



# **METODOLOGÍA PARA LA FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA DE PROYECTOS DE REEMPLAZO DE ALUMBRADO EN LA VÍA PÚBLICA**

**División de Evaluación Social de Inversiones**

2014

## ÍNDICE

---

INTRODUCCIÓN	1
El alumbrado en las vías públicas	3
Los proyectos de reemplazo de alumbrado	3
FORMULACIÓN DEL PROYECTO	5
Identificación del problema	5
Diagnóstico de la situación actual	6
Identificación de alternativas	8
EVALUACIÓN DEL PROYECTO	12
Enfoques de evaluación	12
Identificación, cuantificación y valoración de los costos del proyecto	14
Análisis de rentabilidad	17
CONSIDERACIONES FINALES	21
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22
Anexo N°1: Ejercicios de aplicación	25
Anexo N°2: Definiciones técnicas	33
Anexo N°3: Resumen Reglamento de Alumbrado Público de Vías de Tráfico Vehicular	38
Anexo N°4: Resumen Informe Panel de Expertos. Selección de tecnologías para sistemas de alumbrado público con criterio de eficiencia energética	40
Anexo N°5: Incorporación de beneficios en proyectos de reemplazo de luminarias	43
Anexo N°6: Modelo de encuesta para estimación del valor de la contaminación lumínica por medio del método de valoración contingente (Ejemplo proyecto de alumbrado público para Pitrufquén)	54

## INTRODUCCIÓN

---

Este documento describe una metodología para la evaluación socioeconómica de proyectos de reemplazo de alumbrado en la vía pública. El énfasis de la metodología está puesto en los *proyectos de reposición*, que implican la renovación total o parcial de luminarias en uso, sin cambios en la capacidad y calidad de los servicios de iluminación que éstas prestan<sup>1</sup>.

Así, el objetivo de esta guía es proveer los elementos necesarios para decidir sobre el reemplazo de luminarias por alternativas más eficientes energéticamente, en el marco del *Programa de Mejoramiento de la Eficiencia Energética del Alumbrado Público (PMEE-AP)*<sup>2</sup>.

En la literatura, son muchos los beneficios que se atribuyen a la disponibilidad de alumbrado público adecuado. Los más citados corresponden a disminución de accidentes vehiculares en las noches, mayor sensación de seguridad de peatones, contribución a la reducción de crímenes nocturnos, impulso al desarrollo comercial y generación de nuevos mercados. Sin embargo, cuando se trata de proyectos de reemplazo de luminarias que resultan en un mismo nivel de servicio, no son éstos los beneficios relevantes para el análisis. Dado que todas las alternativas de proyecto tendrán asociados los mismos beneficios, el interés es cuantificar confiablemente los costos de cada una de éstas para obtener los ahorros generados por las diferentes alternativas de proyecto respecto a la situación sin proyecto. De aquí la importancia de lograr una buena caracterización de la situación sin proyecto en términos de la cuantificación y registro de los consumos energéticos correspondientes. La disponibilidad de información en esta materia es un factor determinante en la evaluación confiable de proyectos de reemplazo de luminarias en la vía pública.

En la primera parte de esta metodología se señalan brevemente los alcances de la metodología y el enfoque utilizado. Posteriormente, en la sección de Formulación del Proyecto, se revisan lineamientos para presentar antecedentes cuantitativos y cualitativos del proyecto. En la sección Evaluación del Proyecto se revisa el procedimiento para realizar una evaluación socioeconómica (cuantitativa) El último capítulo presenta las consideraciones finales.

---

<sup>1</sup> La formulación y evaluación de nuevos proyectos de instalación, equipamiento y ampliación del alumbrado público quedan fuera del alcance de esta metodología.

<sup>2</sup> Éste programa es impulsado por la Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE) en coordinación con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

## I. EL ALUMBRADO EN LAS VÍAS PÚBLICAS

El *alumbrado en las vías públicas* o indistintamente el *alumbrado público* representa un “servicio de iluminación que los municipios prestan a los habitantes de sus comunas en vías de tráfico vehicular, parques públicos y otros espacios de libre circulación vial o peatonal, con el fin de proveer la visibilidad requerida para el desarrollo de diferentes actividades, proporcionando una visión confortable durante la noche, o en zonas oscuras. Incluye las líneas de distribución destinadas al alumbrado público de las vías de tráfico vehicular, sean éstas establecidas por la Municipalidad, o por cualquier otra entidad, incluyéndose las empresas distribuidoras de servicio público que tengan a su cargo el alumbrado público” (Sariego, 2011). El *alumbrado público* es entonces un sistema compuesto por una serie de elementos, entre los que destacan: luminarias, brazos, lámparas, balastos, tableros, sistemas de control, postes, medidores.

La provisión de los servicios de iluminación es normada por el *Reglamento de Alumbrado de Vías de Tráfico Vehicular*<sup>3</sup>, y su cumplimiento está supervisado por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles. Este reglamento “establece requerimientos técnicos de comportamiento de la luminosidad para calles, avenidas y autopistas” (Sariego 2011) y regirá los futuros proyectos de inversión en el sector.

El reglamento ha sido elaborado teniendo en consideración elementos de *eficiencia energética*, en acuerdo con los objetivos generales planteados por el *Programa País de Eficiencia Energética (PPEE)*, coordinado por el Ministerio de Energía y el *Programa de Mejoramiento de la Eficiencia Energética del Alumbrado Público*, que promueve el uso eficiente de la energía en el alumbrado público de forma tal que la adopción de tecnologías más eficientes en los municipios del país sea hecha de forma socialmente rentable.

En este contexto se entiende por *Eficiencia Energética* el “conjunto de acciones que permiten optimizar la relación entre la cantidad de energía consumida y los productos y servicios finales obtenidos, manteniendo la misma calidad o mejorándola”.

## II. LOS PROYECTOS DE REEMPLAZO DE ALUMBRADO

Los proyectos de reemplazo de alumbrado público implican la renovación total o parcial de uno o varios equipos del alumbrado existente, sin cambios de la capacidad y calidad de los servicios que dicho alumbrado presta, o con cambios

---

<sup>3</sup> En Enero del 2014, este documento se encuentra en proceso de revisión.

que signifiquen mejoras pequeñas de la capacidad y calidad del servicio. Esta definición no excluye cambios en las tecnologías empleadas ya que éstos son usualmente introducidos para apuntar a mejoras en eficiencia energética. La clave está en reconocer que, bajo esta caracterización de los proyectos, lo relevantes es considerar los ahorros que estas mejoras tecnológicas generan.

Así, los proyectos de reemplazo de luminarias deberán formularse de forma tal que el consumo energético sea el estrictamente necesario. Esto significa que los recambios masivos de luminarias existentes, así como la instalación de nuevo alumbrado, deben “estar dotadas de los correspondientes sistemas que regulen o establezcan sus correspondientes ciclos de funcionamiento, encendido y apagado, ya sean, celdas fotoeléctricas, relojes capaces de ser programados por, al menos, ciclos diarios, que eviten la prolongación innecesaria de los períodos de funcionamiento” (Sariego 2011).

Es importante mencionar que, a lo largo de este documento, se hace referencia al recambio de luminarias de alumbrado público. Sin embargo, esto no significa que los proyectos de reemplazo estén limitados a incorporar sólo nuevas estructuras que sostengan las lámparas. En la práctica, incluirán también nuevas lámparas, brazos, equipos eléctricos, sistemas de control, y otros componentes del sistema completo. Hecha esta aclaración, en lo que sigue se hablará indistintamente de reemplazo de luminaria y sistema de iluminación o alumbrado público. Asimismo, el foco de análisis estará puesto sobre las zonas viales públicas o sistemas de alumbrado puestos a disposición de los usuarios por las mismas Municipalidades.

## FORMULACIÓN DEL PROYECTO

---

El proceso de formulación se basa en el análisis de información cualitativa y cuantitativa para describir la situación actual en que se encuentran las luminarias de un territorio y contrastarla con el proyecto de reemplazo de luminarias ideado. En este proceso deben respetarse un conjunto de etapas, siendo las más relevantes: (i) identificación del problema, (ii) diagnóstico de la situación actual, (iii) identificación de alternativas.

### I. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

En esta etapa debe identificarse el problema que da origen al proyecto, formulándose como un estado negativo que afecta a una determinada población, y no como la falta de una solución o de una tecnología particular. También puede formularse como una oportunidad, entendida como un estado positivo del cual puede sacarse provecho por medio del proyecto. El foco debe estar puesto sobre el problema u oportunidad principal, estableciendo las causas que lo originan y los efectos que produce.

El formulador del proyecto debe preguntarse: *¿Qué problema se desea resolver?* , o bien, *¿Qué oportunidad se desea aprovechar?* La correcta identificación y definición del problema u oportunidad es de crucial importancia, ya que una errónea definición del proyecto conducirá a una evaluación equívoca; por el contrario, una correcta definición del proyecto facilitará y posibilitará una correcta y precisa evaluación.

En ese sentido, el planteamiento de un proyecto de reemplazo de luminarias suele estar fundamentado a partir de:

- a) **Cumplimiento de la vida útil de los equipos (problema):** Los componentes del alumbrado han llegado al fin de su vida útil por lo que no permiten seguir prestando los servicios de iluminación requeridos. Esto es, las condiciones lumínicas son deficientes de acuerdo a la normativa vigente. Este fundamento representa normalmente la mayoría de los casos.
- b) **Cambio tecnológico “antes de tiempo” (oportunidad):** Las luminarias en uso no han llegado al fin de su vida útil pero existe la posibilidad de que éstas sean recambiadas para incorporar una tecnología más eficiente energéticamente. El sentido de este tipo de proyectos es que, el uso de tecnologías energéticamente más eficientes, disminuye el consumo de energía eléctrica y el nivel de potencia contratada para un mismo nivel de iluminación, generando un beneficio económico por ahorro de costos de

operación y mantenimiento. Además, las características constructivas mejoradas de las alternativas que incorporan elementos de eficiencia energética aumentan la vida útil de los equipos al quedar éstos mejor protegidos al efecto de vientos, contaminación ambiental, variación de temperaturas y otros efectos ambientales que deprecian más rápidamente los equipos. De este modo es posible alargar los intervalos de tiempo requeridos para reemplazar componentes o piezas de éstos.

Notar que según la definición que se haga del problema u oportunidad identificada (a o b), corresponderá emplear un enfoque de evaluación diferente. Al respecto se profundiza en la sección Evaluación del Proyecto.

En ocasiones, es posible identificar problemáticas u oportunidades distintas a las anteriores respecto al funcionamiento del alumbrado público. Por ejemplo, un desconocimiento del funcionamiento del sistema y del esquema tarifario u otros podrían conducir, erróneamente, a la conclusión de que la tecnología en uso es “poco eficiente” energéticamente y que es necesario introducir nuevas tecnologías. Sin embargo, esto no debiera conducir al planteamiento de un proyecto de reemplazo sino a la introducción de medidas de gestión que permitan operar el sistema de mejor modo y a menor costo.

## II. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

El *diagnóstico* debe reunir la información disponible, analizando todas las variables que permiten identificar, describir, explicar y dimensionar el problema u oportunidad detectada, caracterizando así la situación actual en la que se encuentra el alumbrado público de un territorio. Dentro del conjunto relevante de *antecedentes del diagnóstico*, es esencial el análisis de los aspectos que se detallan a continuación.

