

Análisis de eficiencia energética en una institución educativa en Baja California

María Cristina Castañón Bautista ¹, Alicia Ravelo García ^{1,*}, Johana Lizeth Hernández Villanueva ¹, América Xiomara Jiménez Pérez ².

¹ Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, UABC, Tijuana, Baja California.

² Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura, Urbanismo y Diseño, UABC, Ensenada, Baja California.

* Autor de correspondencia: alicia.ravelo@uabc.edu.mx.

Artículo de divulgación científica

Recibido: 4 de septiembre de 2024

Aceptado: 31 de octubre de 2024

Publicado: 10 de noviembre de 2024

DOI: <https://doi.org/10.56845/terys.v3i1.178>

Resumen: Los edificios de instituciones educativas son consumidores importantes en energía, cuyo uso es principalmente en iluminación, lo que puede relacionarse con impactos negativos como emisiones de GEI, el confort térmico y rendimiento académico de los estudiantes. En este trabajo, el objeto de estudio son las aulas y pasillo del Edificio A de la Escuela Secundaria General No. 29 en la ciudad de Tijuana, cuyo propósito es realizar una evaluación de la eficiencia energética de luminarias en términos de densidad de potencia eléctrica de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-007-ENER-2014 y estimar su desempeño ambiental mediante el cálculo de huella de carbono a fin de presentar una propuesta de mejora en eficiencia energética para la institución. De acuerdo con la Norma Oficial y resultados de las luminarias instaladas en pasillos cumplen con ésta, no así las que se encuentran en las aulas, al respecto podemos concluir que el área de oportunidad de mejora puede ser la sustitución de luminarias con el impacto positivo en la reducción en el consumo de energía eléctrica en iluminación (760 KWh), así como la reducción en las emisiones de CO₂ (3.10 Toneladas) y el ahorro económico bimestral (\$ 642 pesos).

Palabras clave: Sostenibilidad; Eficiencia Energética; Huella de carbono; Densidad de Potencia Eléctrica.

Introducción

Es de interés de las autoridades gubernamentales, empresarios e investigadores participar con acciones relacionadas a la reducción del impacto ambiental generado en la producción y uso de energía, las emisiones de CO₂ generadas por éstos y su medición a través de indicadores de desempeño como la huella de carbono, en este sentido, el sector de la construcción consume un 40% del total de la energía y de las emisiones de CO₂ relacionadas con esta (Chen *et al.*, 2021). Datos del Banco de Desarrollo de América Latina, indican que una iluminación eficiente a nivel mundial ahorraría más de 140,000 millones de dólares y reduciría las emisiones de CO₂ en 580 millones de toneladas anualmente (MGM International, 2018).

Por otro lado, los edificios en general son responsables de aproximadamente un 40% del consumo energético (Berardi, Manca, Casaldaliga, & Pich-Aguilera, 2017) y algunos autores señalan que los edificios escolares son consumidores importantes de energía (Derenski *et al.*, 2017), pueden emitir emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) (Ashrafian, 2023) y tener una deficiente calidad del aire en interiores (Rospi *et al.*, 2015). En el caso del uso de energía para iluminación, en el sector de la construcción es del 20 al 45% del consumo total y es similar en los edificios escolares, donde se reporta que las aulas tienen un consumo del 50% del total de la energía (Doulos *et al.*, 2019).

En el caso de las escuelas públicas en México, estas suelen tener presupuestos limitados destinados a gastos operativos, incluidos los costos de energía, pero existe potencial para reducir el consumo (Gamarra *et al.*, 2018), por lo que medidas de ahorro resultarían en beneficios económicos para la institución educativa, sin embargo, su reducción debe realizarse desde el confort térmico (Brychkow *et al.*, 2023) y visual de los usuarios, donde se ha reportado como un factor relacionado con el rendimiento académico de los estudiantes (Lourenço *et al.*, 2019).

La reducción en el consumo de energía disminuye la huella de carbono de la institución, contribuyendo a la conservación del medio ambiente y enseñando a los estudiantes sobre la importancia de la sostenibilidad, Chung y Yeung (2020) señalan que los espacios educativos públicos tienen una responsabilidad con la sociedad y en términos de sus operaciones físicas pueden contribuir a generar una cultura positiva (Chung & Yeung, 2024) ser agentes de cambio en la comunidad escolar y local (Yeo *et al.*, 2019) a través de prácticas sostenibles administrativas o de inversión en las instalaciones, como la implementación o cambio de luminarias, que si bien puede generar un costo para la escuela, también realizarse a través de empresas de servicio en gestión energética (ESCO) que pueda brindar apoyo técnico y financiero (Brychkow *et al.*, 2023).

