

Evaluación técnica, financiera y ambiental de la reconversión del sistema de alumbrado público a tecnología LED en el municipio de Montenegro, Quindío

Juan David Marulanda Aristizábal¹  , Jorge William Arboleda Valencia² , Manuel Francisco Polanco Puerta³  

Recibido: 26 de mayo de 2020 - Aceptado: 30 de abril de 2024 - Actualizado: 5 de agosto de 2024

DOI: 10.17151/luaz.2022.55.11

Resumen

En el presente artículo se darán a conocer los resultados de investigación donde se presentan criterios de eficiencia energética y reducción de CO₂. La investigación tiene como objetivo determinar la viabilidad técnica, financiera, ambiental y legal de la ejecución del proyecto de modernización del sistema de alumbrado público del municipio de Montenegro en el departamento del Quindío, realizando la reconversión de luminarias de tecnologías convencionales por tecnologías LED, incluyendo las actividades correspondientes a los servicios prestados tales como suministro, administración, operación, mantenimiento, expansión y modernización de los servicios de energía eléctrica; para lograr dicho objetivo el trabajo fue enfocado en la revisión documental que posibilite reconocer dichos parámetros y además se realizan procesos comparativos entre las luminarias convencionales y las luminarias LED del municipio. Esto con el fin de brindar aportes en temas relacionados con la mejora de los indicadores financieros del municipio, el desarrollo urbano y rural, generación de condiciones de seguridad, equidad y desarrollo de programas turísticos; todos estos aspectos pueden ser potencializados con una mejora en la iluminación y la ampliación de la cobertura, es decir, expansión y modernización del servicio a tecnologías más eficientes y ambientalmente sostenibles. Lo cual arroja como resultados una mejora económica puesto que se evidencia disminución en el consumo de energía eléctrica que permite mitigar el nivel de emisiones de CO₂ producidas en el municipio de Montenegro de 5.334,51 toneladas de CO₂ durante los 15 años de vida útil del proyecto generando un impacto ambiental positivo para el municipio.

Palabras clave: desarrollo sostenible, dióxido de carbono, economía ambiental, energías alternativas, energía eléctrica, impacto ambiental.

Technical, financial, and environmental evaluation for conversion of the public lighting system to LED technology, in the Municipality of Montenegro, Quindío

Abstract

This article will present the research results where energy efficiency and CO₂ reduction criteria are presented. The objective of the research is to determine the technical, financial, environmental and legal feasibility of the implementation of the project for the modernization of the public lighting system of Montenegro's municipality in the Quindío's department, performing the conversion of luminaires from conventional technologies by LED technologies, including the activities corresponding to the services provided such as: supply, administration, operation, maintenance, expansion and modernization of electricity services; In order to achieve this objective, the work was focused on the documentary review that makes it possible to recognize these parameters and also

carries out comparative processes between the conventional luminaires and the LED luminaires of the municipality. This is in order to provide input on issues related to the improvement of the municipality's financial indicators, urban and rural development, the creation of security conditions, equity and the development of tourism programmes, all these aspects can be enhanced with an improvement in lighting and the extension of coverage, that is, expansion and modernization of the service to more efficient and environmentally sustainable technologies This results in an economic improvement since there is a decrease in the consumption of electric energy that allows to mitigate the level of CO2 emissions produced in the municipality of Montenegro of 5,334,51 tons of CO2 during the 15 years of life of the project generating a positive environmental impact for the municipality.

Key words: sustainable development, carbon dioxide, environmental economy, alternative energies, electric energy, environmental impact.

Introducción

“Somos la primera generación que puede terminar con la pobreza, y la última generación que puede tomar medidas para evitar los efectos del cambio climático. Las generaciones futuras nos juzgarán severamente si no cumplimos con nuestras responsabilidades morales e históricas”

Ban Ki-moon, Secretario General de las Naciones Unidas

El impacto que se le genera al ambiente por las actividades humanas ha tomado cada vez más fuerza por las implicaciones negativas que ellas traen consigo. Las actuales condiciones y los flujos migratorios hacia las ciudades han generado procesos de crecimiento acelerado y demandas importantes de energía eléctrica, con lo cual se puede evidenciar un ejemplo claro de consumo de recursos energéticos, los cuales afectan el ambiente, por ser una de las principales causas de liberación de CO2, lo que hace necesario que tomemos medidas que mitiguen el cambio climático. Por tal motivo, es de vital importancia considerar la producción y utilización de luminarias LED con el fin de poder mejorar la eficiencia y eficacia de este tipo de instrumentos en función de la mitigación de las problemáticas ambientales y del impacto económico que este trae consigo. “El mercado mundial está demandando con mayor intensidad la transformación de las fuentes de iluminación convencional a soluciones más eficientes y duraderas basadas en sistemas de iluminación LED” (Serrano-Tierz et al., 2015, p. 231).

En ese mismo orden de ideas, el reemplazo de luminarias convencionales a luminarias LED es un punto a considerar a la hora de buscar soluciones para mitigar la producción de CO2 que las empresas producen a la hora de suplir las necesidades básicas de las actividades humanas. De allí que el futuro de los Sistemas de Alumbrado Público (SALP), está basado en la modernización tecnológica, en la implementación de tecnologías LED, en el cuidado al ambiente y en la reducción de CO2. Desafortunadamente los costos actuales de operación son similares a los costos incorporados en las nuevas tecnologías y hace falta la concientización y la preparación de los

municipios para enfocarse en el desarrollo de proyectos orientados a estos sistemas de iluminación (Benjumea-Mesa, 2009; Sbrugnera, 2012).

En la actualidad del mundo la contaminación se debe a diversos factores, entre ellos las emisiones de gases como los de efecto invernadero, generados por las fábricas y el transporte movido con propulsores de combustibles fósiles, así como la contaminación generada por los sistemas de iluminación que concentran el 20% de la energía producida en el planeta y que liberan una gran cantidad de CO₂ a la atmósfera (Benavides-Ballesteros y León-Aristizábal, 2007).

La Agencia Internacional de Energía (AIE) “estima que el consumo de energía en la región de América Latina y el Caribe aumentará entre un 50% y un 54% para el año 2030, esto generará una alta presión en la capacidad energética de la región” (Balza et al., 2016, p. 7). Para países como Colombia y Ecuador se estima que el consumo asociado al abastecimiento de energía para el alumbrado público se ubica entre en el 3% y el 6%, respectivamente. “El alumbrado público es una fuente de consumo de energía importante en los países de esta región” (Orellana y Sarango, 2015).

Actualmente la región opera sus sistemas de alumbrado público con el empleo de tecnologías convencionales abastecidas principalmente con lámparas de alta presión de vapor de sodio, lámparas de vapor de mercurio, proyectores Metal Halide (de Halogenuros Metálicos) y lámparas incandescentes. Es importante considerar que estas tecnologías convencionales tienden a generar un gasto elevado de energía eléctrica, pero no se evidencia calidad en la iluminación que ofrecen para las vías públicas, es por esta razón el gran interés de los gobiernos de la región en realizar la transición a las lámparas de diodos emisores, las cuales tienen un menor consumo de energía, aumentan la calidad de la iluminación y tienen una vida útil hasta de 100.000 horas, generando amplias ventajas frente a la operación con tecnologías convencionales.

Los diodos tipo LED (Light Emiting Diode) y los drivers que conforman este tipo de luminarias permiten alcanzar una alta eficiencia energética. Además, contienen una fotocelda para encendido y apagado de forma autónoma, que son la base para las fotoceldas de siete pines, borneras de conexión, cables de conexión interna, supresores de pico, brazo metálico para fijación a poste con sus respectivas abrazaderas, conectores y stickers reflectivos de marcación.

Según el Informe Tecnologías y Normatividad de Iluminación Eficiente en Alumbrado Público (2018), algunas de las ventajas que presentan las tecnologías LED son la alta eficacia luminosa, el bajo consumo, el tiempo de vida útil, la calidad de la luz emitida y la baja emisión de calor; adicionalmente, el uso de luminarias tipo LED proporciona otros beneficios a nivel económico y ambiental ya que estas son regulables, ecológicas, resistentes, aplicables en sistemas de emergencia, versátiles, generan menos emisiones de CO₂ y aumenta el ahorro en cableado de instalación (López, 2015).

