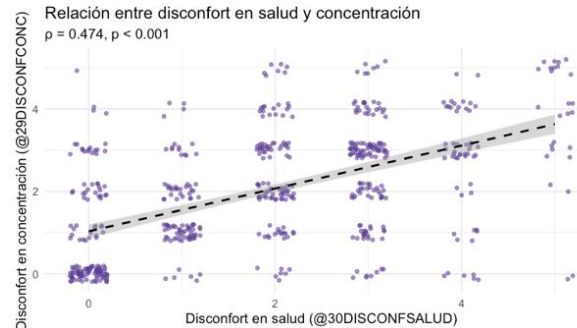


Fig. 2. Relación entre discomfort térmico, salud y concentración

CONCLUSIONES

Las conclusiones del estudio apuntan a que una parte significativa del alumnado universitario en México experimenta condiciones de vulnerabilidad energética, especialmente durante el verano. Las percepciones de calor y discomfort térmico se asocian con autoconstrucción, inestabilidad habitacional y escasa participación en los gastos energéticos. Se observan relaciones significativas entre discomfort térmico, salud y concentración, lo que sugiere un impacto en el bienestar y el rendimiento académico. Estas evidencias subrayan la necesidad de políticas públicas que reconozcan y atiendan la vulnerabilidad energética de los estudiantes, especialmente aquellos que se desplazan para cursar sus estudios.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se enmarca en el proyecto I-COOP VEnUS: *Vulnerabilidad Energética de Hogares Iberoamericanos en el Contexto de Cambio Climático: Detección, Capacitación y Alivio entre la Comunidad Universitaria*, financiado en convocatoria I-COOP 2023 de CSIC, ref. COOP23032. Apoya el proyecto LINGGLOBAL MARS: *Mitigación, Adaptación y Resiliencia de Estudiantes: hacia un cambio de paradigma en energía doméstica*, financiado en convocatoria LINGGLOBAL 2025, CSIC, ref. LING25032.



CALIDAD AMBIENTAL DEL ESPACIO DE TELETRABAJO DOMÉSTICO EN ESPAÑA: UN ESTUDIO REPRESENTATIVO A NIVEL NACIONAL

ENVIRONMENTAL QUALITY OF THE DOMESTIC WORK-FROM-HOME SETTING IN SPAIN: A REPRESENTATIVE STUDY AT A NATIONAL LEVEL

Cuerdo-Vilches, T. ⁽¹⁾; Romero, A. ⁽¹⁾; Carrascal, T. ⁽¹⁾; Casla, B. ⁽¹⁾; Linares, P. ⁽¹⁾; García-Ortega, S. ⁽¹⁾; Larrumbide, E. ⁽¹⁾; Queipo-de-Llano, J. ⁽¹⁾; Frías-López, E. ⁽¹⁾; Navas-Martín, M. A. ⁽²⁾⁽³⁾

(1) Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja (IETcc), CSIC, España

(2) Escuela Nacional de Sanidad, Instituto de Salud Carlos III (ISCIII), España

(3) Universidad Atlántico Medio (UNAM), España

[*teresacuerdo@ietcc.csic.es](mailto:teresacuerdo@ietcc.csic.es)

INTRODUCCIÓN

El teletrabajo es una modalidad laboral emergente y flexible que permite desarrollar actividades fuera del entorno tradicional, como oficinas u otros espacios institucionales. Aunque su análisis ha sido objeto de múltiples estudios previos, centrados en su implementación y efectos organizativos, persiste un vacío en la investigación sobre la calidad ambiental interior de los espacios domésticos donde se lleva a cabo. Desde el enfoque arquitectónico y de la salud ambiental, se reconoce que variables como la temperatura, la humedad relativa, la iluminación (natural y artificial), el confort acústico y la calidad del aire interior influyen de forma directa en el bienestar y la productividad. En el contexto del hogar, estas condiciones presentan mayores desafíos para su evaluación y mejora, al tratarse de un entorno privado y heterogéneo. Por ello, se hace necesario un estudio específico y representativo que caracterice las condiciones ambientales del teletrabajo doméstico, y analice su relación con la percepción de adecuación del espacio.

METODOLOGÍA

Se llevó a cabo un estudio representativo a nivel nacional mediante una encuesta online (CAWI) de 65 preguntas. Se recogieron al menos 1.150 respuestas, distribuidas proporcionalmente por el territorio español, con un mínimo de 20 respuestas en las comunidades autónomas con menor presencia de teletrabajo (excepto ciudades autónomas). Se aplicaron cuotas por sexo y edad (dividida en seis tramos). El margen de error muestral fue de $\pm 3\%$ para $p=q=50\%$, con un nivel de confianza del 95%. Este análisis presenta los resultados relativos a la variable de valoración "adecuación" del espacio de teletrabajo. Esta variable dependiente se relacionó con distintos factores sociodemográficos, características generales de la vivienda, condiciones del propio espacio de trabajo, calidad de los medios digitales y aspectos ergonómicos. Asimismo, se incluyeron los principales componentes de la calidad ambiental interior: confort térmico, acústico, lumínico y calidad del aire, con el objetivo de analizar su relación con la percepción de adecuación del espacio. Se aplicó una regresión logística binaria, utilizando la adecuación del espacio como variable dependiente, para identificar predictores significativos entre las condiciones ambientales interiores y otras características del entorno doméstico de teletrabajo. La recogida de datos se realizó en mayo de 2025, a través de un panel que garantizaba el acceso al universo de teletrabajadores. El análisis estadístico se llevó a cabo con el software JASP. Para el tratamiento de datos y los gráficos se usó R.

RESULTADOS

La adecuación del espacio de teletrabajo se asoció, a nivel sociodemográfico, con tener estudios superiores, ingresos altos (≥ 3.000 €), medios digitales adecuados, tener experiencia positiva de teletrabajo, ocupar cargos de responsabilidad y desempeñar tareas intelectuales al menos tres días por semana desde casa, durante un año o más. No se encontraron relaciones significativas por edad ni por género. Además, la adecuación se vinculó con viviendas posteriores a 1979, en buen estado de conservación, en propiedad, con una superficie útil mayor a 90 m², buena relación con el entorno exterior y condiciones ambientales adecuadas (luz natural, calidad del aire, aislamiento térmico y acústico, y calefacción). Por el contrario, la inadecuación se relacionó con la necesidad de mejorar aspectos físicos del espacio (dimensiones, temperatura, aislamiento, luz artificial, mobiliario, vegetación), y con disconfort térmico (especialmente en invierno). En el modelo de regresión logística binaria realizado, una buena calidad del aire interior se asoció con mayor probabilidad de valorar el espacio de teletrabajo como adecuado (OR = 2.11; IC 95%: [1.58–2.91]; $p < 0.001$), siendo este el efecto más destacado del análisis. También se observaron asociaciones positivas y significativas con la percepción de una buena iluminación total (OR = 1.49; IC 95%: [1.13–1.95]; $p = 0.004$), la satisfacción con la iluminación artificial (OR = 1.30; IC 95%: [1.06–1.60]; $p = 0.012$) y luz natural adecuada (OR = 1.26; IC 95%: [1.03–1.54]; $p = 0.026$). Por el contrario, disponer de un sistema de calefacción inadecuado mostró una asociación negativa con la valoración del espacio (OR = 0.79; IC 95%: [0.71–0.92]; $p = 0.002$), lo que sugiere que ciertos sistemas de calefacción dificultan el confort térmico en el entorno de trabajo. Estos resultados subrayan la importancia de las condiciones ambientales (especialmente aire, luz y temperatura) en la experiencia del teletrabajo (Fig. 1).



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

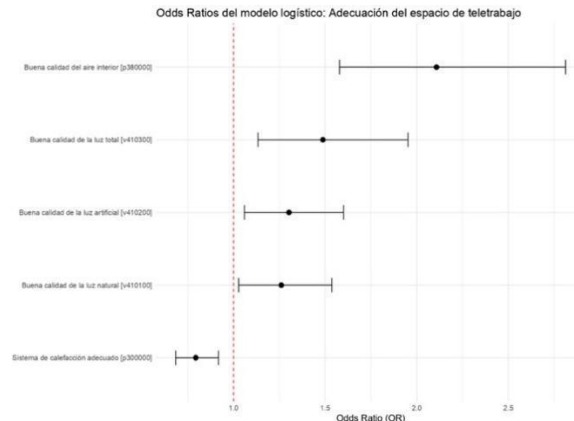


Fig. 1. Odds Ratios según condiciones ambientales del espacio de teletrabajo.

CONCLUSIONES

La adecuación del espacio de teletrabajo se relaciona con factores sociodemográficos como tener estudios superiores, ingresos altos, experiencia previa positiva y condiciones laborales estables. A nivel residencial, destaca la influencia de viviendas amplias, bien conservadas y con buenas condiciones ambientales. En particular, la calidad del aire interior, la iluminación y el sistema de calefacción resultaron determinantes en la valoración positiva del espacio.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se enmarca en el proyecto: *Caracterización de Condiciones Ambientales de los Espacios de Teletrabajo en los hogares españoles (CHAMBER)*, perteneciente al Plan Estatal de Proyectos de Generación de Conocimiento, convocatoria 2022, Modalidad A de Jóvenes Investigadores, financiado por la Agencia Estatal de Investigación (AEI), con referencia PID2022-142864NA-I00, código de financiación MCIN/AEI/10.13039/501100011033/ FEDER, UE, cofinanciado por la Unión Europea.



IMPLEMENTACIÓN DE IoT PARA EL ANÁLISIS DE CONTAMINANTES AMBIENTALES EN LA SALUBRIDAD AMBIENTAL, EN SAN FRANCISCO DE CAMPECHE, MÉXICO.

IMPLEMENTATION OF IoT FOR THE ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL POLLUTANTS IN ENVIRONMENTAL HEALTH, IN SAN FRANCISCO DE CAMPECHE, MEXICO.

Dzib Can, Crystal Isabel ⁽¹⁾; May Tzuc, Oscar de Jesús ⁽¹⁾; Rodríguez Pérez, Manuel ⁽¹⁾; Jiménez Torres, Mario Antonio ⁽²⁾

(1) Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Campeche, México
(2) Centro de Investigaciones, Universidad Autónoma de Campeche, México
al054051@uacam.mx

INTRODUCCIÓN

La calidad del aire es uno de los parámetros fundamentales para la evaluación de contaminantes que afectan la salud humana. Diversos estudios han demostrado que la exposición a contaminantes del aire, provocan enfermedades respiratorias, tales como: asma, bronquitis, enfermedades cardíacas, neurológicos [1], entre otros. En el 2019 a nivel mundial, la contaminación del aire fue responsable más de 4 millones de muertes a causa de material particulado 2.5 (PM2.5) [2]. La Organización Mundial de la Salud (OMS), indicó que, en América en 2019, la contaminación del aire provocó al menos 380,000 muertes prematuras [3]. En México, las enfermedades respiratorias a causa de la contaminación ambiental han ido en aumento, especialmente en la zona sureste del país [4]. En 2024 el estado de Campeche aumentó drásticamente en el desarrollo de infecciones respiratorias agudas, siendo el tercer estado con mayor índice de esta enfermedad respiratoria a nivel nacional [5]. Debido a esto, tener una calidad del aire buena, especialmente en espacios interiores es de vital importancia, dado que las personas pasan la mayor parte de su tiempo al interior de edificios, oficinas y hogares. Para mejorar su calidad de vida. Por ello, la implementación de dispositivos de bajo costo es de gran ayuda para el monitoreo remoto de la salubridad ambiental.

METODOLOGÍA

La presente investigación plantea el desarrollo de un sistema de monitoreo ambiental remoto basado en tecnologías IoT (Internet de las Cosas), utilizando sensores que midan parámetros de temperatura, humedad relativa y material particulado (PM1.0, PM2.5, PM10), que inciden directamente en la salubridad ambiental en espacios interiores. La investigación se centró en una vivienda ubicada en San Francisco de Campeche, México. El objetivo fue analizar las condiciones ambientales vinculadas a enfermedades respiratorias y malestares relacionados con la calidad del aire y el confort térmico. Se utilizó una plataforma vía remota de acceso gratuito en el cual se guardaron los parámetros analizados, tomando en consideración los parámetros establecidos de la NOM-172-SEMARNAT-2023.

RESULTADOS

La **Figura 1**, representa el índice de enfermedades respiratorias y cómo afectan a cada estado de México. Se enfatiza el sureste del país, particularmente el estado de Campeche se ha observado un incremento en la deforestación y quemas agrícolas. De igual manera se observan los resultados del monitoreo en tiempo real de los parámetros ambientales medidos (temperatura, humedad relativa, PM1.0, PM2.5 y PM10) en el interior de una vivienda en la ciudad de San Francisco de Campeche, mediante un dispositivo IoT diseñado para este estudio. El análisis estadístico de los datos recolectados evidenció variaciones significativas en la concentración de material particulado (PM1.0, PM2.5 y PM10), particularmente en determinados horarios.



Fig. 1. Índice de enfermedades respiratorias en México y medición de los parámetros PM1.0, PM2.5, PM 10 y temperatura.