El propósito de esta investigación es presentar el análisis del consumo de energía en iluminación en aulas, centro de cómputo y pasillos del Edificio A de la Escuela Secundaria # 29 ubicada en la ciudad de Tijuana, determinando el costo de la energía, evaluar la eficiencia de luminarias en términos de densidad de potencia eléctrica y calcular la huella de carbono con el objeto de presentar una propuesta de modificación de luminarias que genere un impacto ambiental positivo.

Desarrollo

Descripción del sitio. El sitio de estudio es la Escuela Secundaria General No. 29, ubicada en Boulevard Morelos Sin Número, Fraccionamiento Valle San Pedro, C. P. 22263 en la ciudad de Tijuana, B. C., es una escuela pública de nivel educativo medio superior, con solo un turno, matutino, clave 02DES00580 (Secretaría de Educación de Baja California 2020, 2020), cuenta con una población estudiantil, profesores y personal administrativo de 423 en total de estos, 218 son varones y 205 mujeres.

La escuela cuenta con dos niveles y dos edificios, el A se edificó primero y cuenta con luminarias tipo T8, fluorescente y son menos eficientes después de las incandescentes (MGM International, 2018) y focos incandescentes (Figura 1). Aproximadamente 15 años después se construyó el edificio B y las luminarias instaladas son de tipo LED, por lo que el estudio se realizará considerando la iluminación y consumo de energía del edificio más antiguo (A).

Metodología.

La línea base energética consistió identificar la ubicación, el inventario, consumo, potencia de luminarias en el Edificio A para cuantificar el costo de la energía y su eficiencia energética de acuerdo con la NOM-007-ENER-2014 y con base en ello, estimar la huella de carbono.

Levantamiento de luminarias. Se realizó un levantamiento para ubicar e identificar el tipo de luminarias en uso en el Edificio A, dividiendo las cargas en dos secciones las luminarias y aulas de la planta alta y planta baja (Tabla 1 y 2).



Figura 1. Luminarias en aulas y pasillos del Edificio A

Tabla 1. Luminarias en aulas y pasillo del Edificio A

Nivel	Aulas/Pasillo	Cantidad de luminarias	Potencia	Total
Planta alta aula	3	24	120 W	2880 W
Planta baja aula	4	30	120 W	3600 W
Planta alta pasillo	1	6	18 W	108 W
Planta baja pasillo	1	6	18 W	108 W
Planta alta aula	3	24	120 W	2880 W
Total		96	276	6,696 W

Tabla 2. Consumo de energía en aulas, pasillos y equipos de cómputo del Edificio A

Concepto	Cantidad	Potencia (W)	Tiempo de uso (h)	E=P*t (Wh)
Luminarias en aulas	54	120	160	1,036,800
Luminarias en pasillos	12	18	360	77,760
Aulas con equipo de computo	30	180	180	972,000

Costo de la energía. El costo de la energía se realizó de acuerdo con la cantidad reportada en el recibo de consumo de electricidad de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) de la Escuela Secundaria y con base en la tarifa de CFE (Comisión Federal de Electricidad, 2024).

Determinación del nivel de eficiencia en términos de Densidad de Potencia Eléctrica. De acuerdo con la NOM-007-ENER-2014 (Secretaría de Gobernación, 2014), la Densidad de Potencia Eléctrica (DPEA) es el índice de carga conectada para alumbrado por superficie de construcción y el objetivo de esta Norma Oficial es fomentar el uso eficiente de la energía eléctrica y disminuir el consumo energético en este sector, en el caso de escuelas se establece una DPEA de 14W/m².

Cálculo de la Huella de Carbono total. Para determinar las emisiones de GEI emitidas del consumo de energía eléctrica y expresado en toneladas métricas de CO₂, se realizó el cálculo de acuerdo con la suma del consumo de electricidad por año con un factor de emisión de 0.84 para convertir los kWh a toneladas métricas (UI GreenMetric, 2023).