En la [Tabla 1](#) se puede evidenciar cómo las lámparas convencionales en contraste con las lámparas tipo LED presentan un mayor consumo y gasto energético, lo cual conlleva mayores costos y mayores emisiones de gases efecto invernadero.

Tabla 1. Comparativo luminarias LED y luminarias con tecnologías convencionales

Tecnología	Vida (horas)	Lm/W	T° Color	CRI	Encendido	Tecnología
Incandescente	1.000-5.000	11-15	2.800° K	40	Instantáneo	Incandescente
Vapor de mercurio	12.000-24.000	13-48	4.000° K	15-55	Hasta 15 min	Vapor de mercurio
Halogenuro metálico	10.000-15.000	60-100	3.000-43.000° K	80	Hasta 15 min	Halogenuro metálico
HPS	12.000-24.000	45-130	2.000° K	25	Hasta 15 min	HPS
LPS	10.000-18.000	80-180	1.800° K	0	Hasta 15 min	LPS
Fluorescencia	10.000-20.000	60-100	2.700-8.200° K	70-90	Hasta 15 min	Fluorescencia
CFL	12.000-20.000	50-72	2.700-6.200° K	85	Hasta 15 min	CFL
LED	50.000-100.000	70-150	2.700-6.400° K	85-90	Instantáneo	LED

Fuente: elaboración propia.

En el caso específico de Colombia y con el fin de darle cumplimiento al Acuerdo de París de 2015, el país está enfocado en reducir aproximadamente entre 18% y 22% del CO₂ emitido para el año 2030, por esta razón debe darle prioridad, entre otros aspectos, a la modernización de los sistemas públicos de iluminación, compromiso que quedó plasmado bajo la expedición del Decreto 943 de 2018 (MinAgricultura, 2018). Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), promulgados en septiembre de 2015 por las Naciones Unidas, han definido la agenda de desarrollo global a partir del concepto de sostenibilidad, bajo la premisa del equilibrio entre el desarrollo económico, la inclusión social y el uso racional de los recursos naturales (Navas y Amaya, 2017).

Un término de gran importancia es la eficiencia, siendo que este se concibe como un nivel de análisis para la modernización de las administraciones públicas enfocada a la recomposición en las relaciones insumo/producto, es decir, a insumo constante obtener incrementos en el producto (Valle, 2015).

Para los municipios del país, la modernización de los sistemas de alumbrado público les permitirá no solo ampliar la cobertura existente, sino también reducir el consumo de energía entre un 50% y 60%, generando por consiguiente la reducción de emisiones de CO₂.

Diversos estudios presentan las diferencias existentes entre la iluminación convencional y la LED. En el caso del estudio “Análisis comparativo por ciclo de vida de tres tipos de luminarias empleadas en los interiores de edificios”, de Hernández (2015), se concluye que en la fase de fin de la vida útil y disposición final de los desechos, que incluye procesos de separación, reciclamiento y disposición final de los residuos, se observó que el impacto ambiental de las luminarias incandescentes es mucho mayor también por los remplazos necesarios.

Adicionalmente, es importante resaltar que las nuevas tecnologías pueden funcionar a través de una plataforma de operación remota, es decir, un sistema de telegestión por medio de controladores avanzados que permiten el encendido y apagado, la dimerización, la lectura remota del consumo de energía, así como la recepción de alertas en aspectos relacionados con su

funcionamiento. Las luminarias telegestionables permiten, a su vez, realizar casos de uso para el desarrollo de ciudades inteligentes convirtiéndose en una herramienta de desarrollo para los municipios donde se implementen.

Este trabajo busca aportar al municipio de Montenegro un modelo donde se cuente con las condiciones necesarias para desarrollar e implementar proyectos de estas características en otros municipios del país (Flores, 2016; Labán, 2018). El proyecto de modernización de la infraestructura del alumbrado público del municipio de Montenegro con el cambio de luminarias convencionales a luminarias con tecnología LED, es un referente técnico y conceptual para la transformación que deben realizar los municipios en la infraestructura de alumbrado público conforme lo establece el Decreto 943 de 2018 (MinAgricultura, 2018), buscando la aplicación de actividades que garanticen el uso racional y eficiente de energía, la eliminación de la liberación de CO₂ y la disposición adecuada de residuos contaminantes que permitan enfocar las perspectivas hacia municipios comprometidos en el desarrollo sostenible (León y Segura, 2018).

Por lo tanto, el objetivo la investigación es el de determinar la viabilidad técnica, financiera, ambiental y legal de la ejecución del proyecto de modernización del sistema de alumbrado público del municipio de Montenegro en el departamento del Quindío, realizando la reconversión de tecnologías convencionales por tecnologías LED, incluyendo las actividades correspondientes a la prestación del servicio: suministro, administración, operación, mantenimiento, expansión y modernización de los servicios de energía eléctrica; enfocados en la revisión documental que posibilite reconocer dichos parámetros.

Metodología

Para el desarrollo de esta investigación se consideraron cinco aspectos:

- 1) Marco normativo de la prestación del SALP en Colombia.
- 2) Aspectos técnicos legales y financieros de la prestación actual del SALP en el municipio de Montenegro.
- 3) Costos asociados a la modernización de la infraestructura del SALP del municipio de Montenegro.
- 4) Método empleado y cuantificación de la reducción del consumo de energía y de CO₂ durante la vida útil del proyecto.
- 5) Resultados, evaluación y cuantificación de la reducción del consumo de energía y de CO₂ durante la vida útil del proyecto.

Con base en lo anterior, se tomaron diversas normativas y decretos nacionales con el fin de poder analizar y evaluar la viabilidad y pertinencia de las luminarias LED como proceso de mejora desde el punto vista ambiental y económico, tales como:

- Estructura tarifaria establecida en el Acuerdo No 013 diciembre 24 de 2018. Por medio del cual se adopta el código de rentas del municipio de Montenegro, Quindío (Concejo del Municipio de Montenegro - Quindío, 2018).
- Información del Sistema Único de Información de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, correspondiente a la consulta Energía/Comercial/Consolidado, Energía por Empresa y Departamento.
- La estructura tarifaria del Operador de Red mercado regulado energía alumbrado público.
- La Resolución 123 de 2011: “Artículo 8. Metodología de remuneración de los costos máximos de las actividades del sistema de alumbrado público. Los municipios y distritos aplicarán la metodología de costos máximos para remunerar a los prestadores del servicio y el uso de los activos vinculados al servicio de alumbrado público” y el “Artículo 9. Costo máximo del suministro de energía eléctrica para el servicio de alumbrado público” (CREG, 2011).
- La metodología de la UPME. Cálculo del Factor de Emisión de CO2 del SIN.

Resultados y discusión

Análisis del marco normativo de la prestación del servicio de alumbrado público en Colombia

Los retos actuales de la prestación del servicio están asociados a la modernización, es decir, realizar cambios en la luminaria convencional buscando operar con iniciativas económicas y ambientales sostenibles que permitan a los municipios generar ahorros derivados de unos menores costos de suministro de energía y administración, operación y mantenimiento. Por tal motivo, es fundamental comprender y analizar la perspectiva que se tiene desde la normativa colombiana sobre este aspecto como se visualiza en la [Tabla 2](#).

Tabla 2. Marco normativo prestación servicio de alumbrado público en Colombia

Norma	Descripción
DECRETOS	
Decreto 2424 de 2006	Reglamenta la prestación del servicio de alumbrado público.
Decreto 943 de 2018	“Por el cual se modifica y adiciona la Sección 1, Capítulo 6 del Título/11 del Libro 2 del Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, 1073 de 2015, relacionado con la prestación del servicio de alumbrado público”
REFORMA TRIBUTARIA	
Ley 1819 de 2006	Art. 349-353. Establece las condiciones de la prestación del servicio de alumbrado público, facturación y recaudo, y determina que: “El servicio o actividad de facturación y recaudo del impuesto no tendrá ninguna contraprestación a quien lo preste”

Fuente: elaboración propia.

