Revista Ciencia, Tecnología e Innovación en Ingeniería y Arquitectura
1*(1)* (2026), pp. 30-36
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Universidad de El Salvador
https://revistas.ues.edu.sv/index.php/cti-fia

CTI-FIA

Artículo | Article

Desempeño energético del Edificio para el Centro Urbano de Bienestar y Oportunidades CUBO mediante simulación y escenarios de eficiencia en El Tamarindo, La Unión

Energy performance of the CUBO Urban Center for Wellbeing and Opportunities building through simulation and efficiency scenarios in El Tamarindo, La Unión

Carlos Pocasangre[1,2], Ronald Cabrera[1,3], José Urquilla[1,4]

1 Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador
2 https://orcid.org/0000-0002-7463-9873
3 https://orcid.org/0009-0004-6955-9942
4 https://orcid.org/0009-0005-0012-9968

Correspondencia: ***carlos.pocasangre@ues.edu.sv***
Enviado: ***17 de abril de 2026*** Aceptado: ***29 de mayo de 2026***

DOI: https://doi.org/10.66778/CTI.v02n01.01

PALABRAS CLAVE

Eficiencia energética,
Simulación energética,
HVAC,
EnergyPlus,
Calibración de modelos,
Edificios públicos.

RESUMEN

El presente estudio evaluó el desempeño energético del Centro Urbano de Bienestar y Oportunidades (CUBO), ubicado en El Tamarindo, La Unión, El Salvador, durante el año 2025, mediante la integración de mediciones experimentales y simulaciones energéticas calibradas. El objetivo fue analizar el comportamiento energético del edificio e identificar estrategias para optimizar su consumo eléctrico. Para ello, se realizó un levantamiento técnico del inmueble, se tomaron mediciones de consumo eléctrico mediante instrumentación y se desarrolló un modelo energético utilizando las herramientas SketchUp, OpenStudio y EnergyPlus. El modelo fue calibrado con datos reales, lo que permite representar de manera confiable el comportamiento energético del edificio. A partir de este modelo, se evaluaron distintos escenarios de eficiencia energética, incluyendo la optimización de los horarios de operación, ajustes en los sistemas de climatización, la gestión eficiente de cargas eléctricas, la implementación de estrategias de control solar y la reactivación del sistema fotovoltaico existente. Los resultados evidenciaron reducciones significativas en el consumo energético anual, destacando el impacto de los sistemas HVAC como el principal componente de la demanda energética. Asimismo, se determinó que la implementación conjunta de estrategias permitió alcanzar niveles de eficiencia superiores a los de su aplicación individual. Se concluyó que la simulación energética calibrada constituye una herramienta confiable para la evaluación y optimización del consumo energético en edificaciones públicas.

KEYWORDS

Energy efficiency,
Energy simulation, HVAC,
EnergyPlus,
Model calibration,
public buildings

ABSTRACT

This study evaluated the energy performance of the Urban Center for Well-being and Opportunities (CUBO), located in El Tamarindo, La Unión, El Salvador, during 2025, through the integration of experimental measurements and calibrated energy simulation. The objective was to analyze the building's energy behavior and identify strategies to optimize its electricity consumption. A technical survey of the building was conducted, along with electrical consumption measurements using specialized instrumentation, and the development of an energy model using SketchUp, OpenStudio, and EnergyPlus. The model was calibrated using real data, allowing a reliable representation of the building's energy behavior. Based on this model, several energy efficiency scenarios were evaluated, including optimization of operating schedules, HVAC adjustments, electrical load management, implementation of solar control strategies, and reactivation of the existing photovoltaic system. The results showed significant reductions in annual energy consumption, with HVAC systems identified as the primary contributor to the building's energy demand. Furthermore, the combined implementation of strategies achieved higher efficiency levels compared to individual measures. It was concluded that calibrated energy simulation is a reliable tool for evaluating and optimizing energy consumption in public buildings.