### a) Identificación del área de estudio y área de influencia

Deben presentarse todos los antecedentes relevantes que permitan una correcta descripción del *área de estudio*, entendida como aquella zona geográfica que da contexto al problema; y el *área de influencia* como aquella que determina el límite en el cual el proyecto podría constituir una solución al problema detectado. Los principales aspectos que debe considerar dicha descripción son:

- Aspectos físicos de la zona de estudio: ubicación geográfica, clima, geomorfología, topografía
- Principales actividades económicas

- Número de beneficiarios actuales y potenciales del proyecto considerando el tráfico vehicular del sitio donde se emplazan las luminarias
- Análisis de aspectos socio-económicos de la población beneficiaria del proyecto (clasificación por edad, género y nivel socio-económico)
- Aspectos culturales y sociales
- Institucionalidad y administración sectorial y/o local
- Uso del suelo (establecido en el instrumento de planificación territorial respectivo)
- Análisis del sistema de iluminación vigente:
  - Extensión de la vía de tráfico vehicular comprometida (metros) e imágenes del terreno
  - Equipos del sistema de alumbrado en uso que se desea reemplazar (número y tipo) por componente (luminarias, brazos, lámparas, tipo de instalaciones, tableros, sistemas de control, etc) y otros elementos (postes, calles).
  - Caracterización de las instalaciones eléctricas (especificar si las luminarias están asociadas a un circuito exclusivo para el alumbrado público ) y medidores disponibles
  - Número de horas de encendido de las luminarias (horas/año).
  - Potencia de las luminarias (W). Se debe incluir un detalle de la potencia por luminaria e idealmente por circuito.
  - Consumo energético promedio anual (KWh).
  - Contrato Municipal con distribuidora de electricidad.
  - Gasto mensual en electricidad para alumbrado público (\$/mes)
  - Gasto anual en mantención del sistema de alumbrado público (\$/año)
  - Tarifa que se aplica para facturar el suministro eléctrico.
  - Requerimientos de iluminación para la vía o vías consideradas en la iniciativa de acuerdo a los estándares definidos

#### **b) Identificación de la población objetivo**

Se debe señalar cuál será la población objetivo a la que apunta el proyecto, que puede corresponder al total de la población potencial o bien a un subgrupo de ésta. Puede utilizarse como referencia la población existente en el territorio donde se

desarrolla el proyecto y adicionar antecedentes sobre usuarios de otras comunas según corresponda.

#### **c) Demanda actual y proyectada**

El análisis de demanda permite establecer los niveles de iluminación sobre el plano de interés (calzada para el tránsito vehicular), en términos cuantitativos (LUX o lúmenes/mt<sup>2</sup>). Esto debe ser establecido en función de las exigencias que plantea la normativa vigente para el servicio de iluminación en una vía de tráfico vehicular, que requiere clasificar las vías vehiculares a intervenir para determinar la luz artificial demandada. Tanto la demanda actual como la demanda proyectada deben caracterizarse a partir de dichas exigencias.

#### **d) Oferta actual y proyectada**

Corresponde a la “cantidad” de iluminación entregada en el área de influencia (LUX o lúmenes/mt<sup>2</sup>). La proyección debe considerar la evolución esperada de la provisión del servicio de iluminación por parte de los oferentes actuales o la entrada de nuevos proveedores en al área de influencia. La luz artificial ofrecida debe ser caracterizada a partir de un catastro que especifique, por tramo, al menos lo siguiente: postes utilizados, cantidad de luminarias, potencia instalada (w/hora), potencia lumínica (lm o lx/hora), iluminancia total (lux).

#### **e) Déficit actual y proyectado**

El déficit actual y proyectado se estima sobre la base de la comparación de la demanda (actual y proyectada) y la oferta (actual y proyectada) en el área de influencia, que permita definir las necesidades de iluminación.

Notar que la identificación de un déficit en la iluminación de las vías, que motive un recambio de luminarias, estará normalmente vinculada con el fin de la vida útil de ciertos equipos que componen el alumbrado (problema) y no con la oportunidad de optar a tecnologías más eficientes energéticamente. En el segundo caso, el déficit debiese ser cercano a cero si es que los equipos se han mantenido y operado adecuadamente.

### **III. IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS**

En esta etapa deben identificarse todas aquellas alternativas legal y técnicamente factibles que permitan dar solución al problema detectado o aprovechar la oportunidad identificada. La primera alternativa a considerar es siempre la

*situación sin proyecto*, que corresponde a la optimización de la situación actual, proyectada en el horizonte de evaluación del proyecto.

#### **a) Optimización de la situación actual**

De la observación y estudio de la situación actual y del problema que preocupa pueden surgir *medidas de optimización*, de bajo costo, que permitan solucionar parcial o totalmente el problema descrito. En general, la optimización de la situación base se describe en términos de pequeñas inversiones que no constituyan un proyecto alternativo sino tan sólo gastos menores que permitan satisfacer la demanda insatisfecha de iluminación (medidas de gestión y mejor aprovechamiento de los recursos disponibles, cambio de tarifa contratada, reprogramación horas de iluminación artificial, etc).

#### **b) Configuración de alternativas**

Las alternativas de proyecto deben ser planteadas en términos del problema a resolver o de la oportunidad identificada. En el primer caso, debe señalarse en qué medida el proyecto de reemplazo se hace cargo del déficit de iluminación cuantificado. Notar que el problema u oportunidad puede ser abordado por más de una solución, por lo cual se recomienda considerar los siguientes elementos para identificar todas las soluciones posibles:

- *Preselección técnica*: Las alternativas tecnológicas consideradas deben permitir obtener el servicio de iluminación base. Dado que los proyectos de reemplazo mantienen constante la capacidad de servicio de iluminación, deberán descartarse aquellas alternativas tecnológicas que no permitan alcanzar dicha capacidad (calidad y oportunidad del servicio). Notar además que el recambio de luminarias debe estar certificada por el organismo competente<sup>4</sup>.
- *Consideraciones de eficiencia energética*: Referirse a los requerimientos definidos por el *Panel de Expertos*<sup>5</sup> (condiciones mínimas respecto a las

---

<sup>4</sup> Revisar el Reglamento de Alumbrado Público en vías de tráfico vehicular

<sup>5</sup> Este panel se conformó con el objetivo de hacer una proposición fundada de las tecnologías más convenientes para lograr “desarrollar un procedimiento para determinar las tecnologías más eficientes, para los sistemas de alumbrado público de vías de tráfico vehicular”, utilizando las directrices del PPEE y del PNUD. Integran el panel dos académicos de las Pontificias Universidad Católica de Chile (PUC) y de Valparaíso (PUCV), un representante de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC), un representante de la Asociación Chilena de Municipalidades (ACHM) y un representante del Programa País de Eficiencia Energética (PPEE).

lámparas, equipos eléctricos y luminarias utilizadas), según se indica en el Cuadro N°1.

**Cuadro N°1 - Selección de luminarias para alumbrado público con criterio de eficiencia energética**

Componente	Indicador	Valor o Condición Mínima Requerida
Lámpara	Eficacia EFL (lúmenes/watt)	Igual o mayor que 80
	Eficacia EFLB (lúmenes/watt)	La que permita que EFLum sea igual o mayor que 46
<b>Equipo Eléctrico</b>	Pérdidas Máximas (watts)	Según potencia
Luminaria	Rendimiento (%) RLUM	Igual o mayor que 70
	Distribución longitudinal del flujo	Presentar intensidad máxima la que debe estar ubicada en ángulo de elevación sobre 45°
	Grado IP polvo y lluvia	Óptica IP 54, Cuerpo IP 53

Fuente: Informe Panel de Expertos de Alumbrado Público, PMEE-AP.

Donde:

*EFLum* es la Eficacia Total de una Luminaria para Alumbrado Público (lúmenes/watt);

*EFLB* es la eficacia del conjunto lámpara-balasto (lúmenes/watt);

Notar que los parámetros mínimos requeridos son coherentes con los establecidos en el Reglamento de Alumbrado Público de Vías de Tráfico Vehicular<sup>6</sup>.

Asimismo, el panel propone la construcción de un *Índice de eficiencia energética* para la luminaria en su totalidad, que debe ser estimado para las alternativas en consideración.

$$EFLum = \frac{PL}{PT} * EFL * RLum = EFLB * RLum$$

Donde:

*PL* es la potencia consumida en la lámpara (watts);

*PT* es la potencia total consumida en la luminaria (watts);

*EFL* es la eficacia de la lámpara (lúmenes/watt);

<sup>6</sup> Informe Panel de Expertos de Alumbrado Público, PMEE-AP.

$RLum$  es el rendimiento lumínico de la luminaria (%).

La exigencia definida por el Panel de Expertos es que la luminaria acredite un valor mínimo del indicador,  $EFLum_{min}$ , igual a 46.

Una vez seleccionadas las alternativas que cumplen al menos con la preselección técnica, debe hacerse una descripción de las restantes a partir de los rasgos tecnológicos distintivos.

Algunos elementos a considerar en la caracterización mínima de las alternativas son los siguientes:

- Descripción de los elementos del sistema, considerando sus propiedades más relevantes:
  - Luminarias (Cuerpo o armadura, hermeticidad, rendimiento).
  - Lámparas.
  - Balastos (tipo, pérdidas o consumos propios relacionados).
  - Conductores (tipo, materialidad).
  - Tableros de control.
- Estimación de parámetros de rendimiento clave:
  - Factor de pérdida considerado en los cálculos de iluminación.
  - Factor de pérdida de flujo de lámpara utilizada.
  - Factor de pérdida del flujo por suciedad de la luminaria, teniendo en consideración el índice de protección de la luminaria, tipo de ambiente y tiempo de encendido.

## EVALUACIÓN DEL PROYECTO

---

La evaluación socioeconómica (también conocida como evaluación social) permite determinar en qué medida un proyecto de inversión tendrá un efecto sobre la sociedad en términos económicos y de bienestar.

### I. ENFOQUES DE EVALUACIÓN

Se utilizan diversos métodos para estimar dichos efectos y en esta metodología, se consideran los dos más importantes: (i) Análisis de costo-beneficio y (ii) Análisis de costo-eficiencia.

- (i) **Análisis costo-beneficio:** Este tipo de análisis permite identificar, entre un conjunto de alternativas de intervención, cuál es la que genera el mayor beneficio neto para la sociedad. Requiere identificar, cuantificar y valorizar todos los beneficios y costos del proyecto y obtener un indicador como el Valor Actual Neto (VAN) o la Tasa Interna de Retorno (TIR) que permita concluir sobre la rentabilidad económica del proyecto.
- (ii) **Análisis costo-eficiencia:** Este método se utiliza cuando las alternativas de proyectos analizados tienen beneficios esperados equivalentes, por lo que éstos no son estimados. Por esto, el foco debe estar puesto en una completa identificación, cuantificación y valoración de los costos asociados al proyecto, para construir posteriormente indicadores de rentabilidad como el Valor Actual de Costos (VAC) y el Costo Anual Equivalente (CAE). Cabe mencionar que el análisis de costo-eficiencia está fuertemente limitado por la factibilidad de encontrar proyectos alternativos que presenten los mismos beneficios. En general, es muy complejo encontrar soluciones diversas para un mismo problema que entreguen un único resultado esperado, y en términos de la misma variable de análisis. Por esto, en la práctica se comparan proyectos respecto a sus beneficios principales y se deja espacio para la inclusión de beneficios secundarios aún cuando no se pueda realizar un análisis de costo-beneficio completo. En este caso, debe incorporarse dicho beneficio con signo negativo en la fórmula de VAC o CAE según corresponda<sup>7</sup>.

En esta metodología, se propone el uso de uno u otro enfoque según la problemática u oportunidad previamente identificada, tal como se indica en el Cuadro N°2.

---

<sup>7</sup> Más antecedentes respecto a estos beneficios se encuentran en el Anexo N°5

## Cuadro N°2 - Enfoques de evaluación socioeconómica según identificación del problema

Descripción	Enfoque	Indicador de rentabilidad
El proyecto de reemplazo responde al término de la vida útil de los equipos que componen el alumbrado y déficit en el servicio de iluminación prestado	Costo-eficiencia	VAC, CAE. Requiere análisis de alternativas tecnológicas.
El proyecto de reemplazo responde a la posibilidad de hacer un cambio tecnológico “antes de tiempo” por consideraciones de eficiencia energética	Costo-beneficio	VAN y TIR

Fuente: Elaboración propia

Se detallan a continuación los pasos a seguir por enfoque de evaluación y se entrega una aplicación práctica de éstos en el Anexo N°1.

### Análisis costo-eficiencia

1. Obtener los costos de inversión, operación y mantenimiento para cada alternativa tecnológica considerada
2. Construir flujos de costos actualizados mediante el uso de la tasa social de descuento que estima el Ministerio de Desarrollo Social<sup>8</sup>.
3. Construir los indicadores de rentabilidad de VAC o CAE según corresponda y seleccionar la alternativa que presente el menor indicador

### Análisis de costo-beneficio

1. Calcular el momento óptimo de reemplazo o vida útil económica para cada tipo de tecnología considerada.
2. Calcular el CAE mínimo para cada alternativa tecnológica. Éste corresponde al CAE calculado para el año del momento óptimo de reemplazo.
3. Entre todas las opciones, seleccionar aquella que presente el menor CAE (calculado para el momento óptimo de reemplazo). Esta alternativa representa la situación con proyecto.
4. Comparar la alternativa de mínimo costo con la situación base optimizada (o situación sin proyecto) y calcular el VAN. Proceder con el proyecto de reemplazo “antes de tiempo” sólo si el VAN es positivo.

