



Departamento de Economía
Serie documentos de trabajo
2014

**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**

Alejandro Guevara

José Alberto Lara Pulido

Septiembre 2014

Documento de trabajo No. 2, 2014

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

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. En particular, se analiza la génesis y desarrollo del *Proyecto Nacional de Eficiencia Energética en Alumbrado Público Municipal en México*. Se describe el análisis de factibilidad técnico y económico, del cual se desprende que existen amplias oportunidades de inversión rentables con una TIR promedio de 63% y una posible captura de 15,929 toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO₂e). Asimismo describe obstáculos diversos para su realización y estrategias de política para enfrentarlos. Finalmente, se presentan los resultados logrados a la fecha. Este artículo ilustra cómo es posible implementar medidas que aportan al desarrollo sustentable considerando elementos de eficiencia económica, social y ambiental, pero considerando las restricciones de política.

Palabras Clave: Alumbrado Público Municipal, Eficiencia Energética, Cooperación Interinstitucional, Análisis Costo Beneficio, México, Desarrollo Sustentable

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. In particular, 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 average 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 performance up to date. 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.

Keywords: Municipal Public Lighting, Energy Efficiency, Interagency cooperation, Cost Benefit Analysis, Sustainable Development, Mexico.

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día existen oportunidades reales para simultáneamente reducir emisiones de carbono y generar ganancias económicas. 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, para elevar la calidad de vida de sus habitantes. Por la 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 actividad humana y los ecosistemas. El reconocimiento de que es posible compatibilizar el crecimiento económico con objetivos económicos incluso se dio a nivel mundial desde 1972, en la Conferencia de Estocolmo, y quedó de manifiesto en el Informe Brundtland (ONU, 1987) y en la Conferencia de Río de Janeiro de 1992 (ONU, 1992).

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.¹ 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

¹ 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 el término de manera más amplia, entendiendo el doble dividendo como cualquier acción que genere de manera simultánea beneficios económicos y ambientales.

implementar acciones, que desde la perspectiva estrictamente económica se llevarían a cabo de manera inmediata.

Como se mostrará en el desarrollo de este trabajo, estos obstáculos pueden franquearse 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 público. En éste se analiza la factibilidad técnica y económica, así como la política del mismo. Se propone el diseño del programa, describiendo el papel de los 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 es operado por la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE).

En la segunda parte se describe el contexto del estudio; en la tercera, los métodos de investigación; para ello se describen las oportunidades de inversión para incrementar la eficiencia en el alumbrado público municipal en México, la metodología seguida para obtener los resultados técnicos, así como los retos y obstáculos políticos y cómo se subsanaron en el diseño preliminar del programa; en la cuarta, se presentan los resultados del análisis; en la quinta, se presenta una discusión sobre los resultados; en la sexta, se presenta el estatus actual del programa y en la séptima, se presentan las conclusiones.

2. CONTEXTO

En los municipios mexicanos convergen actualmente diversas tecnologías en la provisión del alumbrado municipal. La diversidad de tecnologías es muy amplia y, por tanto, el potencial de inversión en eficiencia energética es igualmente diverso. Los principales tipos de energía que operan actualmente en los municipios pueden observarse en la Tabla 1 en la que se presentan también las principales características de cada uno.

Tipo de lámpara	Eficiencia	Duración	Requerimiento de balastro	Observaciones
Incandescente	Muy baja	Muy corta	No	
Vapor de mercurio	Baja	Larga	Sí	
Vapor de sodio de alta presión	Alta	Muy larga	Sí	Muy bajo rendimiento de color (luz amarilla)
Vapor de sodio de baja presión	Muy alta	Muy larga	Sí	Rendimiento de color limitada
Aditivos metálicos	Alta	Larga	Sí	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 CONUEE.

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 Comisión Nacional de Uso Eficiente de la Energía (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 halogenuros metálicos de alta presión.

A continuación se hace una breve descripción de cada tecnología y se discuten sus ventajas y desventajas.

LEDs

Las lámparas con tecnología de estado sólido, comúnmente conocidos como LED, por sus siglas en inglés (*light-emitting diodes* – 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).

Con el advenimiento de la tecnología LED, se dispone del 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 este tipo de tecnología se encuentra en la banda central del espectro de luz, por lo que se reduce drásticamente el efecto negativo en la cadena alimentaria, por su impacto adverso en la reproducción de insectos. En segundo lugar, estos dispositivos no contienen mercurio, lo que disminuye los costos de manejo de sustancias peligrosas.