Publicado por la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador.
Este es un artículo *Open Access* bajo la licencia *Creative Commons* Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Revista Ciencia, Tecnología e Innovación en Ingeniería y Arquitectura • 1*(1)* (2026) • pp. 30-36

INTRODUCCIÓN

El consumo de energía en edificaciones representa una parte significativa de la demanda energética a nivel mundial, lo que ha llevado a buscar soluciones que mejoren su eficiencia, especialmente en edificios públicos, debido a su impacto en el gasto estatal y a su potencial como modelo de sostenibilidad. En este contexto, la simulación energética se ha convertido en una herramienta clave para comprender cómo se comporta un edificio desde el punto de vista energético y evaluar posibles estrategias de mejora antes de implementarlas (U.S. Department of Energy, 2025; Ministerio de Energía, 2022).

Una de las formas más efectivas de estudiar este comportamiento es combinar mediciones reales con modelos de simulación. Este enfoque permite obtener resultados más cercanos a la realidad, especialmente cuando los modelos se calibran con datos experimentales. Además, el uso de indicadores de desempeño energético facilita la interpretación de estos resultados y la comparación entre distintas condiciones de operación del edificio (GIZ/MEN, 2019; HUB-HAUS, 2021).

En zonas de clima cálido, como El Salvador, es común que los sistemas de climatización (HVAC) sean los principales responsables del consumo energético en las edificaciones. Esto se debe a las altas temperaturas y a la radiación solar constante, que incrementan la carga térmica interna. Por ello, estrategias como el uso de materiales reflectantes o soluciones constructivas que reduzcan la ganancia de calor pueden contribuir a disminuir la demanda energética (Liu & Baskaran, 2005; Grau & Ayerra, 2018).

En América Latina, se han realizado avances importantes en materia de eficiencia energética, impulsados por políticas públicas y marcos regulatorios orientados al uso racional de la energía (CEPAL, 2017; Consejo Nacional de Energía [CNE], 2007). Sin embargo, todavía existen limitaciones en la evaluación del desempeño energético real de los edificios, especialmente en infraestructuras recientes, donde las condiciones de operación pueden diferir de las consideradas en el diseño.

En este contexto, el presente estudio se centra en el Centro Urbano de Bienestar y Oportunidades (CUBO) ubicado en El Tamarindo, La Unión, El Salvador. Para ello, se realizaron un levantamiento técnico del edificio, mediciones de consumo eléctrico y el desarrollo de un modelo energético mediante herramientas de simulación. Dicho modelo fue calibrado con datos reales, lo que permitió representar con mayor precisión el comportamiento energético del inmueble. A partir de este modelo, se analizaron distintos escenarios de mejora, incluyendo ajustes en la operación de los sistemas de climatización, en la gestión de cargas eléctricas, en estrategias de control solar y en la reactivación del sistema fotovoltaico existente.

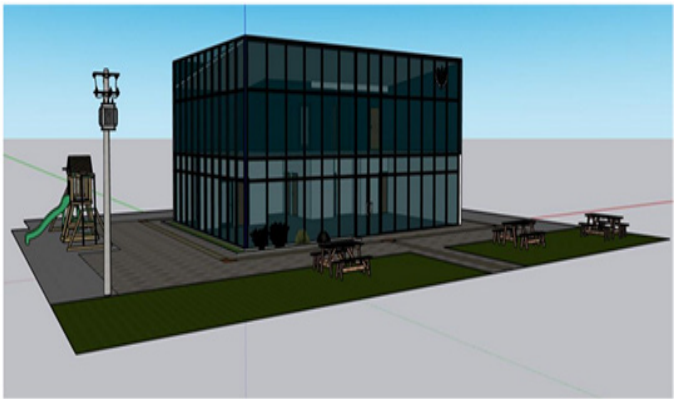
El objetivo de este estudio es evaluar el desempeño energético del CUBO El Tamarindo mediante la integración de mediciones experimentales y simulación energética calibrada, con el fin de identificar oportunidades que permitan optimizar su consumo energético.

METODOLOGÍA

El estudio se desarrolló durante el año 2025 en el Centro Urbano de Bienestar y Oportunidades (CUBO), ubicado en El Tamarindo, municipio de Conchagua, departamento de La Unión, El Salvador. La zona presenta un clima cálido tropical, caracterizado por altas temperaturas y elevada radiación solar durante gran parte del año, condiciones que influyen directamente en la demanda energética del edificio, especialmente en los sistemas de climatización. En la Figura 1 se presenta una vista general del edificio analizado.