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

CONCLUSIONES

Los resultados muestran la importancia de una salubridad ambiental estable (confort térmico y calidad del aire) en espacios interiores. Parámetros como: la temperatura, humedad y material particulado afectan directamente en la salud de los ocupantes. En este contexto, la implementación de tecnologías de bajo costo para el monitoreo ambiental es una herramienta eficaz para determinar los patrones operativos de los ocupantes. Por ello, se tiene como objetivo principal la reducción de enfermedades causadas por una mala salubridad ambiental al interior de las viviendas como lo son; los problemas respiratorios en el estado. Esto contribuye directamente a la mejora de la salud pública.

REFERENCIAS

- [1] K.-H. Kim, E. Kabir, and S. Kabir, "A review on the human health impact of airborne particulate matter," *Environ Int*, vol. 74, pp. 136–143, Jan. 2015, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.10.005>.
- [2] Institute for health metrics and evaluation, "Measuring what matters México," 2020, Accessed: May 28, 2025. [Online]. Available: <https://www.healthdata.org/mexico> [3]
- [3] Organización Panamericana de la Salud (OPS) and Organización Mundial de la Salud (OMS), "Calidad del aire," 2019, Accessed: Apr. 30, 2025. [Online]. Available: <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>
- [4] "ENCUESTA NACIONAL DE VIVIENDA (ENVI)," 2020.
- [5] Organización Mundial de la Salud (OMS), "Contaminación del aire ambiente (exterior) y salud," Oct. 2024, Accessed: Mar. 24, 2025. [Online]. Available: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

DEL AULA AL MODELO: SIMULACIÓN CFD CALIBRADA CON DATOS REALES PARA OPTIMIZAR LA VENTILACIÓN EN ESCUELAS

FROM CLASSROOM TO MODEL: CFD SIMULATION CALIBRATED WITH REAL DATA TO OPTIMIZE VENTILATION IN SCHOOLS

Escorcía Ariza, David ⁽¹⁾; Trebilcock Kelly, Maureen ⁽²⁾; León Rodríguez, Ángel ⁽³⁾.

(1) Universidad del Bío-Bío, Chile

(2) Universidad del Bío-Bío, Chile

(3) Universidad de Sevilla, España

*david.escorcía2401@alumnos.ubiobio.cl

INTRODUCCIÓN

En los establecimientos escolares, los estudiantes permanecen en espacios cerrados durante aproximadamente el 35 % del día, en condiciones que requieren altos niveles de concentración para el aprendizaje. Sin embargo, diversos estudios han evidenciado que la acumulación de contaminantes en el aire interior, producto de una ventilación insuficiente, puede afectar negativamente tanto la salud como el rendimiento académico de los estudiantes [1]. A pesar de tratarse de recintos con alta densidad de ocupación, en muchos casos no se implementan estrategias adecuadas que garanticen el confort térmico ni la calidad del aire [2]. Por ello, el objetivo de esta investigación es analizar las condiciones reales de ventilación en aulas escolares y proponer medidas arquitectónicas efectivas que, mediante el uso de herramientas de simulación digital.

METODOLOGÍA

Se instalaron sensores Ubibot de monitoreo ambiental en el interior de aulas escolares en la ciudad de Concepción, Chile, con el fin de registrar datos de temperatura, humedad y calidad del aire [3]. Estos datos sirvieron como insumo para la construcción y calibración de modelos digitales en el software DesignBuilder, utilizando el motor de simulación EnergyPlus. Se aplicó el protocolo de validación propuesto en la guía ASHRAE 14-2002, utilizando como métrica el Coeficiente de Variación del Error Cuadrático Medio (CV(RMSE)). Se identificaron casos de estudio representativos y se realizó una caracterización morfológica de los recintos escolares. Se reconocieron dos tipologías arquitectónicas predominantes: Aula + Pasillo (A+P) y Aula + Pasillo + Aula (A+P+A). A partir de esta clasificación, se seleccionó inicialmente el modelo A+P para las primeras simulaciones, dado su carácter representativo y su potencial para incorporar estrategias de diseño arquitectónico enfocadas en la ventilación natural.

RESULTADOS

La Figura 1, los datos obtenidos en cuatro colegios de Concepción evidencian una alta concentración de CO₂ en las aulas durante el invierno, en las aulas (A01 y A02), superando en varios casos los 2000 ppm. Esta condición contrasta con las mediciones realizadas en primavera y en los espacios exteriores, donde los niveles de CO₂ disminuyen considerablemente. La mayor variabilidad en los datos de invierno sugiere una ventilación deficiente y una acumulación progresiva de contaminantes en ambientes con alta densidad de ocupación. Estos resultados confirman la necesidad de incorporar estrategias de ventilación natural.

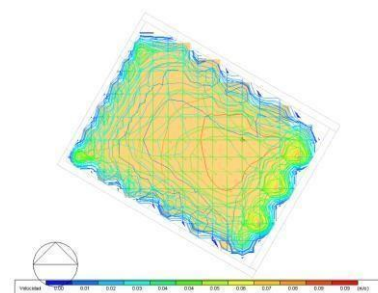
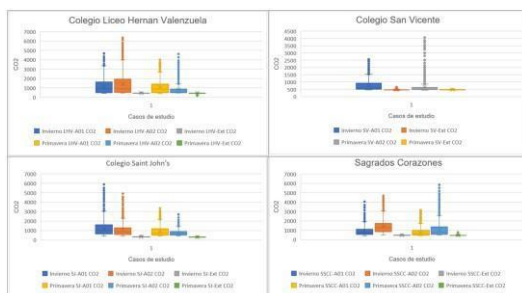


Fig. 1. Distribución de CO₂ en aulas, cada Fig. 2. Simulación inicial Aula Colegio Saint John. Colegio por separado.



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

Figura 2, La simulación realizada en DesignBuilder, utilizando el motor de cálculo de EnergyPlus, muestra el comportamiento del aire en el interior de un aula tipo (A+P) bajo condiciones actuales. El mapa de velocidades revela una circulación de aire débil, con valores que en su mayoría no superan los 0.05 m/s, y sin evidencia clara de renovación efectiva de aire [4]. Las temperaturas interiores permanecen en rangos moderados, pero su distribución uniforme sugiere un bajo intercambio térmico con el exterior. Esta visualización respalda las mediciones de CO₂ y refuerza la necesidad de rediseñar los flujos naturales de ventilación desde la arquitectura, proponiendo aperturas estratégicas o adaptaciones morfológicas que favorezcan la circulación cruzada y la expulsión del aire viciado.

CONCLUSIONES

La experiencia piloto desarrollada demuestra que el diseño arquitectónico, apoyado en herramientas de simulación digital como DesignBuilder, permite no solo diagnosticar las deficiencias en ventilación, sino también proyectar soluciones concretas. Entre las estrategias más efectivas se identifican la incorporación de aperturas hacia fachadas exteriores y ventanas interiores orientadas hacia los pasillos aprovechando las diferencias de temperaturas, las cuales favorecen la ventilación cruzada y la expulsión del aire viciado. Estas intervenciones, adaptadas a las morfologías escolares existentes, refuerzan el potencial del diseño pasivo como herramienta clave para mejorar la calidad ambiental en las aulas [5], sin depender de sistemas mecánicos, sin afectar a los usuarios directamente, y abren nuevas posibilidades de actuación desde la arquitectura para entornos escolares más saludables y resilientes.

REFERENCIAS

- [1] Santamouris, M., Synnefa, A., Assimakopoulos, M., Livada, I., Pavlou, K., Papaglastra, M.,...Assimakopoulos, V. (2008). Experimental investigation of the air flow and indoor carbon dioxide concentration in classrooms with intermittent natural ventilation. *ENERGY AND BUILDINGS*, 40, 1833-1843. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.04.002>
- [2] Fisk, W. J. (2017). The ventilation problem in schools: literature review. *Indoor Air*, 27(6), 1039-1051. <https://doi.org/10.1111/ina.12403>
- [3] Griffiths, M., & Eftekhari, M. (2008). Control of CO₂ in a naturally ventilated classroom. *ENERGY AND BUILDINGS*, 40(4), 556-560. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.04.013>
- [4] Aflaki, A., Esfandiari, M., & Mohammadi, S. (2021). A Review of Numerical Simulation as a Precedence Method for Prediction and Evaluation of Building Ventilation Performance. *Sustainability*, 13(22), Article 12721. <https://doi.org/10.3390/su132212721>
- [5] Zhang, Z. Y., Yin, W., Wang, T. W., & O'Donovan, A. (2022). Effect of cross-ventilation channel in classrooms with interior corridor estimated by computational fluid dynamics. *Indoor and Built Environment*, 31(4), 1047-1065, Article 1420326x211054341. <https://doi.org/10.1177/1420326x211054341>



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

¿CONFORT PARA QUIEN? ANALISIS DE NORMATIVAS DE CONSTRUCCIÓN EN DOS CIUDADES MEXICANAS: CDMX Y CAMPECHE

COMFORT FOR WHOM? A REGULATORY ANALYSIS OF BUILDING'S STANDARDS IN TWO MEXICAN CITIES: CDMX AND CAMPECHE

May Tzuc, Oscar ⁽¹⁾ ; Canul Turriza, Román Alejandro ⁽¹⁾ ; Jiménez Torres, Mario ⁽²⁾ ; Cantún May, Antonio José⁽³⁾

(1) Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Campeche, México

(2) Centro de Investigaciones Jurídicas, Universidad Autónoma de Campeche, México

(3) Estudiante de Posgrado, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Campeche, México

[*oscajmay@uacam.mx](mailto:oscajmay@uacam.mx)

INTRODUCCIÓN

El sector de la edificación consume cerca del 28% de la energía final global y genera el 37% de las emisiones asociadas, lo que lo convierte en un área crítica para la acción climática [1]. En este contexto, los códigos de construcción han integrado entre sus normativas, secciones vinculadas a la eficiencia energética; convirtiéndolos en herramientas esenciales para aumentar la resiliencia ante el cambio climático. No obstante, persisten brechas en su adopción, especialmente en países en desarrollo, lo que limita su impacto en la salud, bienestar y sostenibilidad urbana. En México, aunque existen normas como la NOM-008-ENER-2001 y NMX-C-460-ONNCCE-2009 orientadas a mejorar la eficiencia energética en edificaciones residenciales mediante el control de la ganancia térmica por envolvente, su implementación ha sido limitada. Estas han enfrentado dificultades debido a requerimientos técnicos que elevan los costos de construcción, superando en muchos casos los montos de crédito disponibles para adquisición de vivienda. En el caso de la NOM-008-ENER-2001, aunque es obligatoria, ha tenido poco impacto por obstáculos técnicos y económicos, y porque los reglamentos locales suelen tener más peso, dificultando su aplicación en muchas áreas. [2]. Este estudio compara los códigos de construcción vigentes en dos ciudades mexicanas. El objetivo es analizar diferencias y vacíos normativos en materia de eficiencia energética, y proponer recomendaciones que fortalezcan la aplicación de códigos orientados al bienestar y al ahorro energético.

METODOLOGÍA

Se realizó un análisis comparativo de los códigos de construcción vigentes en San Francisco de Campeche, ciudad portuaria con clima tropical que actualizó su reglamento en 2024, y Ciudad de México [4], cuyos códigos incorporan elementos de infraestructura verde; centrándose en seis aspectos normativos: vidriado, dimensiones de vanos, materiales y muros, alturas, recubrimientos en techos e infraestructura verde, considerando su aporte al control térmico pasivo. Se utilizó una matriz para identificar similitudes, diferencias y omisiones entre ambas normativas. Los resultados permitieron evaluar la pertinencia y actualización de los códigos, generando recomendaciones para fortalecer su alineación con objetivos de sustentabilidad y condiciones locales.

RESULTADOS

La Tabla 1 compara ambas normas y muestra que en vidrios coinciden en permitir movimientos térmicos y estructurales con selladores elásticos. En fachadas, una norma sólo menciona salientes físicos, mientras la otra también considera el impacto térmico de vidrios reflectantes. En ventanas, ambas se enfocan en ventilación e iluminación, pero no cumplen con los controles solares de la NOM-008-ENER-2001. En techos, se atiende sólo la estructura, sin considerar aislamiento térmico. Por último, Campeche no regula infraestructura verde, mientras la NMX-C-460 la promueve con techos verdes, áreas permeables y árboles.

CONCLUSIONES

La comparación muestra que, aunque ambos reglamentos abordan aspectos básicos como movimientos térmicos en vidrios y elementos sobresalientes en fachadas, carecen de criterios claros para controlar la carga térmica y eficiencia energética según la NOM-008-ENER-2001. Tampoco consideran adecuadamente aislamiento térmico en muros y techos ni límites para áreas vidriadas que optimicen el confort. Además, la infraestructura verde está poco regulada, pese a su relevancia en la NMX-C-460. Este estudio, al comparar los códigos de Campeche y Ciudad de México, evidencia vacíos normativos y destaca la necesidad de integrar criterios más sólidos de eficiencia energética y sustentabilidad para mejorar el bienestar, ahorro energético y reducir impactos ambientales en la edificación residencial.



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

Tabla 1. Comparativa de los reglamentos constructivos y su posible integración para el cumplimiento de las normativas mexicanas en eficiencia energética.