Por último, el ahorro de energía generado por la adopción de esta tecnología tiene el potencial de reducir las 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, la sustitución de la tecnología por LED es atractiva y, como se verá más adelante, también implica otros impactos positivos en términos de bienestar social que la convierten en una alternativa a considerar.

Su principal desventaja es el alto costo de la inversión inicial, lo 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 todos los beneficios descritos anteriormente.

Vapor de sodio

Las lámparas de vapor de sodio tienen una larga vida, son muy eficientes y tienen un costo relativamente bajo. Entre sus principales desventajas se cuentan la emisión de luz amarilla y los contaminantes que potencialmente contienen. 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.

A partir del análisis realizado se descubre que, para algunas lámparas con esta tecnología instaladas actualmente en los municipios, 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 del medio ambiente a partir del uso de esta tecnología; por lo tanto, la sustitución de ciertos tipos de lámparas es la mejor opción.

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. 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. Al igual que las otras dos tecnologías consideradas encontramos que en algunos casos esta alternativa es socialmente rentable.

2.1 Consideraciones ambientales de las tecnologías de alumbrado público

Los 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 explica brevemente a continuación, para describir posteriormente cómo las tecnologías alternativas tienen el potencial de disminuir la presión sobre el mismo.

2.1.1. Contaminación lumínica y ecosistemas

En algunos municipios el alumbrado público es proporcionado por lámparas de vapor de mercurio, aunque la Norma Oficial Mexicana NOM- 001- SEE -2005 (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 negativamente a los procesos reproductivos de los insectos, causando desequilibrios en las cadenas alimentarias, y por lo tanto en los ecosistemas, ya que son la principal fuente de proteínas en todo el mundo. Sin embargo, las hembras no se

sienten atraídas por esta luz; por lo tanto, los procesos de reproducción se interrumpen. Por otra parte, las fuentes de luz causan grandes concentraciones de insectos, lo que facilita la caza de predadores, provocando desequilibrios en las poblaciones. Por otra parte, algunos insectos pueden detectar una hembra a kilómetros de distancia, pero este 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 alimentarias (Dolsa y Albarrán, 1998).

2.1.2. Emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la generación de electricidad

La generación de electricidad tiene asociada la emisión de gases de efecto invernadero (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 MWh de electricidad se genera alrededor de 0.5 tonelada de CO₂e (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.

2.1.3. Generación de residuos peligrosos

El tipo de tecnologías que actualmente 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. Una lámpara de vapor de mercurio, que contiene 0,02 mg de mercurio puede contaminar un promedio de 480 litros de agua.

Tabla 2. Valores medios de los componentes de las lámparas

Elemento	Fluorescentes (mg)	V.M.A.P. (mg)*	V.S.A.P. (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.

Fuente: Tomado de Rodríguez (2008).

Mientras que el costo de estas tecnologías es relativamente menor en comparación con las opciones más innovadoras, a menudo el costo asociado a la gestión de residuos peligrosos no se tiene en cuenta; cuestión particularmente importante para lámparas halógenas, que tienen una vida útil de 2000 horas (como referencia una lámpara de vapor de sodio de alta presión tiene 24,000 horas 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 lugar, dicha sustitución debe contemplar acciones necesarias para la eliminación adecuada de los residuos generados.

2.2. Consideraciones sociales

El efecto de las condiciones de iluminación en la tasa de criminalidad ha sido un tema ampliamente discutido en la literatura académica (Swedish Council for Crime Prevention, 2007; Farrington y Welsh, 2002; Atkins *et al.*, 1991; Clarke, 2008). 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 and Welsh (2002), llevaron a cabo una revisión sistemática de la evidencia encontrada en el Reino Unido y los EE.UU., concluyendo que en las áreas con mejoras en la iluminación de 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 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, que 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 a la gente, porque es más parecida a la luz emitida por la luna. 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.²

3. MÉTODOS

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 a principios de política pública. En el primer caso, se siguió la metodología estándar para el análisis costo beneficio (ver por ejemplo Boardman *et al.*, 2001) que consiste en obtener el índice costo-beneficio de un conjunto de alternativas para identificar cuál de ellas es la que resulta más rentable. Adicionalmente, se utilizaron fundamentos de teoría económica, tales como las restricciones a la liquidez, información imperfecta, externalidades, teoría de los incentivos (Sadoulet y de Janvry, 1994; Mas-Colell *et al.*, 1995), y principios de acuerdos inter-agencia (Bardach, 1998).