Figura 1

Vista del edificio del Centro Urbano de Bienestar y Oportunidad (CUBO) El Tamarindo



Nota. Elaboración propia

La metodología se basó en la integración de mediciones experimentales y simulación energética, con el objetivo de evaluar el comportamiento energético del edificio y analizar diferentes escenarios de mejora.

Levantamiento técnico y caracterización del edificio

En una primera etapa, se realizó un levantamiento técnico del inmueble, que incluyó la caracterización arquitectónica, la envolvente térmica, así como los sistemas eléctricos, de iluminación y climatización (HVAC). Además, se elaboró un

inventario de las cargas eléctricas presentes y se analizaron las condiciones reales de operación, tales como horarios de uso, patrones de ocupación y configuración de los sistemas de aire acondicionado.

Adquisición de datos experimentales

Posteriormente, se llevaron a cabo mediciones eléctricas utilizando un analizador de potencia modelo PCE-PA 8000, instalado en el tablero principal del edificio. La Figura 2 muestra el equipo utilizado para la adquisición de datos eléctricos.

Figura 2

Analizador de potencia PCE-PA 8000 instalado en el tablero principal.

Nota. Registro de mediciones eléctricas del sistema.

Durante el periodo de medición se registraron variables como potencia activa (kW), energía consumida (kWh) y perfiles de demanda en función del tiempo. Estos datos permitieron establecer una línea base del consumo energético y comprender el comportamiento real del edificio bajo condiciones normales de operación.

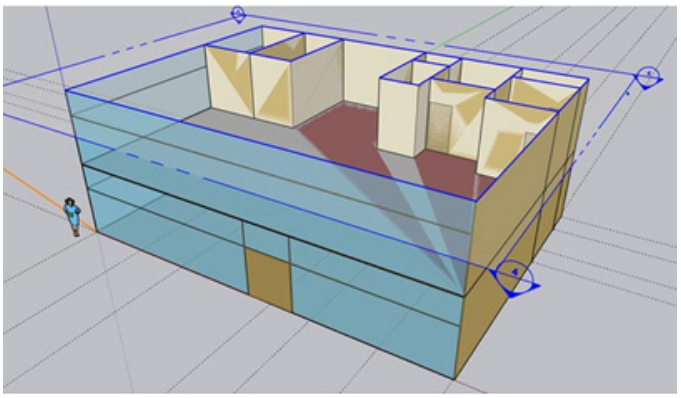
Se observa una adecuada correspondencia entre los valores medidos y simulados, lo que indica que el modelo representa de manera confiable el comportamiento energético del edificio bajo condiciones reales de operación.

Modelado y simulación energética

En una etapa posterior, se desarrolló un modelo energético del edificio mediante herramientas de simulación. La geometría del inmueble fue construida en SketchUp (SketchUp Help, 2025), mientras que la asignación de propiedades térmicas, cargas internas, horarios de operación y sistemas HVAC se realizó mediante OpenStudio (Open Studio manual, 2025). Finalmente, el motor de simulación EnergyPlus (EnergyPlus, 2025) se utilizó para ejecutar los cálculos energéticos, considerando condiciones climáticas representativas de la zona de estudio. En la Figura 3 se observa el modelo tridimensional desarrollado para la simulación energética.

Figura 3

Modelo tridimensional del edificio desarrollado en SketchUp mediante OpenStudio.



Nota. Representación de características constructivas, cargas térmicas y eléctricas, entre otros.

El modelo incluyó variables como cargas internas, condiciones de ocupación, propiedades térmicas de la envolvente, sistemas de climatización y condiciones climáticas externas.

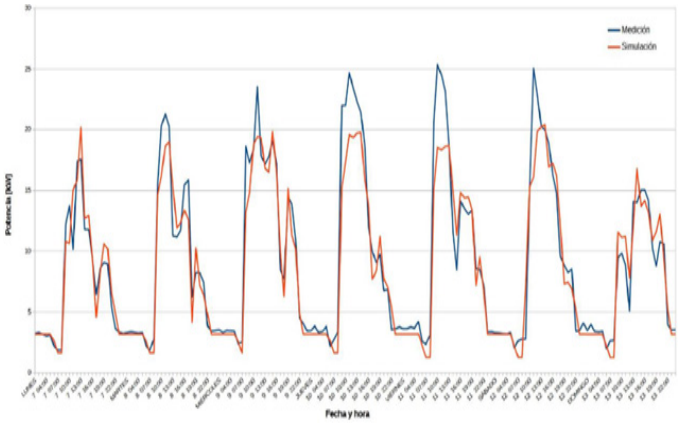
Calibración del modelo

El modelo energético fue calibrado mediante la comparación entre los resultados simulados y los datos reales de consumo eléctrico obtenidos en campo, ajustando parámetros clave hasta lograr una correspondencia aceptable entre ambos conjuntos de datos.

