

# Diseño metodológico para determinar estrategias de ahorro de energía en la infraestructura física educativa

*Methodological design to determine energy saving strategies in educational physical infrastructure*

Desenho metodológico para determinar estratégias de economia de energia em infraestrutura física educacional

**Franco Tapia**

UNIVERSIDAD HIPÓCRATES, ACAPULCO – GUERRERO, MÉXICO

[tapiafranco@uhipocrates.edu.mx](mailto:tapiafranco@uhipocrates.edu.mx)

<https://orcid.org/0000-0001-6927-1579>

**Jazmin Carbajal**

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO,

ACAPULCO – GUERRERO, MÉXICO

[jazmin.ca@acapulco.tecnm.mx](mailto:jazmin.ca@acapulco.tecnm.mx)

<https://orcid.org/0000-0001-9654-5264>

**Aristóteles Muñoz**

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO,

ACAPULCO – GUERRERO, MÉXICO

[aristoteles.mm@acapulco.tecnm.mx](mailto:aristoteles.mm@acapulco.tecnm.mx)

<https://orcid.org/0000-0001-9678-8223>

**Juan Rodríguez**

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO,

ACAPULCO – GUERRERO, MÉXICO

[juan.rp@acapulco.tecnm.mx](mailto:juan.rp@acapulco.tecnm.mx)

<https://orcid.org/0000-0002-1209-680X>

**Magdaleno Olea**

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO,

ACAPULCO – GUERRERO, MÉXICO

[magdaleno.ot@acapulco.tecnm.mx](mailto:magdaleno.ot@acapulco.tecnm.mx)

<https://orcid.org/0000-0002-7288-3645>

**DOI:** <https://doi.org/10.35622/inudi.c.01.22>

**Recibido:** 02-XI-2022 / **Aceptado:** 30-XI-2022 / **Publicado:** 05-XII-2022

## Resumen

El artículo buscó determinar las estrategias de ahorro de energía en la infraestructura física educativa, tomando como caso de estudio el Colegio Zumárraga en Acapulco Guerrero, México. Se realizó un diseño metodológico, como primera etapa se realizó el análisis de los espacios arquitectónicos y consumos de energía eléctrica, la segunda etapa consistió en la selección de la fuente de mayor consumo de energía eléctrica, la tercera etapa mediante el método exegético se escrudiñó la normatividad que emite el Instituto Nacional de Infraestructura Física Educativa (INIFED), la cuarta etapa se determinó el rango de confort térmico, en la quinta etapa se determinó los impactos ambientales mediante la aplicación del factor de emisión del Sistema Eléctrico Nacional en México, en la sexta etapa se realizó propuestas de mitigación de impactos ambientales y económicos mediante 2 alternativas de ahorro de energía y en la parte económica se aplicó el método de costo beneficio mediante el costo anual equivalente a 20 años. Parte de las conclusiones indican que para determinar la factibilidad de un proyecto debe evaluarse en sus esferas social, ambiental y

económica, para hacer más eficiente la alternativa 2 es necesario primero la aplicación de estrategias activas y pasivas para la iluminación, ventilación y acondicionamiento de aire.

**Palabras clave:** costo beneficio, eficiencia energética, emisiones indirectas, infraestructura física educativa, retrofit.

### Abstract

The article sought to determine energy saving strategies in the educational physical infrastructure, taking the Zumárraga School in Acapulco Guerrero, Mexico as a case study. A methodological design was carried out, as the first stage, the analysis of the architectural spaces and electrical energy consumption was carried out, the second stage consisted of the selection of the source with the highest consumption of electrical energy, the third stage, through the exegetical method, scrutinized the regulations issued by the National Institute of Educational Physical Infrastructure (INIFED), the fourth stage determined the range of thermal comfort, in the fifth stage the environmental impacts were determined by applying the emission factor of the National Electric System in Mexico, in the sixth stage, proposals for mitigation of environmental and economic impacts were made through 2 energy saving alternatives and in the economic part, the cost-benefit method was applied through the annual cost equivalent to 20 years. Part of the conclusions indicate that to determine the feasibility of a project it must be evaluated in its social, environmental and economic spheres, to make alternative 2 more efficient it is first necessary to apply active and passive strategies for lighting, ventilation and air conditioning.

**Keywords:** cost benefit, energy efficiency, indirect emissions, educational physical infrastructure, retrofit.

### Resumo

O artigo procurou determinar estratégias de economia de energia na infraestrutura física educacional, tomando como estudo de caso a Escola Zumárraga em Acapulco Guerrero, México. Foi realizado um desenho metodológico, sendo que na primeira etapa foi realizada a análise dos espaços arquitetônicos e consumo de energia elétrica, a segunda etapa consistiu na seleção da fonte com maior consumo de energia elétrica, a terceira etapa, através do método exegetico, escrutinados os regulamentos emitidos pelo Instituto Nacional de Infraestrutura Física Educacional (INIFED), a quarta etapa determinou a faixa de conforto térmico, na quinta etapa os impactos ambientais foram determinados pela aplicação do fator de emissão do Sistema Elétrico Nacional no México, na sexta etapa foram feitas propostas de mitigação dos impactos ambientais e econômicos por meio de 2 alternativas de economia de energia e na parte econômica foi aplicado o método de custo-benefício por meio do custo anual equivalente a 20 anos. Parte das conclusões indicam que para determinar a viabilidade de um projeto deve ser avaliado em suas esferas social, ambiental e econômica, para tornar a alternativa 2 mais eficiente é necessário primeiro aplicar estratégias ativas e passivas de iluminação, ventilação e ar condicionado.