<sup>8</sup> [http://sni.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/fotos/Precios\\_Sociales\\_Vigentes.pdf](http://sni.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/fotos/Precios_Sociales_Vigentes.pdf)

## II. IDENTIFICACIÓN, CUANTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE LOS COSTOS DEL PROYECTO

La correcta estimación de los costos asociados a la utilización de una u otra tecnología de reemplazo es un elemento clave en la evaluación de este tipo de proyectos. Considerando que todas las alternativas de solución debieran proveer un nivel de servicio equivalente, o igual beneficio, la mejor alternativa seleccionada será aquella que resulte relativamente más económica. Notar que, a los fines de la evaluación socioeconómica, los costos de inversión, operación y mantenimiento deberán ajustarse a precios sociales. Esta corrección se explica en detalle en secciones siguientes.

La **inversión** corresponde a la adquisición de los equipos, incluyendo la inversión total en la compra, puesta en funcionamiento e incorporación de las modificaciones y/o adaptaciones de infraestructura requeridas y las instalaciones complementarias. Normalmente, se asigna el gasto de inversión en el momento inicial del proyecto (llamado momento cero).

La base para la estimación de las inversiones requeridas son en general cotizaciones obtenidas de una o más empresas proveedoras. Algunos elementos a considerar en la estimación de este monto:

- Número de luminarias a reemplazar;
- Costo de adquisición por luminaria;
- Costo de remoción y reemplazo de luminarias existentes. Deben incluirse los costos de transporte y disposición de luminarias en desuso en bodegas municipales o lugar a definir por el Municipio afectado;
- Costo de instalación por luminaria;
- Costo de reemplazo de brazos existentes en postes existentes;
- Reemplazo de brazos existentes por nuevos brazos en postes existentes;
- Suministro e instalación de nuevos tableros de control;
- Costo de reemplazo de lámparas y otros componentes cuya vida útil sea inferior al período de análisis<sup>9</sup>.

Los **costos de operación** son aquellos que ocurren durante todos los años de vida del proyecto a partir del momento en que los equipos del sistema de alumbrado quedan listos para entrar en funcionamiento. El costo total de operación de cada año es igual al costo fijo, que no depende del nivel de iluminación existente, más

---

<sup>9</sup> Notar que en la proyección de los flujos de costos de reinversión correspondientes, debe tenerse en consideración el momento del tiempo en que los desembolsos son llevados a cabo efectivamente, y no imputar todos éstos en el momento cero de evaluación.

los costos variables, que depende de la cantidad de unidades de servicio prestadas. Los costos fijos más relevantes son:

- Insumos y materiales necesarios para la prestación del servicio de iluminación
- Remuneración del personal (operarios, profesionales, ayudantes, etc.)
- Gastos generales

El costo variable más relevante es:

- Consumo de energía

El consumo de energía puede ser estimada de acuerdo a lo siguiente:

$$e_k = \frac{n_k * p_l}{1.000} * h$$

$p_k$

Donde:

$e$  es la energía anual consumida por la luminarias tipo  $k$  para un nivel de potencia dado (KWh/año);

$n_k$  es el número de luminarias tipo  $k$ ;

$p_k$  es la potencia total del conjunto de luminarias tipo  $k$  (KW);

$p_l$  es la potencia de la luminaria (W). Ésta considera la potencia de la lámpara además del consumo de todo el equipo eléctrico necesario para que la luminaria funcione correctamente;

$h$  son las horas anuales de uso de la luminaria.

Notar que la expresión para  $e_k$  está expresada en KWh/año, mientras que la potencia de la luminaria es usualmente expresada en W, tal como se indica. Por esto, el lado derecho de la ecuación es dividido por 1.000 para asegurar la equivalencia entre sus componentes en términos de la unidad de medida utilizada.

Para estimar la energía total del sistema de alumbrado público, deben identificarse los tipos de luminarias  $k$  existentes, con sus niveles de potencia asociados, y sumar los niveles de energía consumidos anualmente por cada conjunto de luminarias.

$$e_{AP} = \sum_k^K e_k$$

Donde:

$e_{AP}$  es la energía total anual consumida por el sistema de alumbrado público (KWh/año);

$K$  es el número de luminarias distintas por tipo y nivel de potencia.

Para valorizar el consumo energético, se debe imputar un precio equivalente a la tarifa cobrada por la distribuidora de energía al municipio afectado (\$/KWh)<sup>10</sup>. Cabe mencionar que no se realizan ajustes adicionales al precio de la energía, pues no se cuenta con una estimación actual del precio social de este factor, por lo cual se supone que el precio privado es igual al precio social.

Sin embargo, si el formulador reconociese la existencia de distorsiones en el mercado de la energía que sean considerables, podrá incorporar los ajustes que estime pertinentes de forma justificada, considerando que Ministerio de Desarrollo Social no tiene a la fecha un valor único referencial para efectuar dichas correcciones.

Los **costos de mantención** son aquellos en que se incurre periódicamente para mantener los equipos en buen estado y para que éstos entreguen el servicio de iluminación previsto. Éstos deben ser determinados en función de un *programa de mantenimiento* propuesto que debe tener en consideración al menos los siguientes elementos:

- Vida media de la lámpara;
- Depreciación luminosa de la lámpara;
- Ensuciamiento de la luminaria en función de su hermeticidad y costo de limpieza;
- Grado de contaminación atmosférica de la zona en que se encuentra la instalación;
- Pintado de los soportes;
- Revisión e inspección de los circuitos eléctricos de la instalación;
- Revisión, inspección, limpieza, asistencia, conservación y reemplazo de sustitución de los componentes instalados;
- Intervalo y costo de reemplazo de los componentes del sistema de iluminación;

---

<sup>10</sup> Si el municipio puede mostrar con datos claros que está generando un ahorro energético, podrá potencialmente negociar la tarifa pactada. He aquí la importancia de medir los consumos correspondientes.

La información de costos es generalmente proporcionada por las mismas empresas que venden o reparan los componentes del sistema de alumbrado. Puede especificarse como un porcentaje del valor inicial del equipo y normalmente los gastos de mantención crecen a medida que el equipo se hace más antiguo.

### III. ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

El análisis de rentabilidad permite estimar los indicadores que servirán de guía para la toma de decisión y recomendación de ejecución del proyecto, su reformulación o su rechazo.

Dado que se trata de estimar la rentabilidad de proyectos que mantienen la calidad y nivel de servicio, lo más relevante es la comparación de costos entre las situaciones con proyecto (CP) y sin proyecto (SP). Ahora bien, y tal como se ha señalado anteriormente, si existieran efectos secundarios positivos que se derivan de un cambio tecnológico, éstos pueden ser incorporados con signo negativo en los flujos de costos para reflejar un beneficio propio del proyecto de reemplazo.

#### (i) Indicadores de rentabilidad

Según el tipo de problemática identificada, se han propuesto distintos enfoques de evaluación, con sus respectivos indicadores de rentabilidad asociados. Éstos se detallan a continuación:

#### Valor actual neto social

El valor actual neto social o VANS, es el principal indicador utilizado en el análisis costo-beneficio social y permite transformar los flujos de beneficios netos futuros al presente. Éste se calcula de acuerdo a lo siguiente:

$$VANS = -I_0 + \sum_{t=1}^T \frac{(B_t - C_t)}{(1+r)^t} + \frac{VR}{(1+r)^T}$$

Donde:

**VANS** : Valor actual neto social del proyecto;

**I<sub>0</sub>** : Inversión inicial;

**B<sub>t</sub>** : Beneficios sociales en el año *t*;

**C<sub>t</sub>** : Costos sociales en el año *t*;

**r** : Tasa social de descuento;

**T** : Horizonte de evaluación total del proyecto;

**VR** : Valor residual del proyecto al final de su vida útil

El criterio de decisión es: si  $VANS < 0$ , el proyecto no es rentable socialmente; si  $VANS > 0$ , el proyecto es rentable.

El *valor residual* se estima como la suma de los flujos futuros de beneficios netos del proyecto desde el año  $n$  (horizonte de evaluación) hasta el “infinito” (o año en que los flujos futuros se vuelven evidentemente despreciables), actualizados con la tasa de descuento  $r$  y representa el valor de “desecho” de los equipos al fin del horizonte de evaluación del proyecto. En el contexto de los proyectos de recambio de luminarias, éste es un concepto difícilmente aplicable, ya que los equipos usados tienen escaso valor económico alternativo (su valor comercial suele ser nulo). Por esto, la regla general es considerar este valor en cero, a menos que se presenten antecedentes suficientes para considerar otro escenario (por ejemplo, un estudio de mercado que demuestre posibilidad de vender equipos en desuso).

### Tasa interna de retorno social

La tasa interna de retorno o TIRS, mide la rentabilidad promedio que tiene un determinado proyecto, suponiendo que los flujos se reinvierten en el mismo proyecto y a una tasa constante. Matemáticamente, corresponde a la tasa de descuento que hace el VANS igual a cero. La TIRS se usa complementariamente al VANS y se estima de la siguiente manera:

$$0 = -I_0 + \sum_{t=0}^T \frac{(B_t - C_t)}{(1 + \rho)^t} + \frac{VR}{(1 + \rho)^T}$$

Donde:

$\rho$ : Tasa interna de retorno social;

El criterio de decisión al utilizar la TIRS es el siguiente: si  $p^* > r^*$ , es conveniente ejecutar el proyecto; si  $p^* < r^*$ , no es conveniente ejecutar el proyecto, donde  $r$  es la tasa social de descuento.

### Valor actual de los costos

El valor actual de los costos o VAC, es el indicador a utilizar cuando se comparan alternativas de proyecto que tienen los mismos beneficios y vida útil.

$$VAC = \sum_{t=1}^T \frac{C_t}{(1 + r)^t}$$

Donde:

**VAC**: Valor actual de los costos;

**$C_t$** : Costos sociales del proyecto;

**$r$** : Tasa social de descuento;

**$T$** : Horizonte de evaluación del proyecto.

El criterio de decisión es seleccionar aquella alternativa que tenga el menor VAC.

### **Costo anual equivalente**

El costo anual equivalente o CAE es el indicador a utilizar cuando las alternativas evaluadas producen los mismos beneficios y tienen distinta vida útil.

$$CAE = VAC \left[ \frac{(1+r)^T * r}{(1+r)^T - 1} \right]$$

*Donde:*

**CAE**: Costo anual equivalente;

**VAC**: Valor actual de los costos;

**$r$** : Tasa social de descuento;

**$T$** : Horizonte de evaluación del proyecto.

El criterio de decisión es seleccionar aquella alternativa que tenga el menor CAE.

### **(ii) Horizonte de evaluación**

El *horizonte de evaluación* corresponde a los años de vida útil del proyecto. En promedio, en los proyectos de reemplazo de equipos, la vida útil económica de los equipos es siempre menor que su vida útil técnica. En términos generales, la vida útil económica del alumbrado finaliza cuando los beneficios que proporciona el operar un período adicional son menores que los costos que involucra mantenerlo operando un período más. Ese momento representa el *momento óptimo de reemplazo* de éste; es decir, el momento en que culmina la vida útil económica determina el momento óptimo de reemplazo. Los beneficios adicionales que puede proporcionar el alumbrado utilizado entre la vida útil económica y su vida útil técnica quedan incorporados a los flujos mediante el *valor residual económico*, aunque según se ha indicado, éste es normalmente igual a cero.

Para efectos de esta metodología, la determinación del horizonte de evaluación del proyecto por medio del momento óptimo de reemplazo, se recomienda para los proyectos fundados en el recambio tecnológico “antes de tiempo”. Por otro lado, aquellos proyectos que se fundamentan por el problema asociado a equipos que

han cumplido con su vida útil técnica, pueden hacer uso de una alternativa simplificadora que recomienda la utilización de un horizonte de evaluación de 10 años<sup>11</sup>.

