

LI Symposium Nacional de Alumbrado

Logroño, 21 al 23 de Mayo del 2025

Ponencia



Título del trabajo/ Title of paper:

Estudio de la influencia de la variable tiempo como factor relevante en la eficiencia energética de la iluminación de edificios de pública concurrencia

Autor/es/ Author/s:

D. Luis Miguel Pardal Núñez (doctorando y ponente)

Dr. Francisco Javier Pérez Trujillo (Director y Tutor)

Dr. Ricardo Díaz Martín (Director)

Empresa/s Company/s:

Departamento de Ingeniería Química y de Materiales - Facultad de Ciencias Químicas - Universidad Complutense de Madrid

Dirección principal/ Mail address:

- Urbanización Complejo Residencial Masapeses 46, 35412. Arucas. Las Palmas
- Facultad. de Ciencias Químicas. Universidad Complutense. Avda. Complutense s/n 28040-Madrid

Teléfono, e-mail de la persona de contacto/ Phone, e-mail address of the contact person:

669825027

lparnun@gmail.com

lparnun@ucm.es

Tema:

Eficiencia energética y empresas de servicios energéticos

Índice:

1. RESUMEN EJECUTIVO
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y MARCO NORMATIVO
3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO
4. METODOLOGÍA
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN (2014 VS 2024)
6. CONCLUSIONES
7. LÍNEAS FUTURAS DE DESARROLLO
8. AGRADECIMIENTOS
9. BIBLIOGRAFÍA – SELECCIÓN RELEVANTE

1. RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo forma parte de la tesis doctoral en curso del autor, desarrollada en la Universidad Complutense de Madrid (UCM), dentro del programa oficial de Doctorado en Ingeniería Química. La investigación se centra en el análisis empírico del comportamiento energético de sistemas de iluminación artificial en edificios de pública concurrencia, considerando patrones reales de uso y ocupación, con especial atención a situaciones de encendido prolongado sin presencia.

Se analizan cinco edificios representativos del sector terciario en Canarias, en los que se monitorizaron zonas críticas mediante registradores de eventos temporales con resolución de un segundo, permitiendo correlacionar el estado de encendido con la ocupación efectiva. Se recopilieron 394.510 registros válidos individuales entre los años 2013–2014 (fase preLED) y 2022–2024 (fase post-inmótica/LED).

El estudio se articula en torno a tres ejes de análisis:

- Energético (consumo eléctrico en kWh)
- Económico (coste por tarifa €/kWh)
- Ambiental (emisiones asociadas de CO₂)

Se aplicaron las siguientes técnicas estadísticas:

- Análisis exploratorio y descriptivo por cuartiles
- Modelado por regresión lineal segmentada (≤ 6000 h, 6000–8000 h, > 8000 h)
- Transformación logarítmica ($\ln(Y+1)$) y modelado exponencial
- Regresión múltiple con variables de control: potencia media instalada, superficie útil, densidad luminaria, % sombra, y precio del kWh entre otras.
- Validaciones: Shapiro-Wilk (normalidad), Breusch-Pagan (homocedasticidad), R² ajustado y análisis de residuos

Entre los principales hallazgos destacan:

- 61,65 % de encendido sin ocupación en el Hotel Lopesan (2014)
- 42,26 % en el Hospital Universitario Dr. Negrín (2014)
- 51,96 % en oficinas UNELCO-Endesa (2014)

Tras la implantación de tecnologías eficientes y sistemas de control automático, se lograron reducciones superiores al 45 % en consumo energético y una disminución significativa del tiempo de encendido ineficiente.

A partir de estos resultados, se plantean recomendaciones para la integración del análisis temporal de uso en auditorías energéticas, esquemas de certificación, contratos de servicios energéticos (ESEs) y políticas públicas de rehabilitación, especialmente aquellas vinculadas a programas europeos como NextGen EU y la Agenda 2030.

Esta ponencia recoge los avances desarrollados en fases previas y publicados en la revista LUCES del CEI, ampliando el enfoque hacia la validación empírica y el análisis comparativo por tipología edificatoria.

El trabajo se alinea con las líneas estratégicas de eficiencia energética definidas en el PNIEC y con los compromisos establecidos en los planes de descarbonización 2030, aportando una base técnica que

respalda la incorporación del factor tiempo como variable clave en los procesos de evaluación y planificación energética.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y MARCO NORMATIVO

El marco normativo vigente en eficiencia energética de iluminación, reflejado en directrices como la UNE-EN 15193-1, el CTE DB HE3 o la ISO 52120, establece metodologías centradas en la potencia instalada, los niveles de iluminancia y la automatización técnica. Sin embargo, estos enfoques tienden a evaluar la eficiencia desde una perspectiva estática, priorizando la reducción de potencia sin contemplar de forma directa el *tiempo de uso real* del sistema de iluminación.

Como apuntan autores como San Martín (2011), esta ausencia puede conducir a situaciones paradójicas: un edificio vacío, con luces permanentemente encendidas, puede obtener una buena calificación energética simplemente por tener tecnología eficiente.

Para analizar el estado actual del conocimiento, se ha llevado a cabo una revisión exhaustiva de más de 80 publicaciones científicas y técnicas (2003–2024), clasificadas por tipología de edificio y enfoque metodológico. Este análisis ha permitido identificar:

- Una escasa presencia del análisis temporal como dimensión de eficiencia energética.
- Poca incorporación de variables relacionadas con patrones de uso, ocupación real o encendido innecesario en los modelos existentes.
- Una carencia de estudios comparativos entre tipologías diversas (hospitales, hoteles, aeropuertos, oficinas, universidades) bajo un marco metodológico común.

En este contexto, el presente trabajo aporta un enfoque empírico que profundiza en el papel del tiempo de uso real en la eficiencia energética de la iluminación artificial, respondiendo a una necesidad detectada tanto en la normativa como en la literatura técnica.

Este trabajo se inscribe en una línea de investigación que ha sido introducida previamente en la revista *LUCES* del Comité Español de Iluminación (CEI), concretamente en los números 79 y 82. (*LUCES*, CEI, 2023; 2024)

En dichas publicaciones se planteó, por un lado, la necesidad de revisar los criterios actuales de evaluación de la eficiencia energética en iluminación, señalando que las normativas vigentes no consideran explícitamente el uso temporal real de los sistemas. Por otro lado, se presentaron los objetivos generales del estudio y la motivación técnica basada en el análisis comparado entre tecnologías, patrones de uso y tipologías edificatorias.

No obstante, la presente ponencia tiene carácter independiente y completo, desarrollando en profundidad la metodología aplicada, los resultados comparativos reales (2014–2024), y la discusión crítica de los hallazgos, sin requerir la consulta previa de dichas publicaciones.

3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Objetivo general

Analizar de forma empírica la relevancia del tiempo de encendido sin ocupación como factor clave en la eficiencia energética lumínica de edificios de pública concurrencia, mediante el estudio comparativo de datos reales registrados en diferentes tipologías edificatorias y la aplicación de modelos estadísticos avanzados.