**Palavras-chave:** custo benefício, eficiência energética, emissões indiretas, infraestrutura física educacional, retrofit.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo refiere a un método para el análisis de alternativas de eficiencia energética, aplicado a la Infraestructura Física Educativa en México, considerando aspectos ambientales, sociales y económicos.

En los aspectos ambientales se determinan las emisiones de CO<sub>2</sub> indirectas por el consumo de energía eléctrica, los aspectos sociales se analizan desde el enfoque de confort térmico y lumínico, y en los aspectos económicos se obtienen estimaciones a 20 años, mediante la aplicación de la toma de decisiones Costo-beneficio.

“La eficiencia energética (EE) se define como el cociente entre la energía requerida para desarrollar una actividad específica, y la cantidad de energía primaria usada para el proceso” (Fuquen González, 2014, p.1).

“El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es el principal gas de efecto invernadero que se emite a raíz de las actividades del ser humano. En el año 2017, el CO<sub>2</sub> representó aproximadamente el 81,6% de todas las emisiones de gases de efecto invernadero en EE. UU. a raíz de las actividades del ser humano” (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), 2022).

“En México el sector energía en el 2015 representó el 71.11% de las emisiones totales nacionales brutas y de esa cantidad, la producción de energía eléctrica contribuyó con el 20.26%, aproximadamente, 141 MtCO<sub>2</sub> eq” (Secretaría de Energía, 2019).

El consumo de electricidad en el sector de edificios no residenciales, que incluye los comerciales y los públicos, es menos entendido. “El Sistema de Información Energética (SIE) estima que el consumo de electricidad de este sector fue de 22.6 TWh en el 2017, o bien el 9% de la demanda de electricidad total en México en dicho año” (Comisión nacional para el uso eficiente de la energía, 2019).

“Es importante considerar que las acciones enfocadas a mejorar la eficiencia energética frecuentemente son llamadas estrategias ganar- ganar, porque implican diferentes formas de beneficios, por ejemplo, la reducción del uso de energía implica disminuciones en las emisiones de GEI, en el gasto de la cuenta de electricidad” (Livas, Bassam, Gamboa, & Odóñez, 2019)

En el año 2015 la Secretaría de Energía (SENER) en México realizó un estudio del consumo energético en las escuelas públicas, se conformó por 844 escuelas primarias y secundarias. Se obtuvo información de tres fuentes, por un lado, de los resultados de los diagnósticos energéticos, en segundo término, de las visitas de verificación y, por último, de las encuestas aplicadas.

Respecto a las secundarias, 83% presenta una tarifa T2 (general de baja tensión igual o superior a 10 kW); 13%, tarifa OM (ordinaria media tensión); el resto del porcentaje se distribuye entre las tarifas T3 (general baja tensión igual o superior a los 50 kW) y HM (media tensión de 100 kW o más).

De acuerdo con el balance estimado, los principales consumidores de energía son los sistemas de acondicionamiento de aire con 34%, seguido de los sistemas de iluminación con 33% y los sistemas de cómputo con 21%.

Descrito lo anterior surge la siguiente interrogante ¿Cómo seleccionar las mejores estrategias de eficiencia energética aplicables a un proyecto de infraestructura física educativa, desde el enfoque ambiental y de costo beneficioso?

Para tener una decisión asertiva respecto a las mejores estrategias de eficiencia energética, las instituciones educativas requieren de estudios que muestren la normatividad aplicable y la factibilidad en un panorama a corto, mediano y largo plazo.

En un estudio de factibilidad para un proyecto arquitectónico de eficiencia energética, se requiere analizar el consumo de energía actual, los materiales constructivos en la envolvente, su vida útil, los impactos ambientales y económicos.

En los proyectos de arquitectura e ingeniería debe haber una mayor preocupación en la calidad del ambiente construido, en lo referente al confort, eficiencia y autonomía energética, con la posibilidad de generación de energía a través de fuentes renovables no convencionales y como parte integral del edificio (André & Galhardo, 2006, p.2).

Es energéticamente más eficiente un edificio que otro, cuando proporciona las mismas condiciones de confort con menor demanda de energía (ídem).

Los cambios que se deben desarrollar en la infraestructura conllevan a inversiones que incluso en ocasiones superan al costo de una edificación nueva, sin embargo, existen métodos de reacondicionamiento de las edificaciones aprovechando la estructura y realizando adecuaciones sustanciales que ayudan a la funcionalidad y eficiencia del edificio por ejemplo el retrofit. Retrofit “se refiere a la práctica de crear y utilizar estructuras y procesos ambientalmente responsables y eficientes en términos de recursos a lo largo del ciclo de vida de un edificio” (Schettini González Borges et al., 2015.)