### (iii) Precios sociales

En la evaluación socioeconómica deberán utilizarse precios sociales o los factores de corrección social. Los *precios sociales* se definen como el costo económico o de oportunidad de los bienes y servicios producidos y consumidos en la sociedad. En situación de equilibrio competitivo, el “costo de oportunidad” de los factores de producción es igual a su precio de mercado. No obstante, cuando los mercados presentan distorsiones es necesario incorporar en la evaluación social las correcciones correspondientes para determinar los verdaderos costos de oportunidad de los factores. El Sistema Nacional de Inversiones (SIN) actualiza e informa anualmente los diferentes precios sociales que son utilizados para incorporar dichos ajustes en la evaluación<sup>12</sup>. En términos prácticos, la aplicación de los precios sociales se realiza según lo indicado en el Cuadro N°3.

#### Cuadro N°3 - Ajuste a precios sociales

Costos	Ajuste
Maquinarias, equipos e insumos nacionales	Descontar IVA y otros impuestos
Maquinarias, equipos e insumos importados	Descontar IVA, arancel y otros impuestos; aplicar el factor de corrección de la divisa
Sueldos y salarios	Aplicar el factor de corrección de la mano de obra, para cada nivel de calificación.
Combustibles	Utilizar el Valor Social del Diesel o Gasolina.

Fuente: Elaboración propia

<sup>11</sup> Parámetro sustentado en sugerencia realizada por uno de los expertos que participó en el Taller de Alumbrado Público de Mayo del 2011.

<sup>12</sup> Para mayor información, revisar los “Precios sociales vigentes” que publica el Ministerio de Desarrollo Social [http://sni.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/fotos/Precios\\_Sociales\\_Vigentes.pdf](http://sni.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/fotos/Precios_Sociales_Vigentes.pdf)

## CONSIDERACIONES FINALES

---

Este documento presenta una guía metodológica para la evaluación de proyectos de reemplazo de alumbrado en vías públicas. El desarrollo de ésta se ha hecho dando especial importancia a los elementos de eficiencia energética asociados a la incorporación de tecnologías alternativas en los sistemas de iluminación, en el marco del *Programa de Mejoramiento de la Eficiencia Energética del Alumbrado Público*, del PNUD.

La metodología propuesta supone que los proyectos de reemplazo de luminarias no tienen asociados mejoras en la calidad de los servicios de iluminación prestados ni en la capacidad del sistema. Por ello el énfasis está puesto en lograr una estimación confiable de los costos que se ahorran con la incorporación de equipos más eficientes. Adicionalmente, se identifican algunas de las externalidades negativas asociadas al alumbrado público y las mejoras potenciales que se generan con el reemplazo de éste en consideración de ciertos requisitos mínimos de eficiencia energética establecidos.

La aplicación de esta metodología requerirá un esfuerzo por parte de los formuladores de proyectos, especialmente los municipios, en la cuantificación y registro de sus consumos de energía y otros insumos que permitan una buena definición de la línea base. Contar con esta información es un factor clave para determinar la verdadera rentabilidad social de los proyectos de reemplazo del alumbrado y facilita que el país vaya ganando experiencia en la gestión de sus recursos energéticos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

Azqueta, O. D. (1994). Valoración económica de la calidad ambiental. Mac Graw-Hill. Madrid, España.

Assaf, L., Dutt, G., Tanides, C. (2002). Manual de Iluminación Eficiente, Capítulo 17. ELI Argentina.

Bojö, J., K. Mäler And L. Unemo (1992). Environment and development: an economic approach. (2ª. Ed.). Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Netherlands.

Comisión Nacional del Medio Ambiente. Medición y mitigación de la huella de carbón. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Departamento de Economía Agraria; Green Solutions. 2011.

Gobierno de Chile (Ministerio de Educación, CONAMA, Comisión Nacional de Energía). Eficiencia energética para establecimientos educacionales, Guía de Diagnóstico.

Hanemann, M. (1991). Willingness to pay and willingness to accept: how much can they differ?. pp 471-483. In: Wallace E. Oates (Ed) The economics of the environment. Library of congress cataloguing in publication data. Hants, England.

Kanninen, B. (1993). Optimal experimental design of double-bounded dichotomus choice contingent valuation. Land Economics. Mayo, Vol. 69 (2): 138-146.

MIDEPLAN (2010). Informe de Eficiencia Energética. Departamento Estudios, División Planificación, Estudios e Inversión. <http://sniblog.mideplan.gob.cl/index.php?page=estudios-informesdecoyuntura>.

MIDEPLAN (2007). Metodología de formulación y evaluación de proyectos de electrificación rural.

MIDEPLAN (2005). Metodología de preparación y evaluación de proyectos de reemplazo de equipos.

Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción de Chile (2011). Reglamento de Alumbrado de Vías de Tráfico Vehicular.

Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción de Chile (2011). Programa País de Eficiencia Energética

Ministerio de Medio Ambiente (2010). Diagnóstico de producción, importación y distribución de equipos de informática y comunicaciones, aparatos eléctricos y alumbrado y el manejo de los productos post-consumo.

Mitchell, R. C. And R. Carson (1989). Using surveys to value public goods: the contingent valuation method. (3ª. Ed.). Resources for the Future. Washington D.C., U.S.A.

Moramatsu et al (2004). "Evaluation of light pollution using contingent valuation". J. Lights & Vis. Env. Vol. 28, No 1.

Municipalities and energy - Guide for implementation of projects for energy efficiency in street lightning. Documento elaborado por EnEffect (ONG) como parte del proyecto "Energy Efficiency Strategy to Mitigate Greenhouse Gas Emissions. Energy Efficiency Demonstration Zone in Gabrovo", fundado por Global Environmental Fun (GEF) a través del PNUD.

Perman, R., Y. Ma And J. Mc Gilvray (1996). Natural resource and environmental economics. Longam Publishing. New York, U.S.A.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, GEF.

Programa de Mejoramiento de la Eficiencia Energética en el Alumbrado Público del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Proyecto N° CHI 78074. Bases licitación pública internacional "Suministro y Reemplazo de Luminarias Existentes en los Municipios de Coelemu, Pitrufrquén, Porvenir y Purén, 2011.

Programa de Mejoramiento de la Eficiencia Energética en el Alumbrado Público. Informe Panel de Expertos. Selección de tecnologías para sistema de alumbrado público con criterio de eficiencia energética.

Sariego Gómez, Ernesto (2011). Reglamento de Alumbrado Público en Vías de Tráfico Vehicular. Superintendencia de Electricidad y Combustibles. Presentación Taller del Sector Energía - Alumbrado Público. MIDEPLAN, 2011.

Simpson, S. (2007). Willingness to pay for a clear night sky: Use of the contingent valuation method. Masters in Science, Technology and Public Policy Thesis submitted in fulfillment of the Graduation Requirements for the College of Liberal Arts(Public Policy Program at Rochester Institute of Technology.

SINIA. Sistema Nacional de Información Ambiental. [www.sinia.cl](http://www.sinia.cl)

Villablanca Prado, Jaime (2011). Sustentabilidad de los Sistemas de Alumbrado Público. Agencia Chilena de Eficiencia Energética. Presentación Taller del Sector Energía - Alumbrado Público. MIDEPLAN, 2011.

Union of Nova Scotia Municipalities (UNSM), Canada. Energy efficient street lighting strategies for Nova Scotia municipalities.. DMD and Associates Ltd. 2009.

Willis, K. et al (2003). The value of improved street lighting in rural areas. Final report for Department of Transport. University of Newcastle.

Yohe et al (2007). Perspectives on climate change and sustainability. En M.L. Parry et al.,. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, N.Y., U.S.A.. Retrieved 2009-05-20.

## ANEXO N°1 – Ejercicios de aplicación

---

Los siguientes ejercicios han sido desarrollados con el fin de mostrar, de forma práctica, cómo debe ser aplicada la metodología de evaluación propuesta. Los datos utilizados son ficticios por lo que no deben ser utilizados como referente de partidas de costos y beneficios de proyectos concretos.

El primer ejemplo corresponde a un caso de aplicación simplificado que puede ser utilizado como base para evaluar la conveniencia económica del reemplazo de luminarias cuando los equipos correspondientes han llegado al fin de su vida útil. El segundo ejemplo presenta el desarrollo de una evaluación más completa que se utiliza cuando se desea hacer un reemplazo “antes de tiempo”.

### **(i) Ejercicio de aplicación 1: fin de la vida útil de los equipos**

#### *Antecedentes del proyecto*

Se desea hacer el reemplazo de la totalidad de luminarias de una comuna que han sido utilizadas por 10 años.

Se evalúan 2 alternativas tecnológicas para el reemplazo: luminarias de sodio (iguales que las actualmente utilizadas) y luminarias con tecnología LED. Se estima que los beneficios entregados por ambas son los mismos, dado que los equipos se encuentran al final de su vida útil, por lo que se utiliza un enfoque de costo-eficiencia.

Las luminarias de sodio tienen una vida útil aproximada de 10 años. Esta información se basa no sólo en la experiencia previa de la comuna con el uso de esta tecnología, sino además en las indicaciones del fabricante que garantiza el correcto funcionamiento de los equipos por ese período de tiempo. De igual modo, los costos de operación y mantenimiento se han estimado utilizando los datos históricos de la comuna y se han complementado con antecedentes provistos por el fabricante. Éstos son ajustados a precios sociales de acuerdo a lo indicado en los Cuadros N°A1.1 y N°E A1.2.

### Cuadro N° A1.1 - Costos de operación anual tecnología sodio

Ítem	Costo privado	Factor de corrección	Costo social
Costo energía	\$615.000.000	0,81	\$498.150.000
Ingeniero eléctrico	\$13.000.000	0,98	\$12.740.000
Total	\$628.000.000		\$627.740.000

Fuente: Elaboración propia

### Cuadro N°A1.2 - Costos de mantención anual tecnología sodio

Ítem	Costo privado	Factor de corrección	Costo social
Limpieza cabezales	\$6.000.000	0,81	\$4.860.000
Instalador eléctrico	\$4.000.000	0,98	\$3.920.000
Ayudante	\$3.000.000	0,62	\$1.860.000
Cables	\$3.000.000	0,81	\$2.430.000
Total	\$16.000.000		\$13.070.000

Fuente: Elaboración propia

Notar que en algunas de las partidas anteriores se ha descontado el valor del IVA (19%) asumiendo que el monto final de los presupuestos entregados por fabricantes y prestadores de servicios incluye este valor<sup>13</sup>. De no ser éste el caso, debe omitirse esta corrección.

Respecto a la tecnología LED, se han utilizado los antecedentes entregados por el fabricante y se han ajustado para considerar las experiencias de uso de esta tecnología en otras comunas del país. Los cálculos correspondientes se presentan en los Cuadros N°A1.3 y N°A1.4.

### Cuadro N°A1.3 - Costos de operación anual tecnología LED

Ítem	Costo privado	Factor de corrección	Costo social
Costo energía	\$390.000.000	0,81	\$315.900.000
Ingeniero eléctrico	\$13.000.000	0,98	\$12.740.000
Total	\$403.000.000		\$328.640.000

Fuente: Elaboración propia

<sup>13</sup> Sólo considerar productos y servicios afectos a IVA

#### Cuadro N°A1.4 - Costos de mantención anual tecnología LED

Ítem	Costo privado	Factor de corrección	Costo social
Instalador eléctrico	\$4.000.000	0,98	\$3.920.000
Ayudante	\$3.000.000	0,62	\$1.860.000
Cables	\$2.000.000	0,81	\$1.620.000
Total	\$9.000.000		\$7.400.000

Fuente: Elaboración propia

Tal como se indica en la metodología, se asume que el valor residual de los equipos es cero en ambos casos y se considera un horizonte de evaluación de 10 años que se condice con la vida útil de ambos tipos de luminarias.

El resumen de estos antecedentes se muestra en el Cuadro N°A1.5.

#### Cuadro N°A1.5 - Antecedentes de alternativas tecnológicas

Ítem	Tecnología	
	Sodio	LED
Inversión	\$648.000.000	\$2.025.000.000
Costos de operación	\$510.890.000	\$328.640.000
Costos de mantenimiento	\$13.070.000	\$7.400.000
Vida útil (años)	10	10

Fuente: Elaboración propia

#### *Evaluación del proyecto*

El proyecto de reemplazo de luminarias debe ser evaluado contrastando las alternativas tecnológicas antes señaladas mediante el indicador de rentabilidad VAC, dado que se ha supuesto que la vida útil de ambos tipos de luminarias es la misma.

Para esto, se construyen los flujos actualizados a una tasa del 6% desde el año cero al año 10 y se suman para obtener un VAC por alternativa tecnológica. Los resultados se muestran en el Cuadro N°A1.6.