Justificación

Aunque las normativas actuales (UNE-EN 15193, CTE DB HE3, ISO 52120) establecen criterios para evaluar la eficiencia energética en iluminación, estas no consideran de forma específica el uso temporal real del sistema, lo que puede llevar a calificaciones teóricas elevadas incluso en situaciones de derroche energético evidente. Esta investigación surge para cubrir esa laguna metodológica, evaluando el impacto del tiempo de encendido innecesario sobre tres ejes fundamentales: energético, económico y ambiental.

Objetivos específicos

1. Seleccionar tipologías clave de edificios del sector terciario (hospital, aeropuerto, hotel, edificio administrativo, campus universitario) que presenten zonas críticas con uso intensivo de iluminación.
2. Recolectar datos reales de encendido y ocupación mediante instrumentación de alta resolución temporal, en dos fases tecnológicas distintas:
 - 2013–2014 (tecnología pre-LED, sin automatización)
 - 2022–2024 (modernización LED y control parcial)
3. Cuantificar el encendido sin ocupación y su impacto sobre el consumo energético, el coste económico y la huella de carbono por edificio y zona funcional.
4. Aplicar modelos estadísticos de regresión multivariable para evaluar la influencia del tiempo de uso ineficiente sobre los indicadores clave, validando resultados mediante Shapiro-Wilk, Breusch-Pagan y R^2 ajustado.
5. Explorar la aplicabilidad práctica de los resultados en procesos de auditoría energética, contratos ESE y planes de rehabilitación apoyados por programas nacionales y fondos europeos.

4. METODOLOGÍA

4.1 Enfoque general

La investigación se basa en un enfoque cuantitativo, empírico y comparativo, orientado a evaluar el impacto del tiempo de encendido sin ocupación sobre la eficiencia energética de los sistemas de iluminación en edificios de pública concurrencia.

Se adoptó una estrategia longitudinal, analizando dos fases tecnológicas diferenciadas:

- Periodo 1 (2013–2014): tecnologías tradicionales (fluorescencia, halogenuros, sin automatización).
- Periodo 2 (2022–2024): tecnología LED y control parcial mediante sensores PIR y programación horaria.

El diseño combina:

- Medición directa en campo con alta resolución temporal (1 segundo),
- Clasificación funcional de los espacios (alta, media y baja ocupación),
- Y análisis multivariable mediante regresiones lineales, segmentadas y modelos transformados logarítmicamente.

4.2 Estudio de campo

Se monitorizaron cinco edificios representativos del sector terciario en Canarias (hospital, aeropuerto, hotel, edificio administrativo y campus universitario), seleccionados por su diversidad tipológica, de uso y acceso operativo.

El sistema de recogida de datos se implementó mediante registradores de eventos Intelitimer Pro IT-200-PC, con una resolución de un segundo, capaces de detectar:

- Estado de encendido/apagado de luminarias (tensión),
- Presencia o ausencia de ocupación (sensor PIR).

Se analizaron 394.510 registros individuales válidos, de un total de 303 zonas críticas de pública concurrencia en 5 edificios, generando una base de datos sincronizada que permitió cuantificar la variable principal: Encendido_Desocupado_h (horas de encendido sin ocupación).

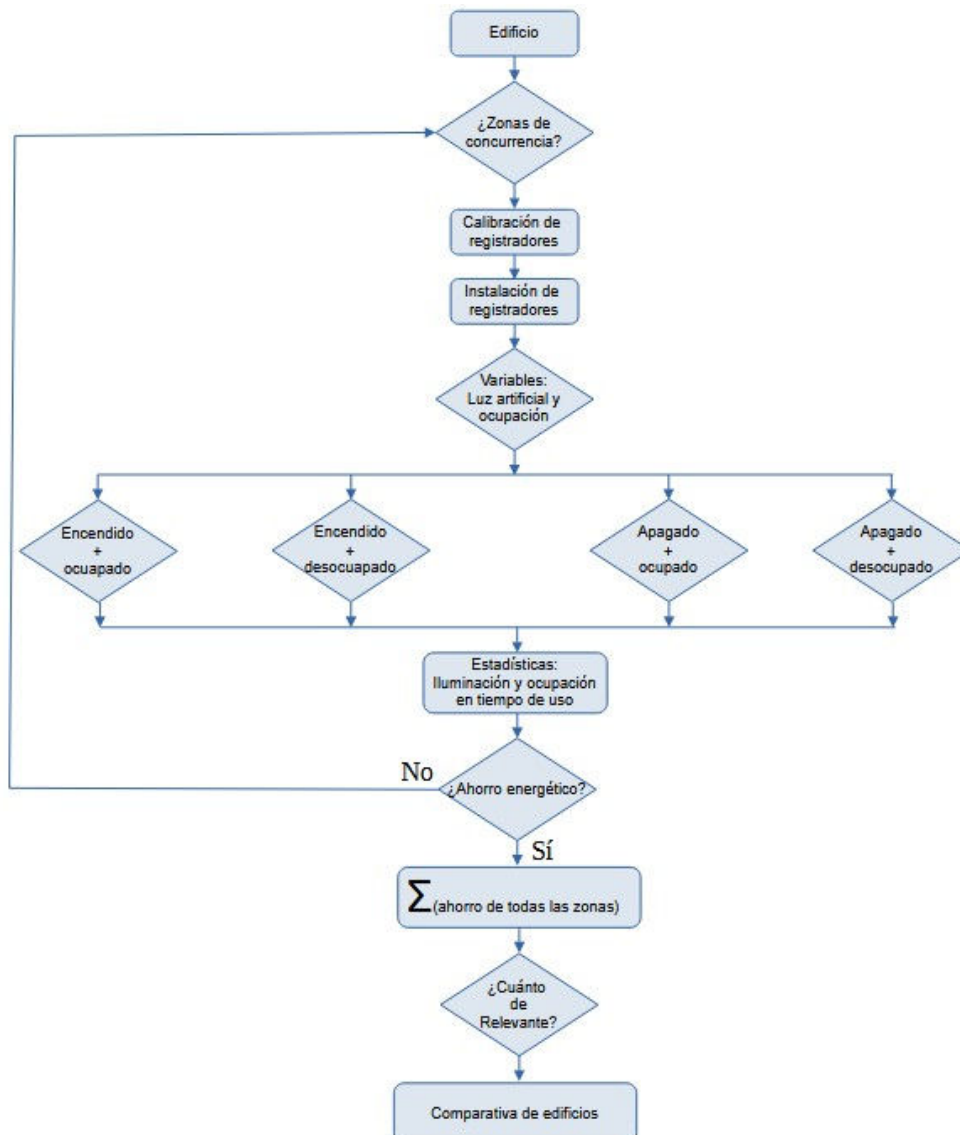
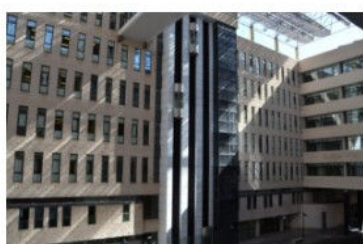


Figura 1. Esquema general del trabajo de campo. Elaboración propia

Grandes edificios del sector servicios-terciario



Hosp. Univer. de Gran Canaria Dr. Negrín



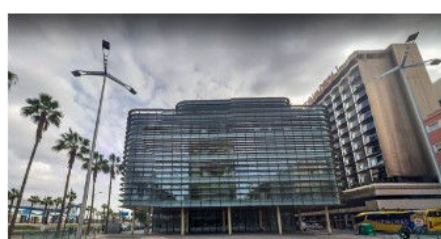
Loposan Villa del Code Resort & Thalasso