Otros autores han afirmado lo siguiente:

Nunca antes se había oído hablar tanto del término retrofit, principalmente en Europa, la misma Europa que habla de sostenibilidad desde 1987. Significados diversos en inglés aparecen en el diccionario: modernise-mejorar, perfeccionar, modernizar. O aun: install or fit and update to– actualizar. El término originario quiere decir reformar, pero revestido de una mayor complejidad, que incluye personalizar con eficiencia, adaptar y mejorar aparatos, confort y posibilidades de utilización de antiguos edificios (Silva et al., 2014).

“Para cumplir con los requerimientos actuales de desempeño, los edificios existentes pueden someterse a un proceso de retrofit (adaptación). Dentro de este contexto se puede ver el resurgimiento de las estrategias pasivas para acondicionar los edificios” (Oliveira et al., 2018).

Dentro de los elementos constructivos que conforman la envolvente, es destacable el importante papel que juegan las ventanas en relación a las infiltraciones de aire. El doble compromiso de ventilar sin penalizar la eficiencia energética debe ser una exigencia para estas unidades constructivas en el entorno actual (Rodríguez et al., 2018).

“La participación de las universidades en la implementación de programas enfocados en la eficiencia energética (...) facilita la toma de decisiones para invertir en mejoras del sistema de gestión energética y en la implementación de fuentes renovables en los campus” (Arróliga & Betanco, 2021).

En los últimos 60 años la Arquitectura bioclimática es un tema que ha generado diversas metodologías que están encaminadas a analizar el clima, el emplazamiento y los usuarios de una edificación, algunos autores han realizado aportaciones que a la fecha son principios fundamentales en todo diseño arquitectónico con enfoque de sostenibilidad, en este sentido el Instituto de la construcción (2012) afirmó lo siguiente:

La aplicación de estrategias de eficiencia energética y de calidad ambiental resulta especialmente relevante en el caso de la infraestructura escolar. Junto con los beneficios económicos inherentes a la correcta ejecución de este tipo de medidas, en los edificios escolares existen además otro tipo de ganancias, asociadas principalmente a la generación de conciencia ambiental y a la provisión de condiciones de confort que favorezcan el desempeño académico y el bienestar de alumnos y profesores (p.8).

“El cambio climático, el constante crecimiento del consumo energético y los altos niveles de emisiones que registra el sector energético, requieren de la implementación de soluciones concretas. La rehabilitación de edificios ofrece una oportunidad significativa para contribuir en este aspecto” (Ré et al., 2021).

La Ley General de Infraestructura Física Educativa menciona el Artículo 7º. lo siguiente: La infraestructura física educativa (INFE) del país deberá cumplir requisitos de calidad, seguridad, funcionalidad, oportunidad, equidad, sustentabilidad, pertinencia y oferta suficiente de agua potable para consumo humano, de acuerdo con la política educativa determinada por el Estado -Federación, entidades federativas y municipios.

El Instituto Nacional de Infraestructura Física Educativa (INIFED), es el encargado de emitir la normatividad aplicable a los edificios destinados al servicio de la educación, considerando las normas aplicables al confort térmico y eficiencia energética.

La elaboración de los proyectos de los planteles educativos estará basada en los requerimientos proporcionados por el área de planeación educativa de la SEP, en cuanto a ubicación, plan maestro y etapas de desarrollo.

Para el desarrollo de proyectos de infraestructura física educativa se deben considerar las Normas y especificaciones para estudios, proyectos, construcción e instalaciones; estas normas son de carácter obligatorio y buscan alcanzar el óptimo bienestar del usuario.

El INIFED cuenta con el Programa Nacional de Certificación, con el propósito de establecer estándares claros y rigurosos a nivel nacional, plasmados en su normatividad técnica, con el fin de alcanzar una normalización homogénea que atienda la diversidad cultural, regional, ambiental, climatológica, con criterios y principios rectores en materia de calidad de los muebles e inmuebles.

Su objetivo es verificar el cumplimiento de los requisitos por parte de los planteles educativos públicos y privados, de acuerdo con las normas y especificaciones técnicas y normas mexicanas, mediante la aplicación de instrumentos de evaluación diseñados por el

Actas del Congreso Internacional de Innovación, Ciencia y Tecnología (INUDI – UH, 2022)

Instituto para cada tipo de infraestructura física (Instituto Nacional de Infraestructura Física Educativa, 2014).

**Tabla 1**

*Tipos de certificados en INFE por INIFED*

<b>Esencial</b>	<b>Funcional</b>	<b>Sustentable</b>
Cuenta con locales mínimos para las actividades curriculares e instalaciones sanitarias básicas, su estado asegura la integridad física de la comunidad educativa y su adecuado funcionamiento.	Cubre con los aspectos del tipo Esencial.  Presenta áreas complementarias y equipamiento acorde a los avances pedagógicos y tecnológicos.  Garantiza su operación mediante acciones programadas de mantenimiento.	Cumple con los aspectos del tipo Funcional.  Incorpora programas de conservación del medio ambiente.  Vigencia: 5 años
Vigencia: 2 años	Vigencia: 3 años	

**Tabla 2**

*Clasificación por tipo de evaluación*

<b>Tipo 1: INFE nueva</b>	<b>Tipo 2: INFE construida</b>	<b>Tipo 3: INFE existente</b>
Es aquella que iniciará su proceso de construcción	Es aquella que aún no está consolidada de acuerdo con su proyecto original y/o requiere cambios o correcciones para mejorar su operación.	Es aquella cuya infraestructura está consolidada de acuerdo con su proyecto original y no requiere de cambios o correcciones para mejorar su funcionamiento.