En 2010, se llevó a cabo un análisis de factibilidad para la sustitución de alumbrado público municipal. 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

² Información de personal técnico de la CONUEE.

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.³

- (ii) Análisis de costos y beneficios 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.⁴ 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
 - d. Información imperfecta

³ Estas son incandescentes, halógenas, vapor de mercurio, luz mixta, fluorescentes, vapor de sodio de alta presión y aditivos metálicos.

⁴ Estos censos son la base de cobro de CFE a los municipios y se actualizan de manera periódica.

e. Desalineación de incentivos de actores involucrados

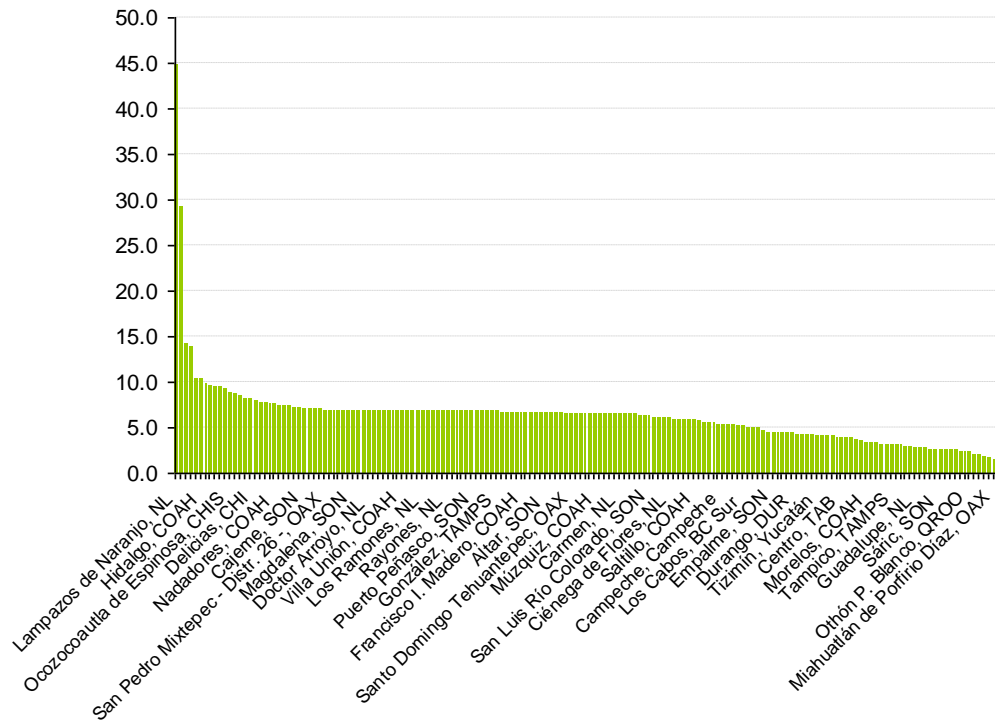
Este análisis se realizó de manera cualitativa tomando como referencia la experiencia que se tuvo en las reuniones de trabajo para la implementación del programa, principios de teoría de política pública y de teoría económica, tal como se refirió al principio de esta sección.

4. 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. Con esta información se encontró que había oportunidades de inversión en los 180 municipios analizados. En particular, 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 era de 6.8 mdp en promedio. En promedio, la tasa interna de retorno 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%.

Cabe señalar 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 a lo señalado por INECC (2014) y un factor de emisión de 0.5057, 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. 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.