Allí se puede observar cómo en Colombia se ha ido regulando el suministro de energía eléctrica y la forma como esta desde ser suministrada con el fin de poder abarcar y favorecer a la mayor parte del país. Por otro lado, no solo las disposiciones legales frente al suministro de dicho servicio público, sino que además se han preocupado por los impactos y factores ambientales que esto conlleva tal como se muestra en la [Tabla 3](#).

Tabla 3. Marco normativo aspectos ambientales alumbrado público Colombia

Ley	Descripción
DECRETOS	
Decreto 4741 de 2005	Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.
Decreto 2501 de 2007	Por el cual se establecen los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Residuos de Bombillas y se adoptan otras disposiciones.
Decreto 3450 de 2008	Por el cual se dictan medidas tendientes al uso racional y eficiente de la energía eléctrica.

Fuente: Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.

En aspectos ambientales relacionados con el tema tratado, las normativas vigentes en Colombia se centran en la reducción del consumo de energía, la disminución de las emisiones de CO₂ y la gestión adecuada de los elementos retirados de la infraestructura de alumbrado público de los municipios. En este sentido, se han establecido diversas regulaciones, como la Resolución 18-1331 de 2009. Además, el Ministerio de Minas y Energía emitió el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP), que se basa en el uso de fuentes que requieren energía eléctrica. Este reglamento fue modificado a través de la Resolución 18-0540 de 2010 (MinEnergía, 2010), con el objetivo principal de:

Establecer los requisitos y medidas que deben cumplir los sistemas de iluminación y alumbrado público, tendientes a garantizar: los niveles y calidades de la energía lumínica requerida en la actividad visual, la seguridad en el abastecimiento energético, la protección del consumidor y la preservación del medio ambiente; previniendo, minimizando o eliminando los riesgos originados, por la instalación y uso de sistemas de iluminación.

En ese orden de ideas, es necesario comprender cómo desde la normativa colombiana se ha pensado y estructurado una serie de normativas que buscan no solo la protección y cuidado del ambiente, sino que además plasman dentro de sus decretos la necesidad cada vez mayor de poder mitigar el impacto ambiental y el económico desde la misma perspectiva.

En todo proyecto financiero se debe realizar un análisis que involucre la gestión de activos, para lo cual se requiere responder las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es nuestra situación actual?
- ¿Hacia dónde queremos ir?
- ¿Cómo vamos a llegar? (Lizano, 2016, p. 31)

De acuerdo con Lizano (2016):

Se requiere además conocer la composición actual de los costos en que se incurren para la operación y el mantenimiento de los activos [alumbrado público]. Los costos de personal, materiales, contrataciones, depreciación y facturación cesante que a su vez se dividen en directos, indirectos y administrativos. Lo anterior permite a los administradores de los activos corregir distorsiones y tener certeza en el establecimiento de metas en su gestión. (Lizano, p. 31)

Aspectos técnicos legales y financieros de la prestación actual del servicio de alumbrado público en el municipio de Montenegro

El municipio de Montenegro, ubicado en el departamento del Quindío, actualmente gestiona su sistema de alumbrado público a través de tecnologías convencionales, tal como se establece en el contrato de concesión número 158, firmado el 7 de diciembre de 2001 y con una duración de 20 años. Este contrato establece los pagos de acuerdo con las actividades realizadas, en concordancia con la Resolución CREG 123 de 2011 (CREG, 2011), las cuales abarcan el mantenimiento de la infraestructura convencional. Por otro lado, el Decreto 1073 de 2015 regula el Sector Administrativo de Minas y Energía (Presidencia de la República, 2015).

Es crucial analizar y considerar el sistema de operación actual, ya que, como hemos estado explorando a lo largo del desarrollo de la investigación y según lo sugerido desde una perspectiva ambiental y económica, no parece ser el más adecuado para el municipio. Este sistema no ha permitido que se lleve a cabo el proceso de transformación tecnológica, como el cambio de luminarias. Además, no contempla la expansión del sistema de alumbrado público ni la cobertura de áreas como las zonas rurales y turísticas, incluyendo sectores importantes como la salida hacia Armenia. Es importante destacar que, con la finalización del proyecto del paso deprimido realizado por el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) en 2019, se han realizado mejoras en la iluminación que han beneficiado el sector de la salida hacia el municipio de Circasia

En general, la operación actual del SALP se limita a realizar el mantenimiento de la infraestructura existente con una cuadrilla de trabajo que ejecuta los requerimientos puntuales de la población; en los casos en que se requiere realizar nuevas instalaciones en algunos sectores urbanos y rurales, no existe por parte del concesionario la posibilidad de realizar estas inversiones principalmente en postergación y en expansión de la red, por lo cual estas actividades las debe realizar el municipio con cargo a recursos propios.

La figura de concesión que funciona en el municipio de Montenegro: se puede argumentar su sustento porque este servicio es comúnmente entregado mediante la figura de la concesión a las empresas prestadoras de servicio público domiciliarios o a operadores privados, quienes están autorizadas para cobrar un costo de administración, operación y mantenimiento (AOM) por la

prestación eficiente del mismo motivada en la necesidad de financiar el funcionamiento de este, acorde con las reglas de la Resolución CREG 123 de 2011 expedidas por el Ministerio de Minas y Energía (Montes y Figueroa, 2018).

Es importante mencionar en lo referente al seguimiento y control que todos los municipios deben contratar una interventoría para el servicio de alumbrado público con alcance técnico, operativo y administrativo, siguiendo las disposiciones del presente Reglamento Técnico y las de Ley para su selección, de acuerdo a la figura jurídica y legal con la que funcione y opere el Alumbrado Público del Municipio (Gómez, 2015).

Las actividades actuales realizadas en el municipio de Montenegro están definidas así:

- *Administración.* Esta actividad está compartida entre el municipio y el concesionario; actualmente el concesionario se encarga de respuestas a las peticiones, quejas y reclamos de la comunidad y el municipio del manejo de los recursos, verificación de los pagos realizados por la Empresa de Energía del Quindío (EDEQ) y la transferencia de los recursos al concesionario.
- *Operación.* Esta actividad es realizada por el concesionario de manera directa garantizando la prestación del servicio en el horario comprendido entre las 6:00 p.m. a las 6:00 a.m. (12 horas-día/mes/año), salvo caso fortuito, fuerza mayor o por disposición legal.
- *Mantenimiento.* El concesionario es el encargado del mantenimiento preventivo y correctivo de la infraestructura destinada a la prestación del servicio de alumbrado público en el municipio de Montenegro, actividad que se realiza actualmente de manera adecuada.
- *Actividad de inversión para el SALP.* Actualmente es mínima en el municipio ya que gran parte del ingreso conforme al contrato de concesión debe ser entregado al concesionario. Los recursos actuales no permiten realizar la sustitución de luminarias con tecnologías convencionales hasta cuando el municipio modifique su esquema de operación.
- *Expansión.* La extensión de nuevos activos de alumbrado público por el desarrollo vial y urbanístico del municipio o distrito, o por el redimensionamiento del sistema existente, es baja; por lo general, los urbanizadores realizan las ampliaciones requeridas del sistema de alumbrado público, las cuales son entregadas una vez cumplan con todos los requerimientos normativos incluida las certificaciones del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) y RETILAP.
- *Desarrollos tecnológicos asociados, iluminación navideña y ornamental.* Actualmente el municipio no tiene desarrollados protocolos de ciudades inteligentes debido a que las luminarias actuales no permiten la incorporación de nuevas tecnologías, ni son telegestionables; por lo anterior, las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) permiten una operación más eficaz, el análisis de fallas, la medición del gasto energético, la georreferenciación, mejorar la calidad de la iluminación y la ciberseguridad, pero dependen de la modernización a luminarias con tecnología LED de la infraestructura del SALP.

A continuación, se podrá analizar el consumo total de luminarias instaladas de tecnologías (Halogenuros Metálicos) y Sodio ([Tabla 4](#)); el consumo actual reportado es de 83.498 kWh proyectado para el mes de enero de 2020 correspondiente a un factor de eficiencia del sistema del 98%.