**Cuadro N°A1.6 – Flujo de costos tecnología sodio y LED**

t	Sodio		LED	
	Flujo neto	Flujo actualizado	Flujo neto	Flujo actualizado
0	\$648.000.000	\$648.000.000	\$2.025.000.000	\$2.025.000.000
1	\$523.960.000	\$494.301.887	\$336.040.000	\$317.018.868
2	\$523.960.000	\$466.322.535	\$336.040.000	\$299.074.404
3	\$523.960.000	\$439.926.920	\$336.040.000	\$282.145.664
4	\$523.960.000	\$415.025.396	\$336.040.000	\$266.175.155
5	\$523.960.000	\$391.533.392	\$336.040.000	\$251.108.636
6	\$523.960.000	\$369.371.125	\$336.040.000	\$236.894.940
7	\$523.960.000	\$348.463.325	\$336.040.000	\$223.485.792
8	\$523.960.000	\$328.738.986	\$336.040.000	\$210.835.653
9	\$523.960.000	\$310.131.119	\$336.040.000	\$198.901.560
10	\$523.960.000	\$292.576.527	\$336.040.000	\$187.642.981
<b>VAC</b>	4.504.391.211		4.498.283.653	
<b>CAE</b>	612.002.437		611.172.615	

Fuente: Elaboración propia

En este ejercicio, se concluye que lo más conveniente económicamente es seleccionar la tecnología LED para realizar el reemplazo de luminarias ya que posee el menor VAC.

**(ii) Ejercicio de aplicación 2: reemplazo “antes de tiempo”**

Este ejercicio se desarrolla de forma similar al anterior, considerando las mismas alternativas tecnológicas de sodio y LED, pero incorporando conceptos como momento óptimo de reemplazo.

El primer caso de análisis describe proyectos alternativos de compra de luminarias nuevas que son utilizadas hasta el fin de su vida útil técnica. Si bien es cierto que en la práctica ésta es la forma como más comúnmente se plantean los proyectos de reemplazo, en teoría existen oportunidades para una asignación más eficiente de los recursos. Para esto, los proyectos de reemplazo deben llevarse a cabo al fin de la vida útil económica de los equipos, que puede ocurrir mucho antes que el fin de la vida útil técnica.

### ***Momento óptimo de reemplazo o vida útil económica***

Para estimar la vida útil económica de las luminarias, en la fórmula del indicador VAC (o CAE cuando corresponda) debe dejarse constante la variable  $t$  u horizonte de evaluación y estimar el CAE de cada alternativa para cada año de operación del proyecto. En general se observa que cuando aumenta  $t$  el CAE disminuye hasta cierto punto donde éste se hace mínimo, y luego comienza a aumentar. El período para el cual el CAE es mínimo corresponde a la vida útil económica del equipo y también al momento óptimo de reemplazo.

Este comportamiento del CAE, decreciente y luego creciente en función del horizonte de evaluación  $t$  obedece a que por una parte los costos totales de operación crecen a medida que transcurre el tiempo (ya que se agregan más términos a la sumatoria), y por otra parte la inversión anualizada tiende a disminuir (ya que es el producto del valor de adquisición en el año cero por el factor de recuperación del capital, decreciente con el tiempo). Este razonamiento queda más claro al especificar el CAE en función de los costos de inversión inicial menos el valor residual del equipo al final de su vida útil, de la siguiente manera:

$$CAE = \left[ I_0 - \frac{VR}{(1+r)^n} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{C_i}{(1+r)^i} \right] * \left[ \frac{(1+r)^n \cdot r}{(1+r)^n - 1} \right]$$

Sólo para fines ilustrativos, en este ejemplo se utilizan montos de inversión, operación y mantenimiento distintos a los previamente indicados. Éstos, si bien difieren bastante de una estructura de costos representativa de un proyecto de reemplazo de luminarias, fueron seleccionados para graficar claramente la metodología de análisis que se propone.

### ***Evaluación del proyecto***

Igual que en el ejemplo anterior, para evaluar el proyecto de reemplazo debe primero realizarse una preselección de alternativas tecnológicas, de acuerdo a los siguientes pasos:

1. Calcular el momento óptimo de reemplazo o vida útil económica para cada tecnología
2. Calcular el CAE mínimo para cada alternativa tecnológica. Éste corresponde al CAE calculado para el año del momento óptimo de reemplazo

3. Entre todas las opciones, seleccionar aquella que presente el menor CAE (calculado para el momento óptimo de reemplazo). Esta alternativa representa la situación con proyecto.

Así, se construyen flujos de costos por tecnología, actualizados a una tasa del 6%, y se estima el indicador CAE por año de operación de los equipos, tal como se indica en los Cuadros N°A1.7 y N°A1.8. Notar que, para fines ilustrativos, se han utilizado otros montos de inversión, operación y mantención para ambas tecnologías. Todos los flujos se encuentran expresados a precios sociales. Así, se utiliza la fórmula de CAE indicada en la metodología y se destaca el año para el cual el CAE es mínimo. En el caso de la tecnología sodio, éste corresponde al año 6 mientras que para la tecnología LED, al año 8. La construcción de flujos se realiza hasta el año 10 y 15 para la tecnología LED y sodio respectivamente, suponiendo que hasta entonces se pueden operar las luminarias de forma adecuada para los servicios de iluminación que debe prestar (vida útil técnica).

**Cuadro N°A1.7 - Flujo de costos y momento óptimo de reemplazo tecnología LED**

<b>t</b>	<b>Flujo neto</b>	<b>Flujo actualizado</b>	<b>CAE</b>
0	\$2.016.000	\$2.016.000	
1	\$654.720	\$617.660	2.791.680
2	\$707.676	\$629.829	1.780.028
3	\$764.832	\$642.168	1.461.145
4	\$868.416	\$687.867	1.325.652
5	\$892.320	\$666.793	1.248.780
6	\$963.324	\$679.105	1.207.857
7	\$1.039.620	\$691.407	1.187.814
8	\$1.183.260	\$742.392	1.187.354
9	\$1.209.420	\$715.854	1.189.274
10	\$1.303.692	\$727.975	1.197.955

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro N°A1.8 – Flujo de costos y momento óptimo de reemplazo tecnología sodio**

t	Flujo neto	Flujo actualizado	CAE
0	\$1.080.000	\$1.080.000	
1	\$720.000	\$679.245	1.864.800
2	\$778.131	\$692.534	1.337.291
3	\$840.861	\$706.003	1.181.357
4	\$953.181	\$755.009	1.129.198
5	\$980.739	\$732.865	1.102.862
6	\$1.058.616	\$746.283	1.096.519
7	\$1.142.280	\$759.681	1.101.971
8	\$1.297.836	\$814.278	1.121.760
9	\$1.328.400	\$786.278	1.139.742
10	\$1.431.693	\$799.450	1.161.892
11	\$1.546.228	\$814.534	1.187.563
12	\$1.669.927	\$829.902	1.216.156
13	\$1.803.521	\$845.561	1.247.263
14	\$1.947.803	\$861.515	1.280.598
15	\$2.103.627	\$877.770	1.315.958

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a lo señalado anteriormente, el paso siguiente es comparar los CAE de las alternativas planteadas correspondiente al momento óptimo de reemplazo y seleccionar aquella que tenga el indicador más bajo. En este ejemplo, se selecciona la tecnología sodio, dado que:

$$\text{Min}\{CAE_{t=8}^{\text{sodio}}, CAE_{t=6}^{\text{LED}}\} = \text{Min}\{1.096.519, 1.187.354\} = 1.096.519$$

Una vez realizada la preselección entre alternativas tecnológicas, corresponde evaluar la conveniencia económica de llevar a cabo el proyecto de reemplazo comparando las situaciones con y sin proyecto de reemplazo.

De acuerdo a lo indicado, la situación con proyecto (CP) considera reemplazar las luminarias actualmente en uso por nuevas luminarias de sodio que serán utilizadas por 6 años (vida útil económica). La situación sin proyecto (SP) supone que las luminarias en uso son también de tecnología sodio y que están por cumplir 6 años de antigüedad. Así, la situación sin proyecto llevaría a utilizar estos equipos antiguos por 6 años más, para poder contrastar ambos escenarios. Los flujos incrementales del proyecto de reemplazo están dados por la diferencia entre la situación con y sin proyecto. El indicador de rentabilidad utilizado es el Valor Actual Neto Social (VANS), que se calcula de acuerdo a lo siguiente:

$$VANs = \sum_{t=0}^T \frac{-I_0 + BS_t}{(1+r)^t} + \frac{VR}{(1+r)^T}$$

Donde:

$VANs$  : es el valor actual neto social del proyecto;

$-I_0$  : es la inversión inicial;

$BS_t$  : son los beneficios totales netos en el año  $t$  y corresponde en este caso a los ahorros relativos generados por usar luminarias nuevas respecto a las antiguas.

$r$  : es la tasa social de descuento;

$T$  : es el horizonte de evaluación total del proyecto;

$VR$  : es el valor residual del proyecto al final de su vida útil. Recordar que en el caso de las luminarias, este valor es igual a cero.

Si el proyecto tiene  $VANs$  positivo, es conveniente su ejecución; en caso contrario debe recomendarse su rechazo o reformulación.

Los cálculos correspondientes se encuentran en el Cuadro N°A1.9. Los flujos de costos que se indican en la situación con y sin proyecto son extraídos del Cuadro N°A1.8 y se utiliza una tasa de descuento del 6%.

#### Cuadro N°A1.9 - Evaluación económica del proyecto de reemplazo

t	SP	CP	Flujo neto proyecto	Flujo actualizado proyecto
0	0	-\$2.016.000	-\$2.016.000	-\$2.016.000
1	-\$1.142.280	-\$720.000	\$422.280	\$398.377
2	-\$1.297.836	-\$778.131	\$519.705	\$462.536
3	-\$1.328.400	-\$840.861	\$487.539	\$409.347
4	-\$1.431.693	-\$953.181	\$478.512	\$379.026
5	-\$1.546.228	-\$980.739	\$565.489	\$422.567
6	-\$1.669.927	-\$1.058.616	\$611.311	\$430.950

VAN	486.803
-----	---------

Fuente: Elaboración propia

Como se observa, es conveniente ejecutar el proyecto de reemplazo ya que el VAN es positivo. Esto nos muestra que siempre que se operen los equipos más allá de su vida útil económica se generarán costos netos y que es por tanto conveniente realizar el reemplazo cuando se ha cumplido este límite, para una misma tecnología.

## ANEXO N°2 – Definiciones técnicas<sup>14</sup>

---

A continuación se presentan las principales definiciones técnicas relacionadas a los proyectos de alumbrado público.

### **(i) Balastos**

Son accesorios para utilizar en combinación con las lámparas de descarga, en forma de impedancias inductivas. Proporcionan la corriente de arranque o de precalentamiento de cátodos para la emisión inicial de electrones, suministran la tensión de salida en vacío suficiente para hacer saltar el arco al interior de la lámpara, limitan la corriente que circula por aquellas a los valores exigidos para un funcionamiento adecuado y controla las variaciones de ésta, frente a variaciones de la tensión de alimentación.

### **(ii) Equipo eléctrico**

El adecuado a los distintos tipos de fuentes de luz artificial y en función de la siguiente clasificación:

- Incandescentes normales sin elementos auxiliares.
- Halógenas de alto voltaje a la tensión normal de la red, o de bajo voltaje con transformador o fuente electrónica.
- Fluorescentes y de descarga. Con reactancias o balastos, condensadores y partidores (ignitores), o conjuntos electrónicos de encendido y control.

### **(iii) Flujo Luminoso**

El flujo lumínico se refiere a la potencia emitida en forma de radiación luminosa o luz a la que el ojo humano percibe o es sensible, su símbolo es  $\Phi$  y su unidad el lumen (lm). Se refiere a la cantidad de luz que emite una lámpara en todas direcciones o parte de la potencia consumida por la lámpara (W) que se convierte en luz visible (Cuadro N°A2.1).