Reglamento		Normativo que puede influir	
Campeche [3]	Ciudad de México [4]	NOM-008-ENER-2001	NMX-C-460-ONNCCE-2009
Vidriados	Los vidrios y cristales se instalen considerando movimientos estructurales y cambios térmicos, usando selladores elásticos.	La instalación de vidrios permite absorber movimientos del edificio y variaciones térmicas, garantizando seguridad sísmica.	No se menciona el tipo de vidrio (e.g., doble acristalamiento, bajo emisivo), clave en la NOM-008-ENER-2001 para reducir ganancias térmicas. Sería útil incorporar criterios de transmitancia térmica (U-value) y factor solar.
Fachadas	Los elementos como pilastras, marcos, repisones y cornisas pueden sobresalir hasta 10 cm del alineamiento. En volados sobre la acera, se permite hasta 1 m de proyección.	Además de lo que establece Campeche, las fachadas que dan a patios de ventilación en edificios de cinco pisos o más deben ser de color claro. Se permite usar vidrios espejo solo si no causan deslumbramientos ni aumentan la carga térmica en edificios cercanos.	No se menciona el aislamiento térmico en muros exteriores, un requisito clave de la NOM-008 y la NMX-C-460 para zonas cálidas como Campeche. Aunque se habla de la carga térmica de edificios vecinos, no se especifica cómo calcular la del propio edificio.
Tamaño de ventana	Cocinas y baños deben tener ventanas que representen al menos 1/8 del área del espacio para luz y ventilación, y los demás espacios necesitan ventanas libres equivalentes a 1/4 del área del piso y ventilación mínima del 1/10 del área.	Se basan en el Art. 118 el cual no especifica de forma clara las dimensiones de las mismas. Esta está intrínseca en otras normas complementarias.	Incorporar límites de área vidriada y tipo de acristalamiento para optimizar carga térmica, tal como propone la NOM-008.
Altura muros	Las piezas habitables deben tener al menos 12.75 m ² y una altura mínima de 2.40 m.	Aunque no se establece una altura mínima exacta, el reglamento señala que la altura máxima de entrespiso es de 3.60 m para uso habitacional.	No establece una altura mínima sin embargo es inferior a lo recomendado por el código de edificación de México [5].
Recubrimiento en techos	El recubrimiento mínimo del acero de refuerzo debe ser igual al diámetro de la barra, con un mínimo de 2 cm; si está sobre el suelo sin plantilla, debe ser 5 cm, y con plantilla, 3 cm.	Los recubrimientos en fachadas deben fijarse con un sistema que asegure su sujeción, permita movimientos del edificio y evite filtraciones de humedad.	Incluir materiales reflectivos (albedo > 0.65), aislamiento térmico en techos y cubiertas, que son requisitos explícitos en NOM-008 y recomendados por la NMX-C-460 para zonas cálidas.
Infraestructura verde	No existe en el reglamento del municipio algún artículo relacionado.	Se pueden mejorar áreas verdes en banquetas sin permiso ambiental si se usan plantas autorizadas. Las viviendas nuevas de más de 100 m ² deben tener calentador solar si se modifican instalaciones.	No considera fachadas verdes, salvo como un valor de conductividad fijo y contempla nada vinculado a sistemas solares.

REFERENCIAS

- [1] UCL, BPIE, UNEP, CCC, IEA, Global status report for buildings and construction 2024/2025: Not just another brick in the wall, 2025. <https://globalabc.org/resources/publications/global-status-report-buildings-and-construction-20242025-not-just-another>.
- [2] C. Galindo-Borbón, A. Borbón-Almada, J.M. Ochoa-de-la-Torre, I. Marincic-Lovriha, Análisis costo-beneficio de estrategias para eficiencia energética en vivienda, aplicando la normatividad vigente en el Noroeste de México, Rev. Hábitat Sustentable. 14 (2024) 32–47. <https://doi.org/10.22320/07190700.2024.14.02.03>.
- [3] Ayuntamiento de Campeche, Reglamento de construcción para el municipio de Campeche, San Francisco de Campeche, México, 2024. https://www.municipiocampeche.gob.mx/wp-content/uploads/2020/02/9_REGLAMENTO-DE-CONSTRUCCIONES-PARA-EL-MUNICIPIO-DE-CAMPECHE.pdf.
- [4] G. de la CdMx, Reglamento de construcciones para el Distrito Federal, Ciudad de México, México, 2024.
- [5] SEDATU, CONAVI, Código de Edificación de Vivienda, Conavi. (2017) 1–586.



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

SEGURIDAD ENERGÉTICA EN LA VIVIENDA-FÁBRICA DE LADRILLOS EN PUEBLA, MÉXICO ENERGY SECURITY IN HOUSING AND BRICK PRODUCTION IN PUEBLA, MEXICO

Mundo-Hernández, Julia Judith⁽¹⁾; Santiago Azpiazu, Gloria Carola⁽²⁾; Rodríguez López, María Fernanda⁽³⁾.

(1,2) Profesoras-Investigadoras, Facultad de Arquitectura, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México

(3) Alumna del Doctorado en Procesos Territoriales, Facultad de Arquitectura, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México

*julia.mundo@correo.buap.mx

INTRODUCCIÓN

Puebla es el segundo estado de la República Mexicana con mayor cantidad de unidades productoras de ladrillos o materiales de arcilla cocida [1]. San Matías Cocoyotla en Cholula (SMC), Puebla es una comunidad con una fuerte tradición ladrillera. Actualmente hay 155 unidades productoras, pero la actividad tiende a desaparecer por falta de eficiencia y generación de ingresos, así como por la falta de políticas públicas y programas gubernamentales que fortalezcan dicha labor [2]. Uno de los retos es el uso más eficiente, sostenible y menos dañino a la salud de los combustibles empleados en la producción, así como en las viviendas de las familias productoras. Dichas viviendas generalmente se ubican en el mismo predio donde se produce el ladrillo, originando una exposición generalizada al aire contaminado, así como otros riesgos para la salud [3]. El objetivo de este trabajo es identificar el nivel de conciencia de los habitantes de SMC respecto a su salud, y a su seguridad energética a través de los combustibles utilizados en sus viviendas y en las ladrilleras. Esto permitirá diseñar intervenciones educativas apropiadas al contexto social y a las características de la comunidad que contribuyan a la seguridad energética de la comunidad a través del uso de combustibles no fósiles y hornos, domésticos y de ladrillos, más eficientes. Esta investigación parte de la relación que existe entre la vivienda y el entorno y la salud de los ocupantes, donde las características de las viviendas pueden promover la exposición a ambientes contaminados, aumentar los problemas respiratorios en ambientes muy fríos o húmedos, o generar riesgos como caídas, electrocuciones o incendios [4-8].

METODOLOGÍA

Se diseñó una encuesta piloto con 22 preguntas dirigida a los adultos de San Matías Cocoyotla. Fue distribuida a través de un grupo de Facebook de la comunidad con permiso del administrador de dicho grupo. Se obtuvieron 16 respuestas, de las cuales el 62% fueron contestadas por personas con edades entre 31 y 50 años; casi el 70% de encuestados fueron mujeres, solamente 4 están dedicados a la artesanía con barro y a la producción de ladrillo. Las familias de los encuestados en promedio tienen 6 integrantes. Previo a la aplicación de la encuesta se han hecho recorridos por la comunidad, conversaciones informales con productores de ladrillo y el análisis de las viviendas de algunas familias para determinar su nivel de habitabilidad [9]. Ese trabajo previo ha permitido identificar y establecer relaciones de colaboración con algunos líderes de la comunidad y con un grupo de mujeres, para en un futuro próximo diseñar y aplicar intervenciones educativas dirigidas hacia las necesidades e intereses de los habitantes.

RESULTADOS

Respecto a las fuentes de energía utilizadas en sus viviendas, el 100% de personas dijeron tener el servicio de energía eléctrica ofrecido por la única empresa energética en México, la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Casi el total de los encuestados, 15 personas, dijeron tener refrigerador lo cual es importante para la conservación de los alimentos y para evitar enfermedades gastrointestinales. A pesar de que SMC es una comunidad semi-rural ubicada en la periferia de las ciudades de Cholula y Puebla, las personas cuentan con electrodomésticos comunes como licuadora, microondas, televisión, bocinas y todos reportaron tener teléfono celular. Por otro lado, solamente una persona indicó tener lavadora en su casa y cuatro personas tienen ventiladores para el confort térmico (Figura 1). Al preguntarles cómo percibían la temperatura dentro de su vivienda, seis personas mencionaron sentir calor. Una de las costumbres que continúan originando problemas respiratorios generalmente entre las mujeres es la exposición al hollín producto de cocinar con leña o carbón. El uso de este combustible no renovable sigue siendo común en las comunidades rurales al ser más barato que el gas y también porque se dice que los alimentos adquieren un sabor distinto. En SMC ocho personas dijeron cocinar con carbón, seis con leña y 14 con gas. Se observa que las familias tienen la posibilidad de tener gas y leña, o gas y carbón como combustibles para cocinar (Figura 2). En cuanto al combustible que emplean para calentar agua para ducharse, 14 habitantes de SMC dijeron tener calentador solar, lo cual es importante para ahorrar dinero y para evitar el uso de combustibles fósiles aprovechando la energía solar abundante en México (Figura 3). Más adelante se realizará un recorrido para confirmar que los calentadores solares están en funcionamiento, y se incluirá este tema en una de las intervenciones educativas para lograr que las familias mantengan en funcionamiento su calentador solar y más familias se interesen en instalarlo en su vivienda. Finalmente, el cuestionario incluyó dos preguntas sobre la percepción o conocimiento de su salud y la de sus familiares cercanos. Siete personas reportaron padecer hipertensión, cinco diabetes, una persona tiene insuficiencia renal y otra tiene síndrome metabólico. Nadie reportó



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

padecer una enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC). La segunda pregunta se refirió a padecimientos no crónicos, las respuestas incluyeron tres personas con alergias, una con resfriado y una con un problema gastrointestinal (Figura 4).

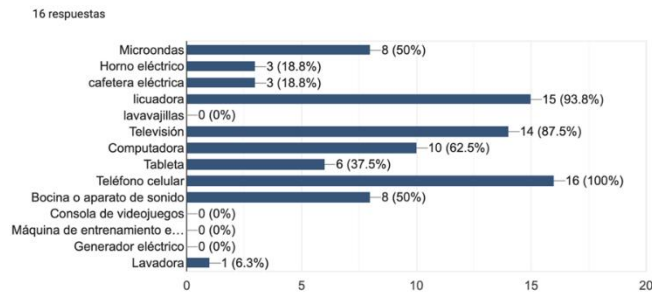


Fig. 1. Aparatos eléctricos más comunes en las casas de San Matías Cocoyotla.

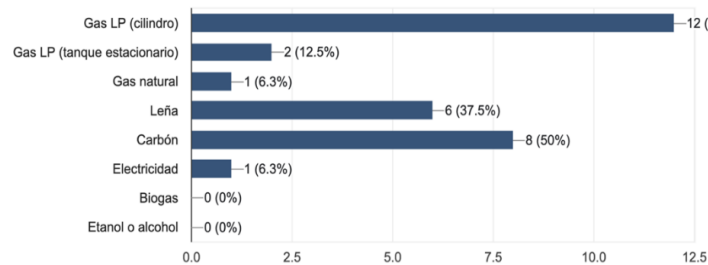


Fig. 2. Combustibles utilizados para cocinar.

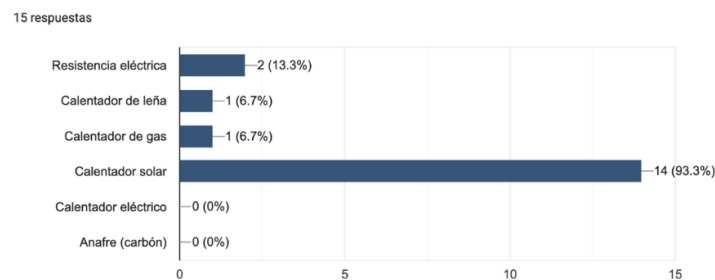


Fig. 3 Medios para calentar el agua para ducharse.

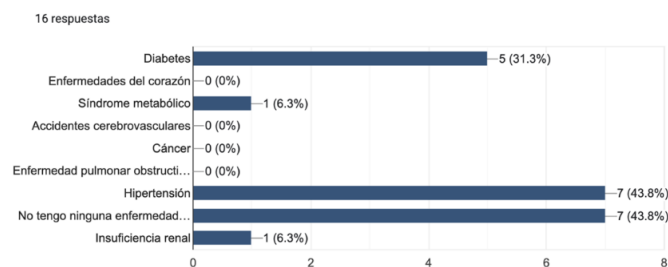


Fig. 4. Auto reporte sobre padecimiento de enfermedades crónicas del encuestado o de algún familiar.