Entre los factores que contribuyen al elevado consumo de energía eléctrica en el municipio de Montenegro se encuentran 23 luminarias de tecnología Metal Halide (Halogenuros Metálicos) de 250 W, 253 luminarias de 150 W de tecnología de Sodio y 2,203 luminarias de tecnología de Sodio de 70 W. En contraste, se puede realizar una comparación proyectando el consumo de energía que tendría el municipio si se emplearan luminarias de tecnología LED. La [Tabla 5](#) muestra la proyección del consumo de energía estimado, que para enero de 2020 fue de 32,832 kWh.

Es fundamental considerar cómo obteniendo la misma eficiencia en el proceso, con un 98% en ambos casos, la proyección que se tiene utilizando las tecnologías LED es mejor que aquella donde las luminarias convencionales continúan siendo utilizadas. Es ese orden de ideas, se puede notar claramente la necesidad de realizar un proceso de inversión y transformación de las luminarias no solo para asegurar una mayor eficiencia en lo que a la economía respecta, sino que además los factores ambientales tendrían allí un beneficio de manera directa ([Tabla 5](#)).

Tabla 4. Consumo actual energía alumbrado público Montenegro - luminarias tecnologías convencionales

EMPRESA DE ENERGÍA DEL QUINDIO S.A. E.S.P - ALUMBRADO PÚBLICO DE MONTENEGRO						
CUADRO RESUMEN DEL INVENTARIO DE LUMINARIAS - ENERO 2020						
Descripción de la fuente luminosa	Tipo	Potencia del bombillo (W)	Potencia consumida por luminaria (W)	Total, de lámparas mensual funcionando	Total, potencia (kW)	Total, energía (kWh)
(Halogenuros Metálicos)	Luminarias	70	81	0	0,000	0,000
		150	168	0	1.008	374.976
		250	276	23	6.348	2.361.456
		400	440	2	0,880	327.360
Halógena	Reflector	500	550	0	0,000	0,000
Sodio alta presión	Luminarias	70	80,18	2.203	176.637	65.708.793
		100	115	3	0,345	128.340
		150	167,75	253	42.441	15.787.959
		250	276,32	5	1.382	513.955
		400	437,5	0	0	0
Totales				2.495	229.040	85.202.839
Total, potencia actual en luminarias instaladas (kW)					229.40	85.202.839
Eficiencia del sistema en porcentaje %					98,00%	
CANTIDAD TOTAL DE HORAS MES "T"=txfu=30*24-50%					372	
Total, considerando el factor eficiencia					224,46	83.498,79

Fuente: Alcaldía de Montenegro, Quindío.

Tabla 5. Consumo proyectado de energía alumbrado público Montenegro - luminarias tecnologías LED

MUNICIPIO DE MONTENEGRO							
ALUMBRADO PÚBLICO DE MONTENEGRO							
CUADRO RESUMEN DEL INVENTARIO DE LUMINARIAS							
ENERO DE 2020							
Descripción de la fuente luminosa	Tipo	Potencia del bombillo (W)	Potencia consumida por una luminaria (W)	Cantidad Mes anterior	Total, de lámparas mensual funcionando	Total, Potencia(kW)	Total, energía (kWh)
LED	Luminaria	30	30	2.203	2.203	66,09	24.585,48
		50	50	3	3	0,15	55,8
		80	80	259	259	20,72	7.707,84
		100	100	28	28	2,8	1.041,60
		150	150	2	2	0,3	111,60
Totales				2.495	2.495	90,06	33.502,32
Total, Potencia Actual en Luminarias Instaladas (kW)						90,06	33.502,32
Eficiencia del Sistema en Porcentaje %						98,00%	
Cantidad Total de Horas mes "T"=$T_x F_u=30 \times 24 \times 50\%$						372	
Total, Considerando el Factor de Eficiencia						88,26	32.832,27

Fuente: Alcaldía de Montenegro, Quindío.

La [Tabla 6](#) presenta la proyección del consumo de energía esperado durante los próximos 15 años al utilizar luminarias convencionales. En este análisis se calcula el consumo estimado para cada uno de los niveles y el total para cada año. Esta información nos permitirá compararla con la proyección equivalente realizada para el mismo período de tiempo, pero considerando el uso de luminarias con tecnología LED, la cual se muestra en la [Tabla 7](#).

La operación del SALP del municipio de Montenegro proyectada a 15 años y con una modernización (cambio a tecnología LED), genera ahorros importantes como los derivados del consumo de energía que corresponden a 14.001.360 kWh, también se producirían cambios en la calidad de vida de la población y en la reducción de emisiones 247,21 toneladas de CO₂ en el primer año y un total de reducción de 5.334,51 toneladas de CO₂ en el tiempo estimado de proyección.

Tabla 6. Consumo de energía SALP Montenegro

Estimado del consumo de energía utilizando tecnología convencional: Alumbrado Público Montenegro 2021-2035			
Año	Consumo Nivel 1 kWh	Consumo Nivel 2 kWh	Valor total
2021	983.131	1.069.318	\$474.745.063
2022	1.032.287	1.122.784	\$498.482.316
2023	1.083.902	1.178.923	\$523.406.432
2024	1.138.097	1.237.869	\$549.576.754
2025	1.195.002	1.299.763	\$577.055.591
2026	1.254.752	1.364.751	\$605.908.371
2027	1.317.489	1.432.988	\$636.203.789
2028	1.383.364	1.504.638	\$668.013.979
2029	1.452.532	1.579.870	\$701.414.678
2030	1.525.159	1.658.863	\$736.485.412
2031	1.601.417	1.741.806	\$773.309.682
2032	1.681.487	1.828.896	\$811.975.166
2033	1.765.562	1.920.341	\$852.573.925
2034	1.853.840	2.016.358	\$895.202.621
2035	1.946.532	2.117.176	\$939.962.752
Total	21.214.552	23.074.344	\$10.244.316.530

Fuente: elaboración propia.

Tabla 7. Estimado consumo tecnología LED alumbrado público de Montenegro

Estimado del consumo de energía utilizando tecnología LED: Alumbrado Público Montenegro 2021-2035			
Año	Consumo Nivel 1 kWh	Consumo Nivel 2 kWh	Valor total
2021	386.574	420.463	\$186.672.891
2022	405.902	441.486	\$196.006.536
2023	426.197	463.560	\$205.806.863
2024	447.507	486.738	\$216.097.206
2025	469.883	511.075	\$226.902.066
2026	493.377	536.629	\$238.247.169
2027	518.046	563.460	\$250.159.528
2028	543.948	591.633	\$262.667.504
2029	571.145	621.215	\$275.800.880
2030	599.702	652.276	\$289.590.924
2031	629.688	684.890	\$304.070.470
2032	661.172	719.134	\$319.273.993
2033	694.231	755.091	\$335.237.693
2034	728.942	792.845	\$351.999.578
2035	765.389	832.488	\$369.599.556
Total	8.341.702	9.072.984	\$4.028.132.857

Fuente: elaboración propia.

En concordancia con lo anterior, el proyecto trae mejoras a la calidad de vida de la población ya que proporcionará una iluminación en horarios nocturnos y, además, la modernización de la infraestructura permite implementar tecnologías como Wi-Fi gratis para la población, instalación de cámaras de seguridad, alertas ambientales y en general aplicaciones y el uso de redes inteligentes que generan desarrollo para el municipio.

El proyecto de modernización del alumbrado público del municipio de Montenegro, logra una disminución en el consumo de energía eléctrica, ya que al utilizar luminarias con una eficiencia superior a los 120 lúmenes por vatio y al utilizar ópticas que dirigen la luz directamente a las vías sin utilizar pantallas reflectoras ni vidrios difusores, se logra un ahorro considerable en el consumo energético alrededor del 60%. El consumo actual es en promedio de 1.069.318 kWh/año, y considerando el consumo posible en un proyecto de modernización en el momento en que se reemplacen por luminarias LED, el consumo será de 420.463 kWh/año, por lo que el ahorro directo en el primer año es de 648.855 kWh/año y así durante los 15 años de vida útil del proyecto; y los gases efecto invernadero del Sistema Interconectado Nacional (SIN) es de 0,381 toneladas de CO₂/kWh para realizar el cálculo de las reducciones de emisiones de gases efecto invernadero de los proyectos aplicables al Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).