---

<sup>14</sup> Sección elaborada en base a Sariego, 2011

### Cuadro N°A2.1 -Flujos luminosos por tipo de lámpara

<b>Flujo Luminoso</b>	<b>(lm)</b>
Lámpara incandescente de 60W	730
Lámpara fluorescente de 65W	5.100
Lámpara halógena de 1.000W	22.000
Lámpara de vapor de mercurio de 125 W	5.600
Lámpara de sodio de 1.000 W	120.000

Fuente: Sariego 2011

#### (iv) Iluminancia

Este atributo establece la relación entre el *flujo luminoso* que recibe una superficie y su área. Se simboliza por la letra **E**, generalmente expresada en **lux** (lúmenes por m<sup>2</sup>). La cantidad de luz que incide sobre una superficie, depende de la potencia lumínica de la fuente, de la distancia entre la fuente y la superficie y del ángulo de incidencia (Cuadro N°A2.2).

### Cuadro N°A2.2 - Iluminancia

<b>Iluminación</b>	<b>(lx)</b>
Mediodía de verano	100.000
Mediodía de invierno	20.000
Oficina bien iluminada	400/800
Calle bien iluminada	20
Luna llena con cielo despejado	0,25-0,50

Fuente: Sariego 2011

#### (v) Intensidad Luminosa

De una fuente de luz en una dirección dada, es la relación que existe entre el Flujo Luminoso contenido en un ángulo sólido cualquiera, expresado en estereorradianes, cuyo eje coincida con la dirección considerada, su símbolo es **I** y su unidad es la Candela (cd). En otras palabras corresponde al Flujo Luminoso que se distribuye en cada dirección del espacio o se propaga en una dirección dada, que emerge, atraviesa o incide sobre una superficie por unidad de ángulo sólido.

## (vi) Lámpara

Equipo emisor de luz. “Son los dispositivos encargados de producir luz a partir de la energía eléctrica que reciben de la red de distribución. En la actualidad, en el alumbrado público se utilizan lámparas de descarga frente a las lámparas incandescentes por sus mejores prestaciones y eficiencia energética. Concretamente, se emplean las lámparas de vapor de mercurio y las de vapor de sodio a alta y baja presión” (Sariego 2011). De acuerdo a su clase, se clasifican en:

- Incandescentes convencionales.
- Incandescentes halógenas.
- De descarga.
- Vapor de Mercurio a Alta o Baja Presión.
- Luz Mezcla.
- Halogenuros o Haluros Metálicos.
- Sodio a Alta o Baja Presión.
- LED : Light-Emitting Diode (Diodo emisor de luz).

## (vii) Luminancia

Efecto de luminosidad que produce una superficie en la retina del ojo humano, tanto si procede de una fuente de luz o superficie que refleja luz. La percepción de la luz es realmente la percepción de diferencias de luminancia, es decir, el ojo humano ve diferencias de luminancias, no de iluminación, ya que a igual iluminación, diferentes objetos tienen distinta luminancia. La luminancia de una superficie es la relación entre la Intensidad Luminosa de una fuente de luz, en una dirección y la superficie de la fuente proyectada según dicha dirección. Se simboliza por la letra **L**, y se expresa en (cd / m<sup>2</sup>) o nit (nt).

La *luminancia media de la calzada (lm)* corresponde al valor de la **luminancia** promedio de la superficie de la calzada, que corresponde al promedio aritmético de las **Luminancias** puntuales en la calzada, en (cd/m<sup>2</sup>). La *luminancia media mantenida* es aquella que asegura que las condiciones de iluminación proyectadas estén presentes al final de la vida media del sistema de alumbrado y que se calcula aplicando el factor de mantenimiento. Éste se conoce también como **Factor total de pérdida de luz**, y considera todos aquellos factores que afectan la emisión lumínica de los equipos, disminuyendo el valor de los parámetros de la iluminación.

**Cuadro N°A2.3 – Parámetros relevantes**

<b>Magnitud</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Unidad</b>
Flujo Luminoso	$\Phi$	Lumen
Intensidad Luminosa	$I = \Phi/\omega$	Candela
Iluminancia	$E = \Phi/S$	Lux (lumen/m <sup>2</sup> )
Luminancia	$L = I/S$	Candela/m <sup>2</sup>

Fuente: Sariego 2011

**(viii) Luminaria**

Estructuras que sostienen las lámparas. “Dispositivo de alumbrado que reparte, filtra o transforma la luz emitida por una o varias lámparas y que comprende todos los dispositivos necesarios para alojar, el soporte, la fijación y la protección de lámparas, (excluyendo las propias lámparas) y, en caso necesario, los circuitos auxiliares en combinación con los medios de conexión con la red de alimentación. En otras palabras, la luminaria es un objeto formado por un conjunto de elementos destinados a proporcionar una adecuada radiación luminosa de origen eléctrico para el control luminoso según las necesidades, que es el fin primordial; un control térmico que haga estable su funcionamiento; y un control eléctrico que ofrezca las debidas garantías al usuario. La materialización de esos elementos pasa en cada caso por la conjunción entre un buen diseño formal y una razonable economía de medios, que prevea un producto de fabricación sólida y eficaz; una relativa sencillez en su instalación; y un mínimo mantenimiento durante su uso”. Elementos característicos:

1. Armadura o carcasa
2. Equipo Eléctrico
  - 2.1 Balastos
  - 2.2 Ignitor
  - 2.3 Condensador
3. Reflectores
4. Difusores
5. Filtros

**(ix)Factor de utilización ( $\eta$ )**

Es una medida del rendimiento de la luminaria, definida como el cociente entre el **Flujo Luminoso** útil que llega a la superficie o calzada y el emitido por la lámpara.

Normalmente se representa mediante curvas, que suministran los fabricantes con las luminarias, en función del cociente del ancho y altura de la calzada (A/H).

**(x) Rendimiento o Eficiencia luminosa ( $\rho$ )**

Es el cociente entre el **Flujo Luminoso** producido y la **potencia eléctrica** consumida que viene con las características de las lámparas (25 W, 60 W, etc.), que expresa el rendimiento energético de una lámpara y mide la calidad de la fuente como un aparato para producir luz por la transformación de energía eléctrica. Mientras mayor sea mejor será la lámpara y por lo tanto, su consumo será menor. Su unidad de medida es el lumen por Watt (lm/W) y se calcula como  $\rho = \Phi/w$  (lumen/watt). En palabras sencillas, es la cantidad de luz que es capaz de emitir una lámpara bajo condiciones determinadas.

**(xi) Recambio Masivo**

Corresponde al reemplazo de luminarias, o componente de ésta, en el Sistema de Alumbrado Público de una Vía de Tráfico Vehicular, en una extensión mayor de 500 metros continuos, que signifique una mejora de dicho sistema.

## ANEXO N°3 – Resumen Reglamento de Alumbrado Público de Vías de Tráfico Vehicular<sup>15</sup>

---

La **elaboración** de proyectos, así como la **ejecución, mantenimiento, renovación, modificación, recambio masivo y reparación** de toda Instalación de Alumbrado Público, deberán ser realizados sólo por instaladores eléctricos de la Clase correspondiente o bajo la supervisión de éstos, según lo establecido en el D.S. 92/1983, del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, “Reglamento de Instaladores Eléctricos y de Electricistas de Recintos de Espectáculos Públicos”, la Norma Chilena Oficial NCH Elec. 2/84. “Electricidad. Elaboración y Presentación de Proyectos”, que establece las especificaciones generales para la elaboración del proyecto de **Alumbrado Público**.

### (i) Vigencia y Aplicación

El Reglamento de Alumbrado Público aplica a los proyectos, memorias técnicas de diseño y obras de instalaciones de Alumbrado Público de Vías de Tráfico Vehicular, tanto públicos como de urbanizaciones privadas, de nuevas instalaciones, así como de los proyectos de remodelación, nuevas instalaciones, recambio masivo de luminarias o ampliación de las existentes, desde la fecha de entrada en vigencia del presente reglamento. Las instalaciones actualmente existentes o en servicio, a la fecha de entrada en vigencia del presente reglamento, en materias de diseño y constructivas, se rigen por las disposiciones legales, reglamentarias y normativas vigentes a la fecha de su construcción.

### (ii) Eficiencia energética y ahorro de energía

El Reglamento establece las eficiencias mínimas que deben tener las luminarias destinadas a la función de iluminar las vías públicas, así como regula la calidad de los proyectos de alumbrado fijando los Factores de Utilización mínimos para las instalaciones específicas (Cuadro A3.1). Del mismo modo, señala la eficiencia mínima que deben tener las fuentes de luz utilizadas en las instalaciones de Alumbrado Público y las pérdidas máximas para los balastos (Cuadro N°A3.2).

- a. Eficiencia mínima luminarias para alumbrado público: 70%
- b. Eficiencia luminosa mínima de lámparas: 80 lúmenes /watt.
- c. Factores de utilización mínimos y pérdidas máximas aceptadas para los balastos\*

---

<sup>15</sup> Anexo elaborado en base a Sarego (2011)

**Cuadro N°A3.1 - Factores de utilización mínimos**

Según ancho calzada/altura montaje (a/h)		Factores de utilización mínimos (%)
a/h	0,5	20,0
	1,0	38,0
	1,5	45,0
	2,0	50,0

Fuente: Reglamento de Alumbrado Público de Vías de Tráfico Vehicular

**Cuadro N°A3.2 - Pérdidas máximas aceptadas para los balastos**

Potencia Nominal Lámpara (W)	Sodio Alta Presión	Haluro Metálico
70	23	21
100	16	16
150	13	15
250	11	10
400	10	9

Fuente: Reglamento de Alumbrado Público de Vías de Tráfico Vehicular

\*El balasto no podrá suministrar a la lámpara de referencia correspondiente una potencia inferior al 10% ni superior al 5% de la nominal

Notar que el reglamento permite el uso de tecnologías diferentes a las establecidas en él, considerando su compatibilidad y adaptabilidad a tales instalaciones, incluyendo los sistemas de distribución eléctrica, climatológico y vial, siempre que se mantenga el nivel de seguridad, desempeño y de eficiencia energética contemplado en éste. Las tecnologías alternativas deben estar técnicamente respaldadas en normas, códigos o especificaciones nacionales o extranjeras, así como en prácticas recomendadas de ingeniería, internacionalmente reconocidas.

## ANEXO N°4 - Resumen Informe Panel de Expertos. Selección de tecnologías para sistemas de alumbrado público con criterio de eficiencia energética

El panel de expertos conformado para la selección de tecnologías de alumbrado público con criterio de eficiencia energética no identifica una tecnología recomendada en particular, sino que establece exigencias mínimas para el sistema completo.

Las recomendaciones técnicas para el reemplazo de luminarias más energéticamente eficientes aquí descritas están además de acuerdo con las exigencias que el Reglamento de Alumbrado Público define.

### (i) Luminarias

Cuadro N°A4.1 - Prestaciones de las luminarias

Aspectos de la forma como las luminarias entregan sus prestaciones		Requisitos
Sistema Óptico		Cerrado
Fotometría		Clasificación: CIE 34-1976 Rendimiento lumínico de la luminaria ( <i>RLum</i> ) igual o mayor al 70%
Hermeticidad <sup>16</sup> : Índice de Protección IP	Sistema Óptico	Igual o mejor que IP 54
	Comportamiento eléctrico	Igual o mejor que IP 53

Fuente: Informe Panel de Expertos de Alumbrado Público, PMEE-AP.

### (ii) Lámparas

Eficacia luminosa de las lámparas (EFL)

$EFL \geq 80$  lúmenes/watt

<sup>16</sup> Se debe recordar que las recomendaciones del Panel de Expertos representan niveles de exigencia mínimos. Pero éstos deben ser ajustados de acuerdo a las características propias del proyecto y necesidad real de contar con equipos que estén por sobre los niveles recomendados. Esto con el fin de asegurar un correcto desempeño de las luminarias instaladas. Por ejemplo, suelen sugerirse niveles de hermeticidad más altos (IP65 o IP66) para reducir los costos de mantención de los equipos, pero esto debe ser evaluado en función del nivel de contaminación del lugar donde se emplaza el proyecto. Lugares poco contaminados pueden no necesitar estándares más elevados que las recomendaciones mínimas.

### (iii) Balastos

Se ha definido un nivel máximo de pérdidas eléctricas para los balastos utilizados en las lámparas de descarga. Las pérdidas son medidas al voltaje nominal del balasto y los requisitos mínimos son los siguientes:

**Cuadro N°A4.2 - Pérdidas de los balastos**

Potencia (Watts)	Sodio Alta Presión	Haluro Metálico
70	16	15
100	16	16
150	20	22
250	27	25
400	37	33

Fuente: Informe Panel de Expertos de Alumbrado Público, PMEE-AP.