Al analizar las diferentes estrategias de ahorro de energía eléctrica que se pueden implementar en instituciones educativas mediante la metodología de costo-beneficio y eficiencia energética, se podrán obtener comparativas que ayuden a tomar una asertiva decisión en la inversión económica para la mejora de la Infraestructura Física Educativa (INFE), tanto a corto, mediano y largo plazo, y principalmente la reducción considerable de los costes por consumo energético.

El análisis de costo-beneficio es una herramienta de evaluación de proyectos, útil para calcular si un proyecto producirá beneficios superiores a sus costos y de esta manera determinar, entre varias alternativas válidas para conseguir un propósito, Actas del Congreso Internacional de Innovación, Ciencia y Tecnología (INUDI – UH, 2022)

cuál obtiene los beneficios buscados con el menor costo y cuál produce el mayor beneficio neto para la economía en conjunto (Alba Gómez et al., 2021).

La implementación de estrategias de ahorro de energía eléctrica mediante la metodología del costo-beneficio y eficiencia energética, sirve como base para la concientización del buen uso de los recursos energéticos que hay en el planeta, involucra a la sociedad en la conservación y equilibrio ambiental, a la disminución de gases de efecto invernadero que se emiten a la atmosfera por la quema de combustibles para la producción de este insumo, a los planes de desarrollo sustentables del país, coadyuva a la economía de las empresas dedicadas al sector de la Educación participando como instituciones socialmente responsables.

El propósito de la investigación es analizar los diferentes sistemas de ahorro de energía eléctrica, mediante un estudio de costo eficiencia, tomando en cuenta la compatibilidad de las normas del Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa, para así poder cuantificar los beneficios.

Esto se logró a través de la relación taxonómica del conocimiento mediante las siguientes acciones, analizar las alternativas de ahorro de energía eléctrica desde el enfoque ambiental y de costo beneficio, mediante el estudio de los indicadores ambientales y económicos financieros, para coadyuvar a la toma de decisiones. Identificar la normatividad vigente aplicable a proyectos de ahorro de energía eléctrica en la infraestructura física educativa, mediante el análisis de las leyes, normas y reglamentos tanto a nivel internacional como locales, para dar sustento legal a la aplicación de estos. Finalmente, comparar las alternativas de ahorro de energía eléctrica mediante el análisis de emisiones de CO<sub>2</sub> y la determinación de costo anual equivalente. El proyecto se aplicó en el Municipio de Acapulco Guerrero, tomando como caso de estudio el Colegio Zumárraga A.C.

## MÉTODO

El tipo de investigación fue aplicada, usando diversos métodos como el exegético para el análisis de la normatividad aplicable, estadístico ambiental usando el factor de emisión de la energía eléctrica de México y el método de costo beneficio para la toma de decisiones de la factibilidad de cada proyecto contra lo instalado, técnicas aplicadas análisis de variables e indicadores (emisiones indirectas de CO<sub>2</sub>, confort térmico, confort lumínico, retrofit, costo beneficio).

**La primera etapa:** consistió en analizar los espacios y consumos de energía eléctrica de las 10 aulas y un laboratorio que conforman el edificio escolar de nivel básico secundaria, cuantificando luminarias, sistema de ventilación mecánica, sistema de acondicionamiento de aire y aparatos electrónicos.

**Segunda etapa:** Una vez analizado los consumos de energía y obteniendo los kwh por día, mes y año, se seleccionó el de mayor demanda energética, en este caso fue el sistema de climatización con un consumo de 11,251 kwh anual por aula.

**Tercera etapa:** Se revisaron las especificaciones que emite el Instituto Nacional de Infraestructura Física Educativa, Volumen 3, tomo I. Diseño arquitectónico. Los rubros

analizados fueron: Iluminación natural, iluminación artificial, ventilación, confort térmico y orientación de los edificios.

**Cuarta etapa:** La determinación del rango de confort se obtuvo mediante la herramienta Bioclimatic Analysis Tool (BAT) de Fuentes & Rincón (2013).

**Quinta etapa:** Para determinar los impactos ambientales se aplicó el factor de emisión del sistema eléctrico nacional (2016) (0.458 tCO<sub>2</sub>e/Mwh), con este dato se estimaron las toneladas de CO<sub>2</sub> que se emiten a la atmósfera por la generación de energía eléctrica consumida en las aulas del edificio de estudio.

**Sexta etapa:** Para mitigar los impactos ambientales se propusieron dos alternativas:

- **Alternativa 1:** Aplicación del diseño bioclimático, quipos led en iluminación e inverter en aire acondicionado.
- **Alternativa 2:** Aplicación del diseño bioclimático, quipos led en iluminación e inverter en aire acondicionado y sistema solar fotovoltaico Interconectado a la red eléctrica.