El consumo actual es en promedio de 1.069.318 kWh/año y considerando el consumo posible en un proyecto de modernización en el momento en que se reemplacen por luminarias LED, el consumo será de 420.463 kWh/año, por lo que el ahorro directo en el primer año es de 648.855 kWh/año hasta finalizar el proyecto.

Costo por el suministro de energía eléctrica destinada al servicio de alumbrado público

El costo máximo de suministro de energía eléctrica para el Servicio de Alumbrado Público, se determinará así:

Ecuación 1

$$CSEE = \sum_{n=1}^z (TEEn * CEE_n)$$

Donde:

n: Nivel de tensión 1 o 2.

CSEE: Valor costo del suministro de energía eléctrica para el Servicio de Alumbrado Público en pesos.

TEEn: Tarifa del suministro de energía eléctrica para el Servicio de Alumbrado Público en el nivel de tensión n en \$/kWh.

CEE_n: Consumo de energía eléctrica del Servicio de Alumbrado Público en el nivel de tensión n en kWh.

En la [Figura 1](#) se muestra una comparación entre el consumo de energía en kilovatios-hora (kWh) de la iluminación tradicional y la iluminación LED. Esta representación visual nos permite apreciar claramente los ahorros de energía que se pueden lograr con las nuevas tecnologías LED.

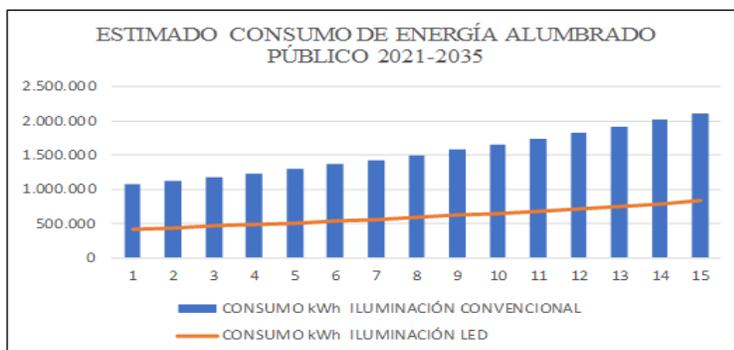


Figura 1. Comparativo alumbrado público tecnologías convencionales y LED.

Fuente: elaboración propia.

Los costos actuales de operación de la infraestructura convencional están determinados en la información aportada por el municipio, en la cual se determinan los valores asociados a las actividades de administración, operación, mantenimiento, expansión y suministro de energía al sistema de alumbrado público en las condiciones actuales de prestación del servicio. Actualmente, el municipio de Montenegro, Quindío, opera su sistema de alumbrado público bajo concesión por un periodo de 20 años, la cual inició en 2001 y concluyó en 2021, año en el cual el municipio definió un nuevo modelo de operación. Por esta razón, es necesario establecer la posibilidad de generar una nueva alternativa para que el municipio pueda operar de manera directa o por medio de una empresa de economía mixta su sistema de alumbrado público y mediante un crédito hacer la transición de luminarias de tecnología convencional a luminarias con tecnología LED, lo cual igualmente le permitiría tener unas utilidades que podría reinvertir en la infraestructura actual, expansión del servicio y desarrollos tecnológicos asociados.

En línea con lo mencionado anteriormente, la [Tabla 8](#) detalla los costos de Administración, Operación y Mantenimiento (AOM) junto con los costos de expansión del Sistema de Alumbrado Público (SALP) cuando se emplea tecnología convencional.

Tabla 8. Costos AOM y expansión SALP con tecnología convencional

COSTOS ESTABLECIDOS PRESTACIÓN DE SERVICIO DE ALUMBRADO PÚBLICO INFRAESTRUCTURA ACTUAL DE ALUMBRADO PÚBLICO			
AÑO	CAOM	Expansión o modernización	Total
2021	867.685.630	21.692.142	\$889.377.771
2022	902.547.556	22.563.688	\$925.111.242
2023	960.831.340	24.020.782	\$984.852.122
2024	1.023.142.539	25.578.561	\$1.048.721.101
2025	1.089.494.703	27.237.365	\$1.116.732.068
2026	1.160.149.893	29.003.745	\$1.189.153.638
2027	1.235.387.167	30.884.677	\$1.266.271.844
2028	1.315.503.679	32.887.589	\$1.348.391.268
2029	1.400.815.854	35.020.393	\$1.435.836.247
2030	1.491.660.637	37.291.513	\$1.528.952.150
2031	1.588.396.827	39.709.917	\$1.628.106.744
2032	1.691.406.488	42.285.159	\$1.733.691.647
2033	1.801.096.463	45.027.408	\$1,846,123,871
2034	1.917.899.980	47.947.496	\$1,965,847,476
2035	2.042.278.362	51.056.955	\$2,093,335,317
Total	20.488.297.118	512.207.390	\$21,000,504,505

Fuente: elaboración propia.

A continuación se presenta la [Tabla 9](#), la cual detalla los costos asociados a la operación y mantenimiento del sistema de alumbrado público cuando se utiliza tecnología LED.

Tabla 9. Costos AOM y expansión SALP alumbrado público Montenegro tecnología LED

COSTOS ESTABLECIDOS PRESTACIÓN DE SERVICIO DE ALUMBRADO PÚBLICO INFRAESTRUCTURA MODERNIZADA A LED DE ALUMBRADO PÚBLICO			
AÑO	CAOM	Expansión o modernización	Total
2021	266.813.331	13.340.667	\$280.153.998
2022	281.848.457	14.092.423	\$295.940.879
2023	312.127.817	15.606.391	\$327.734.208
2024	345.838.964	17.291.948	\$363.130.912
2025	383.191.060	19.159.553	\$402.350.613
2026	424.577.344	21.228.867	\$445.806.211
2027	470.433.524	23.521.676	\$493.955.200
2028	521.242.368	26.062.118	\$547.304.487
2029	577.538.787	28.876.939	\$606.415.726
2030	639.915.461	31.995.773	\$671.911.234
2031	709.029.084	35.451.454	\$744.480.538
2032	785.607.276	39.280.364	\$824.887.640
2033	870.456.242	43.522.812	\$913.979.054
2034	964.469.261	48.223.463	\$1.012.692.724
2035	1.068.636.091	53.431.805	\$1.122.067.896
Total	8.621.725.067	431.086.253	\$9.052.811.320

Fuente: elaboración propia.

Costos asociados a la modernización de la infraestructura del SALP del municipio de Montenegro

Para la estimación de los costos la investigación se basó en la sustitución de luminarias Sodio por convencionales y ahorros derivados de menores costos de administración, operación y mantenimiento del SALP, así como el suministro de energía. El valor estimado de la inversión en la modernización de la infraestructura de alumbrado público es el siguiente:

Los valores están establecidos conforme a las unidades constructivas de alumbrado público; estos valores son estimados y las cantidades y potencias pueden variar conforme a los estudios fotométricos definitivos correspondientes a la modernización del SALP del municipio de Montenegro. Estas cantidades y valores corresponden a los requerimientos del municipio de Montenegro de sustitución de luminarias convencionales por luminarias tecnología LED, así como posteria, redes exclusivas del alumbrado público e instalación de transformadores.

Según la investigación sobre la sustitución de luminarias de sodio por tecnología LED y los ahorros asociados en costos de administración, operación y mantenimiento del Sistema de Alumbrado Público (SALP), así como en el suministro de energía, se ha estimado el valor de la inversión requerida para modernizar la infraestructura de alumbrado público en el municipio de Montenegro.

A continuación, se presenta la [Tabla 10](#) con los valores correspondientes a la modernización del SALP de Montenegro

Tabla 10. Valores modernización SALP de Montenegro

MUNICIPIO DE MONTENEGRO - RESUMEN INVERSIÓN			
UCAP	CANTIDAD	VR. UCAP	TOTAL
LUMINARIA LED DE 30 W	2.203	\$1.331.090	\$2.932.391.872
LUMINARIA LED DE 50 W	3	\$1.529.134	\$4.587.402
LUMINARIA LED DE 80 W	259	\$1.846.175	\$478.159.404
LUMINARIA LED DE 100 W	28	\$2.161.172	\$60.512.805
LUMINARIA LED DE 150 W	2	\$1.412.556	\$5.259.720
POSTERÍA	20	\$1.412.556	\$28.251.126
REDES EXCLUSIVAS AP	800	\$17.503	\$14.002.123
TRAFOS	5	\$8.282.826	\$41.414.128
TOTAL			\$3.564.578.579

Fuente: elaboración propia.