Aeropuerto de Gran Canaria



EITE de la ULPGC



UNELCO-ENDESA

Figura 2. Edificios estudiados. Elaboración propia

Se seleccionaron cinco edificios emblemáticos del sector terciario canario, todos de alta afluencia y con tipologías diversas, permitiendo obtener una visión representativa y extrapolable:

- Aeropuerto de Gran Canaria (edificio aeroportuario, operativa 24/7)
- Hospital Universitario Dr. Negrín (uso sanitario continuo, 24/7)
- Hotel Loposan Villa del Conde – Resort & Thalasso (uso turístico/temporal de alta rotación)
- Edificio de Ingeniería UNELCO-Endesa (uso administrativo, horario laboral)
- Campus Universitario EUITT - ULPGC (uso docente, lectivo/estacional)

Estos edificios fueron elegidos por su diversidad de patrones de ocupación, amplitud de superficies, variedad de tecnologías de iluminación, y viabilidad de acceso para la instrumentación.

4.3 Instrumentación y recolección de datos

Se utilizaron registradores de eventos Intelitimer Pro IT-200-PC, con capacidad para registrar 4096 registros por zona antes de volcado de datos y con una resolución de 1 segundo los siguientes parámetros:

- Estado de encendido/apagado de luminarias (canales de tensión)
- Estado de ocupación (mediante sensores PIR)

Los dispositivos fueron instalados en zonas representativas de alta, media y baja ocupación, clasificadas según el flujo peatonal mensual (≥ 200 h/mes, 100–200 h, < 100 h). Cada registrador generó series temporales sincronizadas, permitiendo identificar las horas totales de encendido sin ocupación (*Encendido_Desocupado_h*), variable clave en el análisis de uso ineficiente.



Figura 3. Kit Intelitimer Pro IT-200



Figura 4. Intelitimer Pro IT-200

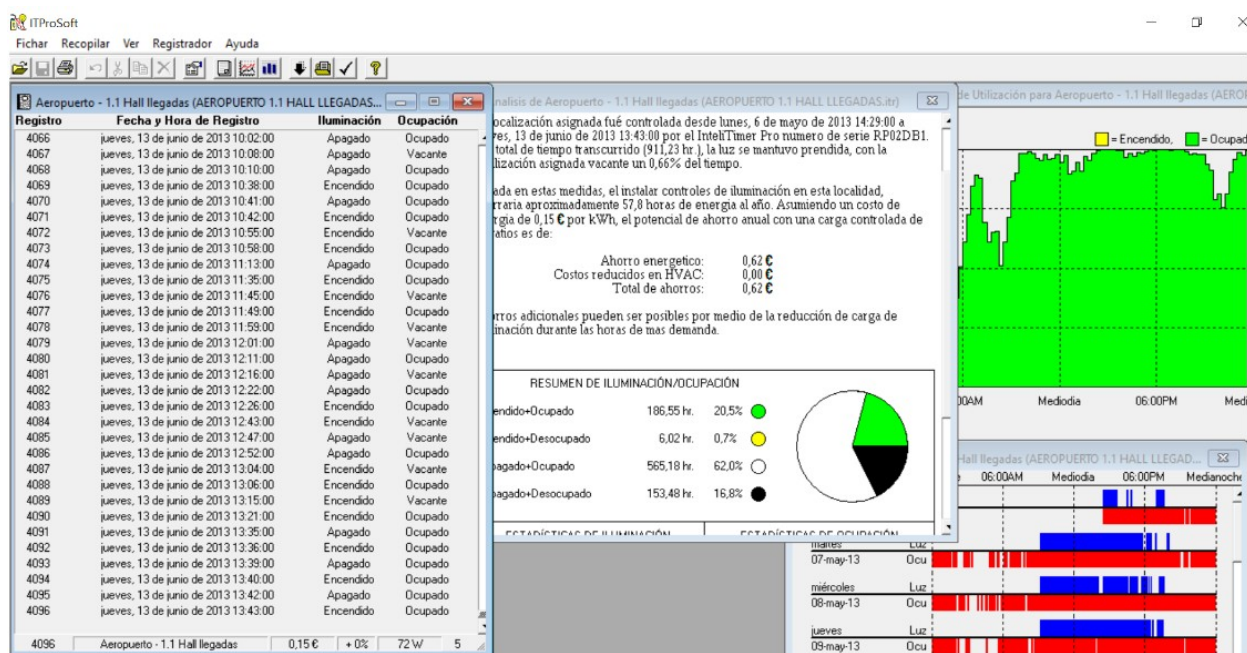


Figura 5. Software Intelitimer Pro IT-200

4.4 Variables analizadas

Estas variables fueron integradas en modelos de regresión para cuantificar el impacto del tiempo de uso ineficiente sobre los resultados energéticos y económicos de cada edificio.

Estas variables fueron seleccionadas por su capacidad de representar de forma cuantificable y comparable el impacto del uso ineficiente de la iluminación artificial sobre el consumo energético, el coste económico y las emisiones de carbono, tanto a nivel de zona como de edificio completo.

Tipo	Variable (sí tratada)	Descripción breve
Independiente	Encendido_Desocupado_h	Tiempo total de luminarias encendidas sin ocupación
Dependientes	kWh, €, CO ₂	Variables resultado: energía, coste y emisiones
Control	NZONAS	Número total de zonas críticas monitorizadas
	Ttotal	Tiempo total anual de iluminación del edificio (h/año)
	S	Energía solar bloqueada (sombra) (kWh/m ² /año)
	Irr	Irradiancia solar media anual (kWh/m ² /año)
	Nlum	Número total de luminarias instaladas
	W_prom	Potencia promedio por luminaria (W)
	Precio_kWh	Precio de la electricidad (€) en cada periodo
	Superficie útil	Superficie total del edificio (m ²)
	Densidad_Luminaria	Nº luminarias/m ² por edificio

Figura 6. Tabla de variables tratadas y su descripción breve. Elaboración propia

La elección de Encendido_Desocupado_h como variable independiente se basa en la hipótesis principal del estudio: que el encendido prolongado sin ocupación representa una forma directa de ineficiencia estructural.

Las variables de control permiten corregir las diferencias entre edificios y zonas con condiciones lumínicas o constructivas heterogéneas.

Otras variables fueron consideradas inicialmente, pero no se incorporaron por diversas razones técnicas o metodológicas, entre ellas:

Variable	Motivo de exclusión
Nivel de iluminancia (lux)	No exportable por registradores; asumida normativa. Reflejada indirectamente en W_{prom} .
Tipo de fuente luminosa	Implícita en la comparación de periodos (fluorescencia vs LED); evitar redundancia.
Altura libre o altura de techos	No medida de forma homogénea; poca variabilidad entre zonas.
Color/Reflectancia de superficies	No cuantificable objetivamente; no disponible en planos.
Índice de deslumbramiento (UGR)	Requiere simulación luminotécnica. No aplicable con datos reales.
Índice de reproducción cromática (CRI)	No influye directamente en eficiencia energética. Pertenece a la percepción de confort.
Confort visual o percepción	Subjetivo. Requiere encuestas; incompatible con el enfoque cuantitativo del estudio.
Frecuencia de mantenimiento	No documentada homogéneamente; no afecta directamente a consumo horario.
Tasa de renovación de luminarias	Ya recogida indirectamente en W_{prom} . No disponible como dato constante entre edificios.

