

# Mitigación del cambio climático a través de un alumbrado público eficiente en México: superando los retos políticos en aras de la eficiencia económica y el equilibrio ambiental

Climate change mitigation through efficiency improvements in street lighting in Mexico: overcoming political challenges to enhance economic efficiency and environmental equilibrium

Alejandro Eduardo Guevara Sanginés\*, José Alberto Lara Pulido\*

## RESUMEN

El presente artículo describe un estudio de caso de los retos para la puesta en marcha de una política pública de doble dividendo —que genera beneficios económicos y ambientales de manera simultánea— en el contexto de posibles iniciativas de mitigación ante el cambio climático. Se analiza la génesis y desarrollo del *Proyecto nacional de eficiencia energética en alumbrado público municipal en México*. Se describe el análisis de factibilidad técnica y económica, del cual se desprende que existen amplias oportunidades de inversión rentables con una Tasa Interna de Retorno (TIR) promedio de 63% y una posible captura de 15 929 t de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e), que representa una reducción de 30% con respecto a las emisiones que se generarían sin la inversión. Asimismo, describe obstáculos diversos para su realización y estrategias de política para enfrentarlos. Finalmente, se presentan los resultados logrados hasta la fecha. Este artículo ilustra cómo implementar medidas que aporten al desarrollo sustentable, considerando elementos de eficiencia económica, social y ambiental, así como la dimensión política.

## ABSTRACT

In this article we describe a case study of policy challenges for the implementation of a public policy which generates social, economic and environmental benefits simultaneously and thus achieving climate change mitigation. Specifically, we analyze the creation of the *National Energy Efficiency Project for Municipal Street Lighting in Mexico*. We present a technical and economic analysis which identifies profitable investment opportunities yielding an average Internal Rate of Return (IRR) of 63% and a capture of 15 929 carbon dioxide equivalent tons. We describe the obstacles faced by the stakeholders in the implementation of the project as well as its latest performance. This article presents evidence of how it is possible to implement measures contributing to sustainable development by considering elements of social, economic and environmental efficiency while coping with its policy constraints.

Recibido: 29 de septiembre de 2014

Aceptado: 2 de diciembre de 2014

### Palabras clave:

Alumbrado público municipal; eficiencia energética; cooperación interinstitucional; análisis costo-beneficio; desarrollo sustentable; México.

### Keywords:

Municipal Public Lighting; Energy Efficiency; Interagency cooperation; Cost Benefit Analysis; Sustainable Development; Mexico.

### Cómo citar:

Guevara Sanginés, A. E. & Lara Pulido, J. A. (2015). Mitigación del cambio climático a través de un alumbrado público eficiente en México: superando los retos políticos en aras de la eficiencia económica y el equilibrio ambiental. *Acta Universitaria*, 25(1), 43-55. doi: 10.15174/au.2015.681

## INTRODUCCIÓN

Hoy en día existen oportunidades reales para reducir emisiones de carbono y generar ganancias económicas de manera simultánea. Estos objetivos representan dos de los principales retos que enfrenta la humanidad en la actualidad. Por una parte, los países requieren crecimiento económico para abatir problemas de pobreza, marginación y, en general, elevar la calidad de vida de sus habitantes. Por otra, la humanidad precisa de detener el acelerado crecimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), que se ha venido dando desde la revolución industrial y que ha originado un proceso de calentamiento global, que tiene y tendrá efectos severos sobre la

\* Universidad Iberoamericana. Prolongación Paseo de la Reforma núm. 880, Col. Lomas de Santa Fe, Delegación Álvaro Obregón, México, DF, C.P. 01219. Tels.: (5255) 5950-4144; (5255) 5950-4344. Correos electrónicos: alejandro.guevara@ibero.mx; jose.lara@ibero.mx

actividad humana y los ecosistemas (*Intergovernmental Panel on Climate Change* [IPCC], 2014). Cabe señalar que el aumento de la temperatura del planeta con causas antropogénicas ha sido reconocido y demostrado con un alto grado de confiabilidad en el quinto reporte del IPCC (2014).

El reconocimiento de que es posible compatibilizar el crecimiento económico con objetivos ambientales, incluso, se dio a nivel mundial desde 1972, en la Conferencia de Estocolmo, y quedó de manifiesto en el Informe Brundtland (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 1987) y en la Conferencia de Río de Janeiro de 1992 (ONU, 1992)<sup>1</sup>.

Considerando estos antecedentes, el propósito de este artículo es ejemplificar un caso real de este tipo de oportunidades de doble dividendo, es decir, la reducción de emisiones y la generación de beneficios económicos de manera *simultánea*<sup>2</sup>. Para ello, se presentan los resultados de un análisis costo-beneficio en el contexto del alumbrado público municipal en México. Sin embargo, nuestro objetivo va más allá de sólo mostrar la factibilidad económica de elevar la eficiencia en alumbrado público municipal, pues en este artículo analizamos los obstáculos políticos, que frecuentemente tienen que franquearse para implementar acciones, que desde la perspectiva estrictamente económica se llevarían a cabo de manera inmediata. Estos obstáculos pueden superarse a través de principios de política pública, pero este proceso es difícil, y si no se tiene cuidado de atender cada uno de ellos, las oportunidades de doble dividendo pueden quedarse sin aprovechar.

El estudio de caso de este trabajo es la adopción de tecnologías de mayor eficiencia energética para el alumbrado público municipal a través de un programa financiado por el sector público. En éste se analiza la factibilidad técnica y económica realizadas antes de su creación, así como la economía política desarrollada durante su gestación. Se propone el diseño del programa, describiendo el papel de los distintos actores involucrados. Asimismo, se describe el estatus actual del programa, que finalmente entró en operación en

2011 con la denominación *Proyecto nacional de eficiencia energética en alumbrado público municipal*, y que es operado por la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (Conuee).

## Contexto

Actualmente, en los municipios mexicanos convergen diversas tecnologías en la provisión del alumbrado municipal. Al ser esta diversidad muy amplia, el potencial de inversión en eficiencia energética es igualmente variable. Los principales tipos de energía que operan en los municipios pueden observarse en la tabla 1, donde se presentan también las principales características de cada uno.

**Tabla 1.**  
Iluminación de las lámparas comunes.

Tipo de lámpara	Eficiencia	Duración	Requerimiento de balastro	Observaciones
Incandescente	Muy baja	Muy corta	No	
Vapor de mercurio	Baja	Larga	Si	
Vapor de sodio de alta presión	Alta	Muy larga	Si	Muy bajo rendimiento de color (luz amarilla)
Vapor de sodio de baja presión	Muy alta	Muy larga	Si	Rendimiento de color limitado
Aditivos metálicos	Alta	Larga	Si	Buen rendimiento de color (luz blanca)
Fluorescente	Alta	Larga	No	Mal control de calidad óptica
Luz mixta	Muy baja	Corta	No	
Halógeno	Muy baja	Muy corta	No	

Fuente: Elaboración propia con información de Clarke (2008) y del personal técnico de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (Conuee).