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

16 respuestas

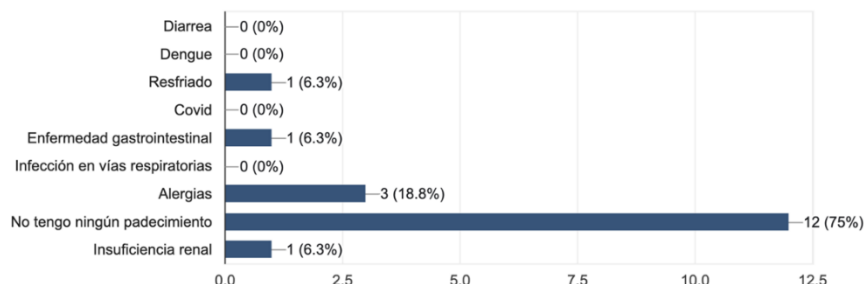


Fig. 5. Auto reporte sobre algún padecimiento actual del encuestado.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten tener un primer esbozo sobre el tipo de familias de San Matías, la ocupación y edades de los integrantes, el tipo de combustibles y energía empleados para sus actividades diarias de aseo, alimentación y mantenimiento del confort térmico de su vivienda a través de sistemas activos de acondicionamiento. Esa información además de los resultados respecto a su autopercepción de salud, permitirán al equipo de investigación diseñar intervenciones educativas específicas para la población con la intención de contribuir a su seguridad energética y bienestar en general. Las intervenciones educativas es una herramienta educativa ampliamente empleada en el área de la salud comunitaria para transmitir conocimientos que promuevan hábitos saludables en la vivienda y su entorno, así como una sensibilidad respecto a la importancia del autocuidado [10].

REFERENCIAS

- [1] INEGI DENEUE, "Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas," 2023. Accessed: Jun. 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/924/study-description>
- [2] M. F. Rodríguez López, J. J. Mundo Hernández, and G. C. Santiago Azpiazu, "La habitabilidad de las viviendas-taller en San Matías Cocoyotla, San Pedro Cholula, Puebla," in *Comunidades vulnerables. Análisis y reflexiones para la reconstrucción territorial desde una mirada incluyente.*, 1st ed., M. de L. Flores Lucero, M. L. Guevara Romero, and J. L. Jaspeado Escalona, Eds., Puebla: BUAP-UDLAP, 2023, ch. Apartado II, pp. 85–93. [Online]. Available: www.dgp.buap.mx
- [3] G. Cortés Méndez *et al.*, "Diagnóstico de salud de los trabajadores de las ladrilleras en San Matías Cocoyotla, San Pedro Cholula, Puebla," Puebla, 2023.
- [4] M. del C. Rojas, N. C. Meichtry, M. B. Ciuffolini, J. C. Vázquez, and J. Castillo, "Repensando de manera holística el riesgo de la vivienda urbana precaria para la salud: un análisis desde el enfoque de la vulnerabilidad sociodemográfica.," *Salud Colect*, vol. 4, no. 2, pp. 187–201, May 2008.
- [5] A. Prochorskaite and V. Maliene, "Health, well-being and sustainable housing," *International Journal of Strategic Property Management*, vol. 17, no. 1, pp. 44–57, Mar. 2013, <https://doi.org/10.3846/1648715X.2012.762949>.
- [6] C. Zepeda-Gil and A. J. Montiel-Castro, "Cold Housing in Central Mexico: Environmental Dissatisfaction and Underheating Lowers Self-Perceived Health in Central Mexico," *Buildings*, vol. 13, no. 3, Mar. 2023, <https://doi.org/10.3390/buildings13030814>.
- [7] Organización Panamericana de la Salud, *Directrices de la OMS sobre vivienda y salud*. Washington D.C.: Pan American Health Organization, 2022. <https://doi.org/10.37774/9789275325674>.
- [8] E. Higuera, J. Neila, C. Acha, and M. Barbero, "Edificios Saludables. Criterios y recomendaciones para mejorar las condiciones de habitabilidad de nuestros hogares. Guía para ciudadanía," Granada, Dec. 2022.
- [9] M. F. Rodríguez López, "Metodología para evaluar la habitabilidad de las viviendas taller en la Junta Auxiliar de San Matías Cocoyotla, San Pedro Cholula, Puebla," Tesis Maestría en Ordenamiento del Territorio, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, 2024.
- [10] L. F. Garcés Giraldo and C. Giraldo Zuluaga, "El cuidado de sí y de los otros en Foucault, principio orientador para la construcción de una bioética del cuidado," *Discusiones filosóficas*, vol. 22, no. 14, pp. 187–201, Jan. 2013.



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

POBREZA ENERGÉTICA EN EUROPA: PERFILES SOCIOECONÓMICOS E INDICADORES DE UN PANEL DE PAÍSES DE LA UE

ENERGY POVERTY IN EUROPE: SOCIOECONOMIC PROFILES AND INDICATORS FROM AN EU COUNTRIES PANEL

Egaña Marín, Álvaro ⁽¹⁾; Romero, José Carlos ⁽²⁾; Barrella, Roberto ⁽³⁾

(1) Cátedra de Energía y Pobreza, Universidad Pontificia Comillas, Madrid, Spain

(2) Instituto de Investigación Tecnológica, Universidad Pontificia Comillas, Madrid, Spain

*jcromero@comillas.edu

*rbarrella@comillas.edu

INTRODUCCIÓN

La pobreza energética se define en la Directiva Europea de Eficiencia Energética (Directiva 2023/1791) como “la situación en que un hogar no puede permitirse cubrir sus necesidades energéticas esenciales, necesarias para mantener un nivel de vida básico en el contexto climático correspondiente” [1].

Se trata de un problema multifacético originado por la convergencia de tres factores principales: bajos ingresos familiares, precios elevados de la energía y viviendas ineficientes desde el punto de vista energético. Antes de las recientes crisis energética, se estimaba que unos 34 millones de europeos vivían en situación de pobreza energética, manifestada típicamente en la incapacidad de mantener sus hogares a una temperatura adecuada [2].

Esta cifra ha empeorado en años recientes, alcanzando alrededor de 41 millones de personas ($\approx 9,1\%$ de la población de la UE) en 2022 que no podían mantener una temperatura doméstica confortable, mientras que cerca del 7% de los europeos sufría retrasos en el pago de sus facturas de servicios básicos [3]. La pobreza energética es, por lo tanto, una situación común en toda la Unión Europea, que no se restringe a áreas concretas y afecta de manera desproporcionada a grupos social y económicamente desfavorecidos. Sus efectos van más allá del simple malestar: por ejemplo, la incapacidad de calentar la vivienda de forma adecuada impacta de manera negativa en la salud, la inclusión social y el bienestar de quienes están afectados [4].

METODOLOGÍA

Para examinar detenidamente este fenómeno, se utilizaron datos de encuestas europeas acerca de las condiciones de vida y los gastos de los hogares. En particular, se emplearon las bases de EU-SILC (Estadísticas sobre Ingresos y Condiciones de Vida) y la HBS (Encuesta de Presupuestos Familiares), gestionadas por Eurostat, que brindan datos recientes y comparables entre naciones sobre ingresos, gastos familiares y la capacidad de los hogares de hacer frente a los gastos básicos.

Con esta información, se calcularon los principales indicadores oficiales de pobreza energética establecidos por el Observatorio Europeo de Pobreza Energética (EPOV) y recogidos en el panel del Centro de Asesoramiento Europeo sobre la Pobreza Energética (EPAH), que incluye diversas dimensiones del asunto: Gasto energético excesivo (2M); Imposibilidad de mantener el hogar a una temperatura adecuada o Retrasos en el abono de facturas de energía.

En primer lugar, se llevó a cabo un análisis comparativo entre naciones europeas con estos indicadores, y posteriormente se desarrolló un modelo de regresión logística binaria para medir la influencia de estos factores en la probabilidad de que un hogar enfrente pobreza energética. Se empleó como variable dependiente del modelo la imposibilidad de mantener la vivienda a una temperatura adecuada (indicador representativo de pobreza energética subjetiva), codificada de forma binaria (1 = el hogar no logra mantener el calor, 0 = puede lograrlo).

RESULTADOS

Comparativa europea

Los indicadores muestran significativas diferencias entre los países europeos en cuanto a la pobreza energética. En 2020, por ejemplo, el porcentaje de hogares con costes energéticos extremadamente altos (indicador 2M) excedía el 20% en naciones como Estonia, Dinamarca o Malta, mientras que otros países mostraban cifras considerablemente más bajas.



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

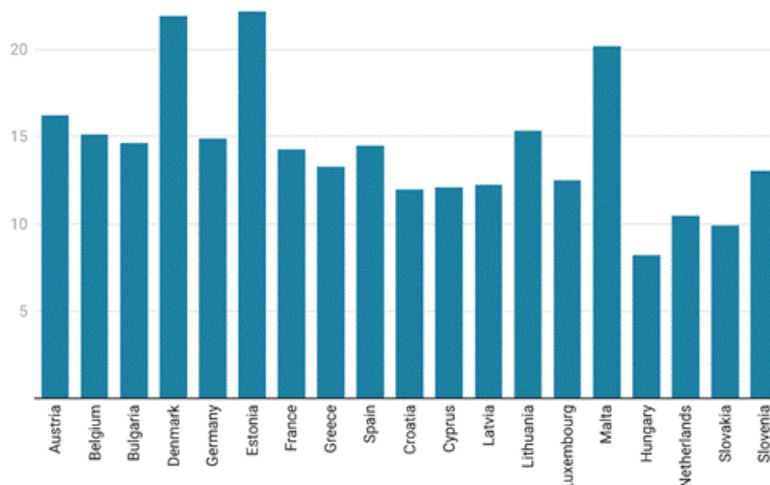


Fig. 1. Porcentaje de hogares que superan el doble del ratio mediano de gasto energético (2M) en 2020.

En resumen, las comparativas entre países sugieren que la pobreza energética es un problema complejo y heterogéneo: no sigue simplemente la división geográfica de renta norte-sur o este-oeste, sino que depende de combinaciones de clima, políticas sociales, eficiencia de las viviendas y nivel de ingresos en cada lugar.

Perfil socioeconómico

Los hallazgos del modelo fortalecen el análisis descriptivo: el desempleo, la escasa formación académica, problemas de salud, el alquiler de vivienda y algunos tipos de estructuras familiares se validan como factores explicativos fundamentales que incrementan el riesgo de experimentar pobreza energética, mientras que la educación elevada, una situación laboral segura y condiciones de vivienda más favorables funcionan como elementos de protección. En términos de habilidad para predecir, el modelo presenta un rendimiento medianamente aceptable: exhibe una alta especificidad (reconoce correctamente a la mayoría de los hogares que no enfrentan pobreza energética), pero cuenta con una sensibilidad más restringida al identificar todos los casos positivos (hogares en situación de pobreza energética).

CONCLUSIONES

Los hallazgos del análisis corroboran una realidad sustentada con evidencias tangibles: la pobreza energética impacta de manera desigual a las personas según el perfil socio-económico. Se enfoca en los hogares que ya enfrentan diversos tipos de vulnerabilidad: desempleo, escasa educación, problemas de salud, familias inestables o condiciones habitacionales precarias. Por el contrario, las familias con ingresos seguros, buena educación y viviendas adecuadas cuentan con muchas más opciones para eludir.

En conclusión, esta investigación apoya la idea de que abordar la pobreza energética no es solo un tema de política energética: también está vinculado a empleo, salud, vivienda y justicia social. Entender correctamente a quién afecta y por qué es un primer paso crucial si queremos desarrollar soluciones que no sean superficiales.

REFERENCIAS

- [1] Directiva (UE) 2023/1791 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de septiembre de 2023, relativa a la eficiencia energética y por la que se modifica el Reglamento (UE) 2023/955 y se derogan la Directiva 2012/27/UE y la Directiva (UE) 2018/2002. Diario Oficial de la Unión Europea, L 231, 20.9.2023, p. 1–102.
- [2] Widuto, A. (2023). *Energy poverty in the EU*. European Parliamentary Research Service.
- [3] Bouzarovski, S., & Petrova, S. (2015). A global perspective on domestic energy deprivation: Overcoming the energy poverty–fuel poverty binary. *Energy Research & Social Science*, 10, 31–40. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.06.007>
- [4] Barrella, R., Mora Rosado, S., Romero, J.C. (2025). The 2022 energy and inflationary crises: Data, experiences and opinions of Spanish energy vulnerable households. *Energy Research & Social Science*, 121, 103961. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2025.103961>



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

EXPLORANDO LOS LÍMITES DE LA VENTILACIÓN NATURAL: EVIDENCIAS DESDE CHILE

EXPLORING THE LIMITS OF NATURAL VENTILATION: EVIDENCE FROM CHILE

Trebilcock, Maureen ⁽¹⁾; Soto-Muñoz, Jaime ⁽²⁾; Neira, Karina ⁽³⁾

(1) Depto. Diseño y Teoría de la Arquitectura, Universidad del Bío-Bío, Chile. Centro de Desarrollo Urbano Sustentable, Chile

(2) Depto. Ciencias de la Construcción, Universidad del Bío-Bío, Chile

(3) Depto. Diseño y Teoría de la Arquitectura, Universidad del Bío-Bío, Chile

*mtrebilc@ubiobio.cl

INTRODUCCIÓN

La calidad del aire interior en edificios escolares constituye un factor crítico para la salud, el bienestar y el desempeño académico de niños y niñas, quienes representan uno de los grupos más vulnerables frente a la exposición a contaminantes ambientales (Requia et al., 2022; Pulimeno et al., 2020). En este contexto, la ventilación cumple un rol central en la dilución y eliminación de dióxido de carbono (CO₂), material particulado fino (PM_{2.5}), entre otros. En Chile, la reciente actualización de la Reglamentación Térmica incorpora exigencias de calidad del aire interior para nuevos edificios escolares, vinculadas a caudales mínimos definidos en la norma NCh 3308. Sin embargo, la gran mayoría del parque escolar existente no está sujeto a estas nuevas exigencias y continuará dependiendo, en gran medida, de estrategias de ventilación natural. Si bien esta estrategia es ampliamente utilizada, su capacidad para garantizar simultáneamente una adecuada calidad del aire y condiciones de confort térmico depende de diversos factores climáticos y arquitectónicos. Este estudio se propone explorar los límites de la ventilación natural en aulas escolares chilenas mediante la evaluación de su desempeño real en condiciones de uso.