Además, se ha definido que la Eficiencia Mínima de las luminarias,  $EFLum_{min}$  debe ser igual a 46 lumens/watt)

### (iv) Conductores

**Cuadro N°A4.3 - Principales conductores**

Tipo	Materialidad
Aéreo	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Cobre desnudo</li><li>▪ Aluminio desnudo</li><li>▪ Fierro galvanizado (en caso de robo de conductor)</li></ul>
Subterráneo	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Cobre</li><li>▪ Aluminio</li></ul>

Fuente: Informe Panel de Expertos de Alumbrado Público, PMEE-AP.

**(v) Tableros de Control**

- Equipo de fuerza (contactor)
- Protecciones de la capacidad apropiada (disyuntor y diferencial)
- Sistema de encendido y apagado (Reloj Astronómico, celda fotoeléctrica)

## ANEXO N°5 - Incorporación de beneficios en proyectos de reemplazo de luminarias

---

Los *beneficios* de un proyecto corresponden al valor que tiene para el país que éste sea ejecutado y es medido conceptualmente a través del *aumento del consumo* de los bienes y servicios producidos por el proyecto y por la *liberación de recursos* de los insumos que el proyecto genera. En el caso de los proyectos de alumbrado que aumentan el nivel de servicio de iluminación (por ejemplo, aumento de los índices de luminosidad, continuidad en la entrega, seguridad de la programación de producción), estos beneficios son fácilmente identificables.

Sin embargo, cuando se trata de proyectos de reemplazo que mantienen constante el nivel de servicio prestado, el foco no debe colocarse sobre la estimación de beneficios como los antes mencionados ya que, en de la comparación de las situaciones, CP y SP éstos se anularían. Por esto, en los proyectos de reemplazo con aumento de capacidad, los beneficios están dados por ahorros generados en mercados indirectos, secundarios o bien por el menor número de externalidades negativas que una u otra tecnología genera.

En lo que sigue, se identifican una serie de beneficios asociados a los proyectos que esta guía cubre. Éstos son un grupo de los beneficios potencialmente medibles de este tipo de proyectos; no obstante, existen otros que son usualmente identificados como intangibles, o no cuantificables, tales como armonía del sistema de alumbrado con el paisaje y concientización del problema ambiental.

La estimación de los beneficios aquí señalados debe ser hecha siempre y cuando el costo de realizar los ejercicios necesarios para este propósito y de contratar estudios u otros, sea menor al beneficio esperado de contar con dicha información. En la medida que se dispongan de más antecedentes sobre proyectos de este tipo, se podrá compartir la experiencia en esta materia para reconocer qué partidas resultan más relevantes en la evaluación social de éstos.

### **(i) Beneficios por disminución de gases de efecto invernadero**

La emisión de gases de efecto invernadero (GEI), que contribuye al fenómeno del cambio climático en la medida que se genere un aumento del efecto invernadero por sobre su valor normal, representa una externalidad negativa asociada a los proyectos de alumbrado público. La relación entre los GEI y los sistemas de iluminación se da a través del consumo que estos últimos hacen de energía generada a partir de combustibles altamente contaminantes como carbón y otros combustibles fósiles. Es así como, una alternativa de proyecto que tenga asociada

una disminución en el consumo de electricidad, podrá reconocer beneficios por ahorro en emisión de GEI.

### **Cuantificación de las emisiones**

El método más utilizado para cuantificar las emisiones asociadas a distintas actividades, es a través del uso de los *factores de emisión* y que corresponden a valores representativos que relacionan la cantidad de un contaminante liberado a la atmósfera con una actividad asociada a la emisión de dicho contaminante. Si bien existe un gran número de actividades que tienen asociado un factor de emisión transversal para economías de distintos países del mundo, existen otros que son muy particulares a la forma cómo los procesos productivos son desarrollados en cada país o región. Éste es el caso de la electricidad, en que las emisiones asociadas a la producción de un KWH de energía son función los métodos particulares de la extracción, producción y transporte del combustible utilizado en la generación de la energía. En el caso de Chile, debe recordarse que existen diversos sistemas eléctricos que generan electricidad en diferentes plantas y con el uso de distintas combinaciones de combustibles. Todas estas consideraciones se tuvieron en cuenta al construir los factores de emisión de CO<sub>2</sub> equivalente que se presentan en el Cuadro N° A5.1.

**Cuadro N°A5.1 - Factores de emisión por región y alcance del consumo energético<sup>17</sup>**

<b>Región</b>	<b>Sistema Eléctrico</b>	<b>Factor (kg CO<sub>2</sub>e/KWh)</b>
I	SING	0,895
II	SING	0,895
III	SIC	0,355
IV	SIC	0,355
V	SIC	0,355
VI	SIC	0,355
VII	SIC	0,355
VIII	SIC	0,355
IX	SIC	0,355
X	SIC	0,355
XI	Sistema Aysén	0,16
XII	Sistema Magallanes	0,818
XIII	SIC	0,355
XIV	SIC	0,355
XV	SING	0,895

Fuente: Comisión Nacional del Medio Ambiente, 2009.

Para estimar el ahorro total de emisiones atribuibles a la prestación del servicio de iluminación con alumbrado público más eficiente, es necesario comparar el consumo energético total de las luminarias a reemplazar y el consumo estimado de las nuevas luminarias. Para calcular las emisiones atribuibles a cada alternativa se debe aplicar la siguiente expresión:

$$EE_r = \frac{e * F_r}{1.000}$$

Donde:

$EE_r$  son las emisiones procedentes de la electricidad consumida por el alumbrado público en la región  $r$  (ton CO<sub>2</sub>/año);

$e$  es la energía consumida (KWh/año);

<sup>17</sup> Se ha iniciado una mesa de trabajo con representantes del Ministerio de Energía para avanzar en la elaboración de una guía de actualización de los factores de emisión presentados para el SIC, SING, Sistema de Magallanes y Sistema de Aysén.

$F_r$  es el factor de emisión de la región  $r$  (kg  $CO_2e$ /KWh);

Notar que la ecuación  $EE_r = \frac{e * F_r}{1.000}$  está expresada en toneladas de  $CO_2e$  al año, y ésta es dividida por 1.000 para establecer la equivalencia correspondiente, dado que el factor de emisión  $F_r$  se encuentra expresado en kilogramos de  $CO_2e$  por KWh y el consumo de energía  $e$  en KWh al año.

### Valoración del ahorro en emisiones

Para valorizar estos ahorros se debe imputar un precio que refleje el costo social de que los gases de efecto invernadero sean emitidos al medio ambiente. Para esto, se puede emplear el *precio social del carbono* que estima el Ministerio Desarrollo Social<sup>18</sup> y que representa un precio de transacción de los derechos de emisión de carbono en mercados internacionales.

$$A_e = P_c * \Delta EE$$

Donde:

$A_e$  es el ahorro en emisiones generado por el menor consumo energético;

$P_c$  es el precio social del carbono

$\Delta EE$  es el cambio en las emisiones asociadas al consumo de electricidad.

#### (ii) Beneficios por disminución de contaminación lumínica

“La *contaminación lumínica* es la emisión de flujo luminoso de fuentes lámparas, luminarias, reflectores, etc., en intensidades, direcciones, rangos espectrales u horarios innecesarios para la realización de las actividades previstas en la zona en la que se instalan las luces. Aumenta el brillo del cielo nocturno, por reflexión y difusión de la luz artificial en los gases y en las partículas del aire alterando su calidad y condiciones naturales hasta el punto de hacer desaparecer estrellas y demás objetos celestes” (Sariego 2011).

Chile que cuenta con una Norma de Emisión para la Regulación de la Contaminación Lumínica que busca prevenir este problema en los cielos nocturnos de la II, III y IV regiones, reconociendo que puede traer consecuencias muy negativas sobre la calidad astronómica de la zona norte del país (SINIA). Más aún, la contaminación lumínica es una externalidad negativa generada por proyectos de iluminación que puede también tener efectos sobre la visión del cielo nocturno, turismo astronómico, entre otros.

---

<sup>18</sup> Para más información, consultar el siguiente link:

<http://sni.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/fotos/Estimacion%20Precio%20Social%20Carbono%202013.pdf>

Por esto, proyectos que eviten o disminuyan la emisión de luz hacia el cielo por medio del uso de luminarias y sistemas adecuados, podrán incorporar beneficios por ahorro en contaminación lumínica generada.

Para estimar dichos beneficios, se requiere ahondar en técnicas de estimación indirectas, ya que no existe un mercado asociado a ésta que pueda ofrecer una referencia sobre el valor que las personas asignan a los ambientes libres de contaminación lumínica (o con contaminación lumínica reducida) a partir de los precios observados en éste. Así, el método de la valoración contingente surge como un método apropiado para valorar bienes sin mercado. La valoración contingente es un método de preferencias declaradas que se basa en la información que proporcionan las propias personas cuando se les pregunta sobre la valoración del objeto en análisis (Azqueta, 1994) y captura el valor de no uso de un cielo sin contaminación lumínica.

El nombre del método se debe al hecho que la disposición a pagar o la disposición a aceptar revelada es contingente con las alternativas presentadas en el cuestionario utilizado para entrevistar a los visitantes. Las preguntas son establecidas en un mercado hipotético en el que ha ocurrido un cambio en la cantidad de luz que es dirigida hacia el cielo. Según Azqueta (1994), el mecanismo más simple para averiguar cómo valora la persona el cambio en el bienestar, es preguntarle a la persona. Por esto, la forma habitual de hacerlo es utilizando encuestas, entrevistas y cuestionarios, entre otros. El Anexo N°6 presenta una encuesta modelo.

La ventaja del método de valoración contingente es que puede ser aplicado a variadas situaciones donde no existen datos disponibles o hay dificultad para obtenerlos. Se han utilizado mercados hipotéticos para valoraciones relacionadas con la calidad del agua y aire, belleza estética, valor de recreación, preservación de áreas silvestres, existencia de ambientes naturales, riesgo de fumar cigarrillos y en energía nuclear (Bojö, Mäler y Unemo, 1992). Para aplicar el método deben seguirse los siguientes pasos:

1. Definir el tipo de bien en cuestión para determinar el método de valoración (disposición a pagar o disposición a aceptar). La evidencia indica que al medir un cambio particular en la provisión de un bien, la disposición a pagar y la disposición a aceptar no necesariamente son idénticas. Típicamente la disposición a aceptar es mayor que la disposición a pagar, reflejando el hecho que la disposición a aceptar no está limitada por el

ingreso. Además, muchas personas tienden a valorar más algo que ya tienen que algo que hipotéticamente podrían tener (Hanemann, 1991).

2. Identificar los beneficios del bien (valor de uso y de no uso); esto evita la doble contabilidad.
3. Diseñar la encuesta, en general, sobre la base de tres bloques principales:
  - Información relevante sobre el bien o el problema objeto de estudio, de modo que el encuestado tenga una información suficientemente precisa como para identificar correctamente de que se trata el problema. Es normal, en el caso de los bienes ambientales, acompañar esta primera información con ayudas gráficas o visuales (fotografías, dibujos) que ayuden a la comprensión.
  - Descripción de la modificación del objeto de estudio: nivel de partida, modificación propuesta y mecanismo de financiamiento (forma de pago). Así, las preguntas deben enfocarse en estimar la disposición a pagar de la persona por el cambio propuesto (el planteamiento debe girar alrededor de lo que este intercambio de mayor bienestar supone al individuo y no en relación a lo que éste piensa sobre lo que la sociedad debería hacer).
  - Indagación sobre las características socioeconómicas más relevantes de la persona encuestada, de acuerdo con el problema objeto de estudio.

Existen distintas formas de realizar las encuestas y de formular las preguntas para obtener la disposición a pagar de las personas, esto dependerá del bien en cuestión y del presupuesto, entre otros factores (Mitchell y Carson, 1989). Kanninen (1993) y Perman et al (1996) coinciden en que los datos pueden ser recopilados a través de entrevistas personales, mediante cuestionarios enviados por correo o entrevistas telefónicas. Sólo las entrevistas personales entregan datos confiables pero es una técnica de alto costo y que consume demasiado tiempo. Además, debido al costo, puede que induzca a realizar muestreos pequeños que no sean representativos.