<sup>1</sup> Es preciso reconocer que hay posiciones encontradas respecto a la compatibilidad del crecimiento económico con la sostenibilidad del medio ambiente (Naredo & Gómez-Baggethun, 2012). Sin embargo, el presente trabajo sólo tiene como objetivo identificar oportunidades para generar beneficios ambientales y económicos, dadas las actuales condiciones políticas y económicas y los compromisos en materia ambiental que ha adoptado México para abatir emisiones. Por tanto, una discusión sobre la validez de este reconocimiento mundial excede los objetivos del estudio.

<sup>2</sup> La hipótesis del doble dividendo se formuló en el contexto de impuestos ambientales por Pearce (1991). El autor argumentó que a partir de un impuesto se podían obtener dos dividendos: ganancias en eficiencia económica y beneficios ambientales. En este artículo interpretamos esto de manera más amplia, entendiendo el *doble dividendo* como cualquier acción que genere de manera simultánea beneficios económicos y ambientales.

Cada una de estas tecnologías difiere en términos de eficiencia energética y durabilidad, así como el rango de potencia que puede alcanzar. Dada esta diversidad de opciones tecnológicas, personal técnico de la Conuee identificó opciones de reemplazo que tienen el potencial de generar beneficios sociales, ambientales y económicos para los municipios. Como resultado del análisis se identificaron tres posibilidades de sustitución tecnológica: lámparas de estado sólido o lámparas LED, vapor de sodio y lámparas de halógenos metálicos de alta presión.

A continuación se hace una breve descripción y se discuten las ventajas y desventajas de las tecnologías LED, vapor de sodio de alta presión y aditivos metálicos, las cuales fueron identificadas por el personal de la Conuee como aquellas que pudieran representar una opción para sustituir a las instaladas en ese entonces en los municipios. El resto de tecnologías se consideraban no aptas para el alumbrado público, por razones de baja eficiencia, vida útil muy corta, muy baja luminosidad, entre otras.

## LED

Las lámparas con tecnología de estado sólido, comúnmente conocidos como *LED* (por sus siglas en inglés: *light-emitting diodes*, que significa “diodos emisores de luz”), pueden reemplazar lámparas ineficientes, al tiempo que constituye una buena opción para la iluminación de espacios. Actualmente se permite el uso de la tecnología LED en el alumbrado público, siempre que se haya desarrollado sobre la base del mismo haz de luz de las luminarias tradicionales (incandescente, luz mixta, vapor de mercurio, vapor de sodio fluorescente, entre otros).

La tecnología LED tiene el potencial para reducir el efecto negativo que implica el hecho de proporcionar iluminación en las calles sobre el medio ambiente. En primer lugar, la luz emitida por lámparas de tecnología puede reducir el efecto negativo en la cadena trófica por el amplio espectro de luz que puede abarcar (Bruce-White & Shardlow, 2011). En segundo lugar, estos dispositivos no contienen mercurio, lo cual disminuye los costos de manejo de sustancias peligrosas.

En tercer y último lugar, el ahorro de energía generado por la adopción de esta tecnología reduce emisiones de gases de efecto invernadero que, por sí mismas, podrían llegar a generar ingresos por la venta de créditos de carbono.

Desde el punto de vista medioambiental, el cambio a una tecnología LED es atractivo. Además tiene otros impactos positivos en términos de bienestar social que la convierten en una alternativa a considerar.

## Vapor de sodio

Las lámparas de vapor de sodio tienen una larga vida, son muy eficientes y tienen un costo relativamente bajo (Conuee, 2011). Entre sus principales desventajas se cuentan la emisión de luz amarilla y los contaminantes que potencialmente contienen (tabla 2). Esta opción de reemplazo ha sido considerada ya que, de momento, esta tecnología se encuentra en la fase madura de su ciclo de vida como producto, que se refleja en la amplia difusión en el país, e incluso en el mundo<sup>3</sup>.

A partir de un análisis del alumbrado público utilizado en los municipios se descubre que, para algunas lámparas actuales, el vapor de sodio resulta una opción de reemplazo rentable. Finalmente se considera que con un programa de gestión de residuos aplicado adecuadamente se puede minimizar el daño potencial al medio ambiente, a partir del uso de esta tecnología; por lo tanto, la sustitución de ciertos tipos de lámparas es la mejor opción.

**Tabla 2.**  
Valores medios de los componentes de las lámparas.

Elemento	Fluorescentes (mg)	VMAP (mg)*	VSAP (mg)*	Hm (mg)*
Mercurio	0.0175	0.02	0.020	0.030
Plomo	0.0052	0.50	0.300	0.300
Estroncio	0.1400	0.05	0.030	0.001
Itrio	0.0630	0.12	0.004	0.070

\* VMAP: Vapor de Mercurio de Alta Presión; VSAP: Vapor de Sodio de Alta Presión; Hm: Haluro metálico (halógenos).  
Fuente: Rodríguez (2008).

<sup>3</sup> Un análisis más a fondo de los efectos ambientales de los LED durante todo su ciclo de vida en comparación con focos incandescentes y ahorradores se presenta en *US Department of Energy* (2013), donde se concluye que la adopción de LED como sustitución a las otras dos tecnologías es apropiada desde el punto de vista medioambiental.

#### Aditivos metálicos

Esta tecnología tiene una larga vida útil y alta eficiencia; sin embargo, estos parámetros son relativamente más bajos que los ofrecidos por las otras dos tecnologías consideradas (Conuee, 2011). Su adopción generalizada se debe a que estas lámparas emiten luz blanca que, como se describe a continuación, tiene un valor positivo para la gente (Bommel, 2009). Al igual que las otras dos tecnologías consideradas, se encontró que en algunos casos esta alternativa es socialmente rentable.

### Consideraciones ambientales de las tecnologías de alumbrado público

Los principales efectos ambientales de iluminación artificial se pueden clasificar en tres categorías: *a)* contaminación lumínica, *b)* emisiones de gases de efecto invernadero y *c)* potencial generación de contaminación por residuos. Los efectos de una iluminación artificial inadecuada para cada una de las tres categorías en el ambiente se explican de modo breve a continuación, para describir posteriormente cómo las tecnologías alternativas tienen el potencial de disminuir la presión sobre el mismo.

#### Contaminación lumínica y ecosistemas

En algunos municipios, el alumbrado público es proporcionado por lámparas de vapor de mercurio. No obstante, la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005 (Secretaría de Energía [Sener], 2005) prohíbe el uso de esta tecnología en el alumbrado público; se utiliza con algunas excepciones, a saber, alumbrado para peatones, alumbrado de emergencia e instalaciones temporales. Las lámparas de vapor de mercurio son particularmente dañinas para el medio ambiente, ya que afectan de manera negativa los procesos reproductivos de los insectos, causando desequilibrios en las cadenas alimentarias y, por lo tanto, en los ecosistemas (Schowalter, 2013). Al respecto, existe evidencia acerca de que la luz artificial afecta los procesos reproductivos de los insectos (Langevelde, Ettema, Donners, Wallis & Groenendijk, 2011). Por otra parte, las fuentes de luz causan grandes concentraciones de insectos, lo que facilita la caza de predadores, provocando desequilibrios en las poblaciones. Además, algunos insectos pueden detectar a una hembra a kilómetros de distancia, pero éste no es el caso con este tipo de iluminación porque funciona como una barrera. Por último, algunos insectos son expulsados de 20 a 30 millas de su hábitat natural

por esta fuente de luz, provocando desequilibrios en las cadenas tróficas (Dolsa & Albarrán, 1998; Rich & Longcore, 2006).

Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) procedentes de la generación de electricidad

La generación de electricidad tiene asociada la emisión de GEI por el uso de combustibles fósiles. Los niveles de emisión dependen de la infraestructura instalada en un momento determinado. En el caso de México, por cada megavatio-hora (MWh) de electricidad se genera alrededor de 0.5 t de CO<sub>2</sub>e (GEI México, 2014). Por tanto, la reducción en el consumo energético a partir de la sustitución de alumbrado público tiene asociado también una reducción en las emisiones de GEI.

#### Generación de residuos peligrosos

El tipo de tecnologías que en la actualidad opera en los municipios del país tiene el potencial de generar residuos peligrosos que afectan el medio ambiente. La tabla 2 muestra el contenido de mercurio para cada tipo de tecnología. Como se puede ver, las lámparas de vapor de mercurio, el vapor de sodio y fluorescentes tienen el mayor potencial para generar emisiones directas de mercurio al medio ambiente. De acuerdo con Poulin & Gibb (2008), una cantidad de apenas 0.02 mg de mercurio en el aire genera sutiles signos de toxicidad en el sistema nervioso central.

Mientras que el costo de las luminarias que contienen mercurio (vapor de mercurio, vapor de sodio y halógenas) es relativamente menor en comparación con las opciones más innovadoras, a menudo el costo asociado con la gestión de residuos peligrosos no se tiene en cuenta. Esta cuestión es particularmente importante para lámparas halógenas que, de acuerdo con el personal técnico de la Conuee, tienen una vida útil de 2000 h (como referencia una lámpara de vapor de sodio de alta presión tiene 24 000 h de vida útil en promedio). Esto sugiere dos aspectos importantes a tener en cuenta: primero, si hay una opción alternativa rentable, no es razonable continuar usando una tecnología que potencialmente puede dañar el medio ambiente; y en segundo, dicha sustitución debe contemplar acciones necesarias para la eliminación adecuada de los residuos generados.

#### Consideraciones sociales

El efecto de las condiciones de iluminación en la tasa de criminalidad ha sido un tema ampliamente discutido en la literatura académica (Atkins, Husain & Storey,

1991; Clarke, 2008; Farrington & Welsh, 2002; *Swedish Council for Crime Prevention*, 2007). A pesar de que los resultados son diversos, se encuentra evidencia de que las buenas condiciones de iluminación reducen la tasa de criminalidad, especialmente en las zonas céntricas de las localidades. Por ejemplo, Farrington & Welsh (2002) llevaron a cabo una revisión sistemática de la evidencia encontrada en el Reino Unido y los Estados Unidos de América, concluyendo que en las áreas con mejor iluminación en la calle se redujo en un 20% el número de delitos. Si bien se reconoce que las circunstancias óptimas en las que el efecto es mayor no están perfectamente identificadas, se considera que las mejoras en el alumbrado público deben ser una parte integral de una política para reducir la tasa de criminalidad. Por otra parte, en algunos estudios, como el Atkins *et al.* (1991), se reconoce que cualquier mejora en el alumbrado público es muy bien recibida por la población y, en particular, por parte de las mujeres, quienes se sienten más seguras por tener calles más iluminadas.

Clarke (2008) presenta una descripción de los principales resultados sobre la reducción de la delincuencia mediante la mejora de alumbrado público. El estudio reconoce que este efecto depende de otras características individuales de los municipios; por ejemplo, que es más pronunciado donde las comunidades son relativamente estables y homogéneas.

Otro impacto positivo a tener en cuenta es el tipo de luz que tienen las nuevas tecnologías. La tecnología LED tiene la ventaja de emitir luz blanca, lo que crea una sensación de comodidad en la gente, porque es más parecida a la luz emitida por la luna<sup>4</sup>. De hecho, ciudades como Ciudad de México han optado por utilizar lámparas de halogenuros metálicos que proporcionan este tipo de luz. Sin embargo, esta tecnología es relativamente menos eficiente que la potencia consumida por una lámpara de LED, que es en promedio 34% más bajo que el primero<sup>5</sup>.

## MÉTODO

El objetivo de la investigación es presentar un caso de estudio de implementación de una política pública de doble dividendo. Para ello se consideran fundamentos de teoría económica relativos al análisis costo-beneficio y principios de política pública. En el primer caso, se siguió la metodología estándar para el análisis costo-beneficio (Boardman, Greenberg, Vining & Weimer, 2001), el cual consiste en obtener el Índice Costo-Beneficio (ICB) de un conjunto de alternativas para

identificar cuál de ellas es la que resulta con el mejor valor de indicador. Adicionalmente, se utilizaron fundamentos de teoría económica, tales como las restricciones a la liquidez, información imperfecta, externalidades, teoría de los incentivos (Mas-Colell, Whinston & Green, 1995; Sadoulet & De Janvry, 1994), y principios de acuerdos inter-agencia (Bardach, 1998).

En 2010 se llevó a cabo un análisis de factibilidad para la sustitución de alumbrado público en los municipios de México. Este análisis fue auspiciado por el Banco Mundial (Banco Mundial-Conuee, 2010). El objetivo de éste era contar con una evaluación *ex ante* de la factibilidad financiera, económica y técnica para incrementar la eficiencia energética en el alumbrado público municipal. Este análisis precedió con la siguiente ruta crítica:

- i) Identificación de tecnologías de alumbrado público que pudieran sustituir a las actuales. Esta identificación se desarrolló con las condiciones de que el consumo energético se redujera, pero el nivel de iluminación se mantuviera igual. A partir de este análisis se identificó que la tecnología LED, el vapor de sodio de alta presión y los aditivos metálicos podrían ser opciones de sustitución para la diversidad de lámparas que existían en los municipios en ese entonces<sup>6</sup>.
- ii) Análisis de costos y beneficios económicos de la tecnología base y las opciones de sustitución. Este análisis se realizó tomando como base la información recopilada por personal técnico de la Conuee relativa a consumo energético, costos de cada tecnología, vida útil, entre otros datos. Además, se consideró la información proveniente de 180 censos de alumbrado público, compartidos por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) a la Conuee para la realización de este análisis<sup>7</sup>. La selección de municipios no siguió un criterio establecido más allá de que los censos fueran relativamente recientes.
- iii) Análisis de los retos políticos. Posterior al análisis técnico económico, se identificaron los retos de implementación de la política pública. En particular, se estudiaron los siguientes retos:
  - a. Restricciones a la liquidez de los municipios.
  - b. Plazos políticos en contraposición a los ciclos de recuperación de la inversión.
  - c. Impedimentos técnicos y operativos.

<sup>4</sup> Bommel (2009) explica por qué los LED ofrecen ventajas como opción de iluminación desde una perspectiva de la óptica del ojo humano.

<sup>5</sup> Información de personal técnico de la Conuee.

<sup>6</sup> Éstas son incandescentes, halógenas, vapor de mercurio, luz mixta, fluorescentes, vapor de sodio de alta presión y aditivos metálicos.

<sup>7</sup> Estos censos son la base de cobro de CFE a los municipios, y se actualizan de manera periódica.