Resultados.

Costo de la energía. De acuerdo con la información del recibo de consumo de CFE, el costo de la energía mensual en el Edificio A, es de \$881.28 pesos para aulas, en pasillos es de \$66.096 pesos y en aula con equipos de cómputo es de \$826.2 pesos y un costo total de \$2,259.77 pesos.

Al respecto, se realiza una estimación para calcular el potencial ahorro sustituyendo las 54 luminarias tipo T8 con luminaria tipo LED (potencia de 2W, flujo luminoso de 310 lm, longitud de 1200mm) y de realizarse su cambio puede obtenerse bimestralmente un ahorro económico y en energía de \$645.272 pesos y 760.32 kWh respectivamente.

Determinación del nivel de eficiencia en términos de Densidad de Potencia Eléctrica. La DPEA se determinó de acuerdo con la NOM-007-ENER-2014 y considerando que el Edificio A tiene área total 454.16 metros cuadrados se tiene una potencia de 6,966 W (Tabla1) y una DPEA en aulas de 14.26 W/m² y 0.4756 W/m² en pasillos: 54 lámparas de aulas, potencia de 6,480 W; 12 lámparas de pasillos, potencia de 216 W; considerando un total de lámparas igual a 66 con un total de 6,696 Watts, a continuación se muestran las fórmulas para el cálculo de la DPEA (Ecuación 1).

$$DPEA = \frac{\text{Carga total para alumbrado}}{\text{Área total iluminada}} \quad (1)$$

De acuerdo con la NOM-007-ENER-2014, no se cumple con la DPEA para aulas del Edificio A (tabla 3)

Tabla 3. Comparación con la NOM-007-ENER-2014.

Elemento	Límite de acuerdo con la Norma (W/m2)	Resultados obtenidos de la medición	Cumplimiento	Comentarios
Edificio A Aulas	14	14.26	No	Se recomienda el cambio de luminarias en aulas
Edificio A Pasillos	14	0.4756	Si	

Cálculo de Huella de Carbono. El uso de lámpara tipo T8 en iluminación genera GEI dejando una Huella de Carbono que contribuye al cambio climático. Para este caso de estudio, se determinó la Huella de Carbono con base en la Ecuación 2 y considerando un consumo promedio de electricidad por bimestre es de 615.41 kWh y por año es de 3692.46 kWh teniendo como resultado una Huella de Carbono de 3.1016 toneladas métricas de CO₂.

$$HC = \left(\frac{\text{Uso de electricidad por año en kWh}}{1000} \right) (0.84) \quad (2)$$

Asimismo, el consumo de electricidad de 3692.46 kWh generan 3.1016 toneladas métricas de CO₂ y con base en la calculadora de equivalencias de GEI de la U.S. Environmental Protection Agency (U. S. Environmental Protection Agency, 2024), estas emisiones son equivalentes a 0.391 toneladas métricas de CO₂ por el uso energético en el hogar durante un año o a 0.603 toneladas métricas de CO₂ por el uso doméstico de la electricidad durante un año.

Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos, las autoridades escolares cuentan con información técnica de consumo, ahorro, calidad y emisiones de GEI, para tomar decisiones con relación a la eficiencia energética del tipo de luminarias y equipos de cómputo en el Edificio A, a fin de obtener beneficios económicos, de bienestar en la comunidad escolar e impacto ambiental al reducir las emisiones generadas.

El análisis de eficiencia energética en la Secundaria General No. 29 muestra una oportunidad significativa para mejorar el consumo energético y reducir los costos asociados debido al uso de luminarias tipo T8 y equipos electrónicos en el edificio A.

La sustitución de luminarias no solo reducirá los costos operativos, al lograr una reducción en el consumo de energía eléctrica en iluminación, sino también se dejarán de emitir 3.1016 toneladas métricas de CO₂, un beneficio económico de \$642.27 pesos bimestrales y un ahorro en energía de 760.32 kWh, por lo que se reducirá el impacto ambiental negativo y mejorará el entorno educativo de sus estudiantes y comunidad escolar.

Agradecimientos: Se agradece a las autoridades escolares, especialmente al director de la Escuela Secundaria General 29, por las facilidades otorgadas para obtener la información para este trabajo de investigación.

