BID
Banco Interamericano de Desarrollo

Análisis del potencial de eficiencia energética en iluminación pública: el caso de municipios pequeños y medianos de Brasil

Martín Poveda
Arturo Alarcón

División de Energía/
Sector de
Infraestructura y Energía

NOTA TÉCNICA Nº
IDB-TN-1574

Noviembre 2018

Catalogación en la fuente proporcionada por la
Biblioteca Felipe Herrera del
Banco Interamericano de Desarrollo
Alarcón, Arturo.
Análisis del potencial de eficiencia energética en iluminación pública: el caso de municipios pequeños y medianos de Brasil / Arturo Alarcón, Martín Poveda.
p. cm. — (Nota técnica del BID ; 1574)
Incluye referencias bibliográficas.
1. Street lighting-Energy consumption-Brazil. 2. Municipal lighting-Energy consumption-Brazil. 3. Energy consumption-Brazil. I. Poveda, Martín. II. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Energía. III. Título. IV. Serie. IDB-TN-1574

Clasificación JEL: 013, L940, Q400, Q410, Q540, Q550

Palabras clave: Energía, Sector Eléctrico, Iluminación Pública, Eficiencia Energética, Tecnologías Limpias, Municipios, Brasil

Copyright © 2018 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una Licencia Creative Commons IGO 3.0 R econocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 B Y-NC-ND)

(http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa

NOTA TÉCNICA

ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ILUMINACIÓN PÚBLICA

EL CASO DE MUNICIPIOS PEQUEÑOS Y MEDIANOS DE BRASIL

NOVIEMBRE 2018

BID

NOTA: Esta publicación fue elaborada en el marco de la preparación de la operación BR-L1503 – ***Programa de Inversión en Gestión de Infraestructura Pública para Eficiencia Municipal (Programa Eficiencia Municipal)***, liderada por Karisa Maia Ribeiro, a quien extendemos nuestros agradecimientos. Asimismo, los autores quieren agradecer a Jose Antonio Urteaga, Michelle Hallack y Alexandre Novaes de la División de Energía, por la revisión y comentarios de la versión final.

Banco Inter-Americano de Desarrollo - IADB
2018

BID

INTRODUCCIÓN

A nivel global, las ciudades consumen más de dos tercios de la energía mundial y representan más del 70% de las emisiones mundiales de dióxido de carbono (CO2). Como parte de una mayor iniciativa para proteger las ciudades vulnerables al cambio climático y de aumentar los esfuerzos actuales para disminuir las emisiones de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), actualmente se gestiona la implementación de tecnologías orientadas hacia infraestructura más eficiente. Dentro de los proyectos de infraestructura, las inversiones en eficiencia energética representan una oportunidad importante y significativa para que las ciudades promuevan un uso más responsable de su energía y disminuyan sus gastos municipales. Además, dichos proyectos se gestionan a través de cambios en infraestructura, los cuales favorecen el crecimiento económico, la creación de empleo, el acceso mejorado a servicios básicos de calidad y la habitabilidad de los ciudadanos de cada comunidad.

La participación municipal en la transformación hacia las tecnologías más eficientes juega un papel clave al establecer bases para que dichas inversiones contribuyan a la transformación del mercado local. Esto se logra a través de la promoción y el respaldo de políticas, bienes y servicios de eficiencia energética, dirigidos a los sectores públicos y privados. En el caso de Brasil, aproximadamente el 76 por ciento de su población vive en centros urbanos[1] , y el 70 por ciento del PIB nacional se genera en las ciudades con más de 100,000 habitantes (IBGE, 2015). Según las estimaciones de la División de Población de las Naciones Unidas para Brasil, el crecimiento total de la población que se

1. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (IBGE, 2017)

2. Datos disponibles en: population.un.org/wup

3. Iluminando Cidades Brasileiras: Modelos de negócio para Eficiência Energética em Iluminação Pública wbg-eficienciaip.com.br/pdfs/1613639_EE_Lighting_Portuguese_Web.pdf

4. Ver 2

5. O Momento do Mercado de Iluminação Pública no Brasil Sep. 2014 www.radarppp.com/biblioteca/o-momento-do-mercado-de-iluminacao-publica-no-brasil/

espera para las próximas tres décadas será en las ciudades, donde se espera que la tasa de urbanización nacional aumente a más del 87 por ciento hacia el 2020, se agregarán alrededor de 26 millones de personas a las ciudades brasileñas, y la población urbana total será de más de 210 millones[2]. Por lo tanto, aunque las ciudades actualmente no son los mayores contribuyentes a las emisiones de GEI en Brasil, a nivel nacional, las ciudades son la fuente de mayor crecimiento[3].

A nivel global, las ciudades consumen más de dos tercios de la energía mundial y representan más del 70% de las emisiones mundiales de dióxido de carbono (CO2).

En el 2016, se estimó que en Brasil el alumbrado público tiene más de 18 millones de puntos de luz, los cuales brindan servicio de alumbrado al 94% de la población de Brasil[4]. El complejo luminotécnico instalado está formado predominantemente por lámparas de vapor de sodio de alta presión (HPS) y, en menor medida, por lámparas de vapor de mercurio[5].

La penetración de la tecnología "Light-Emitting Diode" (LED) es menor al 3%, aunque muchas ciudades ya tienen proyectos pilotos en desarrollo para implementar esta tecnología[6]. Dicha tecnología promueve la reducción de los costos de energía y la mejora del entorno nocturno con iluminación vial eficiente. El diodo emisor de luz posee potencia luminosa con un alcance aún mayor que las tradicionales fuentes de luz. Además, por su mayor tiempo de vida, las lámparas LED generan ahorros significativos en mantenimiento y mano de obra.

TABLA 1.
COMPARACIÓN DE TECNOLOGÍAS LA ILUMINACIÓN PÚBLICA[7]

Tipo de Tecnología	*LED*	*HPS*	*Haluro Metálico*	*Inducción*
Costo por iluminaria (USD)	225 a 332	56	99	280
Potencia	105	150	163	109
Cantidad de focos por 100,000 h de uso	1.7	4.17	8.28	1
Cantidad de CO2 por 100,000 h de uso (millón Kg)	300	450	500	320
Cantidad de NO x por 100,000 h de uso (millón Kg)	1.1	1.6	1.7	1.15
Cantidad de Clorofluorocarbonos (CFCs) por 100,000hrs de uso (kg) [8]	4.5	6.4	6.8	4.7
Ecotoxicidad (millón Kg de PM2.5/100,000 h)	175	240	260	180
Color temperatura, brillo (Grados Kelvin)	5,000	2,000	3,000-4,000	5,000
Vida Útil (Número de horas promedio) [9]	50,000	15,000	10,000	15,000

También, dicha tecnología es adecuada para ofrecer efectos lumínicos decorativos en zonas vehiculares y peatonales transitadas. Su principal característica positiva es la luz blanca e intensa que ayuda y mejora la visualización. Además, la vida útil de estos productos llega en promedio a 50.000 mil horas dependiendo del fabricante, disminuyendo considerablemente el descarte de lámparas y los gastos asociados al mantenimiento.

Es importante destacar el impacto potencial de la tecnología LED en el alumbrado público en Brasil, considerando que la iluminación pública en Brasil corresponde al segundo mayor gasto público en energía, según los datos de Eletrobras[10].

Sin embargo, pocos municipios y servicios públicos han aprovechado con éxito esta oportunidad para convertir sus operaciones de alumbrado público a la tecnología LED. Antes de que se produzca una conversión de lámparas en todo el sistema de alumbrado público, una empresa debe identificar los equipos apropiados para cubrir las necesidades lumínicas de la municipalidad/región que desea el cambio de tecnología. Esto empieza a través de la creación de un catastro, en caso de que no exista, el cual permite tener un inventario de los equipos y tecnología en vigencia.

En Brasil, el caso más emblemático es el de la ciudad de Río de Janeiro la cual consume un 60% más en iluminación pública que Nueva York, aunque tiene casi dos millones de habitantes menos.

Una vez identificado el inventario y las necesidades lumínicas de la región se hace un diseño adecuado de la infraestructura basado en las prestaciones de la tecnología LED, a fin de obtener el diseño óptimo (altura de postes, separación) para la luminosidad deseada. Finalmente, la empresa o el municipio debe obtener una gran cantidad de capital financiero, considerar cambios en las estructuras de tarifas de servicios públicos y diseñar métodos efectivos para recuperar la inversión. Como se ha demostrado, en experiencias similares, esto se puede estructurar financieramente a través de ESCOs (Energy Services Companies), concesión del servicio a privados, Alianzas Publico Privadas y adquisiciones directas.

En Brasil, el caso más emblemático es el de la ciudad de Río de Janeiro la cual consume un 60% más en iluminación pública que Nueva York, aunque tiene casi dos millones de habitantes menos[11]. Más aún, cabe mencionar que la densidad poblacional de Río de Janeiro es de 5,265 pp / km2 y de Nueva York es de 10,431 pp / km2. Por lo tanto, Nueva York es 98% más densa que Río de Janeiro, lo que puede criar un ahorro en la iluminación pública por economías de escala, creando mayores diferencias si el análisis se realiza en gasto de iluminación pública per cápita. Los beneficios de la eficiencia en la iluminación pública son claros, y como ha sido manifestado en varios estudios recientes, las lámparas de iluminación pública de esta ciudad se pueden sustituir por iluminación LEDs (de bajo consumo), las cuales podrían ahorrar 255 millones de reales (USD75 millones) al año y 110.000 toneladas de emisiones de CO2[12].

6. Infraestrutura Urbana-Reluz Financia iluminação publica infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/11/reluz-financia-iluminacao-publica-programa-do-governo-federal-viabiliza-245144-1.aspx

7. University of Pittsburg LED Street-Lights are Greenest Choice, Life-Cycle Study Shows www.treehugger.com/interior-design/led-street-lights-are-greenest-choice-life-cycle-study-shows.html

8. Fator emissão de 0,0817 (kgCO2/Wh) sienpro.catalao.ufg.br/up/1012/o/Mauro_Lúcio_Pereira_Medina_Filho.pdf

9. LED Watt Conversion Chart www.californialedsolutions.com/resources-watt-conversion-chart.html

A. OPORTUNIDADES

Alto costo de la energía y costos decrecientes para la tecnología LED.

La oportunidad de invertir en iluminación pública en Brasil, es cada vez más viable, dados los aumentos en los precios de la energía eléctrica. La economía de escala en la fabricación de lámparas LED ha creado una tendencia a la baja de los precios de los equipos LED, así reduciendo la inversión necesaria para la conversión a lámparas LED. Mientras, la energía eléctrica viene siendo más cara en Brasil, lo que aumenta los beneficios económicos de proyectos que tengan como resultado la reducción del consumo de electricidad. En la siguiente subsección se analiza la tarifa de la energía eléctrica para la iluminación pública y su evolución reciente en Brasil.

La determinación de la tarifa aplicable al suministro de energía eléctrica corresponde en Brasil a la Agencia Nacional de Energía Eléctrica (ANEEL), la cual es una agencia reguladora federal. ANEEL dividió la tarifa de energía por grupo de consumidores, en función de la tensión. La iluminación pública está en el subgrupo B4, que se dividen en:

a. B4a

Es la tarifa aplicable cuando los activos de iluminación pública son propiedad del municipio (esta es la situación para la totalidad de los municipios en este momento). Cuando se terceriza servicios relacionados a la iluminación pública, como el mantenimiento, dicha tarifa se mantiene ya que los municipios son los dueños de los activos.

b. B4b

Era la tarifa aplicada mientras los activos de iluminación pública eran propiedad de las distribuidoras, la cuál era la modalidad anterior. Se estima que esta tarifa fue aproximadamente un 10% superior a la B4a, y esa diferencia era usada para cubrir los costos del servicio de operación y mantenimiento del parque de iluminación pública por la distribuidora. Con la Resolución Normativa 414/2010 de la ANEEL, esta tarifa ceso de existir.

10. Plano de aplicação de recursos – PROCEL 2017 www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2017/docs/rel_procel2017_web.pdf

11. This Latin American city consumes more energy for public lighting than New York www.worldbank.org/en/news/feature/2016/04/21/streets-of-this-latin-american-city-use-more-electricity-than-new-york

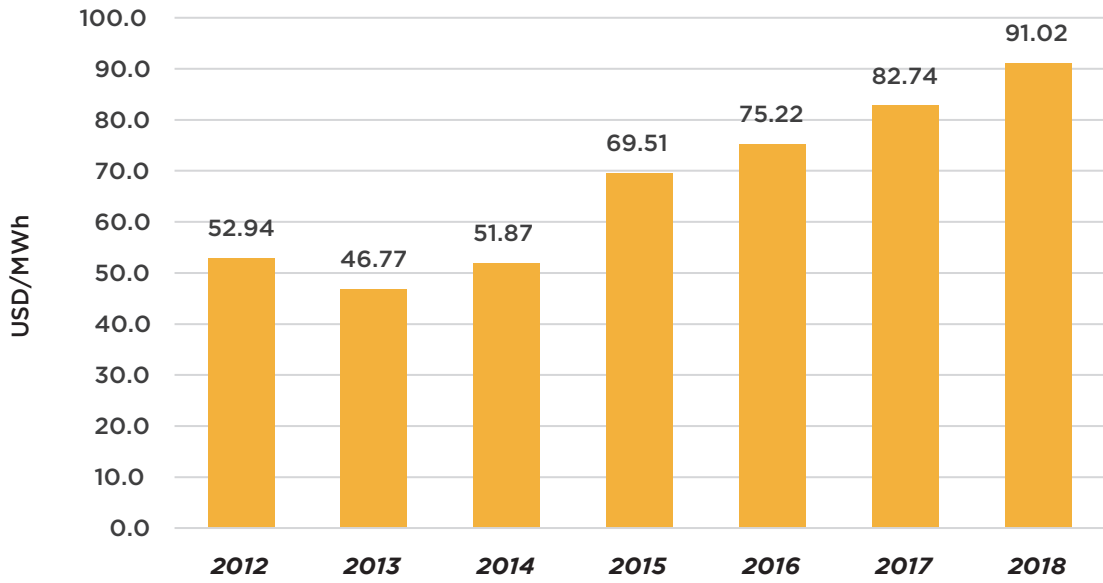
12. Tool for Rapid Assessment of City Energy - Realizing Energy Efficiency Opportunities in Rio de Janeiro http://www.esmap.org/sites/esmap.org/files/DocumentLibrary/TRACE_Rio_De_Janeiro_Deployment.pdf

El costo promedio de la energía eléctrica para la iluminación pública subió un 42,1% entre el 2012 y el 2016 de USD53,70/MWh a USD 76,30/MWh (de R$182,54/MWh hasta R$259,38/MWh), tras una subida anual del 8,2% para el 2016.

La manera actual en Brasil para calcular los precios de la electricidad de cada área de concesión está basada en la siguiente metodología. A diferencia de otras categorías de consumidores, en las que la facturación se realiza sobre la base del consumo efectivo medido y calculado sobre la base de la tarifa correspondiente, en la iluminación pública, las concesionarias de distribución no están obligadas a instalar medidores. En muchos casos, el consumo de energía eléctrica por la red de iluminación pública se estima en base al inventario de equipos instalados y en su potencia. El total calculado de la potencia de los equipos instalados se multiplica por un número fijo de horas de uso diario, para generar un valor estimado de kWh/día consumido por los servicios de alumbrado público.