Figura 7. Tabla de variables no tratadas y su motivo de exclusión. Elaboración propia

Este enfoque permite centrarse en variables medibles, replicables y aplicables a otros casos de estudio con metodología consistente.

4.5 Análisis estadístico

Los datos fueron procesados y modelizados mediante:

- Análisis descriptivo (media, mediana, desviación, cuartiles)
- Diagramas de dispersión
- Regresiones lineales por tramos (≤ 6000 h, $6000-8000$ h, >8000 h)
- Modelado en escala real y logarítmica ($\ln(Y+1)$)
- Regresión múltiple con validación estadística:
 - Test de normalidad: Shapiro-Wilk
 - Test de homocedasticidad: Breusch-Pagan
 - Coeficientes de determinación ajustados (R^2 adj.)
 - Análisis gráfico de residuos

El análisis estadístico fue realizado mediante técnicas de regresión multivariable, segmentación temporal, transformaciones logarítmicas y validación estadística.

La herramienta principal utilizada fue IBM SPSS Statistics 28, especialmente aplicada para contrastes como Shapiro-Wilk (normalidad) y Breusch-Pagan (homocedasticidad).

Paralelamente, se utilizó Python como entorno de análisis avanzado, con el soporte de librerías especializadas en tratamiento de datos y aprendizaje supervisado (pandas, statsmodels, scikit-learn, matplotlib). Estas herramientas permitieron construir, ajustar y validar modelos predictivos a partir de los datos reales recopilados.

Esta combinación metodológica permitió desarrollar modelos sólidos, con capacidad para explicar y anticipar el impacto energético, económico y medioambiental del uso ineficiente de la iluminación.

La estructura general del modelo log-lineal aplicado:

$$Y = e^{(\beta_0 + \beta_1 \cdot X)} \Leftrightarrow \ln(Y) = \beta_0 + \beta_1 \cdot X$$

Es un modelo de regresión exponencial genérico utilizado para representar relaciones entre variables de uso energético e impacto asociado. Para representar el comportamiento de las variables dependientes en función del tiempo de uso ineficiente, se ha utilizado una estructura de regresión log-lineal como la que se muestra aquí. Esta es una forma estadística clásica que permite ajustar mejor relaciones no lineales. La estructura exacta del modelo desarrollado en este estudio no se expone por encontrarse en fase de consolidación técnica y revisión confidencial.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN (2014 vs 2024)

Este apartado presenta los resultados comparativos obtenidos entre los años 2013–2014 y 2022–2024 para cada uno de los cinco edificios analizados.

La variable de referencia es el tiempo de encendido sin ocupación (Encendido_Desocupado_h), la cual fue cruzada con datos técnicos, económicos y ambientales para estimar el impacto real del uso ineficiente de la iluminación artificial.

-Aeropuerto de Gran Canaria-

Situación en 2014:

Durante el primer periodo de análisis, el edificio terminal del Aeropuerto de Gran Canaria operaba con tecnologías tradicionales de iluminación, como fluorescencia T8 y halogenuros metálicos, sin automatización ni regulación temporal.

Las luminarias funcionaban de forma continua en zonas de tránsito como halls, pasillos y áreas de embarque, sin vinculación al patrón real de ocupación.

Los datos registrados indicaron que el 22,63 % del tiempo total de encendido correspondía a iluminación sin ocupación. Esta cifra reflejaba un potencial significativo de mejora, especialmente en áreas con ocupación intermitente.

Mejoras aplicadas hasta 2024:

Durante la década posterior, el sistema de iluminación fue objeto de una modernización sustancial que incluyó:

- Sustitución progresiva de luminarias tradicionales por tecnología LED,
- Disminución de la potencia media por luminaria (W_{prom}),
- Implementación de control programado por horarios, adaptado al flujo operativo del aeropuerto,
- Integración parcial de sensores de presencia (PIR) en zonas secundarias,
- Incorporación de drivers compatibles con protocolo DALI (Digital Addressable Lighting Interface), que permiten regulación de intensidad y agrupación de luminarias según horarios y funciones del espacio.

No se dispone de un sistema inmóvil integral, pero sí se evidencian mejoras operativas relevantes.

Resultados obtenidos en 2024:

- Reducción diaria del tiempo de encendido sin ocupación entre 1 y 3 horas por zona,
- Reducción del consumo pico en el hall de llegadas: de 90 kW (2014) a 50 kW (2024), lo que representa una mejora del 44,4 %.

Impacto total estimado anual:

- Ahorro energético: 536.490,33 kWh/año,
- Ahorro económico: 96.568,26 €,
- Reducción de emisiones: 388.419 kg CO₂/año.

Comentario técnico:

Este caso demuestra que no es imprescindible una reforma completa para obtener beneficios energéticos tangibles. La redistribución funcional de espacios, el uso de LED en zonas clave y la automatización localizada permitieron mejoras cuantificables sin necesidad de inversiones estructurales generalizadas.

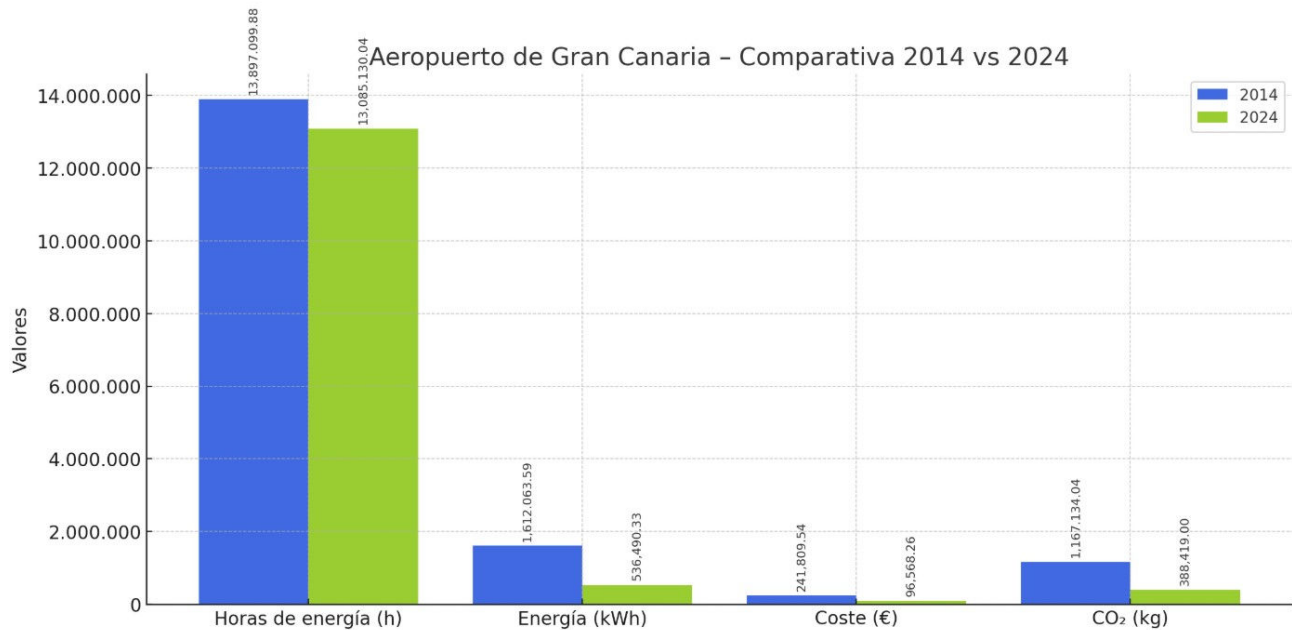


Figura 8. Comparativa de década de variables. Elaboración propia

-Hospital Universitario de Gran Canaria Doctor Negrín-

Situación en 2014:

Durante el primer periodo de análisis, el hospital funcionaba con tecnologías convencionales como fluorescencia T8 (2x36 W) y proyectores de cuarzo-yodo. No existía ningún sistema de automatización lumínica ni control adaptado al uso real.