La metodología establecida para la investigación corresponde a la comparación de los precios de energía y seguimiento del proceso del SALP de Montenegro bajo la comparación de la utilización de luminarias con tecnología convencional y luminarias con tecnología LED, con lo cual se pudo establecer que el costo total de la utilización de luminarias con tecnología convencional para las acciones energéticas y de operación del sistema es de \$34.965.091.524 frente a la utilización de

tecnologías LED que corresponde a \$16.801.214.666. Para la evaluación del sistema con tecnologías LED se estableció la necesidad de realizar un crédito de \$3.564.578.579 correspondiente a la inversión para la reconversión tecnológica, para lo cual se estableció una financiación con una tasa del DTF de 4,45 T.A. más 5 puntos T.A., lo cual da como resultado un costo total de \$5.480.890.920, de los cuales \$3.564.578.495 corresponden a costos de amortización y \$1.911.312.404 corresponden a costos de financiación de la modernización de las luminarias a tecnología LED. De acuerdo con lo anterior, el valor total de la operación durante un periodo de 15 años, utilizando las nuevas tecnologías y asumiendo los costos del crédito, es inferior frente a la operación con tecnologías convencionales.

Viabilidad financiera

En lo que corresponde a la viabilidad financiera, la implementación del proyecto genera un ahorro importante en los costos de operación del SALP del municipio, lo que permite realizar un comparativo determinando donde el municipio de continuar con luminarias convencionales en el SALP podría generar unas pérdidas de \$3.984.836.120 en un periodo de 15 años comparado con una utilidad de \$8.698.149.818 si se opera con tecnología modernizada a LED, lo que genera ahorros en aspectos económicos, en consumo de energía eléctrica, y en necesidades de compra de materiales y actividades de sostenimiento de toda la infraestructura del SALP. Las cifras con evaluadores económicos como la TIR (Tasa Interna de retorno) y el VAN (Valor Actual Neto) permiten determinar que desde una perspectiva financiera el modelo es rentable debido a que los flujos de caja futuros, originados por la inversión cumplen con el objetivo básico financiero de maximizar la inversión (Ver [Tabla 11](#)).

Tabla 11. Flujos del proyecto luminarias modernizadas a tecnología LED

Inversión Inicial	-3.564.578.579		i=10%
FLUJO 1	\$466.497.588	FLUJO 9	\$425.219.266
FLUJO 2	\$483.669.853	FLUJO 10	\$398.876.901
FLUJO 3	\$485.577.773	FLUJO 11	\$914.359.978
FLUJO 4	\$484.634.348	FLUJO 12	\$874.732.393
FLUJO 5	\$480.629.567	FLUJO 13	\$827.242.077
FLUJO 6	\$473.159.784	FLUJO 14	\$770.955.643
FLUJO 7	\$461.776.350	FLUJO 15	\$704.837.537
FLUJO 8	\$445.980.762	TOTAL	\$5.133.571.239

Fuente: elaboración propia.

Con un comparativo de una tasa de interés del 10% el Valor Actual Neto presenta un valor de \$463.902.554, con respecto a la TIR el indicador es del 12,18% y el valor final de los flujos es de \$5.133.571.329, lo cual establece que el modelo de negocio es rentable para el municipio de Montenegro y que es la mejor opción no solo desde el punto de vista financiero, sino también desde el punto de vista técnico y ambiental (Ver [Tabla 12](#)).

Tabla 12. Relación beneficio-costo

Indicador	Valor
VPN Ingresos	\$14.932.850.789
VPN Egresos	\$10.857.979.401
Costos - Inversión	\$14.422.557.980
B/C	1,04

Fuente: elaboración propia.

La relación beneficio-costo determina que el VPN de los ingresos es de \$14.932.850.789 y el VPN de los egresos es de \$10.857.979.401 obteniéndose como resultado en la relación de 1,04, lo que determina que el proyecto es viable en términos financieros, para la lectura de esta relación es importante el horizonte del proyecto que en los modelos financieros está planteado solo a 15 años, no obstante, es importante considerar la vida útil de las luminarias puede ser mucho mayor, lo que en un análisis a profundizan puede considerarse una relación beneficio-costo con mejores resultados y rentabilidad.

Cumplimiento de la normatividad legal

En Colombia las normas de uso racional y eficiente de energía establecen la necesidad de regular condiciones que permitan operar los SALP de una mejor manera, es decir, que no generen pérdidas de energía, las luminarias convencionales generan múltiples pérdidas en su gran mayoría asociadas a la reactancia del balasto y a la operación deficiente del sistema que pueden incrementar los consumos de energía de manera recurrente, es común observar en los municipios de nuestro país y específicamente en el municipio de Montenegro luminarias encendidas en horario diurno generando una carga adicional de consumo de energía y liberación de CO₂.

Método empleado y cuantificación de la reducción del consumo de energía y de CO₂ durante la vida útil del proyecto

Aplicación del método

El consumo total de energía durante la vida útil del proyecto sin modernizar es de 23.074.344 kWh con un costo estimado de \$10.244.316.530 durante un periodo de 15 años. El consumo total de energía durante la vida útil del proyecto con el alumbrado público modernizado a LED es de 9.072.984 kWh con un costo estimado de \$4.028.132.857 durante un periodo de 15 años.

En lo correspondiente a la reducción de CO₂, se realizan los cálculos basados en el ahorro de energía generado, el cual en Colombia está determinado conforme lo establecido por el Ministerio de Minas y Energía, la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) y XM, generando un el país valor unificado del factor de emisión de energía para inventarios de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

En la [Figura 2.](#), se presentan los cálculos relacionados con la reducción de emisiones de CO₂, los cuales se basan en el ahorro de energía generado por el proyecto. En Colombia, estos cálculos se realizan de acuerdo con las directrices establecidas por el Ministerio de Minas y Energía, la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) y XM, utilizando un valor unificado del factor de emisión de energía para inventarios de Gases de Efecto Invernadero (GEI).



Figura 2. Estimativo del consumo de energía para el SALP.

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con XM, en Colombia el factor de emisión de CO₂ por generación eléctrica del Sistema Interconectado es de 0,381 t de CO₂ por megavatio hora (MWh).

Con este factor de emisión de la matriz energética colombiana los sistemas de alumbrado público pueden calcular su huella de carbono asociada al consumo de energía eléctrica, y determinar los menores valores de liberación de CO₂.

Con respecto a la estimación de los menores valores de liberación de CO₂ como consecuencia del cambio de luminarias tecnología convencional por luminarias tecnología LED para el municipio de Montenegro, teniendo en cuenta el crecimiento proyectado de la infraestructura del SALP se establecen las diferencias en el consumo de energía y liberación de CO₂.

Resultados de la evaluación de la cuantificación de la reducción del consumo de energía y de CO₂ durante la vida útil del proyecto

El análisis de la información permite determinar las diferencias reales en consumo de energía, así como en reducción de emisiones de CO₂, la metodología se basa en la establecida por el Gobierno nacional para el consumo de energía de los sistemas de alumbrado público, así como el factor definido por XM y la UPME para el cálculo de las emisiones de CO₂ asociadas al consumo de energía.

En la [Figura 3](#), se presentan los resultados de la evaluación de la cuantificación de la reducción del consumo de energía y de CO₂ durante la vida útil del proyecto muestran las diferencias reales en el consumo de energía y en la reducción de emisiones de CO₂. La metodología empleada se basa en los lineamientos establecidos por el Gobierno nacional para el consumo de energía de los sistemas

de alumbrado público, así como en el factor definido por XM y la UPME para el cálculo de las emisiones de CO₂ asociadas al consumo de energía.