El costo promedio de la energía eléctrica para la iluminación pública subió un 42,1% entre el 2012 y el 2016 de USD53,70/MWh a USD 76,30/MWh (de R$182,54/MWh hasta R$259,38/MWh), tras una subida anual del 8,2% para el 2016.[13] Desde el 2016 al 2018, se estima que las tarifas eléctricas para la iluminación pública se incrementaron en promedio un 10% anual.[14] Desde el punto de vista de los consumidores, las alzas en los costos de la electricidad para la iluminación pública se han traducido en un incremento en sus tarifas de hasta un 200%.[15] Actualmente, Brasil es uno de los países con el costo de electricidad más alto. La tarifa industrial y residencial promedio en Brasil es de USD117,83 por MWh. El valor es un 46% superior al promedio internacional, de USD80,77por MWh.[16]

GRÁFICO 1.
PRECIO DE ENERGIA ELECTRICA PARA LA ILUMINACIÓN PUBLCA EN BRASIL (USD/MWH)[17]



Fuente: elaboración propia, datos IBGE

Además, la tecnología LED disminuye notablemente los costos de mantenimiento, ya que los equipos LED tienen una vida útil, en promedio, tres veces superior a otras tecnologías convencionales. Los costos de mantenimiento representan gastos mayores para las municipalidades. Según el Frente Nacional de Prefectos, el costo de mantenimiento de cada punto de iluminación para las distribuidoras de energía es del orden de USD 0.44 por punto al mes. [18]

Incentivos económicos para que los municipios inviertan en sus activos a través de Alianzas Público Privadas

17. Brazilian Institute of Geography and Statistics" (PDF). 2016. Retrieved 27 August 2017. 2016 Estimates of Population ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2016/estimativa_dou_2016_20160913.pdf

18. Iluminação Pública: Guia do Gestor – Governo do São Paulo dadosenergeticos.energia.sp.gov.br/portalcev2/intranet/BiblioVirtual/eletrica/Cartilha_Ilumincao_Publica.pdf

Más del 40% de los municipios de Brasil se beneficiaron por el marco legal (establecido en 2010) que permite la transferencia de activos de alumbrado público (ver sección marco legal), la cual transfiere la propiedad y responsabilidad de los activos de iluminación pública a las municipalidades. En comparación con los servicios eléctricos, esto les da a los municipios incentivos económicos para que puedan proveer los servicios de alumbrado público de manera más eficiente a través de la reducción de costos; además, los hace responsables por los costos y mantenimiento de dichos activos. A través de dicho marco legal, se creó una base de clientes potenciales muy grande para empresas que se especializan en alumbrado público eficiente. Dichos municipios tienen ingresos asignados hacia el alumbrado público, que pueden ser estructurados a través de alianzas públicas privadas o contratos de concesiones para reemplazar la infraestructura energética hacia un sistema de iluminación más eficiente. Adicionalmente, se considera una práctica muy positiva, el crear retenciones estatales y federales para crear garantías para los pagos en caso de que fallen los flujos del COSIP. Esto limitaría mucho los riesgos financieros y políticos para este tipo de proyectos, lo cual haría mucho más atractivo invertir por parte del sector financiero privado. La banca privada ve estas iniciativas como compromisos más fuertes de parte de los gobiernos hacia reponer el capital financiero usado para costear la infraestructura.

En comparación con los servicios eléctricos, esto les da a los municipios incentivos económicos para que puedan proveer los servicios de alumbrado público de manera más eficiente a través de la reducción de costos; además, los hace responsables por los costos y mantenimiento de dichos activos.

Cabe recalcar que el gobierno de Brasil tiene varios programas para financiación de infraestructura a través de alianzas público-privadas las cuales benefician a los proyectos de iluminación pública. Un ejemplo es el caso del Fondo de Garantía de Infraestructura (FGIE) el cual da ayudas económicas y crea garantías para las industrias navales, de energía y de alianzas público-privadas. Dicho fondo tiene el objetivo de parcialmente garantizar los retornos en las inversiones de capital privado y promover inversiones a través de incentivos económicos para estudios.[19]

Los siguientes son los valores que el Fondo de Garantía de Infraestructura da a proyectos de infraestructura, incluyendo iluminación pública. Dichos valores están sujetos aprobación.[20]

- Los municipios con hasta 20,000 habitantes pueden presentar propuestas con un valor mínimo de USD160,000 (R$500,000) y un máximo de USD1,6M (R$5M).

- Para las ciudades con población de entre 20 mil y 60 mil, el mínimo es U$D320,000 (R$1M) y el máximo USD4,8M (R$15million).

- Ciudades con población superior a los 60 mil hasta 100 mil habitantes, la cantidad financiada es de entre USD320,000 (R$1M) y USD4,641,642 (R$20 millones).

- Para los municipios que tienen más de 100 mil habitantes hasta 250 mil habitantes, se puede financiar desde USD320,000 (R$1M) a USD 9,624,639 (R$30 millones).

- Para municipalidades con mayor cantidad de habitantes es necesario que el presentar los proyectos directamente a la administración del fondo para obtener recursos.

19. Governo cria fundo garantidor de infraestrutura estatal de seguros https://oglobo.globo.com/politica/governo-cria-fundo-garantidor-de-infraestrutura-estatal-de-seguros-3013095

20. Fundo Garantidor de Infraestrutura http://www.abgf.gov.br/negocios/fundo-garantidor-de-infraestrutura/

Recursos económicos específicos asignados para pagar el alumbrado público

En diciembre de 2002, una enmienda constitucional permitió la recaudación de una contribución (similar a un impuesto) para el servicio de alumbrado público (CIP o COSIP) para los municipios y el Distrito Federal, con el exclusivo propósito de pagar los servicios de alumbrado público.

Este recurso vallado se debe usar para pagar el suministro de electricidad, así como también para su mantenimiento, instalación y mejora del equipo de alumbrado público.

Además, existen incentivos económicos de parte del gobierno de Brasil, como garantías para mitigar la falencia de pagos. Inicialmente, la legislación permite la recolección del COSIP a los consumidores directamente a través de su factura de electricidad. Estudios llevados a cabo por empresas privadas y organizaciones en Brasil, mostraron que desde el 2014 más de 300 municipios brasileros ya recaudan el COSIP. Además, muchos otros municipios, tienen proyectos de ley ya encaminados para implementar el COSIP.[21]

Cuando los municipios cuentan con el COSIP, dan seguridad financiera y legal para las ESCOs (Energy Services Companies) e inversionistas, ya que los recursos necesarios para pagar los gastos del servicio de alumbrado público quedan asegurados. Lo cual permite a las empresas y bancos usar dichos pagos como garantía en modelos comerciales con financiamiento del sector privado (por ejemplo, pagos de préstamos, pagos al concesionario en el caso de estructurar una APP, etc...).

21. *O Momento do Mercado de Iluminação Publica no Brasil www.radarppp.com/biblioteca/*

Políticas climáticas nacionales alineadas al COP-21

Como parte de la iniciativa internacional del COP-21, hacia mitigar el cambio climático, Brasil se comprometió a hacer la transición de su matriz energética hacia las energías renovables y eficiencia energética, con el objetivo de que la matriz tenga el 45% de las fuentes de energía renovables para 2030. Para alcanzar dichas metas, Brasil estableció el objetivo de implementar ganancias en eficiencia energética, en el sector eléctrico, del 10% hacia el 2030 desde el año 2015. Se estimada que para alcanzar dicha meta, el cambio e implementación de sistemas eficientes de alumbrado público podría generar la quinta parte de dichas ganancias en eficiencia energética.

Brasil estableció el objetivo de implementar ganancias en eficiencia energética, en el sector eléctrico, del 10% hacia el 2030 desde el año 2015.

Desafíos hacia la implementación de la tecnología LED en el parque de iluminación Pública de Brasil

A pesar de las grandes oportunidades existentes, aún persisten desafíos de naturaleza institucional para que se pueda invertir en la conversión de los parques de iluminación pública en las ciudades brasileras. Los desafíos incluyen un nivel de inversión elevado, la limitada capacidad financiera de los municipios y dificultades de acceso a la financiación pública y privada. Dentro del marco técnico, no hay asistencia técnica disponible, y algunos de los estándares técnicos aún no han sido consolidados por las instituciones oficiales brasileras, aunque la tecnología ya esté disponible a nivel nacional.

Sin embargo, cabe recalcar, que ya existen experiencias exitosas en la implementación a mediana y pequeña escala de iluminación pública LED en América Latina. El caso de la ciudad de Buenos Aires, el cual es uno de los proyectos más exitosos que demuestran que la implementación a larga escala de esta tecnología ayuda a bajar los costos de los equipos y los costos de la electricidad a la ciudad. Además, muchas municipalidades pequeñas en países como México, Colombia y Chile ya utilizan la iluminación LED como una práctica común en sus sistemas de iluminación pública.

Muchas municipalidades pequeñas en países como México, Colombia y Chile ya utilizan la iluminación LED como una práctica común en sus sistemas de iluminación pública.

En el ámbito financiero, el principal desafío para cualquier proyecto de alumbrado público es el costo, el cual es relativamente alto en su etapa inicial. Este desafío existe inclusive cuando el proyecto de conversión de equipos presenta la viabilidad económico-financiera debido a que los ahorros en la energía generada y la reducción de costos con el mantenimiento se manifiestan durante la vida de proyecto. Por ende, para poder capitalizarse a través de dichas ganancias los equipos deben estar implementados y en funcionamiento por un periodo definido de tiempo.

Inicialmente, los municipios cuentan con información limitada sobre los cadastros e inventarios de los activos de iluminación pública. Para poder evaluar los costos totales de la implementación de la iluminación pública a través de la tecnología LED, se debe hacer un levantamiento catastral sofisticado, ya que esto permitiría tener mediciones de GPS de cada punto de luz existentes y de la misma manera permitiría hacer cálculos más exactos para cumplir las necesidades lumínicas del proyecto. Esto se conoce como “Investment Grade

Para aumentar los incentivos económicos hacia la implementación de dichos proyectos, el gobierno federal de Brasil estableció dos programas de eficiencia energética. PROCEL-Reluz, administrado por Eletrobrás y PEE - Programa de Eficiencia Energética, administrado por las empresas eléctricas y ANEEL.

Energy Audit" el cual describe en detalle los costos y equipos necesarios para el remplazo de las lámparas, cambios de postes y modelación a través de software especializado para la iluminación con lámparas LED.

Para aumentar los incentivos económicos hacia la implementación de dichos proyectos, el gobierno federal de Brasil estableció dos programas de eficiencia energética. PROCEL-Reluz, administrado por Eletrobrás y PEE - Programa de Eficiencia Energética, administrado por las empresas eléctricas y ANEEL.
Particularmente, Procel-Reluz el cual es un fondo federal establecido con recursos del sector energético (conocido como RGR), tiene el propósito de financiar la modernización de sistemas de iluminación pública. Dicho fondo financia hasta un 75% de los proyectos, a través de las concesionarias de energía eléctrica, transmisoras y generadoras, con participación de las municipalidades dueñas de los activos.
Actualmente, Procel-Reluz está en proceso de examinación de su convocatoria de propuestas hacia la iluminación pública, la cual toma en cuenta financiamiento para 6 modelos económicos para Brasil basados en modelos propuestos a través de iniciativas de Grupo Banco Mundial. Dichos modelos son basados en consorcios para municipios, financiamiento directo y alianzas público privadas, con un total disponible de USD5,136,030 (R$17,538,000). [22]

22. *Chamada Pública Procel Reluz 2017 - Iluminação Pública a LED eletrobras.com/pt/Paginas/Chamada-Publica-Procel-Reluz.aspx*

A nivel nacional, el Programa de Eficiencia Energética (PEE), es una iniciativa que creó la obligación de invertir y establece que los servicios públicos deberán invertir, al menos, el 0,5% de sus ingresos operativos netos en actividades destinadas a la eficiencia energética. De acuerdo con la regulación del PEE, los servicios públicos deben seleccionar proyectos de eficiencia energética dentro del alcance del derecho aplicable y enviarlos a ANEEL para su aprobación. Recientemente, ANEEL estableció una selección competitiva de proyectos de eficiencia energética para parte de los recursos del PEE, con el propósito de impulsar a las empresas de servicios públicos a seleccionar acciones de eficiencia energética.

Dentro de lo que cabe los municipios en Brasil son dueños de los activos de alumbrado público. Por eso, en última instancia son responsables del pago de los costos relacionados con la inversión.

Los municipios y entidades públicas de Brasil cuentan con limitaciones definidas hacia el acceso a fuentes alternas de financiamiento. Existen importantes restricciones de financiamiento impuestas a los municipios brasileros debido a la Ley de Responsabilidad Fiscal. La ley de “Receita Corrente Líquida” – (RCL) es particularmente diseñada a limitar la deuda de los municipios al 16% de sus ingresos netos. Dentro de dicho marco legal existen algunas excepciones, como el financiamiento de organismos multilaterales, instituciones federales, bancos de crédito o de desarrollo, siempre que sean para proyectos de inversión que mejoren la administración de activos, ingresos, impuestos y finanzas. Dentro de este marco, los proyectos de alumbrado público eficiente están considerados dentro de dichas excepciones. Esto se debe a que, al igual que los recursos destinados a la modernización fiscal, las inversiones en eficiencia energética mejoran la situación fiscal de los municipios, ya que, a largo plazo reducen sus gastos corrientes.

La existencia del COSIP no elimina por completo el riesgo de un proyecto.
El COSIP puede enfrentar fragilidades, como la posibilidad de que estos ingresos sean congelados o reducidos por las agencias de supervisión.

Adicionalmente, las líneas de crédito municipales están sujetas a la evaluación de riegos que las agencias crediticias dan a entidades públicas y privadas. El riesgo de crédito municipal es uno de los desafíos más difíciles de superar para atraer capital del sector privado a proyectos públicos. Los proyectos de alumbrado público están sujetos a los mismos estándares los cuales son prácticas financieras internacionales. Dentro de lo que cabe los municipios en Brasil son dueños de los activos de alumbrado público. Por eso, en última instancia son responsables del pago de los costos relacionados con la inversión. Los inversionistas, y entidades financieras se basan en el crédito municipal y al riesgo político para tomar en cuenta si consideran invertir en dichos proyectos y a que costo.

Por ende, el objetivo del COSIP es limitar el riesgo de pago hacia los inversionistas y entidades financieras, que proporcionan una fuente de recursos para uso exclusivo en alumbrado público. Aunque dicho mecanismo mitiga el riesgo de la falta de pagos hacia los proyectos de alumbrado público, no limita todos los riesgos implicados dentro de la implementación de dichos proyectos.

Como se explicó anteriormente, la existencia del COSIP proporciona una fuente de recursos para uso exclusivo en alumbrado público, una situación que no se encuentra en la mayoría de los otros sectores municipales.

No obstante, la existencia del COSIP no elimina por completo el riesgo de un proyecto. El COSIP puede enfrentar fragilidades, como la posibilidad de que estos ingresos sean congelados o reducidos por las agencias de supervisión. Por ende, muchos municipios han manifestado que los recursos del COSIP pueden ser limitados. Por eso, cabe recalcar la importancia sobre una buena diligencia de los municipios para establecer buenas leyes y marcos legales para el COSIP a nivel local, con los recursos suficientes para cubrir los gastos incurridos. Aunque esto represente cierta garantía financiera para los inversionistas y entidades financieras, generalmente garantías adicionales van a ser requeridas, especialmente en municipios con capacidad financiera reducida.

Retenciones estatales y federales para crear garantías para los pagos en caso de que falle el COSIP, son mecanismos que ayudan a mejorar la viabilidad de estos proyectos.

Dado que los modelos de negocios para la iluminación pública eficiente son mayormente basados en endeudamiento por parte de empresas privadas y gobiernos locales, existen riesgos como la falta de pago a largo plazo. Esto afecta mucho los incentivos de la banca y empresas privadas al implementar estas tecnologías. Por ende retenciones estatales y federales para crear garantías para los pagos en caso de que falle el COSIP, son mecanismos que ayudan a mejorar la viabilidad de estos proyectos.

B. MARCO REGULATORIO

En Brasil, el sector eléctrico está regulado por estatutos federales promulgados por el Congreso Nacional, así como por regulaciones establecidas por ANEEL. Los servicios de electricidad se rigen por el Reglamento 414/2010 de ANEEL, en el que las unidades de consumo se clasifican según el tipo de uso de electricidad, es decir, residencial, industrial, comercial, rural, gubernamental, de alumbrado público, servicios públicos y consumo propio.

Las unidades de consumo también se dividen en dos grupos según la cantidad de electricidad consumida. El Grupo A es de unidades consumidoras suministradas con tensiones iguales o superiores a 2,3 kV, que están conectadas al sistema de distribución en tensión secundaria, caracterizadas por una tasa binomial que incluye el pago por el consumo y la capacidad. El Grupo B son unidades de consumo con tensiones inferiores a 2,3 kV, caracterizadas por una tasa única que no distingue el consumo de energía o la demanda; se dividen en subgrupos B1 - residencial, B2 - rural, B3 - otras clases, y B4 - alumbrado público. Por lo tanto, la tasa para el suministro de energía de alumbrado público es la tasa B4a.10

ANEEL anualmente establece y publica las tarifas aplicables a cada tipo de consumidor, ajustadas de acorde con el acuerdo de concesión establecido entre el gobierno federal y la concesionaria. El acuerdo de concesión también prevé una revisión de tasa multianual bajo un régimen de tope de precios. Las unidades de consumo pueden cobrar una tarifa convencional, que es una cantidad fija por kWh, o una tarifa por hora, que varía según la hora del día en que se consuma la electricidad. En el caso del alumbrado público, se aplica una tarifa fija y convencional (artículo 56-A, regla 414/2010).