- d. Información imperfecta.
- e. Desalineación de incentivos de actores involucrados<sup>8</sup>.

Este análisis se realizó de manera cualitativa tomando como referencia la experiencia que se tuvo en las reuniones de trabajo para la implementación del programa, principios de teoría de política pública y de teoría económica, tal como se refirió al principio de esta sección.

## RESULTADOS

A partir de la información referida en la sección anterior, se obtuvieron indicadores de rentabilidad para cada una de las tecnologías consideradas como posibles sustituciones. Los indicadores de rentabilidad considerados fueron el ICB<sup>9</sup>, el beneficio neto y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Con esta información se encontró que había oportunidades de inversión en los 180 municipios analizados. Estas inversiones implican la sustitución de luminarias por una mezcla de tecnologías; esta mezcla resulta de identificar qué tecnología es la que representa el mayor beneficio neto al sustituir cada luminaria instalada. Cabe señalar que el análisis se hizo para cada municipio de manera independiente.

Con una inversión de 335.5 millones de pesos (mdp), se obtendrían beneficios sociales que ascendían a 1 149.3 mdp. La inversión promedio por municipio ascendía a 2 mdp, y el valor presente neto (VPN) de estas inversiones a una tasa de 12% era de 6.8 mdp en promedio. La TIR, en promedio, era de 63%, y finalmente, el plazo de retorno de la inversión era desde 32 meses en promedio, para una tasa de interés de 4%, de 36 meses a una tasa de 8% y de 45 meses a una tasa de 12%.

Es importante apuntar que se contabilizaron los beneficios de la reducción de GEI. Esta reducción se valoró tomando como referencia un costo por tonelada de 5 dólares, de acuerdo con lo señalado por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2014) y un factor de emisión de 0.5057<sup>10</sup>, según lo reportado por GEI México (2014). El VPN de esta reducción de emisiones ascendía a 61.6 mdp, esto es 5.3% del VPN total

a una tasa de descuento de 12%<sup>11</sup>. Es importante hacer esta distinción porque la magnitud de esta cifra implica que la inversión era rentable, incluso sin contabilizar el valor económico de esta reducción de emisiones.

Partiendo de que el análisis técnico-económico concluyó que había oportunidades de inversión (figura 1), se formuló el diseño de un programa público. Este proceso se describe en la siguiente sección. El ICB es nuestro parámetro de referencia para establecer la rentabilidad de una alternativa; no obstante, hay otros indicadores complementarios que permiten analizar estas rentabilidades. En particular, en la figura 2 se presenta el VPN, tanto social como privado, a una tasa de 12%. En la figura 3 se presenta la inversión total a nivel municipal requerida para obtener la rentabilidad de la figura 1. En la figura 4 se presenta el ahorro energético proyectado de acuerdo con el análisis. En ambos casos, esta información confirma que existen oportunidades para obtener beneficios económicos y ambientales de realizar las inversiones.

Para verificar lo robusto de la rentabilidad encontrada, se estimó la elasticidad del VPN respecto a disminuciones en la tarifa eléctrica supuesta, la cual es un parámetro clave del análisis. Esta elasticidad asciende a 1.07%, es decir, por cada 1% que desciende la tarifa, el VPN disminuye en 1.07%. Si bien, este cambio es más que proporcional, consideramos que es suficientemente bajo en relación con los altos valores de rentabilidad encontrados y, por tanto, ésta permanece robusta ante reducciones en la tarifa eléctrica.

## Los retos políticos de la eficiencia económica

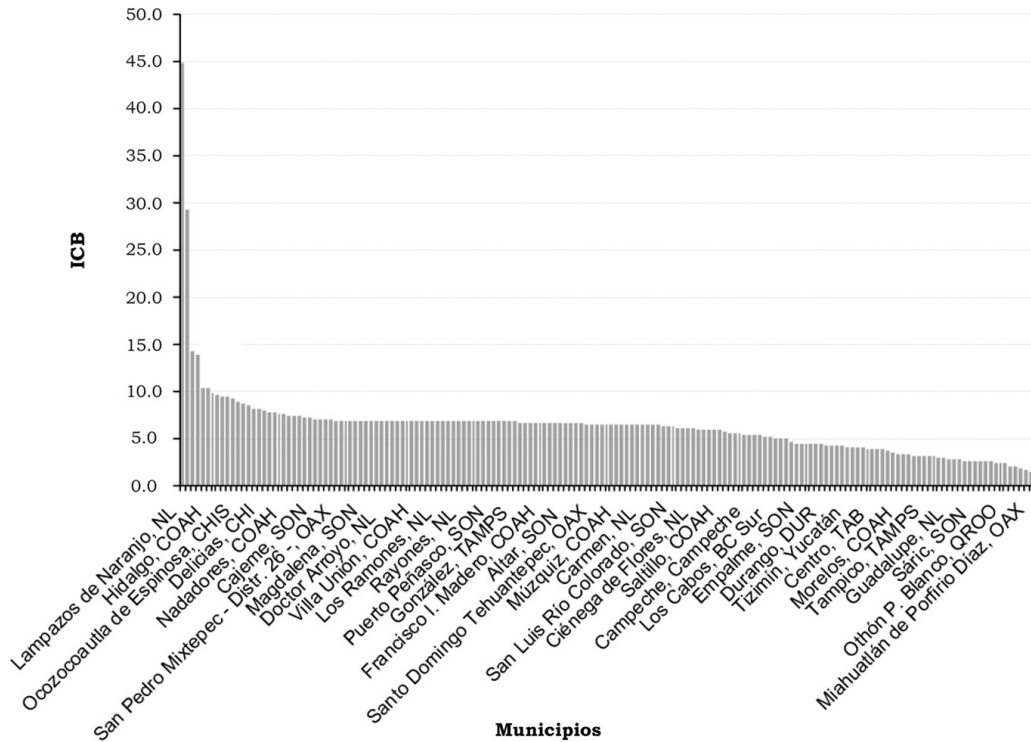
El análisis de factibilidad técnica-económica permitió verificar que había oportunidades de reducción de consumo energético y de generación de beneficios económicos y ambientales. A partir de estos resultados se diseñó un mecanismo que permitiera llevar a cabo estas inversiones. Este proceso fue arduo y no estuvo exento de dificultades. En esta sección se describe cada uno de estos problemas y se plantea la solución que se consideró para el diseño del programa.

<sup>8</sup> Para los temas de restricciones a la liquidez e información imperfecta se tomaron como referencia metodológica principios teóricos de microeconomía; para los asuntos de plazos políticos y la desalineación de actores involucrados se tomó a Bardach (1998); y para impedimentos técnicos y operativos la experiencia del personal técnico de la Conuee.

<sup>9</sup> Este índice se construye dividiendo el beneficio neto entre los costos totales. Un valor mayor a cero indica que el proyecto es rentable.

<sup>10</sup> En el sitio electrónico del Programa GEI México (<http://www.geimexico.org/factor.html>) se describe la metodología de cálculo de este factor, la cual se basa en la *Methodological Tool: Tool to calculate the emission factor for an electricity system, Version 0.4.0, Average OM Method, Option B*, aprobada por la Junta Ejecutiva del Mecanismo para un Desarrollo Limpio.