Se realizó una propuesta de costos por alternativa, aplicando la metodología del costo anual equivalente. Se valoraron las bondades por alternativa a 20 años, aplicando las herramientas: valor presente neto VPN, tasa interna de retorno TIR, relación beneficio costo B/C y período de recuperación PR.

## RESULTADOS

### Análisis del espacio arquitectónico

Las aulas de la sección secundaria del Colegio Zumárraga tienen una antigüedad en su estructura de aproximadamente 30 años, carecen de diseño arquitectónico para edificaciones educativas.

La sección secundaria cuenta con 6 grupos, cada grupo conformado por 30 estudiantes. El equipamiento está integrado por un laboratorio de cómputo y 10 aulas distribuidas en 3 niveles, 4 aulas por nivel, con una dimensión promedio de 7.00m x 6.64m. El sistema constructivo está hecho con marcos rígidos de concreto armado, losa maciza, muros de tabique rojo y celosías en ventanas.

Los equipos usados en cada aula son: 6 lámparas de tubo fluorescente de 36w, 3 ventiladores de techo de 74w y 1 aire acondicionado tipo minisplit de 2 toneladas.

La demanda energética anual por aula es de 11,987Kwh, por el total de aulas es de 143,853Kwh, lo que representa altos costos de pago de servicios y mantenimiento. En aspectos ambientales, la producción de energía eléctrica representa gran impacto en la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

Respecto a la iluminación, la normatividad técnica solicita de 175 a 250 luxes en nivel básico secundaria, las aulas apenas alcanzaban 150 luxes. La orientación del edificio este a oeste no es la óptima, lo que genera radiación solar directa en sus ventanas. El rango de confort térmico que sugiere la normatividad técnica es de 18°C a 25°C. Sin embargo, para el municipio de Acapulco con clima cálido húmedo, el rango es de 24° C a 27°C de acuerdo con Fuentes y Rincón (2013).

Actas del Congreso Internacional de Innovación, Ciencia y Tecnología (INUDI – UH, 2022)

-312- cap. XXII (2022), pp. 305-320

Esta obra está bajo una licencia Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)





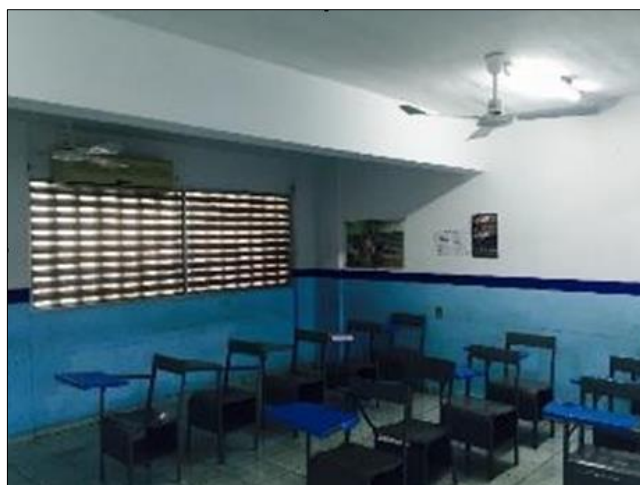
## CAPÍTULO XXII

### Diseño metodológico para determinar estrategias de ahorro de energía en la infraestructura física educativa

La temperatura interior del aula con estudiantes en clases es de 36°C.