La validación del modelo se realizó a partir del análisis comparativo de las curvas de consumo eléctrico medido y simulado, lo cual permitió verificar la capacidad del modelo para representar el comportamiento energético real del edificio bajo condiciones normales de operación.La calibración del modelo se validó mediante la comparación

Figura 4

Comparación de la demanda eléctrica medida y simulada del edificio.



Nota. Elaboración propia con base en datos experimentales y simulación en OpenStudio.

Se observa una adecuada correspondencia entre los valores medidos y simulados, lo que indica que el modelo representa de manera confiable el comportamiento energético del edificio bajo condiciones reales de operación.

Evaluación de escenarios de eficiencia energética

Una vez ajustado el modelo, se definieron y analizaron distintos escenarios de eficiencia energética, incluyendo: (i) optimización de horarios de operación y control de temperatura en sistemas HVAC, (ii) gestión eficiente de cargas eléctricas, (iii) desactivación de equipos de climatización en áreas específicas, (iv) implementación de estrategias de control solar mediante láminas polarizadas, (v) reactivación del sistema fotovoltaico existente y (vi) combinación de las estrategias anteriores. Se evaluó el impacto de cada escenario sobre el consumo energético anual del edificio y su comportamiento operativo.

Análisis técnico-económico

Finalmente, se realizó un análisis técnico-económico con el objetivo de estimar los ahorros potenciales derivados de la implementación de las estrategias propuestas. Para ello, se consideraron los costos asociados a cada medida y se determinó el periodo de recuperación de la inversión, permitiendo evaluar la viabilidad de su aplicación en el contexto del estudio.

DISCUSIONES Y RESULTADOS

El análisis del modelo energético permitió evaluar el comportamiento del edificio bajo distintos escenarios de operación, mostrando con claridad el impacto de diversas estrategias de eficiencia energética sobre el consumo total. El modelo calibrado logró reproducir adecuadamente la tendencia del consumo real, lo que permitió utilizarlo como una base confiable para la simulación de escenarios.

El escenario base representó las condiciones actuales de operación del edificio, caracterizadas por un consumo elevado asociado principalmente al uso de sistemas de climatización, iluminación y equipos eléctricos. A partir de esta referencia, se analizaron seis escenarios de mejora energética, lo que permitió comparar tanto el efecto individual como el impacto conjunto de las estrategias evaluadas.

El escenario 1, enfocado en la optimización de horarios de operación y el ajuste de temperaturas en los sistemas de climatización, presentó una reducción del 13.87% en el consumo energético anual. Este resultado confirma que los sistemas HVAC son el principal factor en el consumo energético del edificio, lo cual coincide con estudios previos en edificaciones ubicadas en climas cálidos (Flensborg, 2020).

En los escenarios 2 y 3, relacionados con la gestión eficiente de cargas eléctricas y la desactivación de equipos de climatización en áreas específicas, se obtuvieron reducciones del 6.43% y 6.47%, respectivamente. Estos resultados muestran que las estrategias operativas ayudan a reducir el consumo, aunque su impacto es menor en comparación con los ajustes directos en los sistemas de climatización.

El escenario 4, correspondiente a la implementación de láminas polarizadas como estrategia de control solar, presentó una reducción del 2.29%. Esto indica que las estrategias pasivas, por sí solas, tienen un impacto moderado, pero siguen siendo útiles como complemento dentro de una estrategia más integral.

Por su parte, el escenario 5, basado en la reactivación del sistema fotovoltaico existente, permitió reducir en un 10.94% el consumo de energía proveniente de la red eléctrica. Este resultado resalta el papel de la generación distribuida como una alternativa efectiva para disminuir la dependencia energética del edificio.