Los datos registrados mostraron que el 42,26 % del tiempo total de iluminación se correspondía con encendido sin ocupación, especialmente en zonas administrativas, pasillos y almacenes.

Mejoras aplicadas hasta 2024:

Durante el segundo periodo de análisis, el hospital no fue objeto de una reforma integral, pero sí se realizaron intervenciones técnicas puntuales, que incluyeron:

- Habilitación de plantas previamente cerradas (ampliación de superficie útil),
- Sustitución parcial de luminarias por tecnología LED,
- Instalación de sensores de presencia PIR en aseos, almacenes y salas secundarias.

Estas mejoras permitieron optimizar el uso lumínico sin comprometer el funcionamiento sanitario continuo.

Resultados obtenidos en 2024:

- Reducción del 1,78 % de las horas de encendido sin ocupación, respecto a 2014. Este valor relativamente bajo en la mejora temporal se explica por las condiciones de operatividad continua del edificio (24/7), que exige mantener la iluminación en funcionamiento, especialmente en zonas críticas como pasillos y áreas clínicas sin luz natural.
- Mejora significativa observada en áreas no asistenciales con ocupación intermitente.
- Disminución documentada mediante análisis horario de uso real en registros temporales.

Impacto energético y ambiental:

- Reducción global del consumo en zonas intervenidas,
- Mejora operativa y controlada del uso lumínico sin necesidad de renovación total,
- Disminución efectiva del coste y emisiones asociadas, proporcional a la caída en el tiempo de encendido innecesario.
- Reducción modesta en horas de encendido debido a la continuidad operativa 24/7 del entorno sanitario.

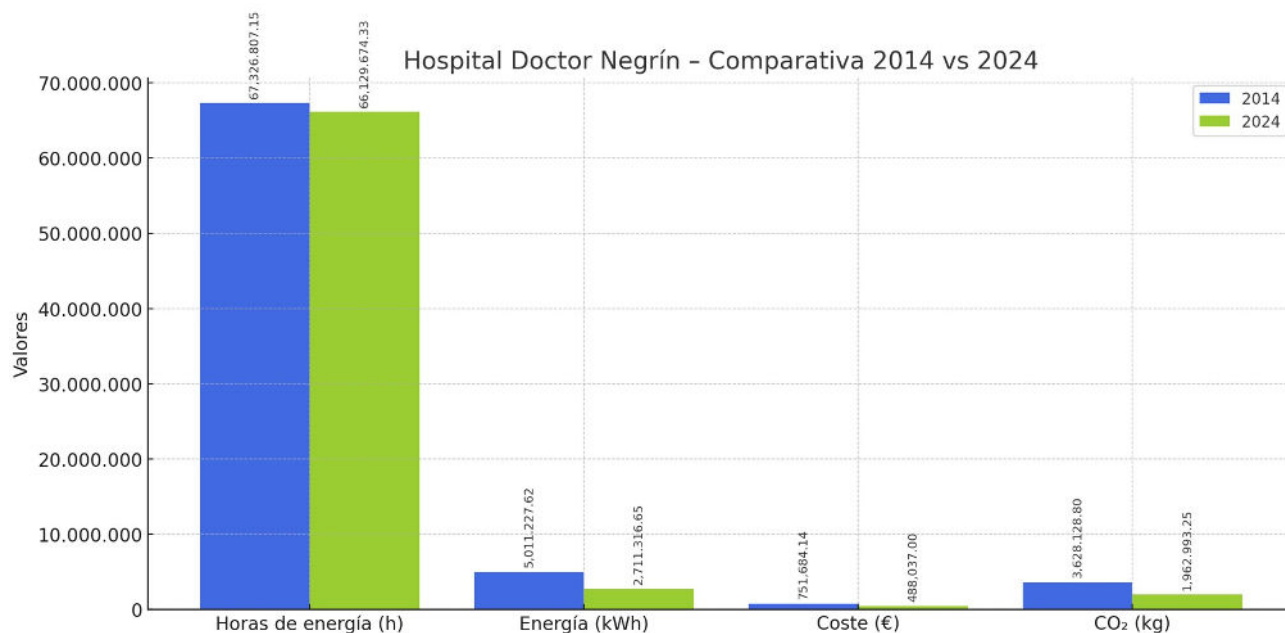


Figura 9. Comparativa de década de variables. Elaboración propia

-Hotel Lopesan Villa del Conde Resort & Thalasso-

Situación en 2014:

Durante el primer periodo de análisis, el Hotel Lopesan Villa del Conde funcionaba con tecnologías tradicionales de iluminación, como fluorescencia compacta CFL (85 W), focos halógenos (50 W) y luminarias 2x36 W. No existía ningún sistema de automatización lumínica ni control asociado a la ocupación real de los espacios.

Los registros realizados en 78 zonas críticas revelaron que el 61,65 % del tiempo total de iluminación se correspondía con encendido sin ocupación, especialmente en vestíbulos, pasillos, zonas de paso y aseos. Este exceso de encendido ineficiente generaba un derroche lumínico estructural con un potencial elevado de mejora.

Mejoras aplicadas hasta 2024:

Durante el segundo periodo de análisis, el hotel no fue objeto de una reforma global, pero sí se implementaron intervenciones técnicas significativas, entre las que destacan:

- Sustitución progresiva de más de 2.300 luminarias por tecnología LED de bajo consumo,
- Instalación de sensores de presencia PIR en zonas de baja ocupación como pasillos secundarios, aseos y áreas de servicio,
- Ajuste de horarios de funcionamiento mediante temporización en zonas comunes y decorativas,
- Reducción de la potencia media instalada, pasando de 75,84 W en 2014 a 20 W en 2024,
- Mantenimiento de la densidad luminaria constante en 0,04 luminarias/m², adaptada a la nueva eficiencia lumínica.

Estas mejoras se integraron en una estrategia escalonada, logrando mayor eficiencia operativa sin alterar el confort ni la estética del entorno hotelero.

Resultados obtenidos en 2024:

- Reducción de 2.515.589,72 horas de encendido sin ocupación respecto a 2014 (-20 %),
- Ahorro energético anual estimado: 778.944,56 kWh,
- Ahorro económico anual: 116.841,68 €,
- Reducción anual de emisiones de CO₂: 563.955,86 kg,
- R² ajustado superior al 96 % en los modelos de regresión múltiple aplicados,

- Validación estadística de los modelos: cumplimiento de homocedasticidad (Breusch-Pagan) y normalidad razonable de residuos (Shapiro-Wilk),
- Confirmación de una relación exponencial significativa entre el tiempo de encendido sin ocupación y el ahorro energético, económico y ambiental.