#### Figura 1

*Bajos niveles de iluminación natural y artificial*



#### Figura 2

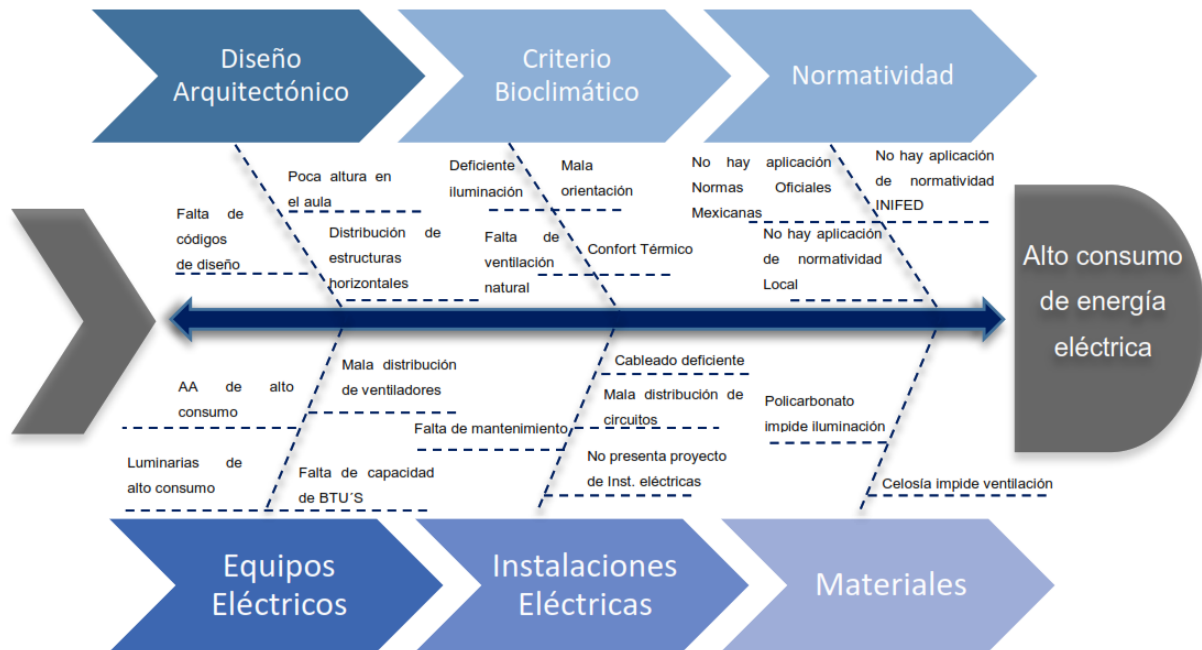
*Baja capacidad de aire acondicionado*



Son varias las causas y efectos de la problemática, a continuación, se esquematizan usando el diagrama de Ishikawa.

**Figura 3**

*Espina de Ishikawa planteamiento del problema*



### Análisis de consumo de energía

**Tabla 3**

*Consumo de energía por aire acondicionado.*

Concepto	Consumo por equipo de A.A. en Kwh	Ton de refrigeración	Total parcial Kw	Horas de trabajo	Kw Al día
Consumo energético por aire acondicionado	3.516	2.00	7.03	8	56.26

*Nota.* 56.26Kw x 20 días hábiles al mes x 10 meses activos al año, total son 11,521.20 Kw anual, basado en los consumos de energía eléctrica del Colegio Zumárraga A.C. según recibos de CFE.

**Tabla 4***Consumo de energía por aire iluminación y ventilación*

Concepto	Kwh	Cantidad de equipos	Total parcial	Horas de trabajo	Kw al día
Lámparas de tubo fluorescente	0.36	6	216	8	1.73
Ventilador de techo	0.74	3	222	8	1.78

*Nota.* 3.07Kw x 20 días hábiles al mes x 10 meses activos al año, total son 736.54 Kw anual, basado en los consumos de energía eléctrica del Colegio Zumárraga A.C. según recibos de CFE.

**Tabla 5***Consumo energético anual por aula*

Concepto	Años				
	2011	2012	2013	2014	2015
Consumo en Kwh	14,320	13,920	12,300	11,500	11,200

Estimación de los impactos ambientales en la alternativa 1.

El consumo de energía por aula fue de 7,083kwh, obteniendo un ahorro de 41%. Las emisiones son de 0.324 toneladas de CO<sub>2</sub> por aula. Por edificio equivalen a 3.88 tCO<sub>2</sub>

Estimación de los impactos ambientales en la alternativa 2.

Partiendo de los resultados de la alternativa 1 y de acuerdo con la demanda pico al día de 11,929 Kwh, para cubrir la demanda al 100% se requiere un área total de paneles fotovoltaicos de 189m<sup>2</sup>, la propuesta fue la utilización de 70 paneles de dimensiones 2x1m de tecnología silicio policristalino con potencia de 340w y un inversor de 11.9Kwp. Los resultados fueron una reducción del 94% del consumo de energía y 0.019 toneladas de emisiones de CO<sub>2</sub> por aula. Por edificio equivalen a 0.228 tCO<sub>2</sub>.

## DISCUSIONES

El método costo-beneficio resulta una herramienta sencilla y muy útil en los proyectos de inversión de eficiencia energética tal como lo menciona Gómez et al. (2021).

La Secretaría de Energía en su informe de Estudios de Eficiencia Energética en Escuelas (2015) sugiere las siguientes alternativas:

Reducir la demanda y el consumo de energía eléctrica del sistema de iluminación, mediante la instalación de equipos de alta eficiencia, cambiar los equipos de aire  
Actas del Congreso Internacional de Innovación, Ciencia y Tecnología (INUDI – UH, 2022)

acondicionado tipo ventana y mini split de baja eficiencia por equipos eficientes mini split de tecnología invertir.

Por tal motivo en la alternativa 1 se contempla en el retrofit cambiar luminarias de bajo consumo tipo led y el sistema de aire acondicionado tecnología inverter.

Para el caso de estudio, con la alternativa 1 el costo fue de \$1,907,040.02 (Un millón novecientos siete mil cuarenta con dos centavos). A la cifra de la alternativa 1 se sumó el presupuesto de la adquisición e instalación del sistema fotovoltaico interconectado a la CFE. \$615,289.21 (Seiscientos quince mil doscientos ochenta y nueve 21//100 M.N.), dando como resultado el costo de la alternativa 2. \$2,522,329.23 (Dos millones quinientos veintidós mil trescientos veintinueve pesos 23/100 M.N.)

El Costo Anual Equivalente de la Alternativa 1 fue de \$1,115,443.21 y de la Alternativa 2 \$438,216.10. El costo anual equivalente de la Alternativa 2 es menor respecto a la alternativa 1, con una diferencia de ahorro del 60.71% a 20 años.