El escenario 6, que integra todas las estrategias evaluadas, alcanzó la mayor reducción del consumo energético, con un valor del 28.58% respecto a la línea base. Esto demuestra que combinar medidas operativas, pasivas y tecnológicas es más efectivo que aplicarlas de forma aislada.

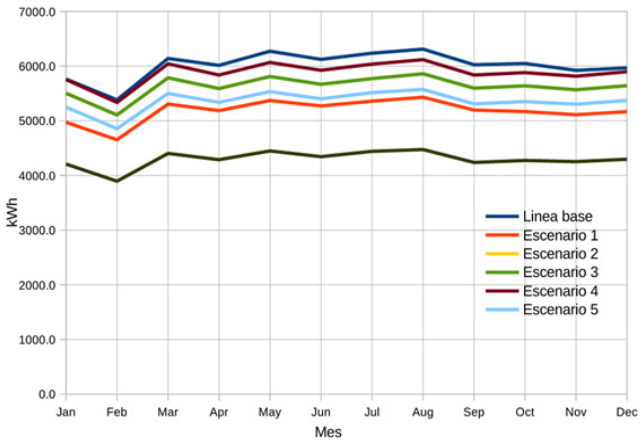
La Figura 4 muestra la comparación entre la demanda

eléctrica medida y simulada del edificio. Se observa una buena correspondencia entre ambos conjuntos de datos, lo que indica que el modelo representa de manera confiable el comportamiento energético del edificio bajo condiciones reales de operación.

La Figura 5 presenta el comportamiento del consumo energético mensual bajo los diferentes escenarios evaluados. En ella se aprecia una reducción constante en todos los casos, especialmente durante los periodos de mayor demanda térmica, lo que confirma la influencia del clima en el consumo energético y la efectividad de las estrategias aplicadas.

Figura 5

Consumo energético mensual del edificio bajo diferentes escenarios de simulación.



Nota. Resultados obtenidos a partir del modelo energético.

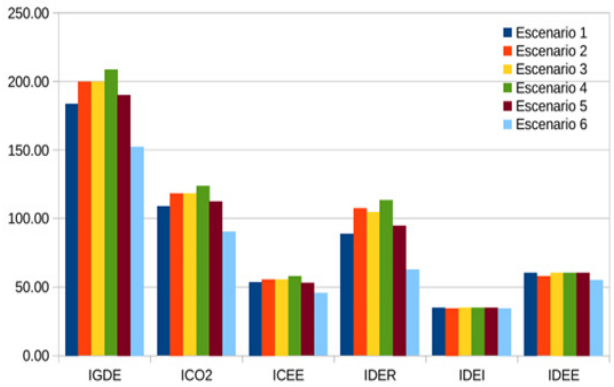
El análisis de los indicadores de desempeño energético, conforme a la norma ISO 50006, permitió evaluar con mayor precisión la eficiencia del edificio en cada escenario. En este sentido, se consideraron los siguientes indicadores:

- IGDE [kWh/m²·año]: Indicador global de desempeño energético
- ICO2 [kgCO_2/m²·año]: Indicador de kg CO_2/m² al año
- ICEE [$/m²·año]: Intensidad de costo de la energía eléctrica
- IDEI [kWh/m²·año]: Indicador de desempeño energético en iluminación
- IDEE [kWh/m²·año]: Indicador de desempeño energético en equipos eléctricos

En la Figura 6 se observa una mejora general de estos indicadores en los escenarios optimizados, lo que refleja un uso más eficiente de la energía en el edificio.

Figura 6

Comparación de indicadores de desempeño energético para los escenarios evaluados.



Nota. Elaboración propia con base en resultados de simulación.

Desde el punto de vista técnico-económico, la Tabla 1 muestra el periodo de recuperación de la inversión para cada una de las estrategias evaluadas. Los resultados indican que algunas medidas pueden implementarse rápidamente debido a sus bajos tiempos de retorno, mientras que otras requieren una mayor inversión inicial, pero ofrecen beneficios sostenidos en el tiempo.

Tabla 1

Periodo de recuperación (años) de la inversión para las estrategias evaluadas.