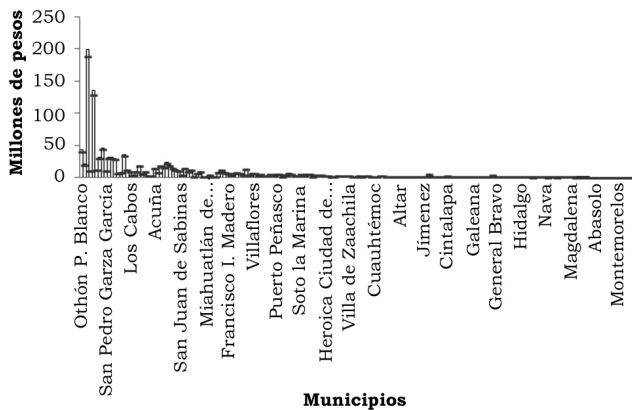
<sup>11</sup> Se utilizó una tasa de 12% por ser este valor el de referencia para valorar proyectos de inversión desde el punto de vista gubernamental, pues, incluso, es la que utilizan los organismos internacionales para evaluar este tipo de proyectos.



**Figura 1.** Índice Costo-Beneficio (ICB) para municipios seleccionados (pesos de beneficio neto por peso invertido).

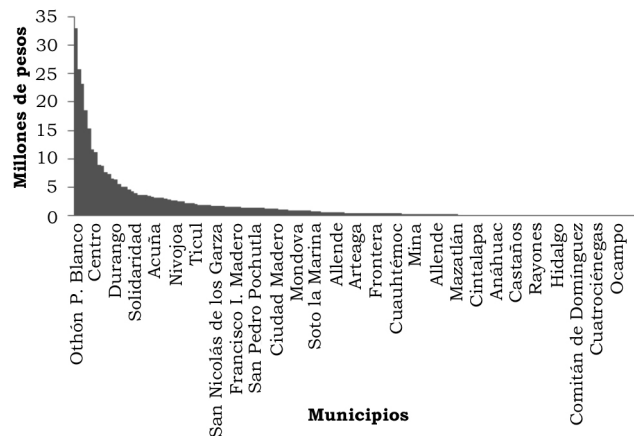
Fuente: Elaboración propia a partir de información de personal técnico de la Conuee.

Nota: El ICB se calcula como la división del beneficio neto entre los costos totales. La disminución abrupta del ICB de los primeros municipios en comparación con los demás está relacionada con las tecnologías disponibles en los municipios. Para unos pocos municipios, donde el ICB es muy alto, hay luminarias de muy baja eficiencia, en los demás las luminarias son relativamente más eficientes.



**Figura 2.** Valor presente neto social y privado para municipios seleccionados (en líneas horizontales la rentabilidad privada, en barras verticales la rentabilidad social).

Fuente: Elaboración propia a partir de información de personal técnico de la Conuee.



**Figura 3.** Montos de inversión total (millones de pesos).

Fuente: Elaboración propia a partir de información de personal técnico de la Conuee.

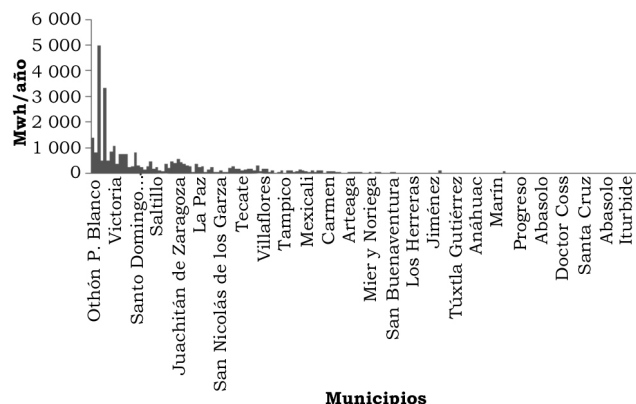


Figura 4. Ahorro energético proyectado (Mwh/año).  
Fuente: Elaboración propia a partir de información de personal técnico de la Conuee.

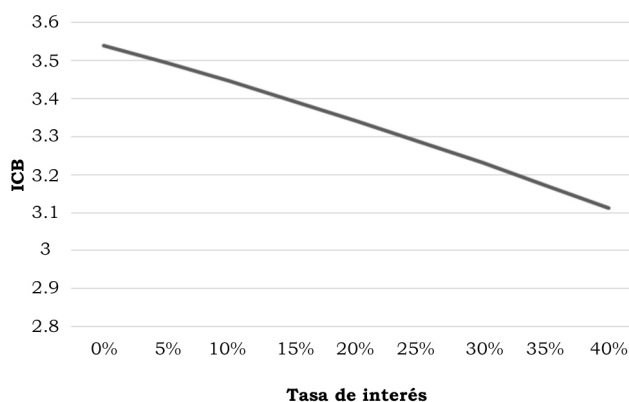


Figura 5. ICB en función de distintas tasas de interés.  
Fuente: Elaboración propia.

#### Restricciones a la liquidez

En México, el alumbrado público es una atribución del gobierno municipal. No obstante, estos gobiernos tienen una alta dependencia del gobierno federal en cuanto a recursos económicos. En promedio, por cada peso que genera de ingresos un municipio, el gobierno federal aporta 3.4 pesos (Instituto para el Desarrollo Técnico de las Haciendas Públicas [Indetec], 2011). Salvo algunas excepciones, los municipios tienen muchas dificultades para realizar inversiones.

Para subsanar este problema, se incorporó la participación de la banca de desarrollo, en particular el Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos (Banobras), quien tiene la facultad de otorgar créditos a ni-

vel municipal. Debido a que la naturaleza del proyecto permitía que el retorno de la inversión se realizara a partir de los flujos de efectivo generados por la disminución en el consumo energético, entonces el municipio no tendría que desembolsar recursos para llevar a cabo la inversión.

De cualquier manera, se realizó un ejercicio suponiendo un apalancamiento de inversión de 30% de los municipios, un plazo de tres años para el pago de la inversión, y se calculó la tasa de interés para la cual el flujo de efectivo disponible de tres años alcanzase para cubrir esta inversión en ese plazo. Esta tasa asciende en promedio a 39%. Esta cifra indica que, aun y cuando la inversión proviniese de los municipios, el proyecto sería factible desde el punto de vista financiero.

#### Plazos políticos

Los gobiernos municipales en México tienen una duración de tres años. Este periodo tan reducido desincentiva la inversión a mediano y largo plazo. Como se describió en la sección anterior, los plazos de retorno se estimaban entre 32 y 45 meses, dependiendo de la tasa de interés. Esto planteaba un riesgo para el financiador, quien podía no estar dispuesto a otorgar créditos si percibía el riesgo de que el gobierno electo de forma subsiguiente desconociera la deuda.

Ante esta problemática, Banobras exploró la manera en otorgar el crédito, a la vez de tener suficiente certeza de que recuperaría la inversión. Personal técnico desarrolló las condiciones para otorgar estos créditos. En particular, planteó que se exigiría autorización del cabildo para contratar el financiamiento, la garantía del pago a partir de las transferencias federales a los municipios y, en su caso, exigir garantías adicionales.