METODOLOGÍA

El estudio se desarrolló en 16 aulas pertenecientes a 8 establecimientos educacionales ubicados en las ciudades de Santiago y Concepción. Se presentan resultados de monitoreos continuos durante agosto (invierno) y noviembre (primavera) de 2024, con registros cada 5min. Las variables medidas incluyeron temperatura interior, concentración de CO₂ y concentración de PM_{2.5}. Para la evaluación de la calidad del aire se utilizaron como referencia las categorías de la norma UNE 16798 y los estándares de la Organización Mundial de la Salud y la normativa chilena vigente para PM_{2.5}.

RESULTADOS

Los resultados muestran que ambas ciudades presentan desempeños similares en términos de concentración de CO₂, con mejores valores en Santiago, donde entre un 61% y un 84% del tiempo las aulas se mantienen dentro de la categoría I de la UNE 16798 (bajo 1030ppm), frente a un 57% a 79% en Concepción. No obstante, durante el invierno se registran en ambas ciudades numerosos eventos con concentraciones de CO₂ superiores a 3000 ppm, evidenciando una ventilación insuficiente en periodos de bajas temperaturas. En primavera, el desempeño mejora significativamente, lo que confirma el rol de la ventilación natural cuando las condiciones exteriores son más favorables. En términos térmicos, Santiago presenta peores resultados, con mayores periodos fuera del rango de confort adaptativo, tanto por temperaturas bajas en invierno como por eventos de sobrecalentamiento en primavera, superando en algunos casos los 30 °C. En Concepción, en cambio, se observan varios casos con buen desempeño térmico durante gran parte del periodo analizado. Respecto al PM_{2.5}, los niveles más altos se registran en invierno en Santiago, donde todas las aulas superan el límite recomendado por la OMS, aunque se mantienen dentro del estándar chileno (Figura 1).

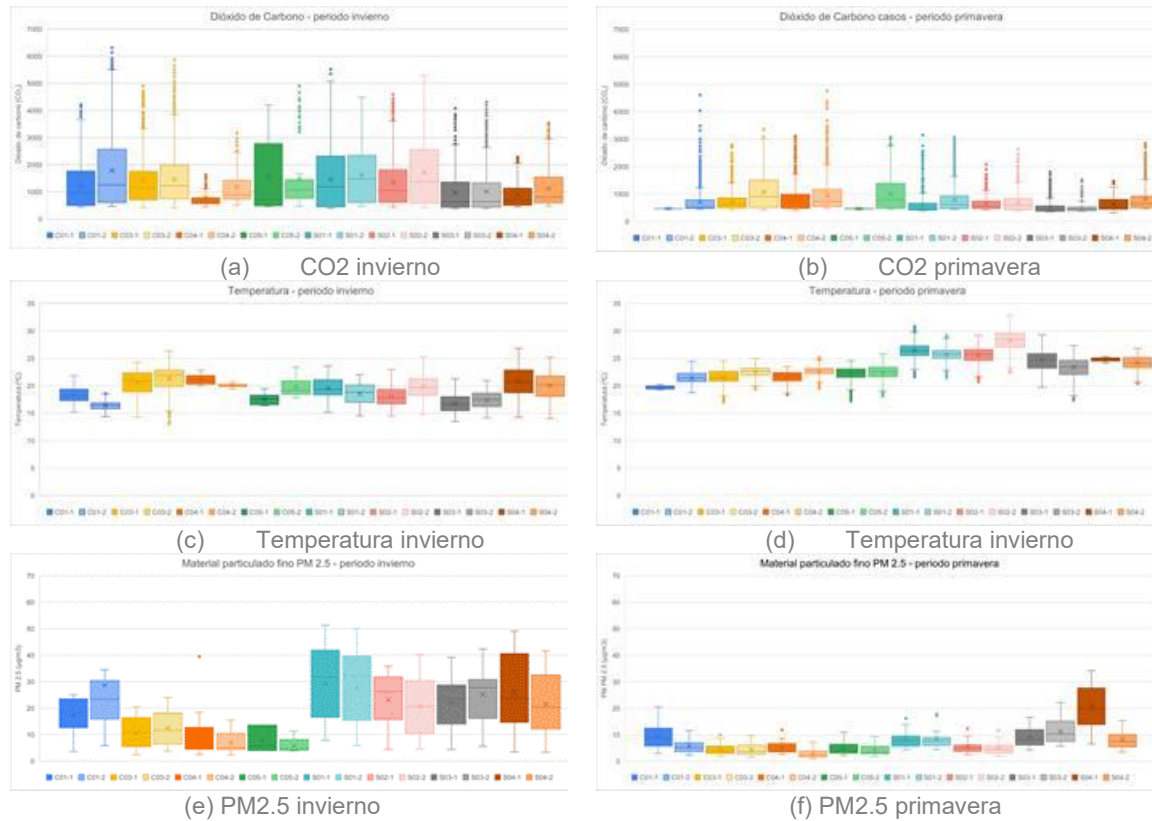


Fig. 1. Mediciones de condiciones ambientales en aulas escolares

CONCLUSIONES

Los resultados evidencian que la ventilación natural, si bien puede ser efectiva en determinadas condiciones, presenta límites para garantizar simultáneamente una adecuada calidad del aire interior y confort térmico en aulas escolares. Las bajas temperaturas exteriores y la contaminación ambiental actúan como barreras que desincentivan la apertura de ventanas, reduciendo la efectividad de esta estrategia, especialmente en invierno. El estudio confirma que alcanzar los objetivos de calidad del aire exclusivamente mediante ventilación natural no siempre es viable, particularmente en contextos urbanos contaminados o en climas con inviernos fríos. En este escenario, se vuelve necesario avanzar hacia estrategias de diseño y operación que permitan ampliar los límites de la ventilación natural.

REFERENCIAS

- [1] Requia, W. J., Saenger, C. C., Cicerelli, R. E., Monteiro de Abreu, L., & Cruvinel, V. R. N. (2022). Air quality around schools and school-level academic performance in Brazil. *Atmospheric Environment*, 279. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.119125>
- [2] Pulimeno, M., Piscitelli, P., Colazzo, S., Colao, A., & Miani, A. (2020). Indoor air quality at school and students' performance: Recommendations of the UNESCO Chair on Health Education and Sustainable Development & the Italian Society of Environmental Medicine (SIMA). In *Health Promotion Perspectives* (Vol. 10, Issue 3, pp. 169–174). Tabriz University of Medical Sciences. <https://doi.org/10.34172/hpp.2020.29>



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

INDICADORES PARA LA SOSTENIBILIDAD Y LA EQUIDAD ENERGÉTICA

Propone una reflexión crítica sobre las métricas e indicadores que permiten medir el progreso hacia sistemas energéticos más justos y sostenibles. Se explorarán herramientas de monitoreo, análisis de datos y metodologías participativas aplicables tanto a nivel comunitario como en el ámbito de la planificación urbana y edificatoria, con el fin de evaluar impactos reales en las personas y los territorios.



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

POBREZA ENERGÉTICA EN EL SURESTE DE MÉXICO: VARIABILIDAD DEL CONFORT TÉRMICO DESDE UN ENFOQUE DE CONFORT ADAPTATIVO Y VULNERABILIDAD POR INGRESO

ENERGY POVERTY IN SOUTHEASTERN MEXICO: VARIABILITY OF THERMAL COMFORT FROM AN ADAPTATIVE COMFORT AND INCOME VULNERABILITY PERSPECTIVE

Jiménez Torres, Mario ⁽¹⁾; May Tzuc, Oscar ⁽²⁾; Canul Turriza, Román ⁽²⁾; Herrera, José Israel ⁽²⁾; Pérez-Fargallo Alexis ⁽³⁾

(1) Centro de Investigaciones Jurídicas, Universidad Autónoma de Campeche, México

(2) Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Campeche, México

(3) Universidad de San Sebastián, Chile

*majimene@uacam.mx

INTRODUCCIÓN

La demanda de energía está directamente relacionada con las condiciones climáticas, lo que se refleja en los estados del sur de México donde se duplica el consumo energético respecto a regiones de clima templado, destinando más del 40 % del requerimiento en climatización de espacio [1, 2]. En los estados de Campeche, Yucatán y Quintana Roo, las condiciones meteorológicas y cambio climático están provocando olas de calor extremo, lo que incrementa la necesidad de climatización durante más del 65 % del año [3]. Además, el crecimiento urbano en Campeche y Yucatán ha generado microclimas urbanos extremos, aumentando la demanda energética para garantizar la salubridad ambiental [4, 5]. Esto es particularmente crítico dado que los hogares en estos estados tienen ingresos inferiores a los 8,000 MXN, y más del 30 % de la población percibe menos de 4,000 MXN al mes [6]. Por ello, en este trabajo se analiza el grado de vulnerabilidad energética de los hogares en el sureste de México mediante la aplicación de un indicador de pobreza energética. El trabajo evalúa las necesidades de climatización desde un enfoque adaptativo, y examina si los ingresos familiares permiten cubrir dichas necesidades.

METODOLOGÍA

Se estimaron las necesidades de confort térmico de aire acondicionado mediante el cálculo de Grados Hora de Refrigeración (CDH), Grados Hora de Calefacción (HDH) y el combinado (CDH + HDH), utilizando el enfoque de confort adaptativo ASHRAE 55. Lo anterior permitió cuantificar la demanda potencial de energía para confort térmico y evaluar con precisión el impacto de la variabilidad climática. Posteriormente, esta información fue integrada con el criterio de vulnerabilidad económica de los hogares, utilizando datos nacionales de ingresos. Se aplicó una clasificación por quintiles para agrupar los municipios según su nivel de vulnerabilidad energética, considerando tanto las condiciones climáticas como la capacidad económica de los hogares para satisfacer sus necesidades de climatización. Los resultados permitieron identificar niveles diferenciados de pobreza energética vinculada a la variabilidad climática.

RESULTADOS

La Figura 1 exhibe la distribución del ingreso mensual por vivienda, dejando en evidencia que más del 50 % de los hogares perciben menos de \$9000 MXN, indicando una alta proporción de vulnerabilidad económica. Particularmente, en Chiapas, Guerrero y Oaxaca la situación es crítica, donde alrededor del 60 % de los hogares tienen ingresos mensuales entre \$4000 - \$6000 MXN, y aproximadamente el 20 % vive con menos de \$2000 MXN al mes. En contraste, los estados de Campeche, Quintana Roo, Tabasco y Yucatán presentan una mayor dispersión en los niveles de ingreso, lo que deriva, en que cerca del 40 % de los hogares alcancen ingresos superiores a los \$13000 MXN. Lo anterior, en conjunto con una variabilidad climática, deriva en que más del 80 % de los hogares distribuidos en la región del sureste, se encuentren en el grupo de mayor probabilidad de pobreza energética. Esto es crítico considerando que estos hogares no cuentan con el ingreso necesario para adquirir equipos de climatización o apliquen estrategias extremas de adaptabilidad, fomentando el ahorro energético, en la búsqueda de no realizar una inversión importante en el pago de electricidad.



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá
22nd–23rd October 2025

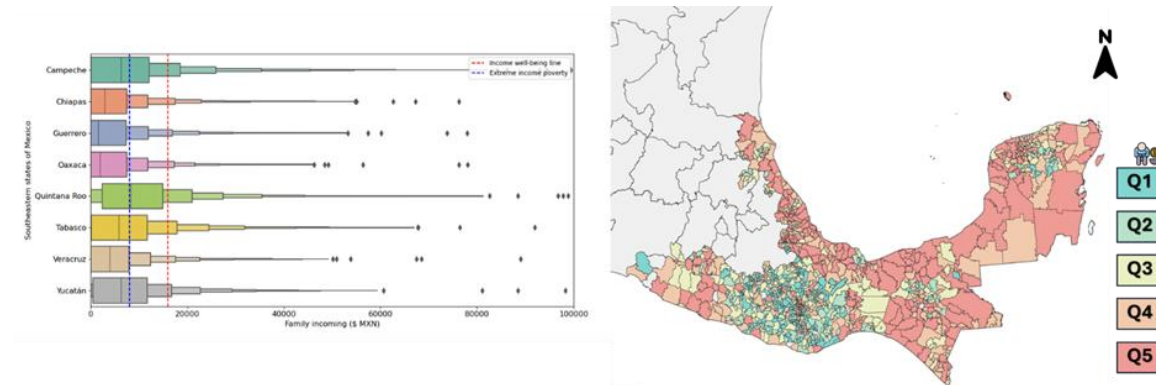


Fig. 1. Distribución del ingreso mensual por hogares en los estados del sur de México y el nivel de pobreza energética considerando la variabilidad climática.