Legislación relacionada con Asociaciones Público Privadas y Financiamiento de Concesiones del Alumbrado Público Eficiente

En Brasil se permite la concesión de servicios municipales bajo la ley 8.666 o Licitación (Ley 10.520 / 01) en la cual establece, todos los servicios de alumbrado público serán prestados por los ayuntamientos, ya sea directamente o mediante contratación externa. Actualmente, muchas municipalidades están externalizando los servicios de mantenimiento al sector privado, en cumplimiento del marco legal establecido por la ley. Actualmente, ya muchos municipios de Brasil tercerizan los servicios de mantenimiento y de menor manera el alumbrado público.

Bajo el marco de la ley 8.666 / 93 para adquirir equipos y servicios LED y de sistemas inteligentes, la empresa eléctrica, en conjunto con el municipio, podrían emitir una licitación por los “servicios energéticamente eficientes” de alumbrado público. El ganador de la oferta será responsable de la adquisición, instalación y/o mantenimiento eficiente de los LED y el sistema inteligente. En el caso donde la Ley 8.666 / 93 se usa para comprar equipos y servicios de LED, presenta falencias como el hecho que no aborda expresamente los contratos de desempeño. Bajo este marco legal, es un desafío vincular los pagos conforme a un contrato con el rendimiento real de la eficiencia energética del proyecto. La ley no especifica dichos contratos y queda a disposición de la legislación municipal. De la misma manera, la duración máxima de un contrato para adquisiciones es de cinco años, lo cual limita el tiempo posible para contrataciones. Por lo tanto, las municipalidades aún enfrentarán un desajuste entre la duración del contrato y la ley.

De la misma manera los municipios también pueden tercerizar la inversión, operación y mantenimiento de su sector de alumbrado público a través de una concesión administrativa, o Alianza Pública Privada (APP). De acuerdo con la Ley 11.079 / 04, las municipalidades tienen las potestades para definir el modelo de negocio APP, siempre que cumpla con la legislación. Ya existen algunas concesiones de alumbrado público eficiente en algunas municipalidades medianas, y sirven como ejemplos de concesiones exitosas para algunas de las ciudades capitales de Brasil. Actualmente, hay 138 ciudades con concesiones en curso en alumbrado público, entre ellas: Maceió (AL), Uberaba (MG), São Paulo (SP), Contagem (MG) y Vitória (ES). Belo Horizonte (MG) sería la primera capital de Brasil con tener todo su parque de iluminación pública con luces LED.[23] Sin embargo, hay factores limitantes en este modelo en ciudades, por su solvencia. Ahora las municipalidades poseen la propiedad de los servicios, así como la obligación de administrar los activos y prestar servicios adecuados a la población.

De acuerdo con el artículo 149-A de la Constitución federal, modificado en 2002, los municipios tienen derecho a crear por ley local un impuesto denominado Contribución para el Custodio del Servicio de Iluminación Pública, COSIP (Contribución a los Servicios de Alumbrado Público) con el exclusivo propósito de financiar los servicios de alumbrado público. Los municipios tienen el derecho de adoptar una ley local para permitir la recolección del COSIP y los flujos de caja necesarios para el pago de la inversión en la nueva infraestructura.

23. *PPPs desenvolvem projetos para troca de iluminação publica www.radarppp.com/realizacoes/radar-ppp-na-midia/valor-ppps-sao-desenvolvidas-para-troca-de-iluminacao-publica/*

2. ESTUDIO ESTADÍSTICO DE LOS MUNICIPIOS

Metodologías y Resultados

Brasil cuenta con 5,570 municipios con diferentes características socioeconómicas marcadas, como nivel de ingresos, número de habitantes, políticas sociales, desarrollo y actividades económicas. Por ende, para tomar en cuenta posibles inversiones e implementación de proyectos de alumbrado público eficiente LED, este estudio se enfoca en crear una visión macro de estos factores y como dichos factores juegan un papel esencial como variables endógenas que permitirán a inversionistas, entidades financieras, oficiales del gobierno y constructores tener una visión macro del sistema de alumbrado público a nivel nacional.

Brasil cuenta con 5,570 municipios con diferentes características socioeconómicas marcadas, como nivel de ingresos, número de habitantes, políticas sociales, desarrollo y actividades económicas.

En consecuencia, este estudio basó su metodología estadística usando variables disponibles a nivel nacional, gracias a la excelente información recopilada por el gobierno de Brasil, fuentes independientes y por ende creando datos relevantes para el tener conclusiones objetivas del impacto de la implementación de estas tecnologías a través de gobiernos locales. Tomando en cuenta esta premisa, se usaron las siguientes variables base: la cantidad de habitantes de cada municipio, costo de la electricidad para el alumbrado público municipal (desde el 2006 hasta el 2016), consumo eléctrico municipal y gastos municipales totales. Dada la importancia de resaltar el impacto del alumbrado LED en municipalidades pequeñas, se hace referencia al tamaño de las poblaciones municipalidades como variable principal.

Para objeto de nuestro análisis, se agruparon a los municipios en función de su cantidad de habitantes, lo cual permitió definir 4 grupos diferentes (Mas de 500.000 Habitantes, Entre 500.000 y 50.000 Habitantes, Entre 50.000 y 20.000 habitantes, menos de 20.000 habitantes) y por ende tener un mejor entendimiento de la dinámica de las variables base y cifras resultantes para municipalidades pequeñas y medianas.

Dentro de lo que cabe, este estudio tomo en cuenta varios factores para desarrollar una metodología consistente que permitirá la visualización de manera pragmática y en detalle, de cuál sería el impacto del cambio de luminarias en las municipalidades de Brasil, basados en varios factores socioeconómicos y estadísticos. Inicialmente, se tomó en cuenta las 5,570 municipalidades que existen en Brasil, de las cuales se extrapolo información referencial al consumo de la iluminación pública para cada municipio del "Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017 año base 2016". Dicho documento es una excelente recopilación del consumo eléctrico anual del Brasil, el cual detalla los consumos de los gobiernos municipales por sus diferentes categorías. Una vez obtenida dicha información los municipios, se sub-agruparon dichas variables por número de habitantes (4 grupos propuestos inicialmente) y se extrapolo de cada subgrupo el numero potencial de iluminarias actualmente utilizadas considerando un marco general de las tecnologías actualmente disponibles en Brasil.

Como resultado de este análisis, obtuvieron las tablas 2 y 3 las cuales detallan la demanda actual de los municipios en KWh por tamaño de municipio y la cantidad de puntos de luz en promedio para cada subcategoría de municipalidades. Dicha información fue discernida y extrapolada con factores económicos para corroborar que los consumos estén acorde a las actividades económicas de cada grupo de municipalidades.

Esta metodología nos permite destacar la importancia de la implementación del alumbrado público eficiente LED en pequeñas municipalidades. Dicho análisis destaca que las municipalidades más pequeñas tienen un mayor consumo eléctrico proporcional que municipalidades con mayor población. Por ende, la importancia del desarrollo de implementación de dichas tecnologías en Brasil y la asistencia técnica a dicho grupo sería de alto impacto.

Tomando en cuenta los consumos eléctricos de las municipalidades de manera individual, por las subcategorías basados en la población y además desde un punto de vista general se desarrollaron las tablas 4 y 5 las cuales detallan el consumo eléctrico del alumbrado público respecto a otros rubros municipales. Cabe recalcar que el alumbrado público es el rubro más grande en términos de la electricidad consumida además de ser el segundo gasto más grade para las municipalidades. Dicho dato fue reportado por las autoridades de municipales y es discutido más en detalle a través de este reporte.

Esta metodología nos permite destacar la importancia de la implementación del alumbrado público eficiente LED en pequeñas municipalidades. Dicho análisis destaca que las municipalidades más pequeñas tienen un mayor consumo eléctrico proporcional que municipalidades con mayor población. Por ende, la importancia del desarrollo de implementación de dichas tecnologías en Brasil y la asistencia técnica a dicho grupo seria de alto impacto

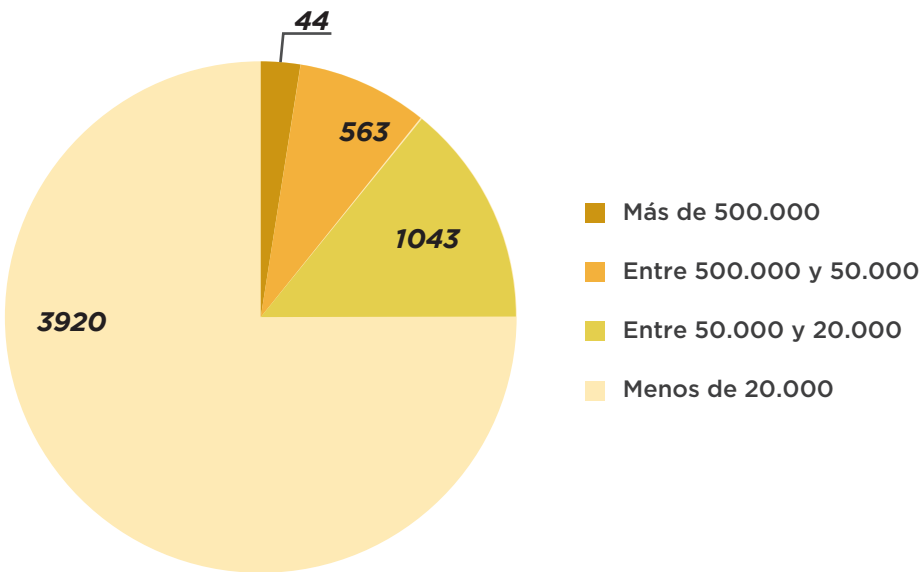
Adicionalmente, dicha información fue usada para extrapolar los precios de la electricidad en el alumbrado público en Brasil. Dicho dato está disponible de manera regresiva para años previos (2006-2016) y basados en dicha información el costo de la electricidad fue extrapolado para poder ser utilizado en el modelo, para dar una cifra acertada de cómo sería implementar un proyecto de alumbrado público desde el punto de vista financiera; lo cual les permite a las autoridades, banqueros y desarrolladores tomar en cuenta un modelo real que facilitaría el planeamiento del alumbrado público.

De la misma manera, dicha información fue usada para calcular el gasto actual en las municipalidades de manera general y respecto a otros rubros. Cabe desatacar que de manera macro y debido a los cambios legislativos los cuales han agregado varias responsabilidades y gastos adicionales a las municipalidades, el alumbrado público refleja ser menos de un 1% como se puede ver en las tablas en este informe. Sin embargo, cabe destacar que desde un punto de vista pragmático, el alumbrado público es uno de los rubros y gastos que más impacta las municipalidades de Brasil. Esto se discute más detalle en diferentes secciones de este documento donde se señala las opiniones de los alcaldes respecto al manejo financiero de sus distritos y como el alumbrado público afecta los gastos públicos de las municipalidades en general.

Para la estadística en el tabla 2, se llevó a cabo el cálculo de la cantidad de puntos de luz por tipo de municipio, en el cual se tomó en cuenta una distribución basada en el consumo de electricidad en la iluminación pública para el 2016 por tipo municipio.

GRÁFICO 2.

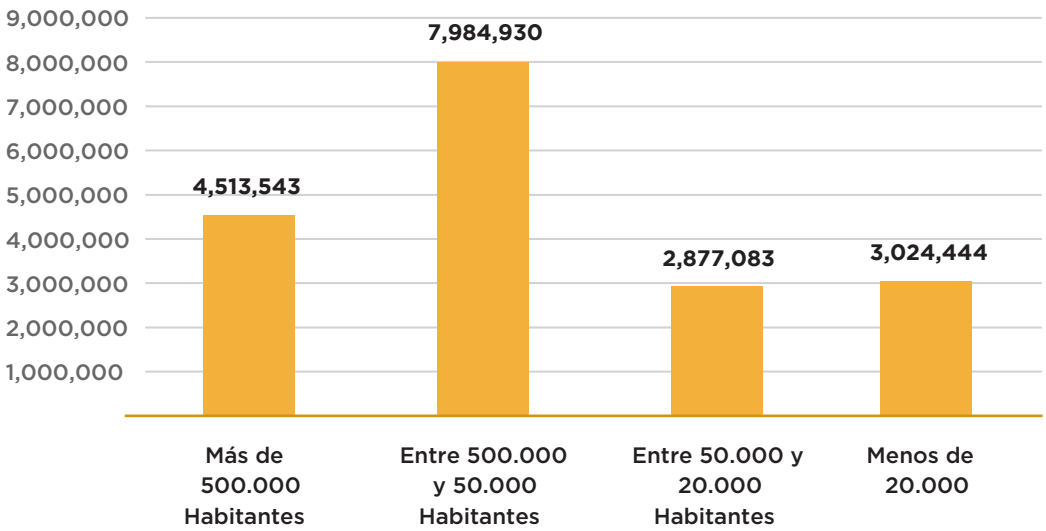
NÚMERO DE MUNICIPIOS POR NÚMERO DE HABITANTES[24]



24. *Brazilian Institute of Geography and Statistics" (PDF). 2016. Retrieved 27 August 2017. 2016 Estimates of Population ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2016/estimativa_dou_2016_20160913.pdf*

Basados en dichos factores, la distribución del Gráfico 3 muestra la estimación del total de puntos de luz, proporcional a sus habitantes.

GRÁFICO 3.
DISTRIBUCIÓN DE PUNTOS DE LUZ POR TAMAÑO DE MUNICIPALIDADES



25. *Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017 ano base 2016 http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2017vf.pdf*

Tabla 2.
MUNICIPALIDADES Y DISTRIBUCIÓN DE VARIABLES RELEVANTES AL MODELO

Conclusiones del estudio estadístico sobre los municipios y el alumbrado público eficiente en Brasil.

Tipo de municipio	*Población por tipo de municipio*	*Puntos de luz por tipo de municipio*	*Población para municipalidad promedio*	*Puntos de luz para municipalidad promedio*	*Demanda anual actual de la iluminación pública (KWh, por tipo de municipio)* [25]
Más de 500.000 Habitantes	62,619,680	4,513,543	1,433,092	127,597	3,688,104,000
Entre 500.000 y 50.000 Habitantes	78,769,078	7,984,930	132,952	11,838	6,524,643,000
Entre 50.000 y 20.000 Habitantes	33,493,751	2,877,083	34,997	3,116	2,350,921,000
Menos de 20.000 Habitantes	32,228,692	3,024,444	8,226	732	2,471,332,000
Total (Nacional)	**207,111,201**	**18,400,000**			**15,035,000,000**

Conclusiones del estudio estadístico sobre los municipios y el alumbrado público eficiente en Brasil

Brasil tiene alrededor de 18 millones de puntos de alumbrado público, lo que representa aproximadamente el 3,24 por ciento del consumo de electricidad del país.[26] Dentro de las propias ciudades, el consumo de electricidad para el alumbrado público representa el 30-40 por ciento de la energía municipal utilizada, dependiendo del número de puntos de iluminación y su eficiencia. Por lo tanto, la eficiencia energética en alumbrado público presenta oportunidades significativas para las ciudades.[27]

La tabla tres, representa la demanda actual de la iluminación pública por tipo de municipio, basados en el Anuario Estadístico de Energía Eléctrica para el 2017, publicado por el Ministerio de energía y minas de Brasil[29].

Para extrapolar los valores para todas las municipalidades de Brasil, se tomó en cuenta los consumos de electricidad para la iluminación pública, consumo de electricidad de los municipios, su número de habitantes y el Producto Interno Bruto (PIB) per cápita. Este permitió desarrollar datos muy acertados sobre la situación en Brasil a nivel municipal y nacional. Dicha información es representada en esta tabla.

26. Iluminação Publica - Contexto brasileiro – The Climate Group https://www.theclimategroup.org/sites/default/files/archive/files/Brazil-10-Sep-SLIDES-part-1---English.pdf

27. IBDA – Instituto Brasileiro de Desenvolvimento da Arquitetura www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=3&Cod=1222

Tabla 3.
DEMANDA ACTUAL DE LA ILUMINACIÓN PÚBLICA (MWH, POR TIPO DE MUNICIPIO)[28]

Tipo de municipio	*Población por tipo de municipio*	*Puntos de luz por tipo de municipio*	*Demanda anual actual de la iluminación pública (KWh, por tipo de municipio)*
Más de 500.000 Habitantes	62,619,680	4,513,543	3,688,104,114
Entre 500.000 y 50.000 Habitantes	78,769,078	7,984,930	6,524,642,553
Entre 50.000 y 20.000 Habitantes	33,493,751	2,877,083	2,350,921,115
Menos de 20.000 Habitantes	32,228,692	3,024,444	2,471,332,218
Total (Nacional)	**207,111,201**	**18,400,000**	**15,035,000,000**

La tabla cuatro, representa el consumo total de energía a nivel municipal por tipo de municipio. Para obtener esta estadística, se calculó el consumo de electricidad de la iluminación pública y el consumo municipal de electricidad para todos los municipios de Brasil, usando el mismo modelo que la tabla anterior. Una vez obtenidos dichos números, se divide el consumo total anual por municipalidad para el consumo anual de la iluminación pública.