	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6
Gasto de energía eléctrica	$18,121.26	$18,812.58	$18,808.27	$19,583.13	$17,917.78	$15,417.70
Ahorro de energía	$1,925.93	$1,234.61	$1,238.92	$464.06	$2,129.41	$4,629.50
Costo de inversión	$100.00	$1,000.00	$1,400.00	$4,830.75	$5,000.00	$12,330.75
Periodo de recuperación (años)	0.05	0.81	1.13	10.41	2.35	2.66

En conjunto, los resultados obtenidos confirman que la aplicación de la simulación energética basada en datos reales permite identificar oportunidades significativas de mejora del desempeño energético de edificaciones públicas, proporcionando una base técnica para la toma de decisiones orientadas a la eficiencia energética.

CONCLUSIÓN

El presente estudio permitió evaluar el desempeño energético del Centro Urbano de Bienestar y Oportunidades (CUBO) El Tamarindo mediante la integración de mediciones reales y de una simulación energética calibrada, lo que demostró

que este enfoque permite representar de forma confiable el comportamiento energético del edificio bajo condiciones reales de operación.

Los resultados evidenciaron que los sistemas de climatización constituyen el principal componente del consumo energético, por lo que las estrategias orientadas a optimizar su operación generan los mayores niveles de ahorro. Asimismo, se comprobó que las medidas operativas y las estrategias pasivas contribuyen de manera complementaria a la mejora del desempeño energético.

La reactivación del sistema fotovoltaico existente permitió reducir la dependencia de la red eléctrica, lo que evidencia el potencial de la generación distribuida como parte de una estrategia integral de eficiencia energética. En conjunto, la aplicación simultánea de medidas operativas, pasivas y tecnológicas permitió alcanzar reducciones significativas en el consumo energético, superiores a las obtenidas con su implementación individual.

Finalmente, los resultados confirman que la simulación energética calibrada constituye una herramienta efectiva para evaluar el desempeño energético y tomar decisiones en edificaciones públicas, y aporta una base técnica para implementar estrategias de eficiencia energética en contextos similares. Este enfoque puede replicarse en otras edificaciones públicas con características similares.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad de El Salvador, en particular a la Escuela de Ingeniería Eléctrica, por el respaldo académico brindado. Asimismo, se reconoce el apoyo del personal del Centro Urbano de Bienestar y Oportunidades (CUBO) El Tamarindo por las facilidades brindadas para la obtención de datos experimentales.

REFERENCIAS

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2022). Standard 90.1-2022: Energy standard for sites and buildings except low-rise residential buildings.

Baransu. (2020, diciembre 6). ¿La ventilación natural de mi habitación es adecuada? https://baransu.net/ventilacion-natural-es-adecuada/

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2017). Eficiencia energética en América Latina y el Caribe: avances y desafíos del último quinquenio. https://www.cepal.org/es/publicaciones/4106-eficiencia-energetica-america-latina-caribe-avances-desafios-ultimo-quinquenio

Climate.OneBuilding.Org. (2022). Development of Global Typical Meteorological Years (TMYx). https://climate.onebuilding.org

Clod Ensemble. (2025, diciembre 10). Open House: Clod Ensemble Studios. https://www.clodensemble.com/whatson/open-house-clod-ensemble-studios

Consejo Nacional de Energía (CNE). (2007). Ley de Creación del Consejo Nacional de Energía. Asamblea Legislativa. https://www.asamblea.gob.sv/sites/default/files/documents/decretos/171117_072913170_archivo_documento_legislativo.pdf

Consejo de Alcaldes y Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador (COAMSS). (2018). Guía de Hábitats Urbanos Sostenibles del AMSS (HAUS). https://opamss.org.sv/wp-content/uploads/2021/10/GUIA_HAUS.pdf

Centro Urbano de Bienestar y Oportunidades (CUBO). (2025, febrero). El Tamarindo – CUBO. Dirección de Reconstrucción del Tejido Social. https://cubo.gob.sv/cubo/el-tamarindo

Cueva Villafranco, R. A. (2024). Análisis energético con énfasis en la eficiencia energética en los Centros Urbanos de Bienestar u Oportunidades, CUBO: estudio de caso Mejicanos, San Salvador (Tesis). Universidad de El Salvador.