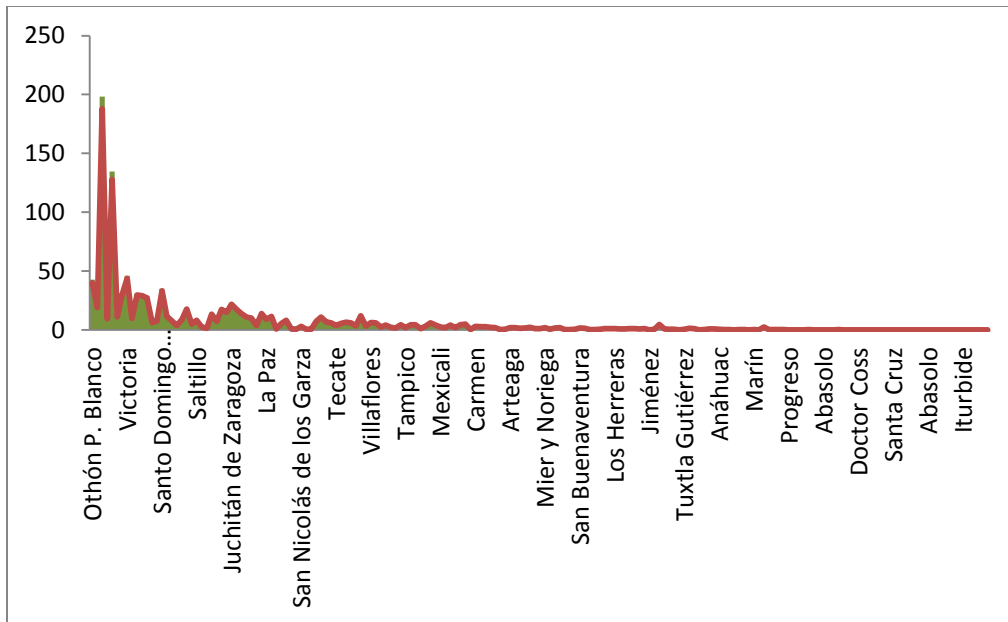
Gráfica 1. Índice Costo Beneficio para municipios seleccionados.



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

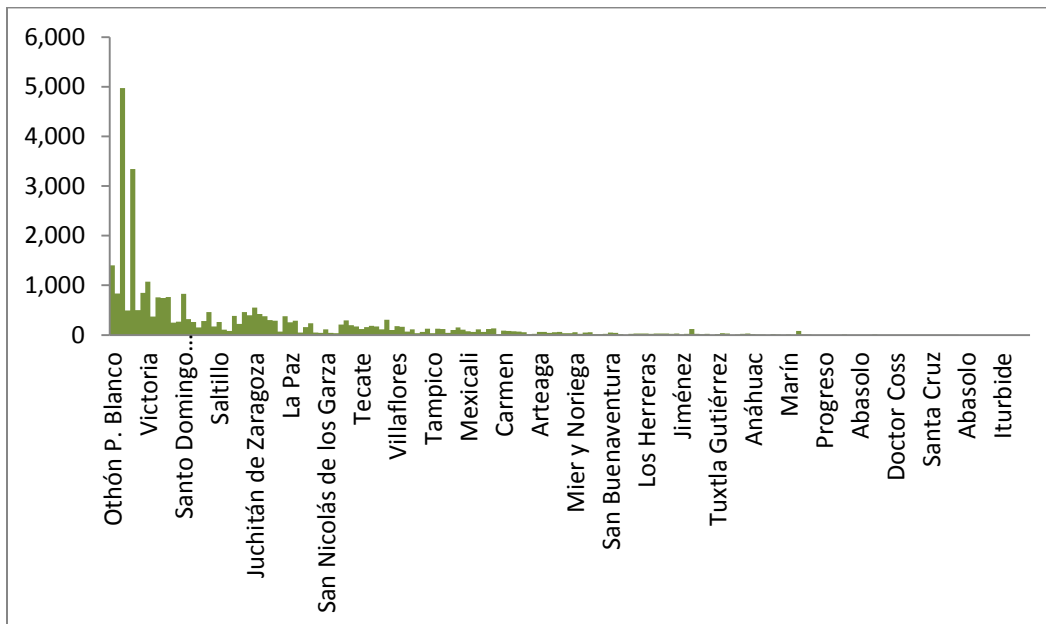
Partiendo de que el análisis técnico-económico concluyó que había oportunidades de inversión (ver gráfica 1), se formuló el diseño de un programa público. Este proceso se describe en la siguiente sección. El índice costo-beneficio es nuestro parámetro de referencia para establecer la rentabilidad de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

Gráfica 2. Valor presente neto social y privado para municipios seleccionados (en verde la rentabilidad privada, en rojo la rentabilidad social).



Fuente: Elaboración propia a partir de información de personal técnico de la CONUEE

Gráfica 3. Ahorro energético proyectado (Mwh/año).



Fuente: Elaboración propia a partir de información de personal técnico de la CONUEE

4.2. 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.