Dicho estimado resulta en un aproximado del 48%, el cual está en rango comparado con estudios similares.[31]

28. *ANEXO 1 EXCEL Cálculos*

29. *Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017 ano base 2016 http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2017vf.pdf*

30. *Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017 ano base 2016 www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2017vf.pdf*

Tabla 4.

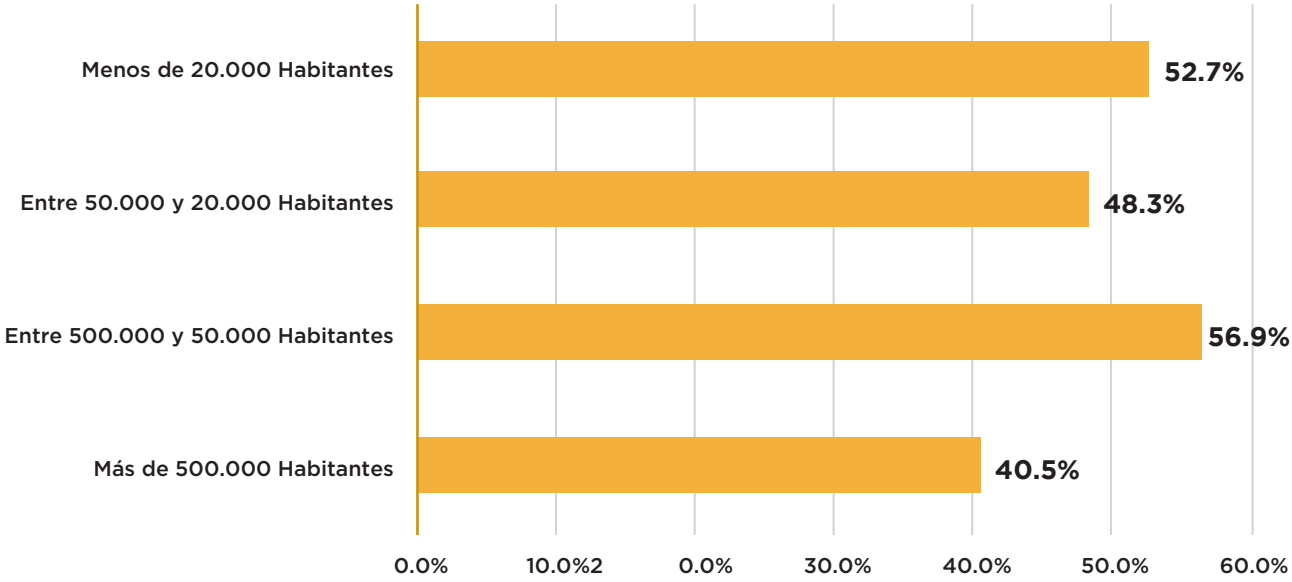
PORCENTAJE DE CONSUMO DE ELECTRICIDAD DE LA ILUMINACIÓN PÚBLICA RESPECTO AL CONSUMO ANUAL TOTAL POR MUNICIPALIDAD

Tipo de municipio	*Población por tipo de municipio*	*Puntos de luz por tipo de municipio*	*Consumo anual de la iluminación pública (KWh anual, por tipo de municipio) 2016*	*Consumo anual de electricidad (KWh anual, por tipo de municipio) 2016*[30]	*Porcentaje de consumo de electricidad de la iluminación pública respecto al consumo anual total por municipalidad*
Más de 500.000 Habitantes	62,619,680	4,513,543	3,688,104,114	9,108,841,483	40.5%
Entre 500.000 y 50.000 Habitantes	78,769,078	7,984,930	6,524,642,553	11,457,980,068	56.9%
Entre 50.000 y 20.000 Habitantes	33,493,751	2,877,083	2,350,921,115	4,872,098,812	48.3%
Menos de 20.000 Habitantes	32,228,692	3,024,444	2,471,332,218	4,688,079,636	52.7%

31. *Iluminação Publica - Contexto brasileiro – The Climate Group LEDS in public lighting - Energy Efficiency in Municipalities www.theclimategroup.org/sites/default/files/archive/files/Brazil-10-Sep-SLIDES-part-1---English.pdf*

Gráfico 4.

PORCENTAJE DE GASTO DE LA ILUMINACIÓN PÚBLICA RESPECTO AL GASTO MUNICIPAL EN ENERGIA



Como se pude observar en este gráfico, las municipalidades con menor cantidad de habitantes tienen un mayor consumo relativo para alumbrado publico. Particularmente, esto se acentúa en la municipalidades menores a 20.000 habitantes. Por ende, implementación de tecnologías de iluminación pública eficiente como los LEDs tendrían un mayor impacto en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y consumo eléctrico.

La tabla cinco, representa el consumo total de energía a nivel país. Para obtener esta estadística, se calculó el consumo de electricidad de la iluminación pública total dividido para el consumo total de electricidad en Brasil para en 2016, el cual fue basado en estadísticas del gobierno. El resultado es el estimado consumo de la iluminación pública a nivel nacional del 3.24%.

Tabla 5.

CUANTO PRESENTA DEL CONSUMO TOTAL DE ENERGÍA A NIVEL PAÍS

A Nivel de País				
Población por tipo de municipio	**Puntos de luz por tipo de municipio**	**Consumo anual de la iluminación pública (KWh anual, por tipo de municipio) 2016**	**Consumo Nacional Electricidad 2016 KWh**	**Porcentaje de consumo de electricidad de la iluminación pública respecto al consumo anual total nacional 2016**
207,111,201	36,800,000	15,035,000,000 [32]	463,904,000,000 [33]	3.24%

32. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017 ano base 2016 http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2017vf.pdf

33. Monthy Energy Bouletin Brasil - Department of Information and Studies on Energy -SPE/MME http://www.mme.gov.br/

Implementación de tecnologías de iluminación pública eficiente como los LEDs tendrían un mayor impacto en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y consumo eléctrico.

La tabla seis, representa el gasto actual de los municipios en iluminación pública por tipo de municipio. Para obtener esta estadística, se obtuvo el consumo de energía eléctrica para la iluminación pública del anuario estadístico de energía eléctrica para Brasil del 2017. El consumo total de la iluminación pública es de 15,4TWh por año y el consumo total municipal de electricidad es de 30TWh por año. Para obtener el gasto de la iluminación pública se tomó en cuenta el valor de U$D75,4 por MWh, el cual es el costo promedio de la iluminación pública en Brasil para el 2016.[34] Además, cabe recalcar que las tarifas de la iluminación pública incrementaron un 42,1% entre el 2012 y el 2016. Se estima que entre el 2016 y 2017 el incremento de la tarifa de iluminación pública fue de un 10% anual. [35]

Tabla 6.

GASTO ACTUAL DE LOS MUNICIPIOS EN ILUMINACIÓN PÚBLICA (POR TIPO DE MUNICIPIO)

Tipo de municipio	*Población por tipo de municipio*	*Puntos de luz por tipo de municipio*	*Consumo anual de la iluminación pública (KWh anual, por tipo de municipio) 2016*	*Gasto actual de los municipios en iluminación pública (U$D) 2016*	*Gasto actual de los municipios en iluminación pública (R$)*
Más de 500.000 Habitantes	62,619,680	4,513,543	3,688,104,114	276,607,808.54	951,530,861
Entre 500.000 y 50.000 Habitantes	78,769,078	7,984,930	6,524,642,553	489,348,191.49	1,683,357,779
Entre 50.000 y 20.000 Habitantes	33,493,751	2,877,083	2,350,921,115	176,319,083.66	606,537,648
Menos de 20.000 Habitantes	32,228,692	3,024,444	2,471,332,218	185,349,916.32	637,603,712

La tabla siete, representa el porcentaje del gasto municipal total respecto al gasto en iluminación pública. Los valores son menores al 1%. Estas cifras fueron calculadas usando estadísticas oficiales del gobierno donde se toma en cuenta los gastos corrientes de las municipalidades para los grupos estudiados.

Para obtener esta estadística, se obtuvo cifras oficiales que representan a los gastos municipales sin tomar en cuenta los gastos y costos asociados a deudas o pagos de capital.

34. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017 ano base 2016 http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2017vf.pdf

35. Tarifas de energia elétrica podem ter reajustes acima de 10% em 2018 https://noticias.r7.com/economia/tarifas-de-energia-eletrica-podem-ter-reajustes-acima-de-10-em-2018-07012018

Tabla 7.
CUANTO REPRESENTA DEL GASTO MUNICIPAL TOTAL, Y DEL GASTO MUNICIPAL EN ENERGÍA

Tipo de municipio	*Población por tipo de municipio*	*Puntos de luz por tipo de municipio*	*Gasto actual de los municipios en iluminación pública (U$D)* [36]	*Gasto Municipal Total (U$) 2016* [37]	*Porcentaje de gasto de la iluminación pública respecto al gasto municipal total 2016*
Más de 500.000 Habitantes	62,619,680	4,513,543	276,607,809	48,764,025,573	0.6%
Entre 500.000 y 50.000 Habitantes	78,769,078	7,984,930	489,348,191	51,797,090,205	0.9%
Entre 50.000 y 20.000 Habitantes	33,493,751	2,877,083	176,319,084	18,645,362,072	0.9%
Menos de 20.000 Habitantes	32,228,692	3,024,444	185,349,916	21,126,713,557	0.9%

La tabla ocho, representa el porcentaje del gasto en iluminación pública respecto al gasto municipal total en energía eléctrica. Los valores oscilan entre en 30% y 45%. Para obtener esta estadística, se calculó el gasto actual de los municipios en iluminación pública con un valor de U$D75,4 por MWh, el cual es el costo promedio de la iluminación pública en Brasil para el 2016. El resto del consumo eléctrico municipal tiene un costo de U$D105,15 por MWh.

Para calcular el total del consumo electico municipal se sumó los consumo eléctricos de la iluminación pública y municipal multiplicado por su respectiva tarifa.

36. *Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017 ano base 2016 http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2017vf.pdf*

37. *Frente Nacional de Prefeitos – Painel Municipal http://comparabrasil.com/municipios/paginas/modulo3.aspx*

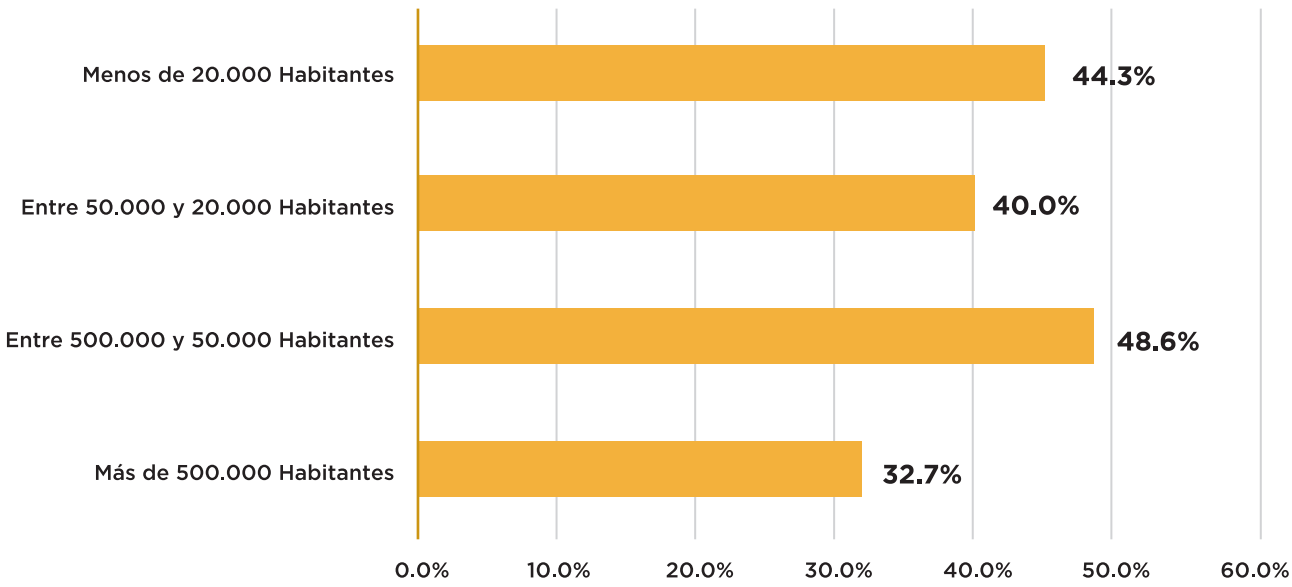
Tabla 8.
CUANTO REPRESENTA DEL GASTO MUNICIPAL EN ENERGÍA

Población por tipo de municipio	*Puntos de luz por tipo de municipio*	*Gasto actual de los municipios en iluminación pública (R$) 2016*	*Gasto actual de los municipios en Energía (U$D) 2016* [38]	*Porcentaje de gasto de la iluminación pública respecto al gasto municipal en energía 2016*
62,619,680	4,513,543	276,607,809	845,785,232.35	32.7%
78,769,078	7,984,930	489,348,191	1,007,348,630.54	48.6%
33,493,751	2,877,083	176,319,084	441,042,741.81	40.0%
32,228,692	3,024,444	185,349,916	418,108,395.30	44.3%

38. *Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017 ano base 2016 http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2017vf.pdf*

Gráfico 5.

PORCENTAJE DE GASTO DE LA ILUMINACIÓN PÚBLICA RESPECTO AL GASTO EN ELECTRICIDAD MUNICIPAL TOTAL 2016



3. POTENCIAL DE ILUMINACIÓN PÚBLICA EFICIENTE.

El alumbrado público representa aproximadamente el 3 por ciento del consumo mundial de electricidad. Según Eletrobras, Brasil tiene más de 18 millones de puntos de luz para su alumbrado público, los cuales representan el 3,24 por ciento del consumo de electricidad del país.[39] Basado en los resultados de este estudio y estudios similares, dentro de las ciudades de Brasil.

Al nivel de las municipalidades el consumo de electricidad en la iluminación pública oscila dependiendo del número de puntos de iluminación y su eficiencia. Desde una visión macro, concluimos que a medida que disminuye la cantidad de habitantes en cada municipalidad, aumenta el consumo per cápita en iluminación pública.

Por lo tanto, la eficiencia energética en el alumbrado público representa oportunidades significativas para el ahorro financiero y de energía para las municipalidades pequeñas. La mayoría de las municipalidades de Brasil se beneficiarían por la implementación de tecnologías más eficientes como las lámparas LEDs y mejoras de eficiencia en sus redes de distribución.

39. Estimados basados en el modelo y las tablas de la primera sección

La eficiencia energética en el alumbrado público representa oportunidades significativas para el ahorro financiero y de energía para las municipalidades pequeñas.

A nivel internacional, ya existen muchos ejemplos convincentes de implementación exitosa de LEDs a gran escala en ciudades, donde se han logrado importantes ahorros de energía durante períodos prolongados.

Existen muchas ventajas al implementar un programa de alumbrado público, de bajo consumo de energía, mediante lámparas LED. Estudios avanzados realizados en 12 ciudades demostraron que la implementación de lámparas LED en conjunto con sistemas de controles inteligentes generaron un ahorro energético promedio del 53 por ciento; después de su instalación respecto a las tecnologías convencionales[40]. Datos similares has sido corroborados por la Asociación Brasilera de las Empresas de Servicios de Conservación de Energía (Abesco); la asociación estima que sólo con la modernización del sistema y con la sustitución de las lámparas de sodio y mercurio por similares de LED, sería posible reducir a la mitad ese consumo de energía[41].

Esto se debió al aumento de lúmenes por vatio producido por las lámparas LED en comparación con las tecnologías comúnmente usadas, como las lámparas de vapor de sodio o de alta presión (HPS). A nivel internacional, ya existen muchos ejemplos convincentes de implementación exitosa de LEDs a gran escala en ciudades, donde se han logrado importantes ahorros de energía durante períodos prolongados.