Bibliografía

- Ashrafian, T. (2023). Mejora de la eficiencia energética de los edificios escolares bajo el cambio climático: un análisis exhaustivo de los factores de energía, coste y confort. *Revista de Ingeniería de la Edificación*, 80, 1-27. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2023.107969>.
- Berardi, U., Manca, M., Casaldaliga, P., & Pich-Aguilera, F. (2017). De las demandas energéticas a nZEB: el reacondicionamiento de una escuela en Cataluña, España. *Procedia de Energía*, 140, 141-150. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.130>.
- Brychcow, D., Goggins, G., Doherty, E., Romero, N., Roudil, N., Di Trani, A., Clifford, E. (2023, 16 de marzo). Un marco sistémico de eficiencia energética en las escuelas: experiencias de seis países europeos. *Eficiencia Energética*, 1-26. <https://doi.org/10.1007/s12053-023-10099-4>.
- Chung, W., & Yeung, I. M. (2024, 01 de noviembre). Un estudio del consumo de energía de los edificios de escuelas secundarias en Hong Kong. *Energía y Edificios*, 226, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110388>.
- Comisión Federal de Electricidad. (2024, Julio 15). *Comisión Federal de Electricidad*. Retrieved Julio 15, 2024, from Comisión Federal de Electricidad: <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCRENegocio/Negocio.aspx>.
- Derenski, J., Porse, E., Hannah, G., Dan, C., & Pincetl, S. (2017, 17 de noviembre). Análisis espacial y temporal de datos de uso de energía en las escuelas públicas de Los Ángeles. *Eficiencia Energética*, 11, 485-497. <https://doi.org/10.1007/s12053-017-9580-x>.
- Doulos, L. T., Kontadakis, A., Madias, E. N., Sinou, M., & Tsangrassoulis, A. (2019). Minimizar el consumo de energía para la iluminación artificial en un aula típica de una escuela pública helénica con el objetivo de un edificio de consumo de energía casi nulo utilizando luminarias LED de CC y sistemas de captación de luz natural. *Energía y Edificios*, 194, 201-217. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.04.033>.
- Gamarra, A. R., Istrate, I. R., Herrera, I., Lago, C., Lizana, J., & Lechón, Y. (2018). Consumo de energía y agua y huella de carbono de los edificios escolares en condiciones de clima cálido. Resultados del análisis del ciclo de vida. *Revista de Producción Limpia*, 195, 1326-1337. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.153>.
- Lourenço, P., Duarte Pinheiro, M., & Heitor, T. (2019, August 10). Light use patterns in Portuguese school buildings: User comfort perception, behaviour and impacts on energy consumption. *Journal of Cleaner Production*, 228, 990-1010. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.144>.
- Rospi, G., Cardinale, N., Intini, F., & Cardinale, T. (2015). Analysis of energy consumption of different typologies of school buildings in the city of Matera (Southern Italy). *Energy Procedia*, 82, 512-518. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.863>.

-
- Secretaría de Educación de Baja California 2020. (2020). *Secretaría de Educación de Baja California*. (S. d. California, Editor) Retrieved Julio 10, 2024, from Secretaría de Educación de Baja California: <https://educacionbc.edu.mx/eventos/2013/CambioAdscripcion/ListaEscuelasISEP.php>.
- Secretaría de Gobernación. (2014, Agosto 07). *Diario Oficial de la Federación*. Retrieved Julio 15, 2024, from Diario Oficial de la Federación: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5355593&fecha=07/08/2014#gsc.tab=0.
- U. S. Environmental Protection Agency. (2024, January). *U. S. Environmental Protection Agency*. Retrieved Julio 17, 2024, from U. S. Environmental Protection Agency: <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/calculador-de-equivalencias-de-gases-de-efecto-invernadero#results>.
- UI GreenMetric. (2023). *UI GreenMetric World University Rankings*. (U. Indonesia, Ed.) Retrieved Julio 15, 2024, from UI GreenMetric World University Rankings: <https://greenmetric.ui.ac.id/publications/guidelines/2023/spanish>.
- Yeo, J., Wang, Y., Kyoungjin An, A., & Zhang, L. (2019). Estimation of energy efficiency for educational buildings in Hong Kong. *Journal of Cleaner Production*, 235, 453-460. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.339>.