4.2.1. 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 (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 nivel 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.

4.2.2. Plazos políticos

Los gobiernos municipales en México tienen una duración de 3 años. Este corto periodo 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 siguiente gobierno 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 el pago a partir de las transferencias federales a los municipios, y en su caso, exigir garantías adicionales.

4.2.3. 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.

Inicialmente se consideró operar el programa a través de un fideicomiso, el cual realizaría compras consolidadas de luminarias, realizaría las inversiones y realizaría 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.

4.2.4. Información imperfecta

El análisis de factibilidad técnico y económico se realizó con información de sólo 180 municipios de México, de un universo de 2,456 municipios. 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 la población total de cada municipio y los indicadores de rentabilidad obtenidos de los 180 municipios. Con base en esta extrapolación se encontró un potencial de inversión de 667.9 mdp que tenían asociado un VPN de 2,754.2 mdp.

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.

4.2.5. 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, que este organismo reconociera esta disminución y además, que transfiriera 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. Nosotros, los autores, estuvimos presentes en un buen número de reuniones para coordinar trabajos y fuimos testigos de 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

podieran no resultar 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 de 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.⁵

5. 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.

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 concluimos que estos análisis resultan útiles en la medida en que se establezcan acuerdos entre los actores involucrados para compartir información de

⁵ 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).

manera expedita, así como presentando los resultados obtenidos de manera 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 participaron 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 vería la luz. Con base en 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 los 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.

6. 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 gases de efecto invernadero y contaminantes locales. Hasta 2014, se ha obtenido un total de inversión de 519.5 mdp.

Se han utilizado del recurso 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.

Tabla 3. Casos de éxito del Proyecto Nacional de Eficiencia Energética en Alumbrado Público Municipal

Estado	Municipio	Apoyo BANOBRAS (pesos)	Ahorro		
			Consumo de Energía Eléctrica (kWh/mes)	Representa el consumo en viviendas aproximadamente	Ahorro promedio estimado por su facturación (%)
Morelos	Xochitepec	\$1,141,800.00	158,004	1,422	43.30%
Chihuahua	Delicias	\$4,220,444.25	278,548	2,506	66.70%
Durango	Durango	\$8,511,858.70	851,224	7,661	42.50%

Estado	Municipio	Beneficios Ambientales			
		CO2 evitado aproximadamente (toneladas/mes)	Población total beneficiada (Habitantes)	Monto de Inversión sin IVA (pesos)	Sistemas instalados
Morelos	Xochitepec	80	63,382	\$ 7, 611,998.90	4,815
Chihuahua	Delicias	142	137,935	\$ 37, 929,195.00	6,117
Durango	Durango	433	582,267	\$ 56, 745,724.74	26,321

Estado	Municipio	Tecnología Eficiente Instalada			Tecnología Ineficiente Sustituida		
		Vapor de sodio de alta presión cerámico (Watts)	Leds (Watts)	Aditivos Metálicos (Watts)	Aditivos Metálicos (Watts)	Vapor de Sodio de Alta Presión (Watts)	Vapor de Mercurio (Watts)
Morelos	Xochitepec	si			si	si	
Chihuahua	Delicias		si			si	si
Durango	Durango			si		si	

Fuente: CONUEE (2014).

7. CONCLUSIONES

El presente artículo describió la implementación de una política pública para elevar la eficiencia energética en el alumbrado público municipal en México. Para ello, se describió el proceso de creación del Proyecto Nacional de Eficiencia Energética en Alumbrado Público Municipal. Este proceso requirió un análisis de factibilidad técnico y económico, pero también superar algunos obstáculos que podían impedir que se realizaran inversiones rentables, que generarían beneficios económicos, ambientales y sociales. Estos retos son las restricciones a la liquidez, los plazos políticos que se contraponen a los plazos de recuperación de la inversión, impedimentos de carácter técnico y operativo, información imperfecta y la desalineación de incentivos de los actores involucrados. Una vez descritos estos elementos del proyecto inicial se presentan los resultados que se han obtenido hasta la fecha.

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 de 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 requeridos 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. Finalmente, se considera que un esquema como el de este Proyecto puede ser replicado para proveer otros bienes públicos, pues se caracteriza por cubrir los costos a partir de los propios flujos de efectivo que genera, lo cual es particularmente relevante en el contexto de los municipios de México,

quienes tienen amplias atribuciones para generar bienes públicos, pero muy reducidos recursos económicos.