40. *The Climate Group – The big switch: Why iti s time to switch street Lighting https://www.theclimategroup.org/sites/default/files/archive/files/Big-Switch-_Final.pdf*

41. *Brasil – Gestão eficiente da iluminação pública e dos prédios públicos pode reduzir em 30% o valor da conta de energia elétrica de um município http://www.egpenergy.com.br/noticia/brasil---gestao-eficiente-da-iluminacao-publica-e-dos-predios-publicos-pode-reduzir-em-30--o-valor-da-conta-de-energia-eletrica-de-um-municipio/5*

Dada la resolución nº 414/2010 de la Agencia Nacional de Energía Eléctrica (ANEEL), de transferir a los municipios la responsabilidad de los activos de la iluminación pública, la preocupación por la eficiencia energética cobró importancia entre los gestores municipales. Con este cambio, toda la inversión en expansión y mantenimiento de la iluminación pasó a ser hecha exclusivamente por las prefecturas lo que representó un impacto económico considerable en el presupuesto municipal. Dadas las nuevas legislaciones en Brasil, los municipios son responsables de los costos asociados a la iluminación pública, lo cual afecta directamente sus ingresos.[42] Por ende, los gestores municipales de Brasil buscan controlar, reducir y organizar sus gastos públicos de mejor manera.

En este escenario, la gestión de la energía tiene una importancia fundamental. Según los datos del Frente Nacional de los Alcaldes (FNP), los gastos con energía eléctrica son, en muchas prefecturas, el segundo mayor gasto, sólo debajo de la nómina de los funcionarios públicos.[43]

Una gestión eficiente de este sector puede proporcionar una economía significativa, generando ahorros económicos de entre el 6% al 10% de los gastos globales, dependiendo del tamaño del municipio. Una gestión eficiente de la iluminación pública y de los edificios públicos puede reducir en un 30% el valor de la cuenta de energía eléctrica de un municipio[44]

42. Common Myths about LED Street Lighting

43. https://www.energy.gov/eere/articles/5-common-myths-about-led-street-lighting

44. Brasil – Gestão eficiente da iluminação pública e dos prédios públicos pode reduzir em 30% o valor da conta de energia elétrica de um município http://www.egpenergy.com.br/noticia/brasil---gestao-eficiente-da-iluminacao-publica-e-dos-predios-publicos-pode-reduzir-em-30--o-valor-da-conta-de-energia-eletrica-de-um-municipio/5

Los LED también ofrecen un tiempo de vida significativamente más largo, casi el triple que las tecnologías actuales, lo cual se refleja en grandes ahorros ya que requieren poco mantenimiento y menos cambios. Más allá del ahorro, los LED proporcionan una iluminación más uniforme, lo que mejora la seguridad y la actividad económica de las comunidades. Sin embargo, si no se hace la evaluación técnica debida puede incurrir el sobre iluminación.

45. Common Myths about LED Street Lighting https://www.energy.gov/eere/articles/5-common-myths-about-led-street-lighting

La inclusión de sistemas de controles inteligentes puede reducir aún más los costos de energía y operación. Esto se debe a que se pueden programar para disminuir la iluminación en horas de menor circulación y activarse si necesario. Las lámparas LED son entre un 40% y un 60% más eficientes en términos de consumo de energía eléctrica, lo cual resulta en un 30% de ahora en la cuenta eléctrica.[45]

La inclusión de sistemas de controles inteligentes puede reducir aún más los costos de energía y operación.

La mayoría de las lámparas en el parque de iluminación pública de Brasil, actualmente son lámparas de Vapor de Sodio (HPS), ya que estas fueron las soluciones más eficientes en los últimos años. A nivel técnico para entender el real impacto económico que demuestra la tecnología LED en el alumbrado público, es necesario comprender el alcance lumínico de dichas lámparas el cual provee la misma o mejor iluminación en la calles, que otras tecnologías pero con la mitad o menos de la potencia.

46. *LED Watt Conversion Chart www.californialedsolutions.com/resources-watt-conversion-chart.html*

47. *Ver 45*

Tabla 10.
TABLA DE CONVERSIÓN GENERAL A LED EN WATTS [46]

Incandescente / Halógeno	*Vapor de Mercurio*	*Metal Halide*	*Sodio de Alta Presión*	*Compacta Fluorescente (CFLs)*	*Light Emitting Dione (LED)*
De 40 a 60	De 15 a 25	De 5 a 15	De 5 a 15	De 12 a 15	De 5 a 8
De 60 a 75	De 25 a 35	De 15 a 25	De 15 a 25	De 15 a 18	De 7 a 10
De 75 a 100	De 35 a 45	De 20 a 35	De 20 a 35	De 18 a 23	De 10 a 15
De 100 a 150	De 50 a 60	De 25 a 40	De 25 a 40	De 23 a 35	De 15 a 20
De 150 a 200	De 70 a 85	De 35 a 45	De 35 a 45	De 30 a 45	De 20 a 25
De 200 a 250	De 90 a 110	De 45 a 55	De 45 a 55	De 45 a 60	De 25 a 30

Tabla 11.
TABLA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA TECNOLOGÍAS DE ILUMINACIÓN PÚBLICA [47]

	Incandescente / Halógeno	*Vapor de Mercurio*	*Metal Halide*	*Sodio de Alta Presión*	*Compacta Fluorescente (CFLs)*	*Light Emitting Dione (LED)*
Eficacia (L/W)	De 15 a 25	De 30 a 60	De 80 a 105	De 40 a 70	De 12 a 15	De 5 a 8
Color Rendering Index CRI	De 98 a 100	De 40 a 50	De 60 a 70	De 20 a 30	De 60 a 90	De 70 a 95
Vida Útil (Horas)	3,000	15,000	10,000	15,000	15,000	40,000

Cabe destacar que los valores utilizados para cada categoría son basados en rangos de diferentes modelos y fabricantes. Los modelos más eficientes de las lámparas VSAP pueden superar los modelos menos eficientes de las lámparas LED, especialmente las lámparas LED de baja calidad. Sin embargo, por la distribución Lumínica y tiempo de vida es preferible la tecnología LED.
Además, esto destaca uno de los problemas más frecuentes en economías emergentes, las lámparas Led de baja calidad.

La vida útil de las lámparas HPS y las luces LED varía significativamente con la calidad de la lámpara y el dispositivo. Las lámparas HPS son dispositivos que se degradan más rápido por ende tienen una vida útil significativamente más corta. Es importante también considerar que contaminantes y el calor pueden afectar negativamente a ambos tipos de iluminación.

Recomendaciones para una estrategia de reemplazo de luminarias.

Actualmente, ya existen varios proyectos exitosos a nivel internacional, en los cuales la modificación del alumbrado público hacia tecnologías LED, se han llevado a cabo de manera masiva y actualmente se los reconoce como una mejora de infraestructura rentable a través de ahorro de energía.

A nivel país, las recomendaciones de las autoridades, (Departamento del Procel, de Eletrobras, y ANEEL) manifiestan que es necesario entrenar a los profesionales municipales para entender el impacto técnico de dichas nuevas tecnologías. Subsecuentemente, la primera acción que el sector público debe tomar es que cada municipalidad haga una actualización del registro de lámparas y equipos. Esto es para poder mapear un sistema integrado eléctrico de luz más eficiente. Esto permite determinar de manera más acertada el valor de la cuenta de energía del ayuntamiento y revelar el potencial de eficiencia del sistema. Una vez obtenía esta información el siguiente paso es verificar las

oportunidades de mejora, como los intercambios de lámparas antiguas por tecnologías más eficientes, o de reactores electromagnéticos por reactores electrónicos. También se debe considerar el posible cambio de las iluminarias por conjuntos más eficientes, que aprovechan mejor la luminosidad generada por las lámparas. Basado en la capacidad de luminosidad de cada lámpara, se puede mejorar la iluminación con menos lámparas y por ende con menos costos en los equipos, mantenimiento, etc.[48]

48. Brasil – Gestão eficiente da iluminação pública e dos prédios públicos pode reduzir em 30% o valor da conta de energia elétrica de um município http://www.egpenergy.com.br/noticia/brasil---gestao-eficiente-da-iluminacao-publica-e-dos-predios-publicos-pode-reduzir-em-30--o-valor-da-conta-de-energia-eletrica-de-um-municipio/5

La vida útil de las luces LED varía significativamente con la calidad de la lámpara y el dispositivo. Por lo tanto, es esencial diseñar adecuadamente la retro adaptación, usando tecnología de calidad y adecuada al ambiente y necesidades lumínicas.

Un proyecto de renovación de alumbrado público implica el reemplazo de las lámparas y los accesorios, los brazos de las lámparas y en ciertos casos los postes. Esto depende de la condición de cada componente principal y del propietario del proyecto. Normalmente, cualquier reemplazo de brazos, postes o cableado, según sea necesario, no es parte del proyecto de modernización, sino parte de las actividades normales de mantenimiento del sistema de redes. Durante el proceso de diseño y evaluación del proyecto, es necesario seleccionar la tecnología adecuada para mantener los activos para maximizar todo el potencial técnico del proyecto.

La vida útil de las luces LED varía significativamente con la calidad de la lámpara y el dispositivo. Por lo tanto, es esencial diseñar adecuadamente la retro adaptación, usando tecnología de calidad y adecuada al ambiente y necesidades lumínicas.

Las referencias actuales en licitaciones de iluminación pública no reflejan de manera correcta como las nuevas tecnologías cubren dichas necesidades. Las compras deben evaluar de mejor manera los indicadores de rendimiento utilizados para procurar las tecnologías de iluminación. Los compradores de productos LED, incluidos los de alumbrado público, a menudo solicitan a los fabricantes que proporcionen reemplazos de iluminación directa basados en la salida de luz, en lugar del rendimiento real en la superficie de la carretera. Este enfoque puede inhibir a los clientes de comparar con precisión los ahorros posibles a través de la implementación de Iluminación LED.

La tecnología LED proporciona mejores capacidades individuales de orientación y distribución de luz. Con tecnología LED, los lúmenes se controlan con precisión para minimizar el exceso de iluminación o los puntos calientes, y aseguran suficiente iluminación en toda el área de distribución prevista.
Por ende, es un error hacer una comparación de lúmenes directos al especificar modificaciones entre iluminación HID típica y las tecnologías de iluminación LED. La comparación de los lúmenes proporcionados comúnmente es inexacta. La manera más correcta de evaluar el cambio a lámparas es tomando en cuenta el rendimiento en la superficie de las vías y espacios públicos.

Esto se mide a través de la luminancia, (candela / metro cuadrado reflejado desde la superficie de la carretera) lo que permite determinar la calidad de un diseño de iluminación vial. También, se pueden realizar aplicaciones o diseños fotométricos para garantizar que los niveles de luz cumplan con los requisitos de cada proyecto (Ver sección especificaciones técnicas de iluminarias LED).

A nivel mundial, dentro de la estructura legal para la licitación de iluminación pública generalmente es contratada a través de contratos de rendimiento de ahorro de energía, conocidos en Ingles como “Energy Savings Performance Contracts” (ESPC). El tipo de contratos ESPC permite a las municipalidades implementar proyectos de ahorro de energía sin la necesidad de invertir en los costos iniciales de capital. Cuando se contrata servicios de iluminación pública, los nuevos equipos e infraestructura se financian utilizando los ahorros de energía y costos de operación resultantes del nuevo sistema. Dichas ganancias financieras pagan por el proyecto a lo largo de su tiempo de vida.

La ESCO garantiza que las mejoras en eficiencia generen ahorros en costos de energía suficientes para pagar por el proyecto durante el plazo del contrato. Después de que el contrato termina, todos los ahorros de costos adicionales son recolectados por la agencia pública.

Durante la ejecución del ESPC, una empresa de servicios energéticos conocida en ingles como “Energy Service Company” (ESCO) lleva a cabo una auditoría energética integral. En consulta directa con la agencia pública, la ESCO diseña, busca los fondos necesarios para la implementación de dicho proyecto.
La ESCO garantiza que las mejoras en eficiencia generen ahorros en costos de energía suficientes para pagar por el proyecto durante el plazo del contrato.

Después de que el contrato termina, todos los ahorros de costos adicionales son recolectados por la agencia pública. Adicionalmente, todos los equipos quedan como parte del inventario de dicha agencia pública.

Los términos contractuales típicos para este tipo de contratos son de hasta 20 años. Este tipo de contratos se ejecutan en Brasil actualmente, aunque no es tan común en municipalidades pequeñas. Los beneficios de un proyecto de alumbrado público a través de contratación con el modelo ESPC incluyen:

- **No se requiere capital inicial.**
- **Costos de mantenimiento son eliminados a lo largo del plazo del contrato.**
- **Uso de los presupuestos de energía y mantenimiento existentes.**
- **La velocidad de finalización: los proyectos suelen tardar menos de 12 meses desde la introducción del concepto hasta su finalización.**
- **Cumplir o superar los objetivos de ahorro energético de la comunidad.**
- **Flujo de caja positivo a lo largo del plazo de financiación.**
- **Desempeño financiero garantizado o ESCO compensa la diferencia.**

4. EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA MUNICIPALIDADES MENORES A 50.000 HABITANTES

En general, para Brasil la tecnología LED está lista para programas de eficiencia energética para servicios públicos. El alcance de este estudio hasta ahora definió el marco legal y estado actual de parque de iluminación pública y tecnología. Dados los hallazgos, esta sección elabora más a profundidad la economía de reemplazar su sistema de alumbrado público existente con LED. Dentro de las características presentadas en los modelos tomados en cuenta, se realizó un análisis técnico y financiero para evaluar el ahorro de las instalaciones de alumbrado público LED y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Para evaluar la rentabilidad de estos modelos económicos, se utilizaron: la herramienta de modelado del Departamento de energía de Estados Unidos, desarrollado por la oficina de Eficiencia Energética y Energía Renovable; el cual ha sido usado por varias ciudades de Estados Unidos para evaluar sus programas de eficiencia energética y alumbrado público y un modelo de Excel y creado por los autores, usando los ingresos calculados para analizar la costó-efectividad de la gestión de la financiera del proyecto.

La evaluación financiera resultante modela con mayor precisión los requisitos de ingresos asociados con la capitalización de activos de larga vida para un modelo de iluminación pública en Brasil. Las dos herramientas en conjunto permiten desarrollar una representación más cercana a las características de un proyecto de esta índole para municipios con características similares.

En general, para Brasil la tecnología LED está lista para programas de eficiencia energética para servicios públicos. El alcance de este estudio hasta ahora definió el marco legal y estado actual de parque de iluminación pública y tecnología.

Hay cuatro variables principales que influyen primordialmente en los resultados del modelo económico:

- La tasa de mano de obra para instalar los nuevos LED.
- El tiempo asociado con el cambio de bombillas existentes (es decir, los costos de viaje de mantenimiento evitados).
- Los precios de los LED.
- La vida útil efectiva del LED, la cual es considerablemente larga (5 Años y con hasta 5 años de vida útil) que las otras tecnologías anteriores.
- La tasa de falla de fábrica de las nuevas luces la cual está contemplada en el 2,1%.
- Costo/ahorro por atenuadores de potencia

Adicionalmente, dadas las características técnicas de la iluminación LED, para evaluar adecuadamente los ahorros, se deben considerar cuidadosamente los siguientes factores: **(1)** el nivel de luz útil que llega a la calle; y **(2)** la potencia total del accesorio, incluyendo la lámpara.

Para nuestro caso de estudio se considerará el reemplazo de las lámparas, el cual se basa en las siguientes suposiciones:

- La modificación de las lámparas actuales mediante LED es posible utilizando el mismo brazo.
- Cualquier reemplazo de brazos, postes o cableado, según sea necesario, no es parte del proyecto de modernización, sino parte de las actividades normales de mantenimiento de la municipalidad local. Dichos costos están incluidos como parte de los costos de mantenimiento estipulados para este modelo.
- La retro adaptación se realizará para proporcionar la misma cantidad de iluminación.

Dentro de lo que cabe, para entender las características de los proyectos tomados en cuenta para esta evaluación y el impacto de la conversión, se hace un análisis financiero de los ahorros económicos y energéticos hacia los municipios. El objetivo de este análisis económico es evaluar el costo real de todo el proyecto tomando en cuenta: el tipo luminarias, costo de mantenimiento, costos de instalación y costos energéticos.

Como ejemplo, se evalúa la implementación de una actualización de eficiencia energética del alumbrado público que involucra 3,116 puntos de luz para una municipalidad con 34,997 habitantes. Este análisis económico estipula el remplazo de lámparas de varias tecnologías convencionales que van desde 100W a 400W, las cuales serían remplazadas con luces LED. El informe proporciona una visión general de la situación actual como referencia y además calcula los costos y ahorros energéticos. La inversión en un sistema de alumbrado público LED se debe evaluar de acuerdo a los criterios básicos de evaluación financiera. Esta evaluación nos permitirá establecer la viabilidad financiera del proyecto.