Dirección General de Energía, Hidrocarburos y Minas (DGEHM). (2017). Por la sostenibilidad energética en el sector público. https://estadisticas.dgehm.gob.sv/wp-content/uploads/2017/09/por-la-sostenibilidad-energtica-en-el-sector-pblico.pdf

Dirección General de Energía, Hidrocarburos y Minas (DGEHM). (2025, julio 28). Manuales de uso eficiente de la energía. https://estadisticas.dgehm.gob.sv/biblioteca/documentos-eficiencia-energetica/manuales-de-uso-eficiente-de-la-energia

Dirección General de Energía, Hidrocarburos y Minas (DGEHM). (2026, enero 15). Manuales de uso eficiente de la energía. https://estadisticas.dgehm.gob.sv/biblioteca/documentos-eficiencia-energetica/manuales-de-uso-eficiente-de-la-energia

DIALux Community. (2025, diciembre 4). How to install the

light shelf in Dialux. https://community.dialux.com/get-support-with-dialux/post/how-to-install-the-light-shelf-in-dialux-S9PabHRWC7bCvR9

Eco Home Essentials. (2026). Is spray foam insulation any good?

EnergyPlus. (2025). Weather data for El Salvador (WMO Region 4). https://energyplus.net/weather-region/north_and_central_america_wmo_region_4/SLV

FASHIONSNAP. (2011, mayo). どこまでOK?クールビズ、はるやま1030人に意. https://www.fashionsnap.com/article/2011-05-17/haruyama-save-biz

Fermosell, R. S. (2014). Se presenta en asamblea legislativa el anteproyecto de ley de eficiencia energética en El Salvador. Suelosolar. https://suelosolar.com/noticias/eficiencia-energetica/el-salvador/16-4-2014/se-presenta-asamblea-legislativa-anteproyecto-ley-eficiencia-energetica-salvador

Flensborg, G. (2020). Hacia la construcción de la pirámide energética. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.

GIZ/MEN. (2019). Guía para realizar una auditoría energética.

Grau, J. S., & Ayerra, J. L. (2018). Pavimentos reflectantes para la mitigación del cambio climático.

Greenroofs.com. (2026). Nanyang Technological University (NTU) School of Art, Design and Media. https://www.greenroofs.com/projects/nanyang-technological-university-ntu-school-of-art-design-and-media-adm/

Hihausbm.com. (2025). Ventanas del triforio: ilumina tu hogar. https://es.hihausbm.com/clerestory-windows

Hábitats Urbanos Sostenibles (HUB-HAUS). (2021, marzo 3). Sistemas de gestión de energía: una estrategia para alcanzar la eficiencia energética. https://opamssproyectos.com/haus/blog/sistema-de-gestion-de-energia

Lallana, M. (2022). Eso fue lo que empezó a hacer Japón… [Tweet]. X. https://x.com/MartinLallanaS/status/1526824141315362816

Liu, K. K., & Baskaran, B. A. (2005). Thermal performance of extensive green roofs.

Ministerio de Energía (Chile). (2022). Plan Nacional de Eficiencia Energética 2022–2026. https://energia.gob.cl/sites/default/files/eficiencia-energetica_16-nov.pdf

OpenStudio Coalition. (2025). Installation and introductory tutorial. https://openstudiocoalition.org/getting_started/getting_%20%20

OpenStudio Manual. (2025). OpenStudio Interface Quick Start Guide.

PRASPAN. (2026). PRASPAN® Паркинг. https://praspan.ru/product/polimernye-nalivnye-poly/gotovye-resheniya-dlya-polimernykh-polov/praspan-parking

reevEnergy. (2012). Iluminación solar. https://reevenergy.wordpress.com/2012/02/08/iluminacion-solar

Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones (SIGET). (2025). Pliegos tarifarios del suministro de energía eléctrica. https://www.siget.gob.sv/download/los-pliegos-tarifarios-del-suministro-de-energia-electrica-al-consumidor-final-vigentes-del-15-de-enero-al-14-de-abril-de-2025

SketchUp Help. (2025). Descargar SketchUp. Trimble Inc. https://help.sketchup.com/es/downloading-sketchup

U.S. Department of Energy. (2025). EnergyPlus downloads. https://energyplus.net/downloads

Valle, A. M. (2018). Oportunidades en el entorno de la eficiencia energética. Bravo Comunicación.