CONCLUSIONES

Los resultados permiten identificar niveles diferenciados de pobreza energética asociados a la variabilidad climática mostrando que en el sureste mexicano los bajos ingresos representan una barrera significativa para el acceso a sistemas de refrigeración. Lo anterior, exhibe la necesidad de orientar la legislación nacional hacia la accesibilidad energética. Asimismo, se requiere el fortalecimiento de programas de protección a la salud y la implementación de normativas constructivas con enfoque estatal en el parque edificado, fomentando la eficiencia energética y confort térmico.

REFERENCIAS

- [1] M. Jiménez Torres, D. Bienvenido-Huertas, O. May Tzuc, A. Bassam, L.J. Ricalde Castellanos, M. Flota-Bañuelos, Assessment of climate change's impact on energy demand in Mexican buildings: Projection in single-family houses based on Representative Concentration Pathways, *Energy Sustain. Dev.* 72 (2023) 185–201.
<https://doi.org/10.1016/j.esd.2022.12.012>.
- [2] O. May Tzuc, M. Jiménez Torres, C.M. Rodríguez, F.N. Demesa López, F. Noh Pat, Cluster Analysis as a Tool for the Territorial Categorization of Energy Consumption in Buildings Based on Weather Patterns, in: 2023: pp. 73–91.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-37454-8_4.
- [3] M. Jiménez Torres, O. May Tzuc, C.E. Vázquez-Torres, A. Bassam, Mapping of building energy consumption and emissions under Representative Concentration Pathway scenarios by a geographic information system descriptive framework: case study of Mexico, in: *Sustain. Energy Plan. Smart Grids*, Elsevier, 2024: pp. 31–51.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-443-14154-6.00010-7>.
- [4] R.A. Canul-Turrisa, K. Aké-Turrisa, O. May-Tzuc, M. Jiménez-Torres, Análisis espaciotemporal de islas de calor aplicado en la ciudad costera de San Francisco de Campeche, México, *Rev. Urbano.* 27 (2024) 08–23.
<https://doi.org/10.22320/07183607.2024.27.49.01>.



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidade Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

MEDICIÓN DE LA POBREZA ENERGÉTICA EN PORTUGAL CON MICRODATOS DE ENCUESTAS NACIONALES

MEASURING ENERGY POVERTY IN PORTUGAL WITH NATIONAL SURVEY MICRODATA

Palma, Pedro ⁽¹⁾; Angeletopoulou; Angeliki ⁽²⁾; Kostakis, Ioannis ⁽²⁾; Cann, Yuna ⁽³⁾; Gouveia, João Pedro ⁽¹⁾

(1) CENSE–Center for Environmental and Sustainability Research & CHANGE–Global Change and Sustainability Institute, NOVA School of Science and Technology, NOVA University Lisbon, Campus de Caparica, 2829-516, Caparica, Portugal

(2) Harokopio University of Athens, Greece

(3) University of Rennes, France

*p.palma@fct.unl.pt

INTRODUCCIÓN

Energy poverty persists as a pressing social concern across the European Union, presenting challenges from diagnosis to mitigation due to its multifaceted and dynamic nature. It currently affects over 41 million people in the European Union [1]. Policymakers increasingly recognize the importance of addressing energy poverty alongside efforts to achieve decarbonization and enhance energy efficiency, as evidenced in major policy strategies such as the Green Deal and the "Fit for 55" legislative package. While progress has been observed in policymaking at the national level, efforts to mitigate energy poverty at the regional and local levels remain scarce and diffuse. The European Commission emphasizes the need for cooperation between relevant actors and coordinated efforts at the regional and local levels to complement national-level analysis with bottom-up approaches [2].

There are several challenges associated with addressing energy poverty. The first lies in assessing and identifying the energy poor. The EU Energy Poverty Advisory Hub underlines the importance of proper diagnosis for mitigating this social issue [3]. Measuring and monitoring EP are crucial steps in understanding the extent and depth of the problem and subsequently designing evidence-based policies. Different indicators are used to assess energy poverty, but selecting appropriate metrics remains contentious, with ongoing debate among experts. The European Commission has proposed a list of indicators for Member States to assess national energy poverty levels. However, challenges persist, including data scarcity and the selection of appropriate indicators and diagnosis approaches. This issue is particularly timely, as the European Commission has recently approved the Social Climate Fund, which will pool the revenues from the inclusion of buildings and transportation in the Emissions Trading System 2, as well as allowances from the existing ETS and national contributions from Member States, mobilizing around 86.7 billion euros for the 2026-2032 period. This funding will support Member States in promoting structural measures and investments for energy efficiency, building renovation, renewable energy, and clean heating and cooling to support vulnerable households.

METODOLOGÍA

Portugal is one of the countries with the highest levels of energy poverty in the EU, where over 1.6 million people suffer from this issue (EPAH, 2025). As significant funding to support this population is currently forthcoming, it is crucial to accurately identify these households, considering the diverse range of relevant factors that determine vulnerability to energy poverty in the country. Conducted in part within the context of the EFPORE-EE project, this study examines energy poverty measurement, utilizing microdata from two primary national surveys: the Household Budget Survey (HBS) and the Survey on Income and Living Conditions (SILC). It calculates several indicators proposed in the scientific literature, depicting different forms of deprivation, aiming to assess how incidence levels have varied over the years and how the population segments identified by the different indicators overlap, evidencing compound vulnerability. Problem persistence is a key aspect [4] that is often overlooked in energy poverty analysis. Levels are calculated at the regional scale when possible. The indicators calculated are the SILC consensual indicators - inability to keep home adequately warm, arrears on utility bills, and share of population living in a dwelling not comfortably cool during summer time (EPAH, 2023); and the 2M, M/2 (EPAH, 2025), Low Income High Cost (LIHC) [5], and Minimum Income Standard [6], using HBS data on household disposable income levels and expenditure, such as energy, housing and other basic needs. Finally, statistical regression analysis models are applied to identify relevant predictors such as age, gender, education level, household composition, tenancy, from a sample of technical and socio-economic variables for each of the energy poverty indicators. The goal of this study is to shed light on energy poverty measurement in the country, identifying the different profiles of energy-poor households that will require support tailored to their specific needs.



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Preliminary results from a logistic regression using the three main consensual indicators show a correlation between income and energy poverty, lower education linked to higher inability to heat, higher energy poverty levels in female individuals, and overcrowded dwellings and general health decreases as EP levels rise. The outcomes of this study can help guide the distribution and targeting of upcoming European funds towards a more just energy transition.

REFERENCIAS

- [1] EPAH. (2025). National Indicators. Observatory. Energy Poverty Advisory Hub. European Commission. Available at: <https://energy-poverty.ec.europa.eu/epah-indicators>
- [2] European Commission (EC). (2020). Commission recommendation (EU) 2020/1563 of 14 October 2020 on energy poverty (OJ L 357, 27.10.2020. <http://data.europa.eu/eli/reco/2020/1563/oj>.
- [3] EPAH. (2023). Energy Poverty Advisory Hub (EPAH) Handbook 1: A Guide to Energy Poverty Diagnosis. Energy Poverty Advisory Hub. European Commission. Available at: <https://energypoverty.ec.europa.eu/newsroom/news/practical-guide-energy-poverty-diagnosis-access-our-newhandbook>
- [4] Roberts, D; Vera-Toscano, E; Phimister, E.(2015). Fuel poverty in the UK: Is there a difference between rural and urban areas? Energy Policy 87, pp.216-223
- [5] Hills, J. (2012). Getting the measure of fuel poverty. Final report of the fuel poverty review. Case Report 72. Available at: <https://www.gov.uk/government/publications/final-report-of-the-fuel-poverty-review>.
- [6] Moore, R. (2012). Definitions of fuel poverty: implications for policy. Energy Pol. 49, 19–26. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.01.057>.



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

EVALUACIÓN DE FIABILIDAD DE ARCHIVOS CLIMÁTICOS HORARIOS DE DATOS SINTÉTICOS EN COSTA RICA

RELIABILITY ASSESSMENT OF HOURLY CLIMATE ARCHIVES FROM SYNTHETIC DATA IN COSTA RICA

Rodríguez-Arias, Priscila ^{(1)*} ; Porras-Salazar, Jose Ali ⁽¹⁾

(1) Escuela de Arquitectura, Universidad de Costa Rica, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica.

*jose.porrassalazar@ucr.ac.cr

INTRODUCCIÓN

El cambio climático representa uno de los mayores desafíos contemporáneos, con un aumento proyectado en la frecuencia e intensidad de eventos extremos como olas de calor, precipitaciones irregulares y sequías prolongadas [1]. En este contexto, el sector de la edificación debe diseñar y adaptar las construcciones para hacerlas capaces de responder a condiciones ambientales cada vez más variables y extremas [2]. En este proceso, contar con información meteorológica horaria confiable es fundamental para tomar decisiones acertadas desde las etapas iniciales del diseño [3]. Sin embargo, en Costa Rica el acceso a estos datos es limitado, con escasa cobertura espacial y restricciones de disponibilidad pública. Ante esta carencia, se recurre a archivos climáticos sintéticos generados por software especializado. Es por eso que este estudio tiene como objetivo evaluar la fiabilidad de los archivos climáticos horarios de datos sintéticos, mediante la comparación de sus valores promedio de temperatura, humedad relativa y precipitación con los resúmenes mensuales oficiales del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) en una selección de localidades donde existen registros históricos disponibles.

METODOLOGÍA

Se compararon archivos climáticos horarios sintéticos generados con Meteonorm v8 (Año Meteorológico Tipo, AMT) con datos históricos del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) en 44 sitios del país. Las variables analizadas fueron temperatura, humedad relativa y precipitación. El análisis incluyó: (i) la comparación de promedios anuales entre ambas fuentes; (ii) visualizaciones mediante gráficos de cajas y diagramas de dispersión para detectar sesgos y evaluar la correspondencia entre datos; y (iii) pruebas t de Welch para determinar la significancia estadística de las diferencias, junto con el cálculo del tamaño del efecto (Cohen's d). Finalmente, se exploró el impacto potencial de las discrepancias en la clasificación climática según el sistema de Zonas de Vida de Holdridge.

RESULTADOS

Como se observa en la Figura 1, los resultados evidenciaron una alta concordancia en la temperatura promedio anual (IMN: 23,9 °C; AMT: 23,7 °C; $d = 0,05$), indicando una diferencia mínima. En contraste, los valores de humedad relativa sí mostraron diferencias significativas (IMN: 81,7 %; AMT: 71,4 %; $d = 1,22$; $p < 0,001$). La precipitación anual también presentó variaciones significativas en promedio (IMN: 2.426 mm; Meteonorm: 2.131 mm; $d = 0,39$; $p = 0,071$). El programa sobreestimó la precipitación en el 50 % de los sitios y la subestimó en el otro 50 %, con una diferencia en la mediana de 368 mm (rango intercuartílico: 159–654 mm). Estas diferencias provocaron cambios en la clasificación de las Zonas de Vida de Holdridge en el 48 % de los casos analizados al emplear datos sintéticos en lugar de registros observacionales, lo que podría inducir a errores en decisiones relacionadas con el diseño bioclimático y las simulaciones de desempeño energético.



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

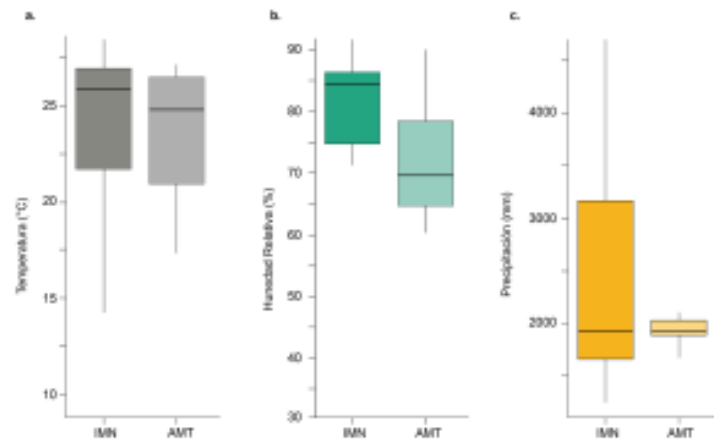


Fig. 1. Gráfico de cajas que compara los valores mínimo, primer cuartil, mediana, tercer cuartil y máximo de los promedios anuales para las tres variables estudiadas en los 44 sitios seleccionados: (a) temperatura (°C), (b) humedad relativa (%) y (c) precipitación (mm). Los datos provenientes de las estaciones meteorológicas del IMN se representan con colores más intensos, mientras que los años meteorológicos tipo generados con el software Meteonorm (AMT) se muestran con colores más claros para facilitar la diferenciación visual.

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio evidencian que existen diferencias significativas en los promedios anuales de humedad relativa y precipitación entre los datos climáticos registrados por estaciones del IMN y aquellos generados mediante el software Meteonorm en archivos formato .epw (AMT). Aunque las temperaturas promedio anuales presentan una concordancia razonable entre ambas fuentes. Las discrepancias observadas, especialmente en humedad y precipitación, tienen implicaciones relevantes para el diseño ambiental pasivo, la simulación energética y la determinación de zonas de vida según el sistema de Holdridge. Estos hallazgos subrayan la importancia de validar y calibrar los archivos climáticos antes de su uso en proyectos de arquitectura, urbanismo o simulación ambiental, particularmente en regiones tropicales con alta variabilidad climática y topográfica como Costa Rica.