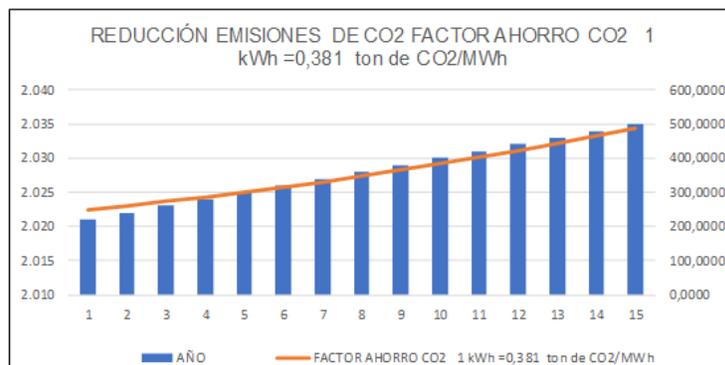


Figura 3. Reducción liberación CO₂.

Fuente: elaboración propia.

Viabilidad ambiental

Conforme la normatividad establecida por la UPME para inventarios de emisiones de gases efecto invernadero (GEI), huella de carbono o factor de emisión de la generación eléctrica (FEG) el Factor de Emisión del Sistema Interconectado Nacional (SIN) la cual se emplea para proyectos y mediciones específicas de emisiones de GEI, por consumo de energía eléctrica, para calcular inventarios de emisiones de GEI y para calcular la huella de carbono mediante la cual se cuantifican las emisiones de GEI y se identifican las acciones específicas con el fin de mejorar la gestión de los GEI. Todo esto en concordancia con lo establecido en la norma ISO 14067, el Protocolo GHG y la cuantificación de emisiones GEI por unidad generada promedio.

El FEG presenta ventajas significativas en comparación con otros métodos, dado que, por una parte, opera un lenguaje de cálculo sencillo y se emplea usualmente para estimar la intensidad de emisiones y por otra parte está ampliamente disponible en fuentes públicas nacionales e internacionales. En cuanto al cálculo aritmético del FEG, éste es determinado a partir de la relación de las emisiones de CO₂ provenientes del consumo de combustible y la cantidad de electricidad generada

Para calcular el Margen Combinado MC del Factor de Emisión, la herramienta establece se utiliza el Cálculo del Margen Combinado FE del SIN 2018 Simple Ajustado así ([Tabla 13](#)):

Tabla 13. Cálculo del Margen Combinado del Factor de Emisión de CO₂ del SIN

Cálculo del Margen Combinado FE del SIN 2018 Simple Ajustado		
EF_{grid} MOy	0,578	t CO₂/MWh
Total generación	68.949.475	MWh
EF_{grid} MC 2018	0,183	t CO₂/MWh
W_{OM}	0,5	-
W_{BM}	0,5	-
EF_{grid} MC 2018	0,381	t CO₂/MWh

Fuente: elaboración propia.

El resultado de esta operación para el SALP de Montenegro en lo referente a reducción de emisiones de CO₂ es el siguiente (Ver [Tabla 14](#)):

Tabla 14. Reducción de emisiones de CO₂

ANO	CONSUMO ILUMINACIÓN CONVENCIONAL	CONSUMO kWh ILUMINACIÓN LED	DIFERENCIA CONSUMO ENERGÍA kWh	FACTOR AHORRO CO ₂ 1 kWh=0,381 t de CO ₂ /MWh
2021	3.069.318	420.463	648.855	247.2138
2022	1.122.784	441.486	681.298	259.5745
2023	1.178.923	463.560	715.363	272.5532
2024	1.237.869	486.738	751.131	286.1808
2025	1.299.763	511.075	788.687	300.4899
2026	1.364.751	536.629	828.122	315.5144
2027	1.432.988	563.46	869.528	331.2901
2028	1.504.638	591.633	913.004	347.8546
2029	1.579.870	621.215	958.654	365.2473
2030	1.658.863	652.276	1.006.587	383.5097
2031	1.741.806	684.890	1.056.916	402.6852
2032	1.828.896	719.134	1.109.762	422.8194
2033	1.920.341	755.091	1.165.250	443.9604
2034	2.016.358	792.845	1.223.513	466.1584
2035	2.117.176	832.488	1.284.689	489.4664
TOTAL	23.074.344	9.072.984	14.001.360	5.334.5181

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con los datos obtenidos sobre el nivel de emisiones generadas en el municipio de Montenegro correspondientes a la operación del alumbrado público convencional comparado con la iluminación tecnología LED en esta investigación al realizar las comparaciones de liberación de CO₂ en el primer año con el que se producirá con la modernización a tecnología LED, se logra una disminución de 247,21 toneladas de CO₂ en el primer año del proyecto y un total de reducción de liberación de 5.334,51 toneladas de CO₂ en los 15 años del proyecto, en los cuales se operaría el SALP bajo la nueva tecnología.

Conclusiones y recomendaciones

- De manera general el cambio climático y los altos costos asociados a la generación de energía hacen necesario que se busquen nuevas alternativas de prestación del servicio de alumbrado público en Colombia, el resultado de esta investigación permite determinar que el cambio de luminarias con tecnología convencional por luminarias con tecnología LED genera un impacto positivo en aspectos ambientales en el municipio de Montenegro, ya que al implementarlo no solo reduce la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos a la atmósfera, como quedó demostrado al evidenciar la reducción de unas 5.334,51 toneladas de CO₂ en los quince años estimados del proyecto, sino que permite que las luminarias LED una vez retiradas puedan ser recicladas generando un porcentaje menor de desechos, debido a que este tipo de luminarias se pueden reciclar fácilmente ya que no contienen mercurio ni halogenuros ni metales pesados como las luminarias convencionales.
- Otro aspecto a considerar son los bajos costos que traen consigo la utilización de las luminarias LED las cuales al contar con una vida útil bastante prolongada que puede superar las 100.000 horas de funcionamiento frente a las 15.000 horas de las luminarias convencionales y como son unidades cerradas se evitan los costos asociados al recambio de materiales como balastos, bombillos o arrancador los cuales son altamente contaminantes y requieren cambios constantes para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de alumbrado público.
- Las luminarias LED carecen de filamentos, cebadores o balastos lo que las hace más seguras operativamente frente a fallos, en estas luminarias la eficiencia luminosa que generan les permite convertir cada vatio en una cantidad que varía entre 130 y 170 lúmenes que es muy superior a una luminaria convencional, la iluminación LED presenta coeficiente de utilización que supera el 77% de la luz emitida.
- Para un municipio como Montenegro, la utilización de esta tecnología garantizaría una mejor operación del SALP en aspectos técnicos, así como eliminar la necesidad de realizar cambios constantes a los elementos que componen las luminarias y un mejor control de los consumos de energía con los ahorros que esto conlleva en aspectos de energía, ambientales y financieros.
- El cambio de luminarias convencionales a luminaria LED permite que se recupere la inversión en un período de tiempo determinado (no mayor a 10 años), incluso el repago del proyecto se puede realizar en un menor tiempo, por esta razón también resulta una

tecnología atractiva, no solo desde el aspecto social sino además desde un punto de vista económico, generando posteriormente una reducción de gastos que podrá traer consigo una mayor expansión del sistema de alumbrado público del municipio beneficiando a la población en sectores en los cuales actualmente no se presta el servicio.

- Igualmente el proyecto también incorpora unos beneficios en aspectos económicos importantes al generar un resultado financiero positivo al final del ejercicio en el alumbrado público modernizado a LED de \$8.698.149.818 frente a una pérdida derivada de la operación con tecnologías convencionales de \$3.984.836.120, lo anterior explicado por el mayor consumo de energía así como por los mayores costos asociados al mantenimiento, que son incluso superiores a los costos en que incurriría el municipio modernizando su infraestructura y cancelando el crédito en un periodo de 10 años mediante 120 cuotas mensuales a una tasa del DTF E.A. más 5 puntos E.A. liquidada en su equivalente a nominal mes vencido.
- Realizando un comparativo de una tasa de interés del 10% el Valor Actual Neto presenta un valor de \$463.902.554, una TIR del 12,18% y un valor final de los flujos es de \$5.133.571.329, lo cual establece que el modelo de negocio desde el punto de vista financiero no solo es rentable sino necesario para evitar que se presenten pérdidas de recursos económicos si se continua con la operación bajo tecnologías convencionales.
- Una vez realizado el análisis respectivo se considera la operación del servicio la debe realizar directamente el municipio a través de la secretaria de Planeación con lo cual el municipio deberá adelantar de manera directa la modernización, la instalación, operación y mantenimiento con los recursos provenientes del impuesto de alumbrado público, esta actividad la puede realizar por medio de un contrato de empréstito que le permita realizar la reconversión tecnológica y la operación del sistema bajo criterios de eficiencia económica técnica y ambiental.