Se realizó un ejercicio para identificar cómo varía el ICB cuando se considera un apalancamiento de 30% y un crédito a tres años a distintas tasas de interés. En la figura 5 se puede observar que este índice es poco sensible a cambios en la tasa de interés.

#### Impedimentos técnicos y operativos

El programa significaba llevar a cabo análisis técnicos en campo para verificar las oportunidades de sustitución tecnológica. Además, se requería de un mecanismo para verificar que los ahorros energéticos se generaran de manera efectiva.



Al inicio se consideró operar el programa a través de un fideicomiso, el cual realizaría compras consolidadas de luminarias, realizaría las inversiones y las verificaciones antes y después, con la finalidad de reducir costos de transacción. Finalmente, el proyecto no adoptó este esquema, sino uno en el que la Conuee identificaría a un conjunto de proveedores elegibles, los cuales cumplirían con estándares mínimos de calidad y precio. Es decir, la Conuee fungió como un garante desde la perspectiva técnica y redujo estos costos de transacción a partir de la selección de proveedores.

#### Información imperfecta

El análisis de factibilidad técnico y económico se realizó con información de sólo 180 municipios de México, de un universo total de 2456. Para identificar el potencial de ahorro energético que habría con información completa se realizó una extrapolación para todos los municipios con base en la correlación entre el VPN obtenido de los 180 municipios y población total de cada uno de ellos. Con base en esta extrapolación se encontró un potencial de inversión de 812.6 mdp que tenían asociado un VPN de 2428.2 mdp. Para la regresión del VPN se obtiene un  $R^2$  de 0.29, para la inversión total el  $R^2$  es de 0.40. En el anexo 1 se muestran los resultados de estas regresiones.

En este sentido, se hizo uso de la mejor información disponible dada la ausencia de información completa. Este análisis fue útil para que los actores involucrados tuvieran una referencia de la magnitud de los resultados esperados.

#### Desalineación de incentivos

La multitud de actores involucrados en el diseño del programa generaba algunas desalineaciones en los incentivos. A continuación se describen algunos de los problemas encontrados en el diseño del programa:

#### CFE y Banobras

El programa exigía un mecanismo para que Banobras recibiera el repago del crédito. Para ello, se coordinó con la CFE para que ésta reconociera los ahorros energéticos una vez realizada la inversión y liberara el pago al primero cada vez que el municipio pagara su cuenta de electricidad. La CFE cobraría lo mismo que antes, quedándose con el valor del consumo de las nuevas luminarias (menor que el anterior) y transfiriendo a Banobras el diferencial del consumo anterior y del nuevo.

Este esquema implicaba, naturalmente, la reducción del consumo energético por parte del municipio, es decir, menos ventas para la CFE; de este modo, este organismo reconocería esta disminución y, además, transferiría a Banobras el pago del crédito hasta su liquidación. Evidentemente, esto generaba cierta resistencia por parte de los funcionarios de la CFE para participar en el proyecto. Sin embargo, esta contraposición de objetivos pudo ser solventada a partir del arduo trabajo de coordinación de los actores involucrados, incluyendo a la Conuee, a Banobras y a la misma CFE. Se tuvo presencia en un considerable número de reuniones para coordinar trabajos y se atestiguó que el programa no se hubiera creado finalmente sin la disposición a trabajar de manera conjunta entre diversas dependencias del gobierno.

#### Municipio

A pesar de la rentabilidad de la inversión y de los beneficios económicos y ambientales detectados en el análisis técnico-económico, se preveía que para un gobierno municipal la inversión podría no ser atractiva si no se generaba un beneficio evidente para éste. Dado que la inversión planteaba una situación hacendaria *neutral* para el municipio, es decir, pagar lo mismo que antes, y que posiblemente los beneficios ambientales y sociales pudieran no resultar suficientemente atractivos para los gobiernos locales, se planteó que los municipios recibieran beneficios de la operación.

En particular, se planteó que un porcentaje del ahorro generado se quedara en el municipio, es decir, que la factura del gasto en electricidad fuera menor. También se consideró otorgar distinciones, tales como certificados o sellos, que los gobiernos pudieran exhibir a la población. Finalmente, Banobras ofreció a los municipios cubrir hasta 15% del monto de la inversión o 10 millones de pesos (lo que resultara menor), a fondo perdido, si un municipio era elegible para obtener estos recursos del Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía<sup>12</sup>.

## DISCUSIÓN

La experiencia del *Proyecto nacional de eficiencia energética en alumbrado público municipal* permitió identificar factores clave para la implementación efectiva de políticas públicas. En esta sección se presentan las lecciones aprendidas durante el proceso de creación de este proyecto.

<sup>12</sup> Este Fondo se creó en 2009 con el objeto de "utilizar recursos económicos para impulsar el sector energético nacional a través de proyectos, programas y acciones encaminados a conseguir una mayor utilización y aprovechamiento de las fuentes de energía renovable y las tecnologías limpias" (Sener, 2012).

Primero, los análisis técnicos y económicos siempre se realizan en un contexto de información imperfecta y el tiempo para su desarrollo es muy limitado. Ante estas dificultades, los equipos que los realizan deben ser suficientemente flexibles y creativos para generar el mejor resultado dadas las restricciones de información. Con base en la experiencia de este proyecto, se concluye que estos análisis resultan útiles en la medida en que se establezcan acuerdos entre los actores involucrados para compartir información de manera expedita, así como presentando los resultados obtenidos de modo comprensible y reconociendo sus limitaciones. Si bien, la información se genera y está disponible en niveles medios de las dependencias de gobierno, generalmente es necesario que la formulación de estos acuerdos para compartir información sean formalizados por funcionarios de alto nivel.

Segundo, la participación activa de todos los actores involucrados dentro del proceso de diseño de la política pública desde sus fases iniciales es esencial para que ésta se implemente. En el proyecto participó personal clave de las dependencias de gobierno que tenían relación con la política desde las fases iniciales, pero se observó que si algún participante estaba ausente en alguna reunión, el proceso de implementación se retrasaba e incluso a veces se percibía que el proyecto no veía la luz. Con esto, consideramos que si no se involucra desde un inicio y se busca la apropiación del proyecto de cada actor una política pública que pudiera representar beneficios para todos, puede no ser implementada (Bardach, 1998).

Tercero, los municipios tienen amplias atribuciones en términos de bienes públicos, pero muy limitados recursos económicos para llevar a cabo este tipo de proyectos. Por tanto, esquemas de este tipo, en que los propios flujos financieros cubren el costo de la infraestructura, son una ventana de oportunidad para proveer bienes públicos a nivel municipal. En este sentido, el diseño de este proyecto puede servir como base para otro tipo de bienes públicos.

### Estatus actual del programa

A partir de 2011 se inició la ejecución del *Proyecto nacional de eficiencia energética en alumbrado público municipal*, con el cual se ha apoyado a los municipios de manera técnica y financiera para impulsar la eficiencia energética a través de la sustitución de sistemas de alumbrado público ineficientes por eficientes.