REFERENCIAS

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). Summary for Policy Makers. In Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability (pp. 3–34). <https://doi.org/10.1017/9781009325844.001>
- [2] Alvarado-Gamboa, L. F. (2021). Proyecciones de Cambio Climático Regionalizadas para Costa Rica (Escenarios RCP-2.6 y RCP-8.5). IMN-PNUD.
- [3] ANSI/ASHRAE. (2014). Guideline 14-2014: Measurement of Energy and Demand Savings. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers.



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

MONITOREO AMBIENTAL INTELIGENTE EN MÉRIDA: IDENTIFICACIÓN DE ZONAS URBANAS CLAVE PARA UNA GESTIÓN ESTRATÉGICA Y SOSTENIBLE **INTELLIGENT ENVIRONMENTAL MONITORING IN MERIDA: IDENTIFYING KEY URBAN AREAS FOR STRATEGIC AND SUSTAINABLE MANAGEMENT**

Vázquez-Torres, Claudia Eréndira ⁽¹⁾; Quijano Cetina, Renán Gabriel ⁽¹⁾; Castillo Atoche, Alejandro ⁽¹⁾; Grajeda-Rosado, Ruth María ⁽²⁾

(1) Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México

(2) Universidad Veracruzana, Veracruz, México

*claudia.vazquez@correo.uady.mx

INTRODUCCIÓN

El acelerado crecimiento urbano de Mérida, Yucatán, ha generado fragmentación territorial, pérdida de vegetación y deterioro de la calidad ambiental, exacerbando el efecto isla de calor y reduciendo el confort térmico [1]. Estas condiciones se agravan por el clima cálido húmedo, afectando desproporcionadamente a grupos vulnerables [2]. Ante ello, este proyecto propone la identificación de zonas estratégicas con alta exposición térmica en zona urbana que fortalezcan el monitoreo ambiental inteligente en ciudades mexicanas. La información generada permitirá orientar políticas públicas urbanas con enfoque resiliente, técnico y de justicia ambiental.

METODOLOGÍA

Se adoptó un enfoque territorial y transdisciplinario para identificar zonas urbanas prioritarias en Mérida, combinando análisis geoespacial, variables ambientales y datos sociodemográficos. La metodología se estructuró en tres etapas: (1) diagnóstico de vulnerabilidad urbana mediante SIG e indicadores como densidad habitacional, LST y NDVI [3]; (2) definición de criterios de priorización con base en condiciones térmicas y sociales; y (3) selección de zonas estratégicas para monitoreo ambiental mediante análisis multicriterio. El Centro Histórico fue delimitado como nodo inicial por su densificación y exposición térmica. Esta aproximación genera una base sólida para desplegar sistemas de monitoreo ambiental inteligente [4].

RESULTADOS

Entre 2020 y 2025, se identificaron zonas de alta vulnerabilidad térmica, ecológica y social en Mérida, asociadas a la densificación urbana, pérdida de vegetación y temperaturas elevadas. Las áreas más afectadas son: el centro histórico, la zona poniente y la zona norte. Se confirmaron islas de calor urbano, con temperaturas superficiales superiores a 45 °C y temperaturas del aire cercanas a 38 °C en zonas densamente construidas y con escasa vegetación (Fig. 1). El NDVI evidencia una pérdida progresiva de vegetación en las zonas periféricas del norte, sur y oriente de Mérida, asociada a la expansión urbana y al aumento de temperaturas superficiales. Las áreas verdes se concentran principalmente en zonas rurales y corredores ecológicos. Esta reducción vegetal, junto con la alta variabilidad en la precipitación entre 2020 y 2024, intensifica el estrés térmico urbano. La validación mediante teledetección de alta resolución respalda estos hallazgos¹. Dada la diversidad de condiciones urbanas y micro climáticas, se propone una red de monitoreo ambiental inteligente distribuida por colonias, capaz de captar esta heterogeneidad y orientar acciones basadas en evidencia. Los resultados sientan las bases para un sistema escalable y replicable en otras ciudades latinoamericanas que enfrentan retos similares frente al cambio climático y la desigualdad socioespacial.

¹ Se identificaron zonas prioritarias para el monitoreo ambiental por el NDVI decreciente, la expansión urbana acelerada y el uso de sistemas constructivos energéticamente deficientes: A) Centro Histórico. B) Chuburná de Hidalgo. C) Las Américas: Desarrollo reciente. D) Caucel y Cholul: Áreas con expansión urbana acelerada, NDVI decreciente y temperaturas superficiales elevadas. E) Suroriente de Mérida: Fraccionamientos nuevos con condiciones similares a Las Américas.



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

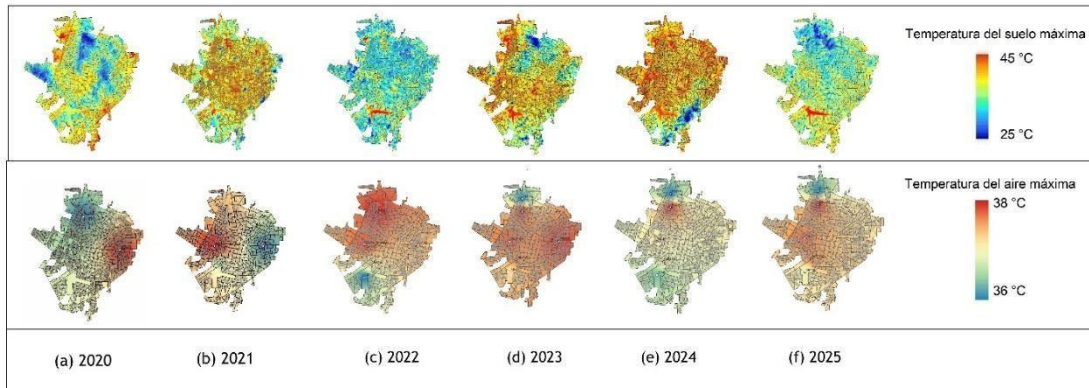


Fig. 1. Desempeño de temperatura superficial del suelo y temperatura máxima ambiental en Mérida.

CONCLUSIONES

El análisis geoespacial de variables térmicas y sociales evidenció una creciente vulnerabilidad térmica urbana en Mérida, asociada a la expansión desordenada y la pérdida de vegetación. La integración de datos satelitales e indicadores sociodemográficos permitió delimitar zonas críticas, como el Centro Histórico y periferias en expansión. Estos hallazgos respaldan la implementación de una red de monitoreo ambiental inteligente, adaptable a distintos contextos urbanos. La propuesta metodológica ofrece una base sólida para escalar el sistema en otras ciudades de América Latina, facilitando intervenciones urbanas informadas y orientadas a la justicia ambiental y la adaptación al cambio climático.

REFERENCIAS

- [1] A. M. Rafael-Vargas, "Asentamientos informales en entornos urbanos: un análisis sistemático entre el 2019 y 2023," *Rev. INVECOM*, vol. 5, no. 4, pp. 1–14, Jan. 2025, <https://doi.org/10.5281/zenodo.14787862>.
- [2] J. Chambers, "Global and cross-country analysis of exposure of vulnerable populations to heatwaves from 1980 to 2018," *Clim. Change*, vol. 163, no. 1, pp. 539–558, Nov. 2020, <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02884-2>.
- [3] F. Li, T. Yigitcanlar, M. Nepal, K. N. Thanh, and F. Dur, "A Novel Urban Heat Vulnerability Analysis: Integrating Machine Learning and Remote Sensing for Enhanced Insights," *Remote Sens.*, vol. 16, no. 16, p. 3032, Aug. 2024, <https://doi.org/10.3390/rs16163032>.
- [4] P. Siddiqui *et al.*, "Urban Heat Island vulnerability mapping using advanced GIS data and tools," *J. Earth Syst. Sci.*, vol. 131, no. 4, p. 266, Dec. 2022, <https://doi.org/10.1007/s12040-022-02005-w>.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la SECIHTI por la beca posdoctoral (CVU 181807). Este trabajo fue producto de la colaboración del proyecto MADTEC-2025-M-196.



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

ZONIFICACIONES SOCIO-ENERGÉTICAS PARA LA DEFINICIÓN DE ESTÁNDARES PARA ABORDAR LA POBREZA ENERGÉTICA

SOCIO-ENERGY ZONING FOR THE DEFINITION OF STANDARDS TO ADDRESS ENERGY POVERTY

Pérez Fargallo, Alexis ⁽¹⁾; Clavijo Núñez, Susana ⁽²⁾; Bienvenido Huertas, David ⁽³⁾; Serrano Jiménez, Antonio⁽³⁾

(1) Escuela de Arquitectura, Facultad de Arquitectura, Arte y Diseño, Universidad San Sebastián, Chile

(2) Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, Universidad de La Laguna, España

(3) Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación, Universidad de Granada, España

[*alexis.perez@uss.cl](mailto:alexis.perez@uss.cl)

INTRODUCCIÓN

La pobreza energética se manifiesta de forma heterogénea según el grado de desarrollo de cada territorio, debido a su carácter multidimensional y territorial [1–3]. En América Latina y el Caribe persisten importantes déficits en el acceso a servicios energéticos modernos y a tecnologías limpias, especialmente en zonas rurales y entre colectivos vulnerables, lo que se ve agravado por su interrelación con otras carencias estructurales como el acceso al agua potable, la educación y la sanidad [4]. En este contexto, Chile se configura como un caso de estudio particularmente relevante, dadas sus elevadas desigualdades socioeconómicas, su marcada heterogeneidad climática y la fuerte dependencia de combustibles contaminantes como la leña en el sector residencial. Estas condiciones favorecen una manifestación territorialmente desigual de la pobreza energética, con una mayor incidencia en zonas rurales y en áreas con condiciones climáticas más extremas [1,3]. La reciente actualización de la Reglamentación Térmica de Chile, vigente desde noviembre de 2025, introduce una nueva zonificación térmica que amplía de siete a nueve zonas, incorporando nuevas variables climáticas y geográficas (5). Aunque esta actualización supone un avance para el diseño de estrategias territoriales adaptadas, no permite generar análisis cruzados con otras manifestaciones de la vulnerabilidad energética. En este escenario, resulta necesario desarrollar metodologías multivariantes que permitan identificar territorios prioritarios para la implementación de medidas para aliviar la pobreza energética. La presente investigación propone una metodología para la construcción de una zonificación socio-climático-energética aplicada al caso chileno, con el objetivo de clasificar las comunas según su nivel de vulnerabilidad energética e integrar el potencial de generación renovable como criterio para orientar estrategias de mitigación de la pobreza energética, especialmente en contextos caracterizados por desequilibrios entre consumo y capacidad de generación eléctrica.

METODOLOGÍA

La metodología de investigación se estructura en dos fases complementarias. En una primera etapa, se analiza la relación entre la zonificación térmica vigente en Chile y un conjunto de variables asociadas a la pobreza energética a escala comunal. El análisis se basa en cinco indicadores: Consumo eléctrico mensual mínimo y máximo por cliente, Consumo medio anual, Generación energética anual, Personas en situación de pobreza y la relación entre Generación y Consumo anual. Sobre dichas variables se aplican análisis estadísticos descriptivos y pruebas inferenciales, incluyendo análisis de correlación, MANOVA y ANOVAs univariados; con el fin de identificar diferencias significativas entre zonas térmicas. En una segunda fase, se desarrolla una zonificación innovadora que clasifica 343 comunas chilenas según distintos niveles de vulnerabilidad energética, a partir de las variables con mayor capacidad discriminadora. En particular, los indicadores de Personas en situación de pobreza y la relación entre Generación y Consumo anual se combinan en una clasificación cruzada que da lugar a doce tipologías, las cuales se representan cartográficamente en un Sistema de Información Geográfica y se comparan con la zonificación térmica vigente para identificar patrones territoriales y contrastes espaciales.

RESULTADOS

Los resultados muestran que la zonificación térmica actual, por sí sola, discrimina de manera limitada los indicadores socioenergéticos considerados. Las variables estudiadas presentan baja variabilidad únicamente en algunas zonas, lo cual sugiere que la clasificación actual por zonas climáticas no agrupa adecuadamente a las comunas en función de factores como la pobreza, la capacidad de generación de energía eléctrica y el consumo eléctrico anual por cliente. Posteriormente, se estratifica la relación Generación/Consumo en tres grupos relativamente equitativos estableciendo como umbrales de corte $\leq 60\%$, entre $60-80\%$ y $\geq 80\%$. Empleando la variable Personas en situación de Pobreza, se realiza una división por cuartiles de pobreza con respecto a las zonas térmicas, generando finalmente una clasificación cruzada 3×4 con 12 categorías (Fig.1). Por último, se aplica Test de Chi-cuadrado, obteniendo que existe una asociación estadísticamente significativa entre las Personas en situación de Pobreza y la variable Generación Energética Anual/Consumo Medio Anual.