Este artículo describe un caso real de política pública, en el que 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, creando beneficios económicos y ambientales de manera simultánea.

6. Referencias

- Atkins, S., S. Husain y A. Storey (1991). “The influence of street lighting on crime and fear of crime”, *Crime Prevention Unit Paper*, No. 28. Londres: Home Office.
- Banco Mundial-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*, Brookings Institution Press, Washington, D.C., 348 pp.
- Boardman, A. E., D. H. Greenberg, A. R. Vining y D. L. Weimer (2001). *Cost-Benefit Analysis, Concepts and Practice*, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Clarke, R. V. (2008). “Improving Street lighting to reduce crime in residential areas”, *Problem-Oriented Guides for Police, Response Guides Series*, No. 8. Disponible en: <http://cops.usdoj.gov/Publications/e1208-StreetLighting.pdf>
- CONUEE (2014). “Proyecto Nacional de Eficiencia Energética en Alumbrado Público Municipal”, Presentación. Disponible en: <http://www.conuee.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/8574/3/ProyectoNEEAP.pdf>
- Dolsa, A. G. y M. T. Albarrán (1998). “La problemática de la contaminación lumínica en la conservación de la biodiversidad”, *I Sesión de trabajo sobre la Contaminación Lumínica, Department de Medi Ambient, Generalitat de Catalunya*. Disponible en: <https://www.um.es/eubacteria/Biodiversidad.pdf>
- Farrington, D. P. y B. C. Welsh (2002). “Effects of improved street lighting on crime: a systematic review”, *Home Office Research Study*, No. 251. Londres: Home Office.
- Fullerton, D. y G. E. Metcalf (1997). “Environmental taxes and the double-dividend hypothesis: did you really expect something for nothing? *NBER Working Paper*, No. 6199. Disponible en: <http://www.nber.org/papers/w6199.pdf>
- GEI México (2014). *Factor de emisión eléctrico*, sitio web disponible en: <http://www.geimexico.org/factor.html>
- Gil de Castro, A., A. Moreno Muñoz, A. Larsson, J. J. G. de la Rosa y M. H. J. Bollen (2013). “LED Street lighting: A power quality comparison among street light technologies”, *Lighting Research and Technology*, 45(6): 710-728.
- INDETEC (2011). “Perspectivas de las Participaciones Federales a Municipios en 2012”, *Hacienda Municipal*, No. 115. México: INAFED. Disponible en:

http://www.inafed.gob.mx/work/dso/la_distribucion_de_transferencias_federales_para_municipios.pdf

INECC (2014). *El sector privado y el cambio climático*. Página electrónica. México: INECC. Disponible en:

<http://cambioclimatico.inecc.gob.mx/sectprivcc/mercadobonoscarbono.html>

Kinzey, B. R., M. P. Royer, M. Hadjian y R. Kauffman (2013). *Demonstration of LED Street Lighting in Kansas City, MO, U.S.* Department of Energy. Disponible en: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/2013_gateway-msslc_kc.pdf

Mas-Colell, A., M. D. Whinston y J. R. Green (1995). *Microeconomic Theory*,

NYCDOT (2013). *Green Light: Sustainable Street Lighting for NYC*, Nueva York: NYCDOT. Disponible en:

<http://www.nyc.gov/html/dot/downloads/pdf/sustainablestreetlighting.pdf>

ONU (1987). “Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo” Nota del Secretario General, A/42/427. Disponible en:

<http://www.un.org/es/comun/docs/?symbol=A/42/427>

ONU (1992). “Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo”, *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*, 101:938-948.

Rodríguez, P. E. (2008). *Residuos del alumbrado público*. Disponible en: <http://www.2014.coloquiodedisenio.org/coloquio-2008/mesa2/11.swf>

Sadoulet, E. y A. de Janvry (1994). *Quantitative Policy Analysis*, Baltimore: The John Hopkins University Press.

SENER (2005). “Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005, Instalaciones Eléctricas (utilización)”, *Diario Oficial*, lunes 13 de marzo de 2006.

SENER (2012). “Información al 31 de enero de 2012 del Fideicomiso denominado Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía”, *Oficio*, México: SENER. Disponible en 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. Disponible en:

http://www.bra.se/download/18.cba82f7130f475a2f1800023686/1312459426881/2008_improved_street_lighting.pdf