Impacto energético y ambiental:

- Reducción global del consumo en zonas intervenidas, sin pérdida de confort para el huésped,
- Mejora operativa y predictibilidad del uso lumínico gracias a la homogeneización tecnológica con LED,
- Disminución efectiva del coste y emisiones asociadas, proporcional a la caída en el tiempo de encendido innecesario,
- Consolidación del tiempo de uso (Encendido_Desocupado_h) como variable explicativa clave en la eficiencia lumínica hotelera.



Figura 10. Comparativa de década de variables. Elaboración propia

- Edificio de Ingeniería UNELCO-ENDESA -

Situación en 2014:

Durante el primer periodo de análisis, el Edificio de Ingeniería UNELCO-ENDESA operaba con tecnologías convencionales de iluminación, como luminarias fluorescentes T8, T5 y CFL con una potencia media instalada de 52,56 W. No se contaba con sistemas de control automático, y la gestión del encendido era manual o por horario fijo.

Los registros recogidos en 20 zonas críticas revelaron que el 51,96 % del tiempo total de iluminación se correspondía con encendido sin ocupación, especialmente en oficinas administrativas, pasillos y zonas comunes. Este derroche energético quedó evidenciado en los análisis horarios, donde se observó un promedio de 32,06 horas de encendido frente a solo 0,18 horas de ocupación efectiva.

Mejoras aplicadas hasta 2024:

Durante el segundo periodo (2022–2024), se acometió una modernización parcial del sistema lumínico mediante acciones puntuales de eficiencia, entre las que destacan:

- Sustitución de luminarias tradicionales por tecnología LED de alta eficiencia,
- Incorporación de sensores de presencia (PIR) en zonas de tránsito y oficinas,
- Reducción media de la potencia instalada, manteniéndose el mismo número de luminarias,
- Optimización del control del tiempo de uso, sin necesidad de una inmótica completa.

Además, se integraron sistemas inteligentes de control lumínico que ajustaban el encendido en función de la ocupación real, contribuyendo a una mejora operativa sin comprometer el cumplimiento normativo en iluminación de espacios laborales.

Resultados obtenidos en 2024:

- Reducción del consumo pico y del tiempo de encendido sin ocupación, especialmente en pasillos y zonas comunes,
- Ahorro energético anual estimado: 846.704,18 kWh,
- Ahorro económico anual: 127.005,63 €,
- Reducción de emisiones anuales de CO₂: 613.013,83 kg,
- Horas anuales de iluminación innecesaria corregidas: 4.524.346,79 h,
- Reducción promedio del consumo en oficinas superior al 67 % respecto a 2014.

Impacto energético y ambiental:

- Disminución efectiva del encendido sin ocupación, validada mediante registros horarios reales,
- Mejora global del rendimiento energético del edificio, manteniendo la densidad de luminarias (0,11 luminarias/m²),
- Reducción proporcional del coste energético y de las emisiones de CO₂,
- Alineación con los objetivos de sostenibilidad de la Agenda 2030,
- Validación estadística de los modelos aplicados con altos niveles de R² ajustado, confirmando la relevancia del tiempo de uso como factor explicativo.

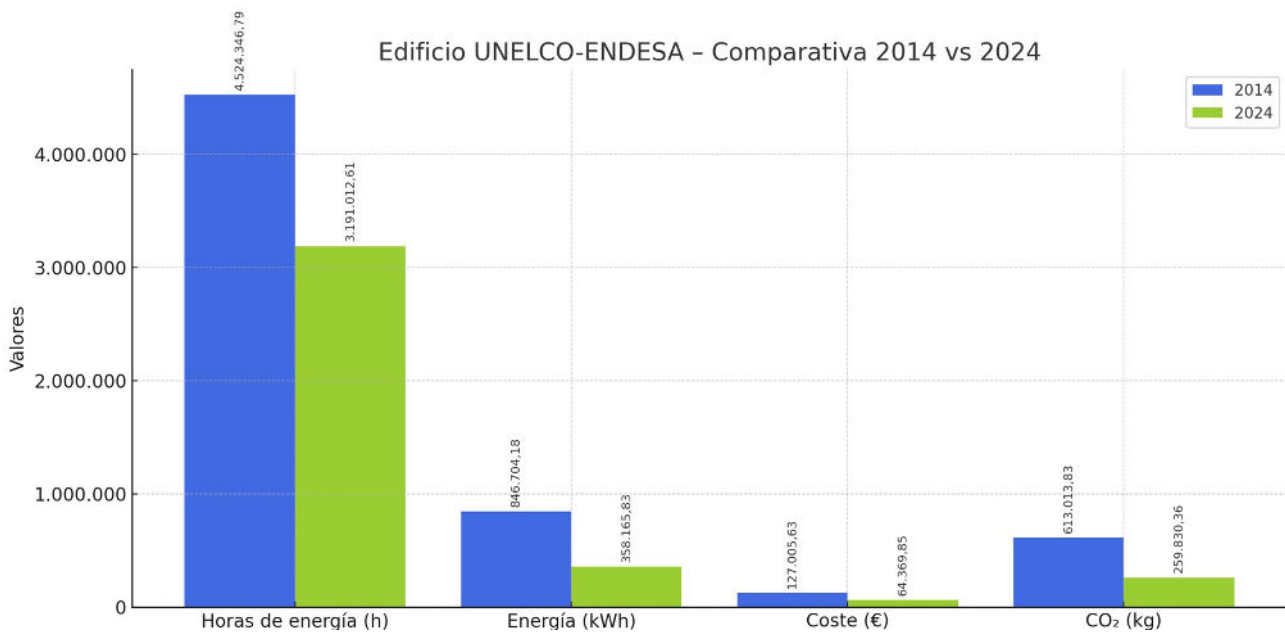


Figura 11. Comparativa de década de variables. Elaboración propia

- Campus Universitario EUITT - Universidad de Las Palmas de Gran Canaria -

Situación en 2015-2016:

Durante el periodo inicial de análisis, el Campus Universitario EUITT presentaba un sistema de iluminación basado en tecnologías tradicionales como fluorescencia T8, T5 y luminarias CFL, sin ningún tipo de automatización ni sensores de ocupación.

El estudio, realizado entre junio de 2015 y octubre de 2016 en 66 zonas académicas y administrativas, reveló que el 10,45 % del tiempo de iluminación correspondía a encendido sin ocupación, lo que representa un uso ineficiente del sistema lumínico. Se registraron en promedio 204,13 horas de encendido frente a 158,38 horas de ocupación efectiva, con 77,22 horas promedio de encendido innecesario por área. Esta situación fue especialmente visible en aulas, despachos y pasillos, donde la iluminación permanecía activa más allá del horario académico real.