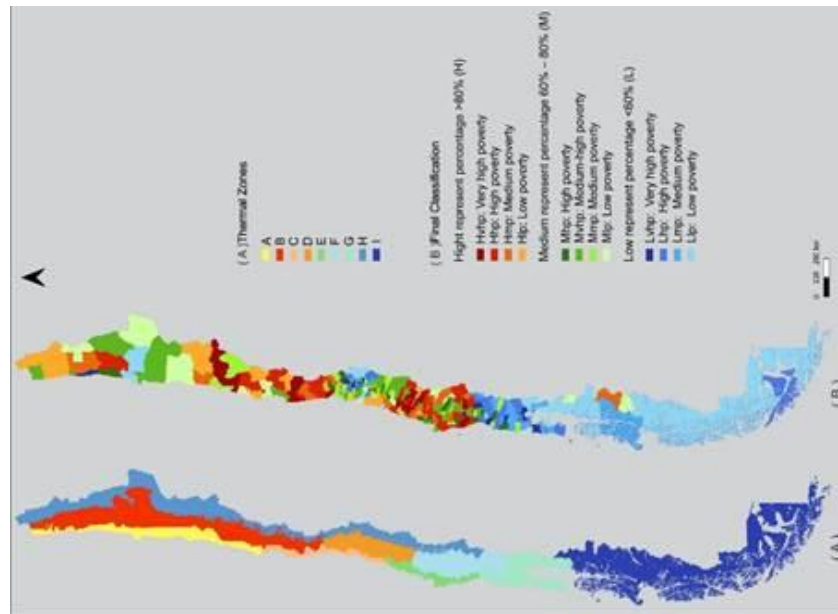


Fig. 1. (A) Zonas térmicas de Chile conforme a la NCh 1079:2022. (B) Zonificación socio-climático-energética para Chile.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto las limitaciones de la Reglamentación Térmica vigente en Chile para servir como herramienta analítica integrada en el desarrollo de planes y estrategias para afrontar la vulnerabilidad energética. En particular, los análisis estadísticos evidencian una débil capacidad de las actuales zonas térmicas para discriminar variables claves asociadas a la pobreza, la generación y el consumo energético, lo que restringe su utilidad para abordar de manera comprehensiva las distintas dimensiones de la pobreza energética. En respuesta a estas limitaciones, el estudio propone una zonificación integrada que combina indicadores socioeconómicos (niveles de pobreza) y energéticos (capacidad relativa de generación), articulada mediante una clasificación cruzada 3×4 que da lugar a doce tipologías territoriales. Esta aproximación metodológica permite identificar de forma más precisa los territorios prioritarios para la implementación de intervenciones basadas en energías renovables orientadas a la mitigación de la pobreza energética. En este sentido, la herramienta desarrollada constituye un avance relevante hacia una transición energética justa en Chile, al facilitar la planificación territorial y la asignación más eficiente y equitativa de recursos públicos en función de los niveles de vulnerabilidad energética.

REFERENCIAS

- [1] Pérez-Fargallo A, Bienvenido-Huertas D, Rubio-Bellido C, Trebilcock M. Energy poverty risk mapping methodology considering the user's thermal adaptability: The case of Chile. *Energy for Sustainable Development*. 2020 Oct 1;58:63–77. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2020.07.009>
- [2] Encinas F, Truffello R, Aguirre-Núñez C, Puig I, Vergara-Perucich F, Freed C, et al. Mapping Energy Poverty: How Much Impact Do Socioeconomic, Urban and Climatic Variables Have at a Territorial Scale? *Land (Basel)*. 2022;11(1449). <https://doi.org/10.3390/land11091449>
- [3] Gouveia JP, Palma P, Simoes SG. Energy poverty vulnerability index: A multidimensional tool to identify hotspots for local action. *Energy Reports*. 2019 Nov 1;5:187–201. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2018.12.004>
- [4] United Nations. The United Nations World Water Development Report 2024: Water for Prosperity and Peace. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization; 2024.
- [5] MINVU. NCh1079:2022. Climatic and thermal zoning for dwellings for Chile and recommendations for architectural design [Internet]. 2025 [cited 2025 Dec 1]. Available from: <https://www.inn.cl/nch10792022>



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

UNA VISIÓN GENERAL DE LA POBREZA ENERGÉTICA EN COMUNIDADES RURALES DE PANAMÁ

AN OVERVIEW OF ENERGY POVERTY IN RURAL COMMUNITIES IN PANAMA

Velásquez, Aldrix ⁽¹⁾ ; Henríquez, Félix ^{(1)*}; Mogollón, Luis ⁽¹⁾, Villarreal Nicole ⁽¹⁾, Mora, Dafni ⁽²⁾

(1) Centro de Investigación e Innovación Eléctrica, Mecánica y de la Industria (CINEMI), Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

(2) Grupo de Investigación en Energética y Confort en Edificaciones Bioclimáticas, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

*felix.henriquez@utp.ac.pa

INTRODUCCIÓN

La pobreza energética es una problemática multidimensional que afecta tanto a países desarrollados como en desarrollo, manifestándose con mayor intensidad en estos últimos, en particular en contextos rurales y en territorios con limitaciones estructurales en el acceso a servicios energéticos. En Panamá, país caracterizado por altos niveles de desigualdad socioeconómica, esta problemática ha sido poco estudiada, particularmente en comunidades rurales [1]; sin embargo, investigaciones recientes muestran que las brechas energéticas persisten sobre todo en zonas indígenas y rurales, lo que refleja un reto de equidad en la transición energética [2]. La pobreza energética se relaciona directamente con la incapacidad de los hogares para satisfacer necesidades energéticas humanas fundamentales, como iluminación, cocción de alimentos, refrigeración, confort térmico y comunicación, las cuales son esenciales para el bienestar, la salud y el desarrollo humano. A pesar de su relevancia, Panamá no cuenta con una definición formal ni con un instrumento de medición de pobreza energética, lo que limita la formulación de políticas públicas focalizadas. El Índice Multidimensional de Pobreza Energética (MEPI) permite evaluar las privaciones energéticas considerando varias dimensiones del bienestar, más allá del simple acceso físico a la electricidad. Este enfoque, basado originalmente en Nussbaumer et al. (2012) [3], se utiliza como referencia conceptual para el desarrollo de un índice multidimensional adaptado al contexto panameño. En este marco, el presente trabajo tiene como objetivo analizar la pobreza energética en comunidades rurales panameñas, proponer una definición adaptada al contexto nacional y desarrollar un índice multidimensional que permita su medición objetiva.

METODOLOGÍA

La presente investigación adopta un enfoque descriptivo y exploratorio, basado en el análisis documental y entrevistas a técnicos e ingenieros de la Oficina de Electrificación Rural (OER) y de la Secretaría Nacional de Energía (SNE), con el fin de caracterizar la pobreza energética en comunidades rurales de Panamá. Se realizó una revisión sistemática de literatura científica sobre pobreza energética, con énfasis en experiencias metodológicas aplicadas en América Latina y Europa. Como resultado de este proceso, se identificaron dimensiones claves de necesidad energética y se construyeron indicadores unidimensionales ponderados. Estos indicadores se integraron en el Índice Multidimensional de Pobreza Energética para Panamá (IMPEP), permitiendo conceptualizar y clasificar el nivel de privación energética a escala de vivienda y comunidad. Este enfoque multidimensional coincide con el propuesto por Benfica y Marques [4], que integra equidad y sostenibilidad en la evaluación energética. El procedimiento metodológico se estructuró en cuatro etapas: (i) la identificación de necesidades energéticas relevantes en el contexto rural panameño; (ii) la selección de variables observables asociadas a cada dimensión energética; (iii) la definición de umbrales mínimos de satisfacción; y (iv) la asignación de ponderaciones relativas en función del aporte de cada dimensión a la calidad de vida y la salud. La información recopilada fue procesada y sistematizada para construir una matriz de evaluación que permite clasificar los hogares según su nivel de pobreza energética. Finalmente, el índice IMPEP se utilizó como herramienta diagnóstica para comparar comunidades y apoyar la identificación de territorios con pobreza energética moderada y extrema.

RESULTADOS

A partir del análisis desarrollado, se identifican y sistematizan las principales necesidades energéticas humanas presentes en comunidades rurales de Panamá, estableciendo cinco dimensiones fundamentales: iluminación, cocción de alimentos, refrigeración de alimentos, confort térmico, y entretenimiento, comunicación y conocimiento. Estas dimensiones se fundamentan en su relación directa con la salud, el bienestar y el desarrollo humano. Asimismo, el trabajo identifica los factores causantes de la pobreza energética en Panamá, clasificándolos en: acceso a infraestructura energética, bajos ingresos del hogar, elevados costos de la energía, calidad de la vivienda y eficiencia energética, y calidad del servicio de energía eléctrica. Entre estos factores, el acceso a infraestructura energética se reconoce como el más crítico, debido a las barreras geográficas



I International Congress RESET

Rethinking Energy for Sustainability, Equity, and Transition
Repensando la Energía para la Sostenibilidad, Equidad y Transición
Repensar a energia para a sustentabilidade, equidade e transição
Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá
22nd–23rd October 2025

y territoriales que limitan la provisión de servicios energéticos en zonas rurales y aisladas. Como resultado, se propone un conjunto de indicadores unidimensionales asociados a cada dimensión energética, definidos a partir de variables observables y umbrales mínimos de satisfacción. Estos indicadores se estructuran de manera objetiva y verificable, permitiendo evaluar la disponibilidad de bienes energéticos esenciales en los hogares. A partir de estos indicadores, el estudio desarrolla el Índice Multidimensional de Pobreza Energética para Panamá (IMPEP), que integra las diferentes dimensiones energéticas en un solo indicador sintético. Las ponderaciones asignadas a cada dimensión se definen exclusivamente en función de su aporte a la calidad de vida y la salud, otorgando mayor peso relativo a la iluminación y a la cocción de alimentos. Finalmente, se establecen rangos de interpretación del índice que permiten clasificar el nivel de pobreza energética de los hogares, desde ausencia de pobreza energética hasta pobreza energética extrema. Adicionalmente, la estructura del índice IMPEP permite analizar la pobreza energética desde una perspectiva integral, incorporando simultáneamente múltiples dimensiones de necesidad energética. A diferencia de los enfoques centrados exclusivamente en el acceso a la electricidad, el IMPEP evidencia que la disponibilidad de servicios energéticos adecuados depende también de la tenencia de equipos esenciales y de las condiciones del entorno doméstico. En este sentido, el IMPEP permite evidenciar situaciones de privación energética que no quedan reflejadas en indicadores centrados únicamente en el acceso eléctrico, particularmente en contextos rurales con acceso parcial a la red.

CONCLUSIONES

El estudio permite evidenciar la pobreza energética existente en Panamá y confirma que el acceso a infraestructura energética constituye el factor más crítico de la pobreza energética en comunidades rurales. A partir del análisis conceptual y documental, se evidencia que la pobreza energética no puede entenderse únicamente como falta de acceso a electricidad, sino como una condición multidimensional asociada a la incapacidad de satisfacer necesidades energéticas humanas fundamentales. Como aporte central, se propone una definición de pobreza energética adaptada al contexto panameño, así como un conjunto de indicadores y un Índice Multidimensional de Pobreza Energética para Panamá (IMPEP), alineado con enfoques multidimensionales aplicados en América Latina y en la literatura internacional [5]. Las ponderaciones del índice se definieron en función de su contribución a la calidad de vida y la salud, otorgando mayor relevancia a dimensiones críticas como la iluminación y la cocción de alimentos. En conjunto, la definición propuesta y el desarrollo del índice IMPEP constituyen una base técnica para futuras aplicaciones empíricas y para el diseño de políticas públicas orientadas a la reducción de la pobreza energética. Su enfoque multidimensional permite avanzar hacia una comprensión más integral de las desigualdades energéticas en Panamá, en coherencia con los objetivos de la planificación energética nacional y con los compromisos de desarrollo sostenible del país [6].

REFERENCIAS

- [1] N. Hampl, "Consume less or grow sustainably? Matching energy systems with Indigenous worldviews in Panama," *Regional Studies, Regional Science*, vol. 9, no. 1, pp. 412–424, Dec. 2022, doi: 10.1080/21681376.2022.2081598.
- [2] A. Sysoeva and M. Golodov, "Carbon reduction policies based on the example of South America and Africa," *E3S Web Conf.*, vol. 583, p. 02007, 2024, doi: 10.1051/e3sconf/202458302007.
- [3] P. Nussbaumer, M. Bazilian, and V. Modi, "Measuring energy poverty: Focusing on what matters," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, no. 1, pp. 231–243, Jan. 2012, doi: 10.1016/j.rser.2011.07.150.
- [4] V. C. Benfica and A. C. Marques, "A Comprehensive Quadrilemma Index of Renewable Energy: The Latin American Case," *Energies*, vol. 18, no. 15, p. 3912, July 2025, doi: 10.3390/en18153912.
- [5] R. Calvo, N. Álamos, M. Billi, A. Urquiza, and R. C. Lisperguer, "Desarrollo de indicadores de pobreza energética en América Latina y el Caribe," *Serie Recursos Naturales y Desarrollo* No.207. [Online]. Available: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/f3b3060c-94ab-4128-adaf-d56d2e860836/content>
- [6] Secretaría Nacional de Energía, "Plan Energético Nacional 2015-2050." [Online]. Available: <https://www.senacyt.gob.pa/wp-content/uploads/2018/12/3.-Plan-Energetico-Nacional-2015-2050-1.pdf>