El objetivo de este análisis económico es evaluar el costo real de todo el proyecto tomando en cuenta: el tipo luminarias, costo de mantenimiento, costos de instalación y costos energéticos.

Los indicadores que vamos a tener en cuenta para este proyecto son los siguientes:

- ***VPN (Valor Presente Neto):*** Este indicador nos permite saber el valor actual del proyecto teniendo en cuenta diferentes tiempos de financiación. Cuando el VPN es positivo el proyecto es financieramente viable en el tiempo proyectado.
- ***TIR (Tasa Interna de Retorno):*** La cual es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece la inversión estipulada.
- ***Periodo de Retorno Simple:*** Este es el tiempo en que se demora el proyecto para recuperar el capital financiero requerido para su ejecución.

Todas estas variables fueron tomadas, utilizando los costos de desarrollo y operación de los proyectos de iluminación pública y los ingresos durante una vida útil de 13 años. Las tablas a continuación presentan las variables iniciales, resultantes de la conversión hacia la tecnología LED.

El gasto de capital (Capital Expenditure), los costos de operación y mantenimiento son específicos del sitio y deben evaluarse como parte de los estudios de viabilidad y prefactibilidad. Con fines ilustrativos, en esta sección se brinda algunas estimaciones indicativas para los costos de las lámparas LED. Adicionalmente, para calcular los costos de operación se tomaron en cuenta las siguientes variables:

Tabla 12.
COSTOS POR TECNOLOGÍA PARA PUNTOS DE LUZ [49]

Modelo	*Costo Por Unidad (U$D)* [50]
HPS Residencial: 100W	$83.50
HPS Residencial: 150W	$83.50
LED: 70W	$280.09
LED: 68W	$280.09
HPS Carretera: 250W	$110.13
LED: 150W	$340.56
HPS Carretera: 400W	$150.78
LED: 100W	$300.08
LED: 300W	$625.56

Cabe destacar que los precios arriba usados para los dos modelos financieros son precios basados en publicaciones académicas del 2014. Esto se debe a que el modelo es ejecutado bajo premisas conservadoras.

Hacia el 2018 se estima que los precios en el mercado para Brasil deben ser aproximadamente un 35% más bajos que los precios usados para esta publicación. Basados en la reducción de precios a nivel mundial, incremento de marcas y empresas que comercializan estos equipos en este país.

49. *Estudo Comparativo de sistemas de iluminação publica: Lâmpadas Led, Lâmpadas Indução e lâmpadas a vapor de sódio – 4.3 Levantamento do Custos Revista Técnico-científica do CREA-PR - ISSN 2358-5420 - Na edição – Data da publicação creaprw16.crea-pr.org.br/revista/Sistema/index.php/revista/article/viewFile/268/149*

50. *Municipal Energy-Effiency Public Street Lighting Project in the city of Rio- Appendix G: Weighted Average Price Calculations www.theclimategroup.org/sites/default/files/archive/files/World-Bank---Rio-LED-street-lighting-pre-feasibility-study---FULL-REPORT---ENGLISH---AUG-2014-(1).pdf*

Tabla 13.
VARIABLES INICIALES QUE SE TOMARON EN CUENTA PARA LA MODELACIÓN FINANCIERA

Precio de la electricidad ($ / kWh) [51]	$0.091
Cambio anual en el costo de la electricidad (%)	5.0%
Tasa de mano de obra de instalación ($ / hora)	400.00
Factor de emisiones (kg CO2e /kWh)	0.302 [52]
Tiempo de implementación del proyecto	3 A ños

Tabla 14.
GASTOS GENERALES Y DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

Costo de vehículo de instalación ($/hr)	100
Costo de mano de obra para instalación ($/hora)	400
Tasa de descuento nominal (%)	0.0314
Personal necesario para planificar y administrar un proyecto de modificación de iluminación	3
Costo de mano de obra paraoperación y mantenimiento($/hora)	44.33
Tiempo utilizado por mano de obra anualmente (hrs/persona/ano)	900.5

51. *Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017 ano base 2016 http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2017vf.pdf*

51. *Tarifas de energia elétrica podem ter reajustes acima de 10% em 2018 https://noticias.r7.com/economia/tarifas-de-energia-eletrica-podem-ter-reajustes-acima-de-10-em-2018-07012018*

52. *Potencial de redução de CO pelo uso de energia elétrica em genearca elétrica: Um estudo comparativo das matrizes hidroelétricas e fotovoltaicas. https://sienpro.catalao.ufg.br/up/1012/o/Mauro_Lúcio_Pereira_Medina_Filho.pdf*

EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA MUNICIPALIDADES MENORES A 50.000 HABITANTES

Tipo de municipio	*Población para municipalidad promedio*	*Puntos de luz para municipalidad promedio*
Entre 50.000 y 20.000 Habitantes	34,997	3,116

Tecnología	*Potencia (Watage)*	*Punto de Luz*
HPS	100	597
HPS	150	737
HPS	250	624
HPS	400	257
Vapor de mercurio	125	250
Vapor de mercurio	250	243
Vapor de mercurio	400	211
Haluro metálico	100	7 0
Haluro metálico	150	1 2
Haluro metálico	250	1 2
Haluro metálico	400	103
Total		**3116**

Potencia	*Punto de Luz*
100	667
150	999
250	879
400	571
Total	**3,116**

Tablas de los resultados financieros para modelo Municipalidad de 34,997 Habitantes

VARIABLES FINANCIERAS

Plazo de Amortización simple (años)	7.07
Plazo de Amortización - Solo energía (Años)	8.56
Tasa Interna de Retorno TIR (10 Años)	13%
Valor Presente Neto VPN (10 Años)	$639,233
Gastos de Capital (10 Años) ($)	$1,728,778
Ahorro Eléctricos Producidos por Inversión de Capital ($/kWh)	0.0946

ESCENARIO BASE
SISTEMA DE ILUMINACIÓN PÚBLICA SIN LÁMPARAS LED

Consumo anual de energía antes de sistema LEDs (KWH)	3,922,595
Costo anual de energía antes de sistema LEDs ($)	$356,956
Consumo anual de GEI antes de sistema LEDs (tCO2e)	1,181

ESCENARIO ALTERNO
SISTEMA DE ILUMINACIÓN PÚBLICA LÁMPARAS LED

Consumo anual con LEDs en kWh	1,891,067
Costo anual de energía con sistema LEDs ($)	$172,087
Consumo anual de GEI con sistema LEDs (tCO2e)	569

AHORROS PROYECTADOS

Ahorro anual (kWh)	2,031,528
Ahorro anual en Costos de Energía ($)	$184,869
Ahorro anual de GEI (tCO2e)	611

AHORRO PROMEDIO ANUALIZADO POR PUNTO DE LUZ

	Escenario Base	*LEDs*	*Ahorro*	*Porcentaje*
Energía	$138.71	$71.84	$66.87	48%
O&M sin energía	$44.78	$25.79	$18.99	42%
Total	$183.49	$97.63	$135.07	47%

Resultados evaluación económica para municipalidades menores a 50.000 Habitantes

Para esta municipalidad, los resultados de las proyecciones financieras para la conversión del alumbrado público hacia tecnologías LED, tienen un resultado positivo en un plazo de 13 años y lo más recomendable es cambiar todas las luminarias por iluminación LED.

La inversión inicial del proyecto es de U$1,728,524 para la implementación de todo lo contemplado. Teniendo en cuenta los ingresos de la facturación y los consumos de energía eléctrica estipulados para esta municipalidad, se determinó, que para el octavo año, la inversión se alcanza el punto de equilibrio, con un ahorro anual de U$184,869 el cual se proyecta hasta el año 13 con un ahorro total de U$2,403,297. Con un promedio de ahorro anual del 47%.

Tabla 15.
FLUJO DE CAJA SIMPLE

Año	*Gasto anual de capital*	*Ahorro anual de O&M (Incluidos ahorros energéticos)*	*Ahorro anual de O & M no energético*	*Flujo de caja anual*	*Flujo de caja acumulado*	*Flujo de caja anual (Solo ahorros de energía)*	*Flujo de caja acumulado (Solo ahorros de energía)*
1	$592,418	$81,550	$19,927	$(510,867)	$(510,867)	$(530,795)	$(530,795)
2	$575,917	$170,180	$40,772	$(405,737)	$(916,604)	$(446,508)	$(977,303)
3	$560,444	$266,382	$62,564	$(294,062)	$(1,210,666)	$(356,626)	$(1,333,929)
4	$-	$278,012	$64,003	$278,012	$(932,654)	$214,009	$(1,119,920)
5	$-	$290,185	$65,475	$290,185	$(642,469)	$224,709	$(895,210)
6	$-	$302,926	$66,981	$302,926	$(339,543)	$235,945	$(659,265)
7	$-	$316,264	$68,522	$316,264	$(23,280)	$247,742	$(411,523)
8	$-	$330,227	$70,098	$330,227	$306,947	$260,129	$(151,394)
9	$-	$344,846	$71,710	$344,846	$651,793	$273,136	$121,742
10	$-	$360,152	$73,359	$360,152	$1,011,944	$286,793	$408,534
11	$-	$376,179	$75,046	$376,179	$1,388,123	$301,132	$709,667
12	$-	$392,961	$76,772	$392,961	$1,781,084	$316,189	$1,025,855
13	$-	$410,536	$78,538	$410,536	$2,191,621	$331,998	$1,357,854

La financiación de proyectos solo es posible cuando los pagos de la iluminación pública son capaces de generar suficientes ingresos para pagar las obligaciones de deuda, los costos generales de operación y mantenimiento; y para obtener un rendimiento razonable por el capital invertido.

La decisión de proceder con el desarrollo de un proyecto de iluminación pública LED se basa en la viabilidad financiera del proyecto, según lo determinado a través de un análisis financiero. Este análisis tiene en cuenta los costos previstos, incluidos los requisitos de inversión y los costos de operación y mantenimiento, así como los ingresos.
Como se puede ver, por se recomienda cambiar la iluminación existente por iluminación LED la cual permite un ahorro en el consumo del 48%% lo que se refleja en el costo de la factura.

Gráfico 7.
FLUJO DE CAJA - PAGO DE CAPITAL

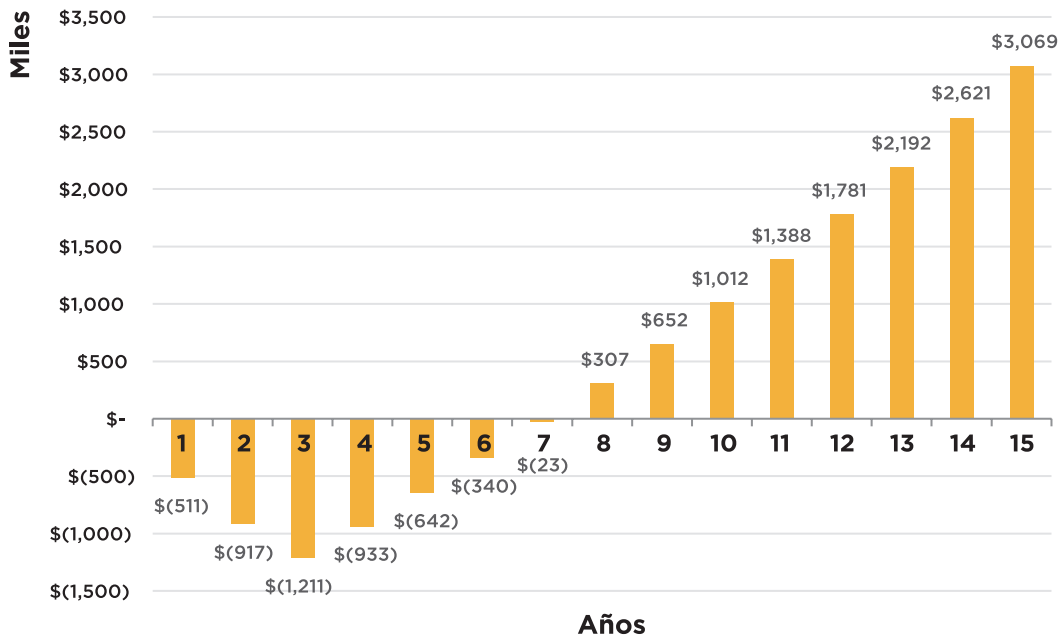


Gráfico 7.
FLUJO DE CAJA POR CATEGORÍA

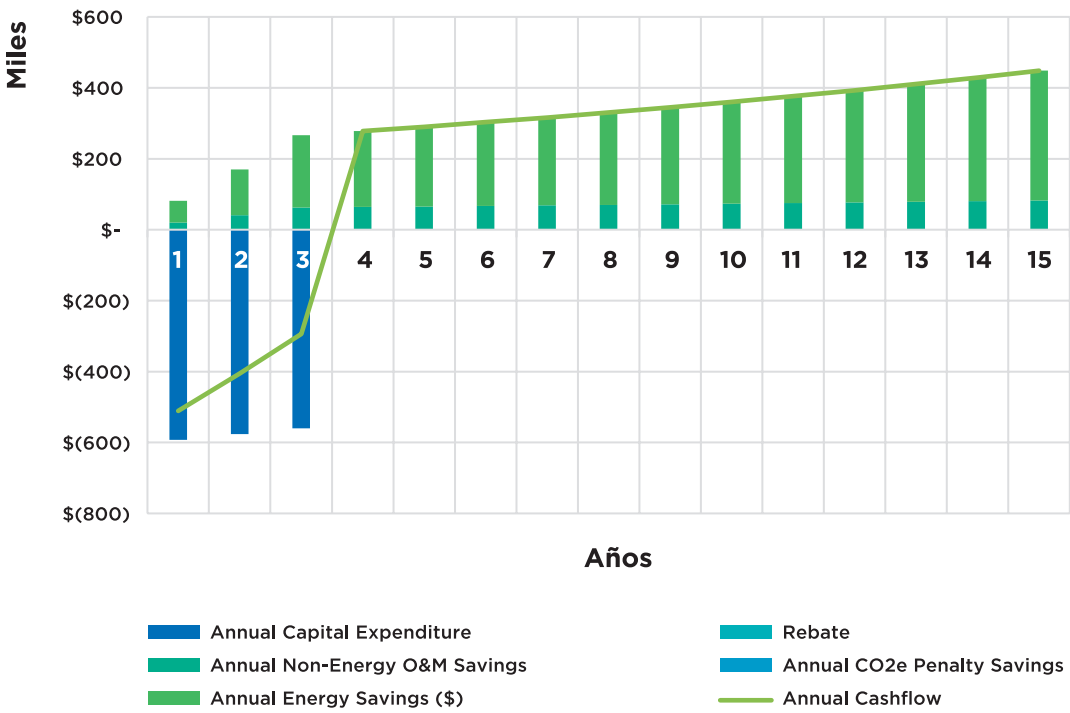


Tabla 16.
AHORROS ENERGÉTICOS

Año	*Ahorro anual de energía ($)*	*Ahorro anual de energía (kWh)*	*CO2e anual evitado (toneladas / año)*
1	$61,623	677,176	204
2	$129,408	1,354,352	408
3	$203,818	2,031,528	611
4	$214,009	2,031,528	611
5	$224,709	2,031,528	611
6	$235,945	2,031,528	611
7	$247,742	2,031,528	611
8	$260,129	2,031,528	611
9	$273,136	2,031,528	611
10	$286,793	2,031,528	611
11	$301,132	2,031,528	611
12	$316,189	2,031,528	611
13	$331,998	2,031,528	611

5. CONCLUSIONES

La tendencia en los avances en la tecnología de la iluminación pública está claramente dirigida hacia lastecnologías LED “Light-Emitting Diode”, por sus ahorros energéticos y prestaciones técnicas.

Brasil es un país que tiene la viabilidad económica y técnica para la proliferación rápida de dicha tecnología. El marco regulatorio, los costos asociados a la implantación de este tipo de proyectos, e incentivos económicos gubernamentales hacen que Brasil, sus municipalidades y prefecturas sean un excelente campo para la proliferación de la tecnología LED en la iluminación pública.

Dentro del análisis tomando en cuenta para el desarrollo de este estudio cabe, destacar que el alumbrado público LED es una de las tecnologías con mayor potencial para la infraestructura sostenible en Brasil. A nivel de las municipalidades pequeñas, el impacto se maximiza dado que dicha tecnología representaría una manera excelente de mejorar las finanzas a través de ahorros y de la misma manera proveer a sus ciudadanos con servicios de alumbrado público de primer orden.