Mejoras aplicadas hasta 2024:

Durante la segunda fase de estudio (2022–2024), se llevaron a cabo una serie de mejoras orientadas a la eficiencia energética en el campus, entre ellas:

- Sustitución de luminarias fluorescentes por tecnología LED de bajo consumo,

LI Simposium Nacional de Alumbrado

Logroño, 21 al 23 de Mayo del 2025

Ponencia



- Instalación de sensores de presencia PIR en algunas zonas como aseos y pasillos,
- Optimización del sistema de control lumínico, ajustando los horarios de encendido a la ocupación real,
- Reducción de la potencia promedio por luminaria sin comprometer los niveles normativos de iluminancia.

Estas medidas se orientaron a reducir el consumo energético sin afectar el confort visual ni la operatividad docente e investigativa del campus.

Resultados obtenidos en 2024:

- Disminución significativa del tiempo de encendido sin ocupación,
- Ahorro energético y económico visible en la mayoría de las zonas intervenidas,
- Validación visual y numérica del impacto mediante comparativas de consumo por tipo de luminaria y perfiles de uso real,
- Evidencia del potencial de mejora con especial énfasis en la reducción del uso de luminarias 2x36W, que anteriormente representaban el mayor consumo del campus.

Impacto energético y ambiental:

- Reducción global del consumo en zonas académicas y administrativas,
- Mejora del comportamiento energético del campus sin comprometer la funcionalidad,
- Optimización de recursos operativos y disminución de la huella de carbono institucional,
- Refuerzo del enfoque estratégico hacia un campus sostenible y tecnológicamente eficiente, alineado con los objetivos de la Agenda 2030 y políticas universitarias de eficiencia energética.

Campus Universitario EUITT – Universidad de Las Palmas de Gran Canaria – Comparativa 2014 vs 2024

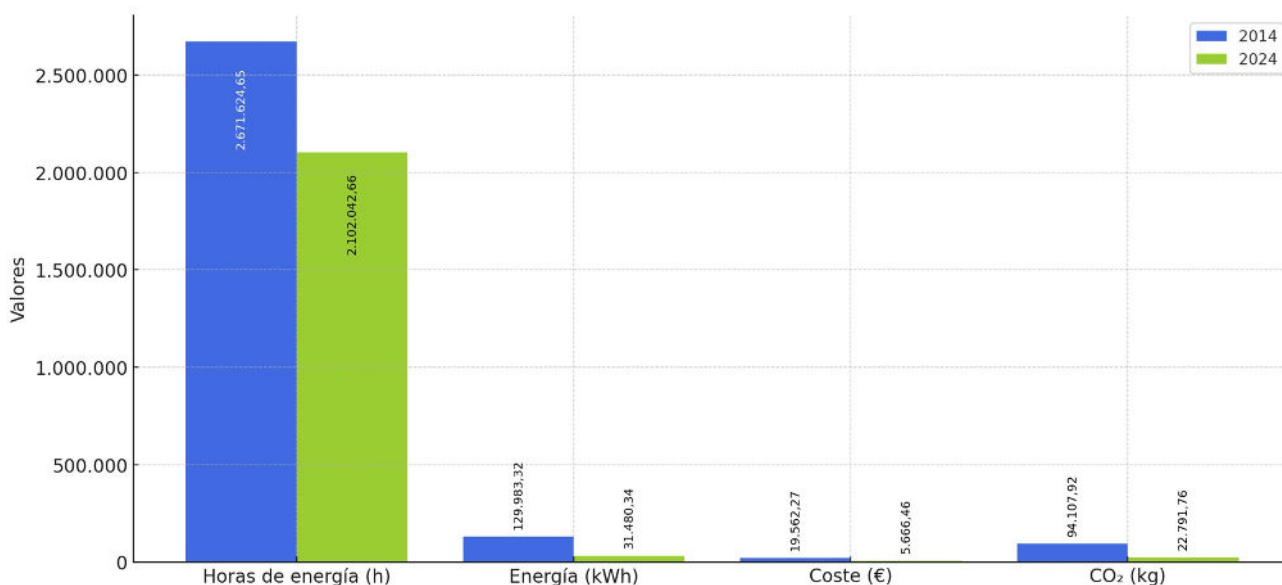


Figura 12. Comparativa de década de variables. Elaboración propia

6. CONCLUSIONES

Reducción relativa 2014-2024 por Edificio y Variable

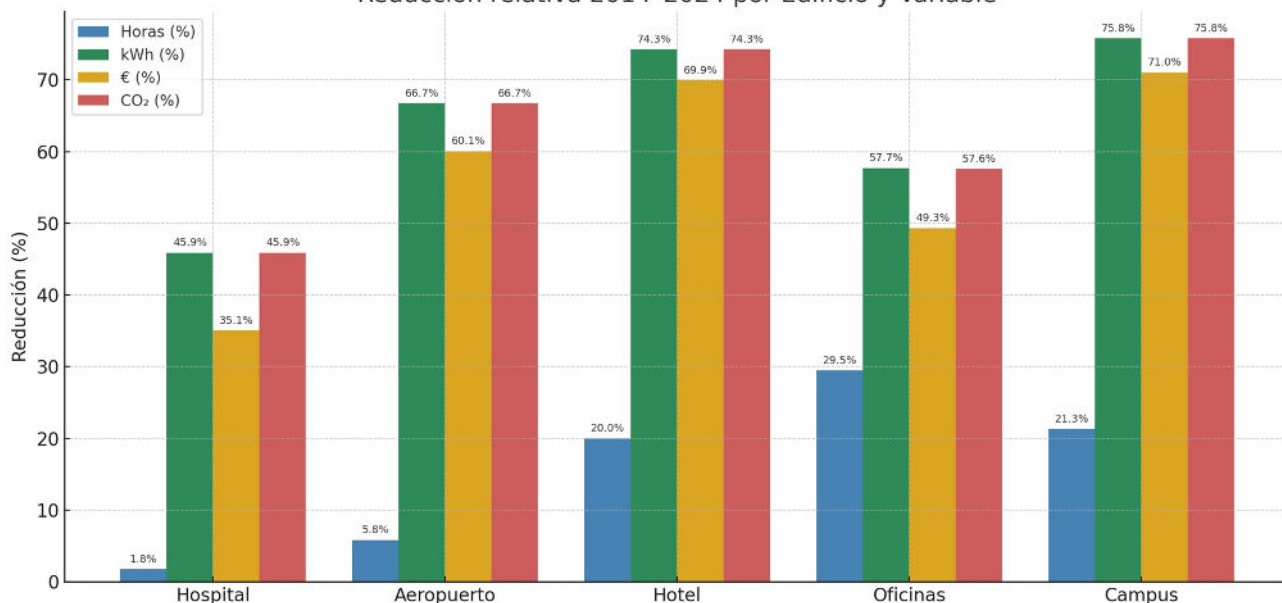


Figura 13. Comparación visual del porcentaje de mejora relativa 2014–2024 por edificio y variable (horas de encendido, consumo energético, coste económico y emisiones de CO₂). Elaboración propia

- Horas de encendido reducidas
- Consumo energético (kWh) reducido
- Coste económico (€) ahorrado
- Emisiones de CO₂ evitadas

Como se observa en la figura 13, el edificio que presenta la barra más alta en cada grupo es el que ha logrado la mayor mejora relativa en esa variable específica.

- En energía (kWh), coste (€) y CO₂, el Campus Universitario EUITT – UPLGC se posiciona como el más eficiente, con reducciones superiores al 70 %.