“Para efecto de decisiones de política es necesario conocer si una inversión es económicamente rentable. Es decir, es necesario verificar si cada sol invertido revierte un beneficio (privado y/o social) mayor, pues es sobre estos elementos que finalmente los decisores de política pueden optar entre alternativas” (Campana, Velasco, Aguirre, & Guerrero, 2014)

Antes de recurrir a un sistema fotovoltaico interconectado a la red, es necesario reducir los consumos de energía eléctrica mediante estrategias activas y pasivas para la iluminación, ventilación y acondicionamiento de aire. En este sentido, lograr el comfort a partir de estrategias bioclimáticas permite reducir el consumo de energía por medio mecánicos de climatización.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> más grandes se dan en mayor cantidad por la energía que consumen los equipos de aire acondicionado como lo indica la SENER (2015).

Para lograr mayor eficiencia energética en la infraestructura educativa, se deben hacer proyectos de reingeniería, tanto la actualización o mantenimiento de los equipos, como la adecuación de la envolvente arquitectónica (retrofit), sin olvidar el mejoramiento de la gestión y buen uso de la energía.

Las categorías de "Confort térmico, acústico y lumínico" se consideran generalmente criterios importantes en la evaluación del desempeño de los edificios (Machado, Pasdiora, Santos, & Santos Filho, 2022)

Los cambios que se deben desarrollar en la infraestructura conllevan a inversiones que incluso en ocasiones superan al costo de una edificación nueva, sin embargo, existen métodos de reacondicionamiento de las edificaciones aprovechando la estructura y realizando adecuaciones sustanciales que ayudan a la funcionalidad y eficiencia del edificio por ejemplo el retrofit.

Retrofit “se refiere a la práctica de crear y utilizar estructuras y procesos ambientalmente responsables y eficientes en términos de recursos a lo largo del ciclo de vida de un edificio”. (Schettini et al., 2015).

La distribución de recursos energéticos planificada se convierte en leitmotiv a la hora de garantizar accesibilidad y equidad en el uso del servicio energético, lo cual, sin lugar a dudas, es el motor de una transición energética obligada (Kuchen & Kozak, 2020).

### Costo anual equivalente

**Tabla 6**

*Impactos ambientales y beneficios económicos de cada alternativa por el edificio*

<b>Concepto</b>	<b>Sistema actual convencional</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>
		<b>Aplicación del Diseño Bioclimático, Led y equipos Inverter</b>	<b>“Aplicación del Diseño Bioclimático, Led y equipos Inverter con Sistemas Fotovoltaicos Interconectados a la Red Eléctrica</b>
<b>Impactos ambientales</b>	631.71 kg Co <sub>2</sub> eq. anuales.	373.28 kg Co <sub>2</sub> eq. anuales.	Disminuye 3,660 kg de Co <sub>2</sub> eq. anuales.
<b>Impactos económicos</b>	CAE= \$1,981,225.89	CAE= \$1,115,443.21	CAE= \$438,216.10
<b>Beneficios</b>	Ninguno	1.- Mejorar a la INFE 2.- Certificación INIFED Funcional 3 años	1.- Mejora a la INFE 2.- Certificación INIFED Sustentable 5 años 3.- Beneficios Fiscales

*Nota:* En esta tabla se resume los beneficios ambientales económicos y sociales de cada alternativa.

Parte del retrofit consistió en el mejoramiento de las instalaciones al interior de las aulas, como son: actualización de los equipos de iluminación, ventilación y aire acondicionado. Cambio de ventanas para la optimización de la iluminación natural. Adicionalmente, el cambio de la pintura utilizando el blanco y los tonos azules. Así como, cambio de mobiliario y acabados en pisos.

“La construcción de los indicadores, no solo permite comparar internamente el nivel de eficiencia y mejoras que se van realizando, sino también realizar la comparación con otros edificios cuyas actividades estén relacionadas con la educación y tengan características constructivas similares” (Dwaigh, et al., 2014).

#### **Figura 4**

*Retrofit en el interior del aula tipo*



## **CONCLUSIONES**

El análisis de proyectos de inversión mediante indicadores de costo beneficio puede potenciar la rentabilidad y los beneficios sociales, en la Infraestructura Física Educativa.

La necesidad de apoyar a la toma de decisiones de los inversionistas y autoridades motivó a desarrollar esta metodología con la finalidad de describir, analizar determinar, aplicar y comparar, las diferentes alternativas, mediante indicadores económicos y ambientales.

Es de suma importancia que todo proyecto a realizar sea analizado de manera sustentable (social, ambiental y económica) ya que de esta forma se pueden obtener los beneficios integrales a corto, mediano y largo plazo.

Los resultados mostraron que el proyecto de mayor viabilidad y factibilidad fue la alternativa 2 “aplicación del diseño bioclimático, led, equipos Inverter, sistemas fotovoltaicos interconectado a la red”, sin embargo, la alternativa 1 debe ser previa.

En la actualidad es importante que los proyectos de inversión destinados al desarrollo del sector educativo se analicen con rigor metodológico no solo en aspectos económicos y sociales, también en aspectos de impacto ambiental.