A nivel de las municipalidades pequeñas, el impacto se maximiza dado que dicha tecnología representaría una manera excelente de mejorar las finanzas a través de ahorros y de la misma manera proveer a sus ciudadanos con servicios de alumbrado público de primer orden.

Adicionalmente, generaría ingresos a las empresas locales, reduciría de manera drástica las emisiones de gases de efecto invernadero y crearía muchos ahorros potenciales a través de la desaturación de la red eléctrica a nivel nacional. Dado que si las municipalidades implantaran dicha tecnología de manera masiva, podría disminuir las necesidades de nuevas redes eléctricas lo que resultaría en ahorros millonarios en infraestructura de transmisión eléctrica para Brasil.

Las tecnologías actuales permiten optimizar los servicios que ya ofrecen las municipalidades como en internet público, cámaras de seguridad para monitoreo puntos clave de la ciudad y sensores que puedes ser creados de manera individual para las necesidades de cada población.

Desde un punto de vista local, la tecnología de alumbrado público, LED tiene mucho potencial para mejorar la existente falencia de infraestructura lumínica en Brasil. Dicha mejora resultaría en mejoras en diferentes ámbitos como: la seguridad vial, a través de la disminución de accidentes, aumento de la seguridad ciudadana, ya que la buena iluminación pública está directamente correlacionada a la seguridad de las personas que habitan o transitan cierta área. Además, las tecnologías actuales permiten optimizar los servicios que ya ofrecen las municipalidades como en internet público, cámaras de seguridad para monitoreo puntos clave de la ciudad y sensores que puedes ser creados de manera individual para las necesidades de cada población.

Por parte de las autoridades locales, es importante que se asesoren acerca de las prestaciones tecnológicas y económicas que esta tecnología le podría brindar a sus comunidades, para poder generar proyectos de calidad. Es sumamente importante que tomen en cuenta proyecto similar donde hayan tenido éxitos Inicialmente, las prefecturas y municipios deben tomar en cuenta el inventario de su parque lumínico para tomar decisiones más económico-efectivas.

Después, deben desarrollar un plan que les permita mejorar y expandir, de ser necesario, su red eléctrica y de iluminación pública. Esto les permitirá tener un mejor alcance a la ciudadanía en la prestación de este servicio. Además, les da la posibilidad de desarrollar licitaciones más efectivas con participación de empresas privadas para cubrir las necesidades lumínicas de sus zonas con un servicio de calidad.

Cabe mencionar que el financiamiento es algo que se debe discutir en conjunto con las empresas privadas, ya que ellos pueden proveer soluciones a través de bancos locales, sector financiero nacional e internacional.

Dependiendo, las capacidades que tengan los municipios de gestionar el parque lumínico, se puede concesionar varios tipos de contratos que les permitiría tercerizar los servicios de iluminación y mantenimiento a un costo que les

Cabe mencionar que el financiamiento es algo que se debe discutir en conjunto con las empresas privadas, ya que ellos pueden proveer soluciones a través de bancos locales, sector financiero nacional e internacional.

generaría ahorros comparados con su situación actual. Esto muestra ser muy beneficioso especialmente para los municipios que tienen capacidad limitada de endeudamiento, donde el modelo ESCO a través de un financiamiento “off-balance sheet” puede ayudar a obtener la implementación de la tecnología LED sin que el municipio incurra en deuda.

Dentro del ámbito medio ambiental, esta tecnología prueba ser una manera efectiva de reducir las emisiones creadas por la generación de electricidad través de combustibles fósiles, al reducir la demanda de electricidad.

Dentro del marco legal, cabe destacar que cada municipalidad es responsable de las leyes locales para poder estructurar los pagos a las empresas ESCO o a las concesionarias. Dichos modelos, además de la adquisición directa de equipos, bajo un marco técnico y económico factible, resultarían en una implementación, en la cual los municipios y prefecturas se beneficiarían de un ahorro económico y energético, el cual daría un mejor servicio de mayor calidad a un menor costo. Por ende, es aconsejable que los municipios adquieran esta tecnología.

Dentro del ámbito medio ambiental, esta tecnología prueba ser una manera efectiva de reducir las emisiones creadas por la generación de electricidad través de combustibles fósiles, al reducir la demanda de electricidad. De la misma manera, a un nivel técnico y macro, el sistema de redes eléctricas integradas se benéfica ya que necesitaría transportar menor electricidad y por ende se disminuye la carga en la red.

Se aconseja que las municipalidades se asesoren bien al licitar este tipo de proyectos para tener una iluminación eficiente y no una sobre iluminación; como puede darse en casos que no se consideran las necesidades lumínicas de las municipalidades de manera técnico eficiente. Además, se debe considerar equipos de buena calidad que permitan obtener dichos ahorros económicos energéticos durante el tiempo estipulado del proyecto. Ya que luminarias de baja calidad tienen menor tiempo de vida y por en ende encarecen la operación y desarrollo de este tipo de proyectos.

Actualmente, la mayoría de las lámparas en el parque de iluminación pública de Brasil son lámparas de Vapor de Sodio (HPS), ya que estas fueron las soluciones más eficientes en los últimos años. El impacto económico que demuestra la tecnología LED se debe a que los LED también ofrecen un tiempo de vida significativamente más largo, casi el triple que las tecnologías actuales, lo cual se refleja en grandes ahorros ya que requieren poco mantenimiento y menos cambios. Más allá del ahorro, los LED proporcionan una iluminación más uniforme, lo que mejora la seguridad y la actividad económica de las comunidades. Las lámparas LED son entre un 40% y un 60% más eficientes en términos de consumo de energía eléctrica, lo cual resulta en un 30% de ahora en la cuenta eléctrica.[53]

53. Common Myths about LED Street Lighting https://www.energy.gov/eere/articles/5-common-myths-about-led-street-lighting

Las lámparas LED son entre un 40% y un 60% más eficientes en términos de consumo de energía eléctrica, lo cual resulta en un 30% de ahora en la cuenta eléctrica.

ANEXO 1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL ALUMBRADO PÚBLICO MENORES A 50.000 HABITANTES

El diodo emisor de luz, comúnmente conocido por sus siglas en inglés LED (Light-Emitting Diode), es actualmente muy utilizado en electrónica para iluminación. Dicha tecnología lidera la iluminación pública por sus beneficios tecnológicos. A diferencia de las lámparas incandescentes o de descarga, que emiten luz a través de la quema de un filamento o por la ionización de algunos gases específicos, el LED produce su luminosidad, básicamente, a través de la liberación de fotones provocada cuando la corriente eléctrica fluye a través de este componente.

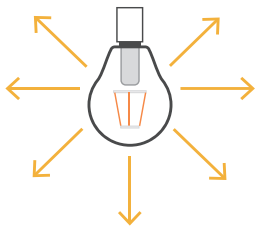
Dentro de la iluminación pública, la tecnología LED, se caracteriza por: tratarse de fuentes luminosas con luz bien dirigida libres de metales pesados, con equipos de alta vida útil de hasta 100.000 horas, alta eficiencia (alrededor de 80lm/W), resistente a vibraciones, alto IRC, y con flexibilidad en la elección de la temperatura de color. Dicha tecnología lidera la alternativa tecnológica más viable, para sistemas de iluminación pública, por sus expectativas en el desempeño de sus equipos y por su facilidad al emplear una serie de sistemas que pueden fácilmente remplazar tecnologías más antiguas.[54]

54. *Manual de Alumbrado Público - Colegio de Ingenieros Mecánicos y Electricistas, AC http://www.prahalighting.com/assets/22-manual-de-alumbradovf3.pdf*

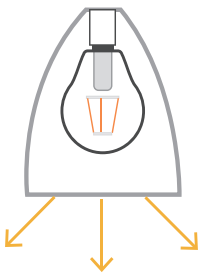
Para entender las prestaciones de la tecnología LED, como las de cualquier fuente luminosa, se deben tomar en cuenta las siguientes características tecnológicas: fotométricas, colorimétricas, eléctricas y de tiempo de vida.[55]

Luminancia

Se utilizan varias medidas para cuantificar la cantidad de luz proporcionada por un sistema de iluminación y percibida por el ojo humano.

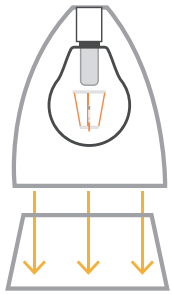


El flujo luminoso (medido en lúmenes, o lm, candela) es la cantidad total de radiación emitida por una fuente de luz visible al ojo humano. Como la sensibilidad del ojo humano varía para diferentes longitudes de onda (por ejemplo, mayor sensibilidad para la luz verde en comparación con la luz roja o azul), el flujo luminoso se ajusta consecuentemente.

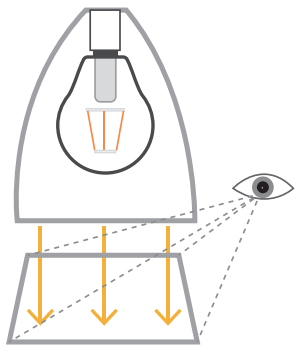


La intensidad luminosa (medida en candela, o cd, con 1 cd = 1 lm / radio cuadrado) representa la distribución espacial de luz medida como el flujo luminoso dentro de un ángulo dado desde la fuente de luz. Para el alumbrado público, la distribución espacial debe garantizar que la carretera, las veredas de la calle y los usuarios de las vías estén adecuadamente iluminados. Además, para mayor eficiencia, cualquier iluminación ascendente a menudo no es deseable.[56]

56. *LED Street Lighting - Procurement & Design – Guidelines http://www.premiumlightpro.eu/fileadmin/user_upload/Guidelines/Premium_Light_Pro_Outdoor_LED_Guidelines.pdf*



La iluminancia (medida en lux, o lx, con 1 lux = 1 lm / m2) representa la cantidad total de luz que llega a un área de superficie iluminada en particular. Los criterios mínimos de iluminancia se especifican para las diferentes clases de carreteras. Los requisitos de iluminancia mínima típicos para carreteras en áreas con situaciones complejas de tráfico (por ejemplo, áreas con distancias de observación de menos de 60 m, o cuando los usuarios de la carretera también incluyen ciclistas o peatones) varían de 7.5 a 50 lx. Las recomendaciones para los requisitos de iluminancia y luminancia estándar dependen de las legislaciones municipales locales y las necesidades lumínicas de cada área.



Finalmente, la luminancia (medida en cd / m2) representa el brillo de las superficies u objetos iluminados tal como los percibe el ojo humano. Los requisitos mínimos de luminancia para las rutas de tráfico de velocidad media a alta por lo general se encuentran dentro de estos rangos: de 0.3 a 2 cd / m2. Por lo tanto, la luminancia normalmente se encuentra dentro del llamado "rango mesópico" de la visión humana (que varía de 0.001 a 3 cd / m2) que combina tanto la visión de color (fotópica) como la de poca luz (escotópica) visión. En este rango, el tiempo de reacción humano a los nuevos estímulos está determinado por los contrastes en el brillo y los contrastes en el color. Por lo tanto, tanto la luminancia del área iluminada como la representación del color de la fuente de luz son importantes para la percepción humana y, en consecuencia, para la seguridad del tráfico. Los requisitos mínimos de luminancia se especifican para las clases de carreteras que cubren autopistas de velocidad media a alta dependiendo del flujo de tráfico.[57]

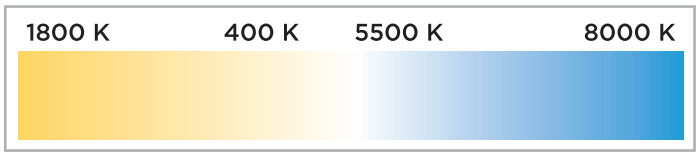
57. *LED Street Lighting - Procurement & Design – Guidelines http://www.premiumlightpro.eu/fileadmin/user_upload/Guidelines/Premium_Light_Pro_Outdoor_LED_Guidelines.pdf*

Color claro: temperatura de color y cromaticidad

Las fuentes de luz a menudo emiten una amplia gama de diferentes longitudes de onda, mientras que, por lo general, se percibe que tienen un solo color. Este color aparente se conoce como la llamada "temperatura de color" de la fuente de luz.

La temperatura de color corresponde a un color de referencia de un "radiador de cuerpo negro" ideal que se calienta a una temperatura específica (medida en Kelvin). El sol, por ejemplo, tiene una temperatura de color de 5780 K cuando se observa al mediodía y se aproxima mucho a un radiador de cuerpo negro.

Gráfico 11.
TEMPERATURA DEL COLOR



El color claro utilizado para el alumbrado público generalmente varía entre el blanco amarillento, el neutro y el azul azulado, que corresponde a temperaturas de color entre 2500 y 5000 Kelvin. Diferentes ciudades y países han mostrado diferentes preferencias con respecto a los colores claros tanto para iluminación interior como exterior. Por ejemplo, "luz blanca fría" (azulada) es más popular en los países del sur, mientras que en los países de Europa central y del norte existe cierta preferencia por la luz blanca cálida. Por lo tanto, en los países del centro y norte de Europa, la luz con una temperatura de color alta puede ser menos aceptada por los residentes.[58]

58. *LED Street Lighting - Procurement & Design – Guidelines http://www.premiumlightpro.eu/fileadmin/user_upload/Guidelines/Premium_Light_Pro_Outdoor_LED_Guidelines.pdf*

La iluminación LED, a diferencia de varias tecnologías de iluminación antiguas, ofrece la oportunidad de ajustar o seleccionar temperaturas de color de forma útil para diversas aplicaciones. Sin embargo, se debe considerar que la temperatura de color de la fuente de luz tiene un efecto sobre la eficiencia energética del sistema de iluminación y puede causar efectos fisiológicos para los seres humanos y los animales.

La luz blanca fría con una temperatura de color alta admite un mayor nivel de eficiencia energética del sistema de iluminación. Un alto nivel de luz azul en fuentes de luz blanca fría, por otro lado, también puede causar problemas de salud y seguridad los cuales deben tenerse en cuenta. La luz blanca soporta la percepción del ojo humano de manera más efectiva que la luz amarillenta y, por lo tanto, parece más brillante. Por lo tanto, la luz blanca (p. Ej. 4000 K) puede ser preferible para situaciones complejas con diferentes tipos de usuarios. (por ejemplo, automóviles, ciclistas, peatones). [59]

En general, la selección de la temperatura del color es un aspecto importante del diseño de alumbrado público. La iluminación LED es capaz de proporcionar todo el espectro de las temperaturas de color y, por lo tanto, ofrece la base para una selección cuidadosa del color de luz apropiado para diferentes necesidades y aplicaciones.

59. *LEDs para iluminação publica - Curso de Engenharia Elétrica – Universidade Federal do Paraná Curitiba – Paraná - Brasil www.cricte2004.eletrica.ufpr.br/ufpr2/tccs/41.pdf*

Se debe considerar que la temperatura de color de la fuente de luz tiene un efecto sobre la eficiencia energética del sistema de iluminación y puede causar efectos fisiológicos para los seres humanos y los animales.

Indicadores de rendimiento energético

A nivel internacional se toman en cuenta dos métricas de rendimiento energético: indicador de densidad de potencia (PDI) DP (medido en W / (lx m2)) y el indicador de consumo de energía anual (AECI) (medido en (Wh) / m2).[60] Estos indicadores siempre deben usarse juntos para la evaluación del rendimiento energético de un sistema de iluminación pública especifico.

El indicador de densidad de potencia define cómo calcular el rendimiento energético de una instalación particular de alumbrado público y permite comparar diferentes configuraciones y tecnologías para el mismo proyecto (ya que las diferentes ubicaciones tendrán una geometría y condiciones ambientales diferentes, los valores solo se pueden usar para comparar diferentes configuraciones para la misma instalación).[61] La siguiente información es necesaria para calcular el indicador de densidad de potencia para cualquier área dada:

• La potencia total del sistema P de iluminación

(ya sea la instalación completa o una sección representativa), incluye tanto la potencia operativa de todos los puntos de luz individuales (fuentes de luz y cualquier equipo de dispositivos asociado) como de dispositivos que no son parte de los puntos de luz individuales, pero son necesarios para el funcionamiento del sistema (como los sistemas de control centralizado y los interruptores). -

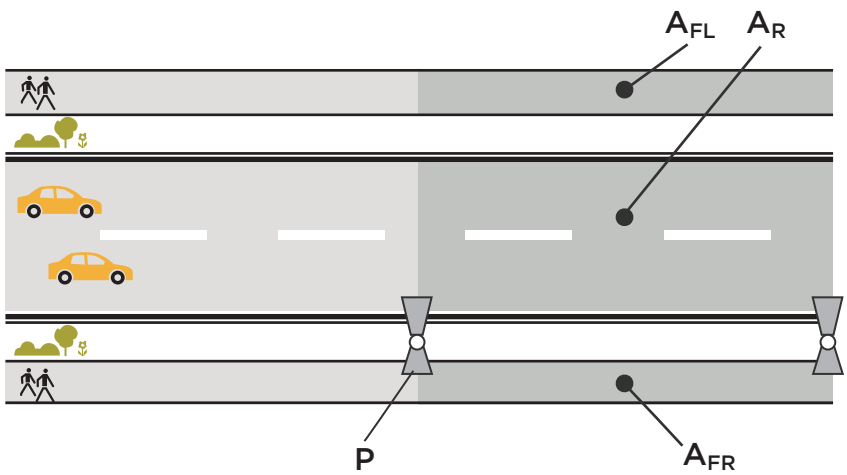
• La iluminancia horizontal promedio mantenida E

(en [lx]) de cada área (así como el tamaño de cada área). Se excluyen las tiras periféricas utilizadas para calcular qué tan rápido se cae la iluminancia más allá de la calle. La iluminancia se puede derivar de métricas que ya se han establecido para seleccionar el tipo de iluminación de la calle.