- En horas de encendido sin ocupación, destaca el Edificio de Ingeniería UNELCO-ENDESA, con una reducción cercana al 30 %.
- El Hotel Lopesan Villa del Conde también muestra un comportamiento notablemente eficiente y homogéneo, superando el 70 % en energía, coste y emisiones.
- Edificios como el campus y oficinas, que presentan condiciones de sombra, han limitado parcialmente su margen de mejora horaria, pero han demostrado alta eficiencia energética relativa.

Esta visualización complementa la tabla de resultados y permite establecer un ranking gráfico de eficiencia lograda, facilitando la comparación entre tipologías de edificio desde una perspectiva objetiva y normalizada.

RANKING PARDAL	EDIFICIO	HORAS (%)	Kwh (%)	€ (%)	CO ₂ (%)	PROMEDIO (%)
1º	CAMPUS	21,32	75,78	71,03	75,78	60,98
2º	HOTEL	20,00	74,29	69,93	74,29	59,63
3º	AEROPUERTO	5,84	66,72	60,06	66,72	49,84
4º	OFICINAS	29,47	57,70	49,32	57,61	48,53
5º	HOSPITAL	1,78	45,90	35,07	45,90	32,16

Figura 14. Ranking global de eficiencia temporal relativa por edificio (2014–2024)

Para realizar el ranking se calcula cada promedio (media) de mejora relativa en las variables: tiempo de encendido sin ocupación, consumo energético, coste económico y emisiones de CO₂, entre los años 2014 y 2024.

La figura 14 muestra el ranking final de eficiencia relativa alcanzada por cada edificio tras una década de intervención. Se determina, de forma objetiva y proporcional, cuál ha sido el edificio más eficiente en su proceso de mejora energética.

El Campus Universitario EUITT – ULPGC encabeza el ranking, con mejoras superiores al 75 % en consumo energético y emisiones de CO₂, y más del 70 % en ahorro económico. No obstante, este resultado debe analizarse con cautela, ya que el edificio presenta condiciones estructurales de sombra que requieren mantener encendida la iluminación artificial incluso en horario diurno, lo cual limita la posibilidad de reducir más el número total de horas de encendido. A pesar de ello, la eficacia de la intervención tecnológica y de control ha sido notable.

Por su parte, el Edificio UNELCO-ENDESA (oficinas) también con sombra destaca por lograr la mayor reducción relativa en horas de encendido sin ocupación, generando una pendiente gráfica muy acusada. El Hotel Lopesan Villa del Conde mantiene un comportamiento homogéneo y eficiente en las cuatro variables, superando el 70 % de mejora en tres de ellas.

El Hospital Doctor Negrín, aunque con el mayor volumen de ahorro absoluto, presenta los menores porcentajes relativos, lo cual puede explicarse por su condición de edificio sanitario 24/7, con exigencias de iluminación constantes y estrictas.

En conjunto, el ranking facilita una lectura equilibrada de los resultados, permitiendo comparar entre tipologías diversas bajo un enfoque temporal, proporcional y metodológicamente justo.

El tiempo de encendido sin ocupación se consolida como una variable estructural en la evaluación de la eficiencia energética lumínica.

Su incorporación en auditorías, contratos ESE y esquemas de certificación energética permitiría avanzar hacia diagnósticos más realistas y ajustados al uso operativo real de los edificios. El modelo presentado ofrece una herramienta válida para la comparación transversal entre tipologías y para la priorización técnica en planes de rehabilitación energética apoyados por fondos europeos.

7. LÍNEAS FUTURAS DE DESARROLLO

A partir de los resultados obtenidos y de la validación empírica del enfoque metodológico planteado, se identifican las siguientes líneas futuras de desarrollo:

- Ampliación de la muestra de edificios a nuevas tipologías (centros comerciales, museos, estaciones intermodales), que permitan consolidar el modelo en entornos urbanos de distinta escala y función.
- Desarrollo de un software de evaluación que ofrezca una estimación predictiva del ahorro energético, económico y ambiental según patrones de uso reales que ya ofrece el presente estudio.
- Creación de bases de datos de consumos reales, permitiendo su integración como complemento en auditorías energéticas y certificaciones oficiales (por ejemplo, en procesos de certificación energética de edificios existentes).
- Propuesta metodológica para normativa técnica como parámetro evaluable en planes de rehabilitación apoyados por fondos europeos (NextGen EU, FEDER, LIFE, etc.).
- Difusión y formación técnica dirigida a profesionales del sector de la iluminación, ingeniería energética y edificación, para facilitar la aplicación del modelo en la práctica profesional habitual (auditorías, contratos ESE, planificación energética municipal).

8. AGRADECIMIENTOS

A mi familia, en especial a mi padre (fallecido) e hijo, a mis directores de Tesis Doctoral por su guía y confianza a lo largo del proceso, a la Universidad Complutense de Madrid (UCM) por brindarme el marco académico donde este trabajo ha podido desarrollarse, a las entidades colaboradoras (AENA, Servicio Canario de Salud, Lopesan, Endesa, EUITT-UPLGC) por su implicación y facilitar el acceso a sus instalaciones y a sus datos. Finalmente, al Comité Español de Iluminación (CEI), por la oportunidad de presentar esta investigación en el LI Simposium Nacional de Alumbrado 2025.

9. BIBLIOGRAFÍA – SELECCIÓN RELEVANTE

1. **Asociación Española de Normalización (UNE).** (2018). *UNE-EN 15193-1:2018. Eficiencia energética de los edificios. Requisitos energéticos para la iluminación. Parte 1: Especificaciones.* UNE.
2. **Ministerio de Fomento.** (2019). *Código Técnico de la Edificación (CTE) DB HE3: Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación.* Secretaría General Técnica. Recuperado de <https://www.codigotecnico.org/>

3. **International Organization for Standardization (ISO).** (2019). *ISO 52120-1:2019. Energy performance of buildings – Contribution of building automation, controls and building management – Part 1: General framework and procedures.* ISO.
4. **IDAE – Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.** (2020). *Guía Técnica de Eficiencia Energética en Instalaciones de Iluminación.* Recuperado de <https://www.idae.es/>
5. **Assaf, L. O., & Ruttkay, F. O.** (2003). Perspectivas de la eficiencia energética en la iluminación: desafíos para el desarrollo. *VII ENCAC – Encuentro Nacional de Confort Ambiental en el Ambiente Construido.* Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/267684206>
6. **Nikolaou, T., Kolokotsa, D., & Stavrakakis, G.** (2011). Review on methodologies for energy benchmarking, rating and classification of buildings. *Advances in Building Energy Research*, 5(1), 53–70. <https://doi.org/10.1080/17512549.2011.582340>
7. **San Martín, R.** (2011). La dimensión tiempo en la eficiencia energética. *ICandela*, 1(1), 50–53. Recuperado de <https://icandela.com>
8. **Serway, R. A., & Jewett, J. W.** (2018). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics* (10ª ed.). Cengage Learning.
9. **Williamson, T.** (2010). Predicting building performance: The ethics of computer simulation. *Building Research & Information*, 38(4), 401–410. <https://doi.org/10.1080/09613218.2010.481204>
10. **Mills, E., & Borg, N.** (1998). Rethinking light levels. *IAEEL Newsletter*, 1, 4–7.