La crisis ambiental que se está generando en todo el planeta por la explotación desmedida de nuestros recursos naturales y energéticos aunado al fenómeno de globalización, acorrara a las naciones a buscar soluciones para revertir esta problemática, pues debemos considerar

que degradar el planeta es disminuir la oportunidad del desarrollo de todas las especies incluyendo la especie humana.

## REFERENCIAS

- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA). (2022). *Emisiones de dióxido de carbono*. EPA.
- Aguilar, H., Pinho, J., & Barros, M. (2006). *Arquitectura Bioclimática aplicada a un laboratorio de energías renovables y de eficiencia energética*. Conference: II Congreso Internacional sobre Uso Racional y Eficiente de la Energía. Belém-Pará-Brasil.
- Alba, L., Herrera, L., & Esparza, C. (2021). Análisis de costo-beneficio de estrategias de climatización pasiva en vivienda social en Ciudad Juárez, Chihuahua. *Vivienda Y Comunidades Sustentables*, (10), 81–91. <https://doi.org/10.32870/rvcs.v2i10.165.82>.
- Arróliga, S., & Betanco, J. (2021). Eficiencia energética: una tarea para las universidades. *Revista Científica de FAREM-Estelí*, 166–177 <https://doi.org/10.5377/farem.voio.11617>.
- Campana, Y., Velasco, D., Aguirre, J., & Guerrero, E. (2014). *Inversión en infraestructura educativa: una aproximación a la medición de sus impactos a partir de la experiencia de los Colegios Emblemáticos*. <https://www.researchgate.net/publication/264380726>
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. (Abril de 2019). *Consumo de electricidad de edificios no residenciales en México: La importancia del sector de servicios*. <https://cutt.ly/foPkkPA>
- Dwaigh, J., Corredor R., A., Corredor R., A., & Hernández M., J. (2014). Implementación de indicadores energéticos en centros educativos, Caso de estudio; Edificio Alejandro Suárez Copete. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. *Revista Escuela de Administración de Negocios*.
- Gonzalez, T., & De Sousa, É. (2022). Revisión sistemática de la literatura: aumento de la eficiencia energética de los edificios a través del retrofit en un enfoque BIM. *Revista Latino-americana de Ambiente Construido & Sustentabilidad*. 3 (9). <https://doi.org/10.17271/rlass.v3i9>.
- Instituto de la Construcción. (2012). *Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos*. Chile: Innova Chile CORFO .
- Instituto Nacional de Infraestructura Física Educativa. (2014). *Normas y especificaciones para estudios, proyectos, construcción e instalaciones*. Volumen 3. Habitabilidad y funcionamiento Tomo I. Diseño Arquitectónico. INIFED ( p.4).
- Kuchen, E., & Kozak, D. (2020). Transición energética Argentina. El nuevo estándar de eficiencia energética en la evaluación de la vivienda social. Caso de estudio Vivienda de Barrio Papa Francisco. *Revista Hábitat Sustentable*, 10 (1). <https://doi.org/10.22320/07190700.2020.10.01.04.53>.

- Livas, A., Bassam, A., Gamboa, M., & Odóñez, E. (2019). Evaluación del ahorro de energía eléctrica y análisis del rendimiento energético de la Facultad de Ingeniería de la UADY del 2008 al 2018. *Ingeniería*, 23 (1), 58-74.
- Machado, E., Pasdiora, L., Santos, A., & Santos Filho, M. (2022). Identificación de criterios para la evaluación de edificios escolares. *Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción* <https://doi.org/10.21041/ra.v12i2.532>.
- Oliveira, L., Chebel, L., Matheus, C., & Lantelme, E. (2018). Procedimiento para análisis del desempeño termoenergético y económico de estrategias pasivas para la adaptación de un edificio en Brasil. *Revista Ingeniería de Construcción* 33(3) <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732018000300251> , 251.
- Ré, M., Pía, M., & Filippín, C. (2021). Mejoras de eficiencia energética en calefacción. Potencial de intervención en edificio escolar existente del Área Metropolitana de San Juan, Argentina. *Revista Hábitat Sustentable* Vol. 11, N°. 1. <https://doi.org/10.22320/07190700.2021.11.01.02>, 21.
- Rodríguez, E., Carretero, M., & Claro, J. (2018). Influencia de las infiltraciones en la rehabilitación energética de la envolvente. El caso del plan de actuaciones en el parque público residencial de Andalucía. *Informes de la Construcción* 70 (551). <https://doi.org/10.3989/ic.60450>, 2.
- Sánchez, C., & Fuquen, H. (2014). Eficiencia Energética. *Desarrollo Tecnológico e Innovación Empresarial*. 1 (3), 9-13.
- Secretaría de Energía. (2015). *Estudio de Eficiencia Energética en Escuelas*.
- Secretaría de Energía. (2019). *Reporte anual de potencial de mitigación de GEI del sector eléctrico*. SENER.
- Silva, B., Corrêa, M., & Patricia, W. (2014). *Retrofit sostenible y espacios culturales*. *Arquitectura y Urbanismo* 35 (2), 87.