60. *LED Street Lighting - Procurement & Design – Guidelines http://www.premiumlightpro.eu/fileadmin/user_upload/Guidelines/Premium_Light_Pro_Outdoor_LED_Guidelines.pdf*

61. *Manual de Iluminación Vial – Carreteras, Bulevares, Entronques, Viaductos, Pasos a desnivel y Túneles http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Manual_iluminacion/Manual_de_Iluminacion_Vial_2015.pdf*

Gráfico 12.
DISEÑO DE EJEMPLO PARA EL CÁLCULO DE PDI / AECI



La ecuación completa para calcular PDI es:

$$D_P = \frac{P}{\sum_{i=1}^{n} (\bar{E}_i \times A_i)}$$

- **Ei siendo la iluminación horizontal promedio mantenida de la área,**
- **Ai es el tamaño de la área**
- **"i" iluminada por la instalación de iluminación (en m2)**
- **n es el número de áreas a iluminar .**

Dado que la clase de iluminación generalmente cambia a lo largo de diferentes estaciones climáticas y durante toda la noche, el PDI debe calcularse por separado para cada momento relevante. Con el fin de comparar las diferencias de consumo de energía entre dos configuraciones diferentes, no solo para una tipo particular de alumbrado público, sino a lo largo de todo un año de funcionamiento, es necesario calcular el AECI.[62]

62. *LED Street Lighting - Procurement & Design – Guidelines www.premiumlightpro.eu/fileadmin/user_upload/Guidelines/Premium_Light_Pro_Outdoor_LED_Guidelines.pdf*

Para este propósito, es necesario dividir el año en períodos operacionales separados donde se aplican diferentes valores para P. La ecuación completa para calcular el AECI es:

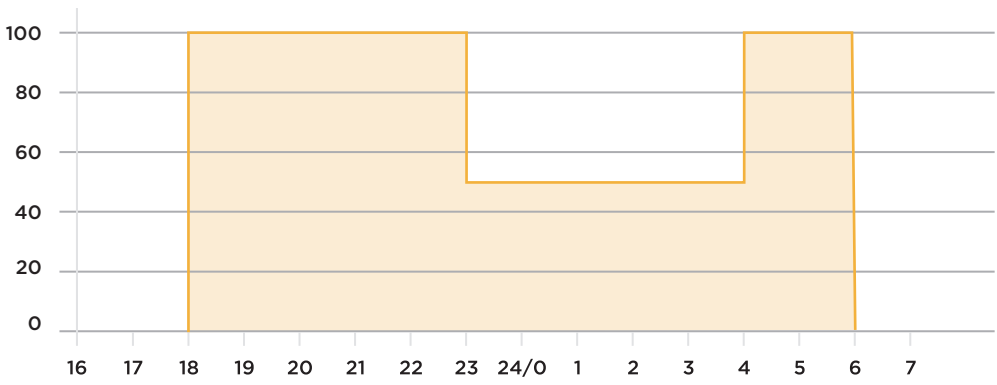
$$D_E = \frac{\sum_{j=1}^{m} (P_j \times t_j)}{A}$$

Siendo Pj la potencia total del sistema asociada con el período "j" de operación (en W), tj es la duración del período "j" de operación cuando la potencia Pj se consume (en h), siendo A el tamaño del área iluminada por la misma disposición de iluminación (en m2), y m es el número de períodos con diferentes valores de potencia de operación Pj.

Las duraciones acumuladas totales de tj deben sumar para todo un año. Los períodos de tiempo cuando la iluminación no está operativa (como durante el día) también deben incluirse en el cálculo, ya que incluso durante estos períodos, el sistema todavía consume energía en modo de espera.

Gráfico 13.

MUESTRA DE SALIDA DE LUZ BASADA EN EL TIEMPO: POTENCIA TOTAL DURANTE LA NOCHE Y TEMPRANO EN LA MAÑANA, POTENCIA MEDIA TARDE EN LA NOCHE[63]



63. *Guía tecnológica LED en el alumbrado publico www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-sobre-tecnologia-LED-en-el-alumbrado-fenercom-2015.pdf*

Lámparas para alumbrado exterior

En los proyectos de alumbrado público, existen varias maneras de adaptar la infraestructura existente a la tecnología LED. Sin embargo cada tipo de instalación difiere de manera que cada adaptación requiere equipamientos diferentes, a costos diferentes. Es decir, no es igual la sustitución directa de una lámpara LED, que la adecuación o adaptación de una lámpara convencional existente a iluminación LED.

64. Uma Avaliação da Tecnologia LED na Iluminação Pública - Escola Politécnica, 2014 http://www.monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10010665.pdf

En relación a este tema, se pueden diferenciar tres posibles tipos de instalaciones de alumbrado exterior: [64]

• Lámpara de nueva instalación:

Lámpara en la que, como su propio nombre indica, todos sus componentes son proporcionados por el fabricante, y no se utiliza ninguna parte mecánica, eléctrica o electrónica de la lámpara anterior, la cual es propiedad del cliente.

• Lámpara modificada

(re–lamping) En este caso se sustituyen las actuales lámparas descarga, vapor de sodio, halogenuros metálicos, etc., por lámparas LED de “conexión directa”.

• Lámpara modificada

(retrofit) Lámpara en la que se modifica su diseño original, lo cual puede implicar modificaciones mecánicas y/o eléctricas que varíen, en mayor o menor grado, las cuales alteran las especificaciones iniciales del fabricante.

Estandarización de la tecnología LED e Iluminación Pública

Al analizar la utilización de la tecnología LED en la iluminación pública, actualmente se puede concluir que no existe una estandarización de los productos disponibles en el mercado. Esto ocurre debido a las características específicas de cada lámpara, las cuales son definidas por el fabricante, el cual dispone la manera más eficiente de arreglar los LED. Particularmente, cada fabricante generalmente describe como montar la estructura óptica de control de luz para la distribución del flujo luminoso y de cómo montar las estructuras de disipación de calor para optimizar el uso de sus productos. Por ende, el nivel de potencia y el diseño de los equipos terminan siendo modificados basados en el diseño del fabricante.

Adicionalmente, los organismos normalizadores brasileros no pudieron acompañar la veloz evolución de los equipos a base de LED destinados a la iluminación en general.

La principal norma brasilera referente a los requisitos del sistema de iluminación pública es la ABNT NBR 5101 (ABNT, 2012). Esta norma está basada en documentos de la IESNA (Illuminating Engineering Society of North America) como la RP-8 - Roadway Lighting.[65] Su última versión fue publicada en abril de 2012 y está en vigor desde mayo de este mismo año. La versión anterior a ésta era del 1992, cuando las lámparas de vapor de mercurio y a alta presión, todavía se utilizaban predominantemente en los sistemas de alumbrado público.[66]

65. Eficientização energética na Iluminação Pública http://sites.fadisma.com.br/entrementes/anais/wp-content/uploads/2016/09/eficientizacao-energetica-na-iluminacao-publica.pdf

66. Tecnologia LED LED e inovações em Iluminação publica http://www.inmetro.gov.br/ciebrasil/docs/Tecnologia-LED-e-Inovacoes-em-Iluminacao-Publica.pdf

El sistema de disipación térmica de los LED y el dispositivo de control electrónico (controlador) deben estar bien diseñados para que el sistema sea duradero.

Los sistemas de iluminación pública LED no solo dependen de las características del dispositivo semiconductor, sino también de otros factores. El sistema de disipación térmica de los LED y el dispositivo de control electrónico (controlador) deben estar bien diseñados para que el sistema sea duradero.

El flujo luminoso emitido se desprende rápidamente y el controlador puede quemarse si no existen las debidas protecciones. Debido a estos hechos, recientemente se publicaron las primeras normas brasileras sobre el desempeño de controladores para lámparas LED.

En los casos en que las normas publicadas no apliquen, los equipos LEDs disponibles deben seguir los estándares aplicados a las otras tecnologías de iluminación, siempre que esto sea posible. Esta medida ayuda a prevenir que equipos de baja calidad entren en el mercado brasilero, hasta que las normas específicas para esos equipos sean desarrolladas por los organismos competentes.

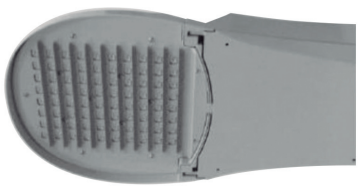
Estudio del Mercado Brasileño

Estos son los principales modelos y marcas de lámparas LED disponibles para iluminación pública en el mercado brasilero.[67]

67. Uma Avaliação da Tecnologia LED na Iluminação Pública - Escola Politécnica, 2014

LEOTEK

Gráfico 12.
LEOTEK LÁMPARA LED GREEN COBRA GC1



Las fuentes de alimentación de esta lámpara tienen una potencia mínima de 0.90 y menos del 20% de Distorsión Harmónica Total8 (DHT). Su índice de protección es el IP66. La corriente de accionamiento no puede ser ajustada en el campo, habiendo tres cadenas especificadas: 350mA, 530mA o 700mA.

Tabla 19.
DATOS REFERENTES A LA LÁMPARA LED GREEN COBRA GC1 DE 80W

Consumo Total (W)	80
Tensión	120/277
Eficiencia (lm/W)	80
Temperatura del Color (K)	4300
IRC	75

Figura 13.
LÁMPARA LED GREEN KING COBRA GC2[68]

68. www.monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10010665.pdf Catalogo Leotek

Las fuentes de alimentación de esta lámpara tienen una potencia mínima de 0.90 y menos del 20% de Distorsión Harmónica Total (DHT). Su índice de protección es el IP66. La corriente de accionamiento no puede ser ajustada en el campo, habiendo tres cadenas especificadas: 350mA, 530mA o 700mA.

Tabla 20.
DATOS REFERENTES A LA LÁMPARA LED GREEN KING COBRA GC2 100W

Consumo Total (W)	100
Tensión	120/277
Eficiencia (lm/W)	85
Temperatura del Color (K)	4300
IRC	75

En ambos modelos de Leotek, la empresa proporciona una garantía de 10 años extendida a todos los componentes de la lámpara. Estas lámparas están compuestas de LEDs blancos de alto flujo y alto brillo que producen un mínimo del 70% de la intensidad inicial en las primeras 70 mil horas de vida útil.

Todas las lámparas son fotométricamente probadas por laboratorios independientes certificados de conformidad con los procedimientos de prueba IES (Illuminating Engineering Society) LM-79, una norma estadounidense, que prevé parámetros eléctricos y fotométricos para productos LED.

SUPERLED

La lámpara de iluminación pública LED SL-A2 de la SUPERLED está disponible en tres valores de potencia distintos: 90W, 110W y 120W. En la tabla 4.3 se muestra la información referente a este modelo:

Tabla 21.

DATOS REFERENTES A LA LÁMPARA ED SUPERLED SL-A2 PARA ALUMBRADO PÚBLICO

Ítem	*SL -A2- 120*	*SL- A2 -110*	*SL -A2- 90*
Cantidad de LED (piezas)	112	96	80
Consumo (W)	123	113	96
Temperatura del Color (K)	6500/4000/3000	6500/4000/3000	6500/4000/3000
Eficiencia (lm/W)	95/88/73	96/89/73	93/87/72
Flujo Luminoso (lm)	12378/11434/9503	10825/10021/8267	8962/8331/6878

Las lámparas de la SUPERLED poseen un factor de potencia mínimo de 0.90 y menos del 15% de distorsión harmónica Total (DHT). El índice de reproducción de color es igual a 70 y el índice de protección es el IP65. La vida útil de estas lámparas LED es de 35.000 horas según el catálogo del fabricante.

PHILIPS

Figura 14.
LÁMPARA ROADSTAR PHILIPS

La lámpara Roadstar Philips es probada y tiene 70.000 horas de vida útil. La facilidad de instalación y el bajo costo de mantenimiento la convierten en una solución extremadamente atractiva. El fabricante recomienda el uso en calles, avenidas, carreteras, plazas o estacionamientos. Su índice de protección es el IP66.

Tabla 22.
DATOS REFERENTES A LA LÁMPARA ROADSTAR PHILIPS

Consumo Total (W)	44 a 200
Tención	120/277
Eficiencia (lm/W)	65
Temperatura del Color (K)	4000
IRC	70

Figura 16.
LÁMPARAS ESSENTIAL PHILIPS[69]

La Lámpara Essential Philips está diseñada para satisfacer una necesidad importante en la iluminación pública, al hacer el retrofit de los sistemas convencionales de iluminación con lámparas de descarga HID, con una vida útil de 50.000 horas y un gran ahorro de energía. Está disponible en modelos con 96, 128 o 160 LED, y su índice de protección es el IP65.

69. *Catálogo Philips*

Tabla 23.
DATOS REFERENTES A LA LÁMPARA ESSENTIAL PHILIPS

Item	*Essential- 105*	*Essential- 140*	*Essential- 175*
Cantidad de LED (piezas)	96	128	160
Consumo (W)	105	140	175
Temperatura del Color (K)	4000/5500	4000/5500 4	000/5500
Eficiencia (lm/W)	85	85	85
Flujo Luminoso (lm)	>75	>75	>75

Dichas lámparas LED pueden ser adquiridas con accesorios específicos los cuales optimizan la instalación de las lámparas, su uso y la reducción de su mantenimiento.

Comparación de las principales lámparas LED del mercado brasilero

Para tener un mejor entendimiento de las diferencias técnicas, características eléctricas y luminotécnicas de los principales modelos de lámparas LED en el rango de potencia de 100 a 160W, la siguiente tabla resume los principales modelos disponibles en el mercado brasilero. Cabe mencionar que dichas lámparas LED pueden ser adquiridas con accesorios específicos los cuales optimizan la instalación de las lámparas, su uso y la reducción de su mantenimiento.

Tabla 24.
COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS Y LUMINOTÉCNICAS DE LAS PRINCIPALES LÁMPARAS LED DEL MERCADO BRASILERO[70]

Lámparas	*Consumo (W)*	*Eficiencia (lm/W)*	*Temperatura del Color (K)*	*IRC*
Lámpara Green King Cobra GC2	100	85	4300	75
Lámpara SUPERLED SL -A3	1108	3	6500	75
Lámpara Roadstar Philips 100 65 4000 70	100	65	400	70
Lámpara Golden Iluminação Pública CH	120	82	4000	>75
Lámpara GE Cobrahead R150 Pro	157	66	4300	75
Lámpara Street Light LS LEDSTAR	117	92	5000	70
Lámpara Street Light LS LEDSTAR	159	57	4000	70

70. Uma Avaliação da Tecnologia LED na Iluminação Publica - Escola Politécnica, 2014 http://www.monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10010665.pdf

Otra ventaja de ciertas lámparas es que los componentes eléctricos son accedidos sin el uso de herramientas y se montan en el mamparo removible. El mamparo se puede desconectar rápidamente del bloque terminal y de la placa LED, garantizando así una instalación fácil y un mantenimiento realizado en pocos minutos. En algunos casos, existe un sensor para la interrupción de electricidad cuando la tapa está abierta, ofreciendo así mayor seguridad.

Otro recurso muy interesante disponible en algunos modelos de lámpara es el ajuste vertical, pudiendo variar de 0 a 10 grados y el ajuste horizontal, variable de menos 5 a 5 grados. El cual permite automáticamente ajustar el alguno para la luz sin modificaciones en el poste.

Banco Inter-Americano de Desarrollo - IADB
2018

ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ILUMINACION PÚBLICA

BID