Referencias

- Concejo del Municipio de Montenegro - Quindío. (2018). Acuerdo No 013 diciembre 24 de 2018. "Por medio del cual se adopta el código de rentas del municipio de Montenegro, Quindío".
- Balza, L., Espinasa, R. y Serebrisky, T. (2016). ¿Luces encendidas?: Necesidades de energía para América Latina y el Caribe al 2040. BID.
- Benavides-Ballesteros, H. O. y León-Aristizábal, G. E. (2007). Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, Subdirección de Meteorología.
- Benjumea-Mesa, M. S. (2009). Propuesta para la implementación del sistema "LED" para la iluminación pública en Antioquia (tesis de pregrado). Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín, Colombia.

- Colombia, Congreso de la República. (29 de diciembre de 2016). Ley 1819 de 2016. "Por medio de la cual se adopta una reforma tributaria estructural, se fortalecen los mecanismos para la lucha contra la evasión y la elusión fiscal, y se dictan otras disposiciones". <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=79140>
- Colombia, Ministerio de Minas y Energía (MinEnergía). (2010). Anexo General Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público. RETILAP. <https://lc.cx/bRNvBc>
- Colombia, Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural (MinAgricultura). (30 de mayo de 2018). Decreto 943 de 21018. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=86680>
- Colombia, Presidencia de la República. (30 de diciembre de 2005). Decreto 4741 de 2005. "Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral". <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=18718>
- Colombia, Presidencia de la República. (4 de julio de 2007). Decreto 2501 de 2007. "Por medio del cual se dictan disposiciones para promover prácticas con fines de uso racional y eficiente de energía eléctrica". <https://www.suin-juriscal.gov.co/viewDocument.asp?id=1457325>
- Colombia, Presidencia de la República. (12 de septiembre de 2008). Decreto 3450 de 2008. "Por el cual se dictan medidas tendientes al uso racional y eficiente de la energía eléctrica". <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=32715>
- Colombia, Presidencia de la República. (26 de mayo de 2015). Decreto Único Reglamentario 1073 de 2015. Sector Minas y Energía. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=77887>
- Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (8 de septiembre de 2011). Resolución 123 de 2011. Por la cual se aprueba la metodología para la determinación de los costos máximos que deberán aplicar los municipios o distritos, para remunerar a los prestadores del servicio así como el uso de los activos vinculados al sistema de alumbrado público. Diario Oficial No. 48.211. https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0123_2011.htm
- Flores, G. A. (2016). Factibilidad del sistema de alumbrado público empleando luminarias LED y alimentación solar fotovoltaica (tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/12213>
- Gómez, G. F. (2015). Análisis técnico para la implementación de procesos de interventoría de alumbrado público en el municipio de Pamplona, Norte de Santander (tesis de especialización). Universidad Santo Tomás, Bucaramanga, Colombia. <https://hdl.handle.net/11634/880>

- Hernández, S. (2015). Análisis comparativo por ciclo de vida de tres tipos de luminarias empleadas en los interiores de edificios. *Nova Scientia*, 7(14), 538-559. <https://onx.la/08d19>
- Labán, J. H. (2018). Análisis, diseño y selección de alternativas de iluminación para alumbrado público con nuevas tecnologías (tesis de pregrado). Universidad Tecnológica del Perú, Lima, Perú. <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/972>
- León, M. A. y Segura, M. C. (2018). Legalidad de la adopción del impuesto de alumbrado público previo a la expedición del Decreto 943 de 2018. *Revista del Instituto Colombiano de Derecho Tributario*, 79(55), 339-345.
- Lizano, J. P. (2016). Propuesta de un sistema de gestión de activos para el negocio de generación de energía eléctrica de la Empresa de Servicios Públicos de Heredia SA (tesis de maestría). Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio. <https://core.ac.uk/download/pdf/67745038.pdf>
- López, S. (2015). Iluminación y alumbrado público (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia. <https://onx.la/5535d>
- Montes, F. H. y Figueroa, S. B. (2018). Tensiones entre el contrato de concesión y las asociaciones público privadas para la prestación del servicio de alumbrado público. *Derectum*, 3(2), 49-71. <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/derectum/article/view/5208/4411>
- Navas, Ó. D. y Amaya, M. M. (2017). Aspectos ambientales de la prestación de los servicios públicos domiciliarios. Universidad Externado de Colombia. <https://bdigital.uexternado.edu.co/server/api/core/bitstreams/11557088-6c5f-4ab2-941c-eee345c202e2/content>
- Orellana, A. G. y Sarango, J. F. (2015). Estudio de factibilidad para el uso de energía solar y eólica en sistemas de alumbrado público para la vía de Integración Barrial, sector El Plateado servido por Empresa Eléctrica Regional del Sur (tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7872/1/UPS-CT004708.pdf>
- Sbrugnera, G. A. (2012). Eficiencia Energética en empresas de agua y saneamiento. Desarrollo sostenible de servicio y tarifa (tesis de maestría). Universidad Empresarial Siglo 21, Salta Capital, Argentina. https://repositorio.21.edu.ar/bitstream/handle/ues21/11894/Trabajo_Final_-_MBA_-_Gabriel_Sbrugnera.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Secue, J., Páez, O., Fonseca, J., & Muela, E. (2018). Análisis de Tecnologías y Normatividad de Iluminación Eficiente en Alumbrado Público. Documento de Trabajo de OLADE – DTO 2018/0. Publicación de la Organización Latinoamericana de Energía. DTO 2018/01. Copyright © OLADE, Organización Latinoamericana de Energía. <https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0411.pdf>

Serrano-Tierz, A., Martínez-Iturbe, A. M., Guarddon-Muñoz, O. y Santolaya-Sáenz, J. L. S. (2015). Análisis de ahorro energético en iluminación LED industrial: Un estudio de caso. *Dyna*, 82(191), 231-239.

Valle, L. (2015). Análisis y Evaluación de los servicios de alumbrado público y calles en la delegación de San Pablo Autopan (tesis de pregrado). Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/67883>

1 Estudiante Doctorado Desarrollo Sostenible, Universidad de Manizales. Manizales, Colombia. Correo electrónico: juandamarulanda@gmail.com - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7561-343X>
- [Google Scholar: https://scholar.google.com/citations?user=FiO4wL4AAAAJ&hl=es#d=gsc_md_eml](https://scholar.google.com/citations?user=FiO4wL4AAAAJ&hl=es#d=gsc_md_eml)

2 Doctor en Biología Molecular. Centro de Investigaciones en Medio Ambiente y Desarrollo - CIMAD, Universidad de Manizales. Manizales, Colombia. Correo electrónico: jwarboleda@gmail.com - ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6165-978X>.

3. Docente Investigador Universidad de Manizales– Doctor en Desarrollo sostenible: economía, sociedad y medio ambiente (Universidad Católica Santa Teresa de Ávila). Master en Ciencias Agrarias con énfasis en Fitomejoramiento (Universidad Nacional de Colombia). Especialista en fruticultura internacional (Universidad Politécnica de Valencia) e Ingeniero Agrónomo (Universidad Nacional de Colombia) Correo electrónico: mpolanco@umanizales.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4810-0081>, [Perfil Google Scholar: https://scholar.google.com/citations?hl=es&user=wID2cD4AAAAJ](https://scholar.google.com/citations?hl=es&user=wID2cD4AAAAJ)

Para citar este artículo: Marulanda, J. D; Arboleda, J. W; Polanco P. M.F. (2024). Evaluación técnica, financiera y ambiental de la reconversión del sistema de alumbrado público a tecnología LED en el municipio de Montenegro, Quindío. *Revista Luna Azul* (En Línea), 55, 170-195. <https://doi.org/10.17151/luaz.2022.55.11>

Esta obra está bajo una [Licencia de Creative Commons Reconocimiento CC BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



Código QR del artículo