Con este proyecto se busca obtener una reducción en el consumo de energía eléctrica, fortalecer las finanzas públicas municipales a partir de los ahorros de consumo en la energía eléctrica, el mejoramiento

de la imagen urbana y la seguridad de los habitantes; y en términos ambientales, la disminución de emisiones de GEI y contaminantes locales. Hasta 2014 se ha obtenido un total de inversión de 519.5 mdp.

Se han utilizado recursos del Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía por 27.6 mdp y quedan disponibles 61.5 mdp. También se ha realizado la instalación de 150 182 luminarias. Con esta inversión se ha obtenido un ahorro en el consumo de 4 359 894 kWh/mes, lo que significó para los municipios un ahorro en facturación de 37.2% (Conuee, 2014).

En la tabla 3 se presentan algunos casos de éxito del programa, definidos así por la Conuee (2014). Estos casos han generado ahorros importantes en consumo eléctrico, y sus consecuentes ahorros económicos y beneficios ambientales. En esta tabla se muestran ahorros e inversiones realizadas, las cuales son consistentes con el análisis costo-beneficio realizado *ex ante*.

### CONCLUSIONES

Derivado del análisis del presente trabajo, se concluye que existen oportunidades de inversión para renovar el alumbrado público a nivel municipal en México. Se estima que a nivel nacional, con una inversión de 812.6 mdp, se pueden obtener beneficios netos de 2428.2 mdp, lo que significa un ICB de 2.99 pesos por peso invertido. Estas oportunidades tienen el potencial de generar ahorros económicos y beneficios ambientales. Existe, incluso, potencial de la adopción de tecnologías novedosas, como es el caso de los LED. La principal desventaja de los LED es el alto costo de la inversión inicial, asunto que limita su adopción generalizada. Sin embargo, el análisis sugiere que hoy en día existe cierto tipo de lámparas para las que el LED de reemplazo implica una inversión socialmente rentable y generan beneficios económicos y ambientales.

Asimismo, se presentan algunas lecciones aprendidas que tienen el objetivo de generalizar resultados que pueden ser aplicados a otras políticas públicas. En particular, se concluye que generar acuerdos con funcionarios de gobierno de alto nivel para compartir información, misma que se genera y almacena por funcionarios de niveles medios, es necesario para desarrollar los análisis técnicos necesarios en los tiempos reducidos en que se requieren. Además, se juzga esencial que todos los actores involucrados participen y se apropien de este tipo de iniciativas desde sus fases iniciales de diseño.

**Tabla 3.**

Casos de éxito del Proyecto nacional de eficiencia energética en alumbrado público municipal.

		<b>Ahorro</b>					
<b>Estado</b>	<b>Municipio</b>	<b>Apoyo BANOBRAS (pesos)</b>	<b>Consumo de energía eléctrica (kWh/mes)</b>	<b>Representa el consumo en viviendas aproximadamente</b>	<b>Ahorro promedio estimado por su facturación (%)</b>		
Morelos	Xochitepec	1 141 800.00	158 004	1422	43.30%		
Chihuahua	Delicias	4 220 444.25	278 548	2506	66.70%		
Durango	Durango	8 511 858.70	851 224	7661	42.50%		
		<b>Beneficios ambientales</b>					
<b>Estado</b>	<b>Municipio</b>	<b>CO<sub>2</sub> evitado aproximadamente (toneladas/mes)</b>	<b>Población total beneficiada (habitantes)</b>	<b>Monto de Inversión sin IVA (pesos)</b>	<b>Sistemas instalados</b>		
Morelos	Xochitepec	80	63 382	7 611 998.90	4815		
Chihuahua	Delicias	142	137 935	37 929 195.00	6117		
Durango	Durango	433	582 267	56 745 724.74	26 321		
		<b>Tecnología eficiente instalada</b>			<b>Tecnología ineficiente sustituida</b>		
<b>Estado</b>	<b>Municipio</b>	<b>Vapor de sodio de alta presión cerámico (Watts)</b>	<b>Leds (Watts)</b>	<b>Aditivos Metálicos (Watts)</b>	<b>Aditivos Metálicos (Watts)</b>	<b>Vapor de Sodio de Alta Presión (Watts)</b>	<b>Vapor de Mercurio (Watts)</b>
Morelos	Xochitepec	si			si	si	
Chihuahua	Delicias		si			si	si
Durango	Durango			si		si	

Fuente: Conuee (2014).

Este artículo describe un caso real de política pública, donde se demuestra cómo una oportunidad de inversión requiere que se conjuguen otros elementos de política para realizarse. En este sentido, si el análisis se hubiera limitado a determinar la factibilidad económica de la inversión, probablemente el proyecto referido no existiría. Este proyecto es una evidencia empírica de cómo es posible implementar políticas de doble dividendo, a la luz del gran reto de contrarrestar el cambio climático, creando beneficios económicos y ambientales de manera simultánea.

## REFERENCIAS

- Atkins, S., Husain, S. & Storey, A. (1991). The influence of street lighting on crime and fear of crime. *Crime Prevention Unit Paper* (no. 28). Londres: Home Office.
- Banco Mundial-Comisión Nacional para el uso eficiente de la energía (Conuee) (2010). *Programa de eficiencia energética en alumbrado público municipal* (documento interno).
- Bardach, E. (1998). *Getting Agencies to Work Together: The Practice and Theory of Managerial Craftsmanship*. Washington, D.C.: Brookings Institution Press.
- Boardman, A. E., Greenberg, D. H., Vining, A. R. & Weimer, D. L. (2001). *Cost-Benefit Analysis, Concepts and Practice*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Bruce-White, C. & Shardlow, M. (2011). *A Review of the Impact of Artificial Light on Invertebrates*. Cambridgeshire: Buglife, The Invertebrate Conservation Trust. Recuperado el 19 de noviembre de 2014 de <http://www.kentbutterflies.org/kentmoths/downloads/pdfs/others/Buglifereport.pdf>
- Bommel, W., van (2009). *El espectro de las fuentes de luz y bajos niveles de iluminación: fundamentos*. Recuperado el 19 de noviembre de 2014 de [http://www.ceisp.com/uploads/media/Vision\\_Mesopica\\_2009.pdf](http://www.ceisp.com/uploads/media/Vision_Mesopica_2009.pdf)
- Clarke, R. V. (2008). Improving Street lighting to reduce crime in residential areas. *Problem-Oriented Guides for Police, Response Guides Series* (no. 8). Recuperado el 19 de noviembre de 2014 de <http://cops.usdoj.gov/Publications/e1208-StreetLighting.pdf>

- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (Conuee) (2011). *Guía: iluminación eficiente en alumbrado público*. México: Conuee. Recuperado el 19 de noviembre de 2014 de [http://www.conuee.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/7369/8/alumbrado\\_publico.pdf](http://www.conuee.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/7369/8/alumbrado_publico.pdf)
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (Conuee) (2014). Presentación. En *Proyecto nacional de eficiencia energética en alumbrado público municipal*. Recuperado de <http://www.conuee.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/8574/3/ProyectoNEEAP.pdf>
- Dolsa, A. G. & Albarrán, M. T. (1998). La problemática de la contaminación lumínica en la conservación de la biodiversidad. En *Sesión de trabajo sobre la contaminación lumínica, Department de Medi Ambient, Generalitat de Catalunya*. Recuperado de <https://www.um.es/eubacteria/Biodiversidad.pdf>
- Farrington, D. P. & Welsh, B. C. (2002). Effects of improved street lighting on crime: a systematic review. In *Home Office Research Study* (no. 251). Londres: Home Office.
- GEI México (2014). *Factor de emisión eléctrico*. Recuperado el 19 de noviembre de 2014 de <http://www.geimexico.org/factor.html>
- Instituto para el Desarrollo Técnico de las Haciendas Públicas (Indetec) (2011). Perspectivas de las participaciones federales a municipios en 2012. En *Hacienda municipal* (núm. 115). México: Inafed. Recuperado el 19 de noviembre de 2014 de [http://www.inafed.gob.mx/work/dso/la\\_distribucion\\_de\\_transferencias\\_federales\\_para\\_municipios.pdf](http://www.inafed.gob.mx/work/dso/la_distribucion_de_transferencias_federales_para_municipios.pdf)
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) (2014). *El sector privado y el cambio climático*. México: INECC. Recuperado el 19 de noviembre de 2014 de <http://cambioclimatico.inecc.gob.mx/sectprivcc/mercadoarbono-carbono.html>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptations and Vulnerability, Summary for Policymakers*. WMO-UNEP. Recuperado el 19 de noviembre de 2014 de [http://ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5\\_wgll\\_spm\\_en.pdf](http://ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5_wgll_spm_en.pdf)
- Langevelde, F., van, Ettema, J. A., Donners, M., Wallis DeVries, M. F. & Groenendijk, D. (2011). Effect of spectral composition of artificial light on the attraction of moths. *Biological Conservation*, 144(2011), 2274-2281. Recuperado el 19 de noviembre de 2014 de [http://www.researchgate.net/publication/251548908\\_Effect\\_of\\_spectral\\_composition\\_of\\_artificial\\_light\\_on\\_the\\_attraction\\_of\\_moths/links/0c9605283ac8bab2e5000000](http://www.researchgate.net/publication/251548908_Effect_of_spectral_composition_of_artificial_light_on_the_attraction_of_moths/links/0c9605283ac8bab2e5000000)
- Mas-Colell, A., Whinston, M. D. & Green, J. R. (1995). *Microeconomic Theory*. New York: Oxford University Press.
- Naredo, J. M. & Gómez-Baggethun, E. (2012). Apéndice. Río+20 en Perspectiva. Economía verde: nueva reconciliación virtual entre ecología y economía. En *Hacia una prosperidad sostenible: la situación del mundo 2012. Informe Anual del Worldwatch Institute sobre el progreso hacia una sociedad sostenible*. Recuperado el 19 de noviembre de 2014 de [https://www.fuhem.es/media/cdv/file/biblioteca/Situaci%C3%B3n%20del%20Mundo/2012/economia-verde-nueva-reconciliacion-virtual-ecologia-economia\\_J-M\\_NAREDO\\_E\\_GOMEZ-BAGGETHUN.pdf](https://www.fuhem.es/media/cdv/file/biblioteca/Situaci%C3%B3n%20del%20Mundo/2012/economia-verde-nueva-reconciliacion-virtual-ecologia-economia_J-M_NAREDO_E_GOMEZ-BAGGETHUN.pdf)
- Organización de las Naciones Unidas (ONU) (1987). Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. En *Nota del secretario general, A/42/427*. Recuperado el 19 de noviembre de 2014 de <http://www.un.org/es/comun/docs/?symbol=A/42/427>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU) (1992). Declaración de Río sobre el medio ambiente y el desarrollo. En *Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*, Río de Janeiro, 16 de junio.
- Pearce, D. (1991). The Role of Carbon Taxes in Adjusting to Global Warming. *The Economic Journal*, 101(407), 938-948.
- Poulin, J. & Gibb, H. (2008). Mercurio: Evaluación de la carga de morbilidad ambiental a nivel nacional y local. En *Serie carga de morbilidad ambiental* (núm. 16). Recuperado de [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/78130/1/9789243596570\\_spa.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/78130/1/9789243596570_spa.pdf)
- Rich, C. & Longcore, T. (2006). *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. Washington, D.C.: Island Press.
- Rodríguez, P. E. (2008). *Residuos del alumbrado público*. Recuperado el 14 de noviembre de 2014 de <http://www.2014.coloquiodedisenio.org/coloquio-2008/mesa2/11.swf>
- Sadoulet, E. & De Janvry, A. (1994). *Quantitative Policy Analysis*. Baltimore: The John Hopkins University Press.
- Schowalter, T. D. (2013). *Insects and Sustainability of Ecosystem Services*. London: CRC Press.
- Secretaría de Energía (Sener) (2005). Norma oficial mexicana NOM-001-SEDE-2005. Instalaciones eléctricas (utilización). *Diario Oficial de la Federación*, lunes 13 de marzo de 2006.
- Secretaría de Energía (Sener) (2012). Información al 31 de enero de 2012 del Fideicomiso denominado *Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía*. En *Oficio*. México: SENER. Recuperado el 19 de noviembre de 2014 de [http://www.sener.gob.mx/webSener/res/0/Portal\\_Enero2012.pdf](http://www.sener.gob.mx/webSener/res/0/Portal_Enero2012.pdf)
- Swedish Council for Crime Prevention (2007). *Improved Street Lighting and Crime Prevention: A Systematic Review*. Estocolmo: Swedish Council for Crime Prevention. Recuperado el 19 de noviembre de 2014 de [http://www.bra.se/download/18\\_cba82f7130f475a2f1800023686/1312459426881/2008\\_improved\\_street\\_lighting.pdf](http://www.bra.se/download/18_cba82f7130f475a2f1800023686/1312459426881/2008_improved_street_lighting.pdf)
- US Department of Energy (2013). Life-Cycle Assessment of Energy and Environmental Impacts of LED Lighting Products. *Energy Efficiency & Renewable Energy*. Recuperado el 19 de noviembre de 2014 de [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/lca\\_factsheet\\_apr2013.pdf](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/lca_factsheet_apr2013.pdf)

## ANEXO

### Anexo 1.

Predicción del VPN e inversión a nivel nacional.

<b>Source</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de cuadrados</b>	<b>Número de obs = 168</b>
Modelo	279.73	1	279.73	Prob > F = 0.0000
Residuos	406.80	166	2.45	R <sup>2</sup> = 0.4075
Total	686.53	167	4.11	Root MSE= 1.5654
<b>In (Invtotal)</b>	<b>Coef.</b>	<b>E. E.</b>	<b>t</b>	<b>P &gt;  t </b>
Ln (población total)	0.7366427	0.0689485	10.68	0.000
Cons	5.135879	0.745252	6.89	0.000
<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de cuadrados</b>	<b>Número de obs = 168</b>
Modelo	216.66	1	216.66	Prob > F = 0.0000
Residuos	519.83	166	3.13	R <sup>2</sup> = 0.2942
Total	736.48	167	4.41	Error estándar promedio = 1.7696
<b>In (VPN)</b>	<b>Coef.</b>	<b>E.E.</b>	<b>t</b>	<b>P &gt;  t </b>
Ln (población total)	0.6482992	0.0779408	8.32	0.000
Cons	7.217604	0.842448	8.57	0.000

Fuente: Elaboración propia.