El método de valoración contingente ya ha sido utilizado para determinar el valor otorgado a la contaminación lumínica<sup>19</sup>. Especialmente empleados han sido los modelos de elección dicotómica, dado que éstos tendrían asociados un nivel de sesgo mínimo. Los individuos son interrogados respecto a su disposición a pagar por un monto determinado con tal que la luz que es dirigida al cielo sea reducida. Si la respuesta es positiva, la misma pregunta es hecha pero para un monto de dinero superior, mientras que si ésta es negativa, el siguiente monto mencionado es menor. La máxima disposición a pagar de los individuos se deriva del análisis

---

<sup>19</sup> Se recomienda revisar Muramatsu et al 2004; Willis et al 2003.

de los montos presentados en la encuesta y el porcentaje de respuestas positivas, dado un modelo de utilidad aleatoria (Moramatsu et al. 2004). Así, la evaluación de los efectos de la contaminación lumínica puede ser hecha mediante la identificación de las principales consecuencias asociadas:

- Investigaciones científicas:
  - Observaciones astronómicas perjudicadas por excesiva iluminación de los cielos.
- Uso de la energía:
  - Desperdicio de energía por medio de la iluminación directa de los cielos nocturnos. Notar que cuando el contraste entre la luminancia del objeto observado y la luminancia del fondo es disminuida debido al resplandor del cielo, la observación final del objeto es alterada (Simpson 2007).
- Producción agrícola y ganadería.
- Deterioro escénico o consecuencias estéticas.
- Medios de transporte.
- Salud humana y ecología:
  - Disrupción de los procesos biológicos de los animales y su interacción con el ambiente.
  - Alteración de los patrones de sueño de las personas y ritmos cardíacos.

### **(iii) Beneficios por menor disposición de lámparas contaminantes**

La prestación del servicio de iluminación público requiere la utilización de millones de ampollitas al año que, una vez cumplida su vida útil, son desechadas. Muchas de éstas contienen residuos altamente contaminantes como el mercurio, metal pesado y tóxico que es liberado al ambiente una vez que la ampollita es descartada. La cantidad de mercurio en una de éstas varía entre los 3 y 50 mg (Assaf et al 2002).

Este tipo de residuos se clasifica en Chile como Peligroso, condición que implica una disposición final particular para los aparatos contaminantes. Es así como, en la situación ideal, todos los aparatos que contienen mercurio u otros elementos tóxicos, debieran ser dispuestos en rellenos de seguridad especialmente diseñados, y no en rellenos sanitarios u otros vertederos autorizados que reciben otros tipos de residuos sólidos. Notar que las lámparas con contenido de mercurio pueden ser enviadas a rellenos de seguridad directamente o pueden pasar por procesos de

trituration previa. El costo de disposición final es variable pero se estima que éste podría alcanzar las 10 UF / ton (Ministerio de Medio Ambiente, 2010).

Para medir los beneficios generados menor disposición de lámparas o aparatos de alumbrado contaminantes hay que considerar que no todos poseen elementos tóxicos, variando con esto la forma en que debe ser realizada su disposición final. Las ampollitas que contienen mercurio deben ser dispuestas en rellenos de seguridad para residuos peligrosos. Aquellas que no contienen mercurio, son desechadas en rellenos sanitarios. El ahorro en costos de disposición final depende de la caracterización de las ampollitas utilizadas en las situaciones CP y SP. Este aspecto se resume en el Cuadro N°A5.2.

**Cuadro N°A5.2 - Disposición final de las ampollitas de alumbrado público**

Tipo de Aparato de Alumbrado	Disposición Final
<i>Con mercurio</i>	Relleno de Seguridad
Fluorescentes	
Vapor de mercurio Otras de descarga	
<i>Sin mercurio</i>	Relleno Sanitario
Incandescentes y halógenas	

Fuente: Elaboración propia en base a Ministerio Medio Ambiente 2010

Con este elemento en consideración, se observa que el beneficio por ahorro en contaminantes de mercurio puede estimarse a través del ahorro en costos de disposición final de los aparatos de alumbrado utilizados a lo largo de la vida útil de las luminarias.

Es importante señalar que, si bien a la fecha no existe una normativa sobre el ingreso, manejo y disposición de productos que contienen mercurio, en la situación SP se debe considerar que todas las ampollitas son desechadas de acuerdo a la situación "ideal". Sólo así se estará definiendo el escenario base como uno optimizado.

El ahorro en costos de disposición final se estima entonces del siguiente modo:

Caso 1. Los aparatos de alumbrado contienen mercurio en la situación con y sin proyecto:

$$A_{DF} = (C_{RSeg}) * (Q_{SP} - Q_{CP})$$

*Donde:*

$A_{DF}$  son los ahorros monetarios generados por menor disposición de aparatos de alumbrado que contienen mercurio;

$C_{RSeg}$  es el costo de disponer en un relleno de seguridad una tonelada de aparatos de alumbrado ;

$Q_{SP}$  son las toneladas de lámparas y tubos a disponer en el relleno de seguridad en la situación sin proyecto;

$Q_{CP}$  son las toneladas de lámparas y tubos a disponer en el relleno de seguridad en la situación con proyecto;

En este caso, los ahorros vienen dados por la diferencia en la vida útil de las lámparas y tubos utilizados que lleva a que menos de éstos sean desechados a lo largo de la vida del proyecto.

Caso 2. Los aparatos de alumbrado contienen mercurio sólo en la situación sin proyecto:

$$A_{DF} = (C_{RSeg} - C_{RSan}) * (Q_{RSeg} - Q_{Rsan})$$

*Donde:*

$A_{DF}$  son los ahorros monetarios generados por menor disposición de aparatos de alumbrado que contienen mercurio;

$C_{RSeg}$  es el costo de disponer en un relleno de seguridad una tonelada de aparatos de alumbrado ;

$C_{RSan}$  es el costo de disponer en un relleno sanitario una tonelada de aparatos de alumbrado ;

$Q_{RSeg}$  son las toneladas de lámparas y tubos a disponer en el relleno de seguridad;

$Q_{Rsan}$  son las toneladas de lámparas y tubos a disponer en el relleno sanitario.

En este caso los ahorros están dados por la diferencia entre el costo de disponer los residuos en un relleno sanitario en comparación a uno de seguridad, dado que sólo aquellos que contienen mercurio deben ser dispuestos en rellenos del segundo tipo.

Caso 3: Los aparatos de alumbrado no contienen mercurio en la situación con y sin proyecto

$$A_{DF} = C_{Rseg} * Q_{Rseg} - C_{Rsan} * Q_{Rsan}$$

Donde:

$A_{DF}$  son los ahorros monetarios generados por menor disposición de aparatos de alumbrado que no contienen mercurio;

$C_{RSan}$  es el costo de disponer en un relleno sanitario una tonelada de aparatos de alumbrado ;

$Q_{SP}$  son las toneladas de lámparas y tubos a disponer en el relleno de seguridad en la situación sin proyecto;

$Q_{CP}$  son las toneladas de lámparas y tubos a disponer en el relleno de seguridad en la situación con proyecto.

En este caso, los ahorros vienen dados por la diferencia en la vida útil de las lámparas y tubos utilizados que lleva a que menos de éstos sean desechados a lo largo de la vida del proyecto.

Un resumen de los casos presentados anteriormente se presenta en el Cuadro N°A5.3.

**Cuadro N°A5.3 - Beneficios por menor disposición de aparatos de alumbrado**

SP	CP	Ahorro	
Con mercurio	Sin Mercurio	Número de ampollitas dispuestas y costo de disposición	$A_{DF} = C_{Rseg} * Q_{Rseg} - C_{Rsan} * Q_{Rsan}$
Con mercurio	Con mercurio	Número de ampollitas dispuestas	$A_{DF} = (C_{Rseg}) * (Q_{SP} - Q_{CP})$
Sin mercurio	Sin mercurio	Número de ampollitas dispuestas	$A_{DF} = (C_{RSan}) * (Q_{SP} - Q_{CP})$

Fuente: Elaboración propia.

Notar que la propuesta de valorización anterior se basa en la cuantificación de unidades de ampollitas o tubos de iluminación utilizados, y no del mercurio liberado al medio ambiente. Este enfoque es una buena aproximación del costo que significa para la sociedad la liberación de mercurio al medio ambiente producto de la disposición de los aparatos de alumbrado público.

Sin embargo, es posible utilizar un enfoque alternativo basado en la cuantificación de gramos de mercurio y no de unidades de iluminación desechadas.

En este caso, el beneficio atribuible al proyecto de recambio de luminarias estaría dado por las toneladas de mercurio ahorradas a partir de un mix de elementos: utilización de aparatos con menos mercurio, mayor vida útil de éstos y por ende menores recambios a lo largo de la vida útil del proyecto.

La dificultad de esta opción radica en la necesidad de estimar de forma confiable un precio social para el mercurio que, de hacerse de forma completa y justificada, permitiría valorar las toneladas de mercurio ahorradas tal como se señala a continuación:

$$A_m = P_m * \Delta m$$

Donde:

$A_m$  es el ahorro en mercurio liberado al medio ambiente;

$P_m$  es el precio social del mercurio o disposición a pagar porque menos toneladas de este elemento sean liberadas al medio ambiente;

$\Delta EE$  es el cambio en disposición de toneladas de mercurio asociadas a la utilización de aparatos de alumbrado más eficientes.

Una forma de estimar  $P_m$  es el de Valoración Contingente, método explicado en la sección anterior.

## ANEXO N°6 - Modelo de encuesta para estimación del valor de la contaminación lumínica por medio del método de valoración contingente (Ejemplo proyecto de alumbrado público para Pitrufrquén)

---

Buenos días, el siguiente cuestionario forma parte de una evaluación, que se encuentra realizando MIDEPLAN. Esta investigación pretende obtener el Valor Económico que tiene la reposición de luminarias del alumbrado público en la comuna de Pitrufrquén. La encuesta es confidencial y sus respuestas solo serán utilizadas en forma agregada. Desde ya le agradecemos por su cooperación y esperamos que sus repuestas sean lo más fidedignas posibles.

MUCHAS GRACIAS

Fecha de entrevista: \_\_\_\_\_

Lugar de entrevista: \_\_\_\_\_ # de encuesta \_\_\_\_\_

### A. Sobre la contaminación lumínica en Pitrufrquén

1) ¿Ha escuchado hablar del término *contaminación lumínica*? Si la respuesta es sí, ¿qué entiende usted por *contaminación lumínica*?

1. Sí

2. No

Contaminación lumínica se refiere a la luz que es dirigida directamente hacia un lugar donde no es deseada y es una consecuencia de la iluminación de los espacios públicos y privados de la ciudad. Muchas veces la contaminación lumínica puede ser entendida como el “resplandor del cielo”, que ocurre cuando la luz es dirigida hacia arriba, disminuyendo la capacidad de ver un claro cielo nocturno. Un cielo contaminado lumínicamente tiene menos estrellas visibles.

2) ¿Ha experimentado una situación como la descrita anteriormente? (Si la respuesta es no, por favor saltarse la pregunta 3).

1. Sí

2. No

3) ¿En su opinión personal, es la contaminación lumínica un problema en la ciudad de Pitrufquén en la noche? Por favor explicar por qué sí o por qué no.

1. Sí

2. No

### **B. Sobre el valor de un cielo claro cielo nocturno en Pitrufquén**

La cantidad de contaminación lumínica en un área determinada puede ser disminuida si son utilizadas tecnologías de iluminación apropiadas, ya sea mediante la alteración del tipo de luz utilizada o mediante la dirección de la luz sólo al lugar donde ésta es requerida. La introducción de estas tecnologías al alumbrado público de Pitrufquén es alternativa con costos asociados que requiere financiamiento que podría traducirse en el aumento en el pago de contribuciones u otro.

Las siguientes preguntas, apuntan a ver en qué medida vale para usted la pena obtener estas mejoras tecnológicas para prevenir incrementos en la contaminación lumínica de su comuna. Para esto, asuma que cualquier cambio realizado sobre el alumbrado público de la comuna es para siempre y tiene efectos inmediatos. Además, asuma que los costos asociados a la implementación de las tecnologías señaladas son pagadas por los habitantes actuales y futuros de la comuna. Los pagos correspondientes se harían mensualmente.

Con controles adicionales sobre la contaminación lumínica de la comuna, las condiciones promedio de visibilidad del cielo nocturno podría mejorar, de forma tal que el cielo pasaría de verse como en la foto A a la foto B.



- 1) ¿Estaría usted dispuesto a pagar X pesos por un cambio en visibilidad de la foto A a la foto B?
  1. Sí (Pase a pregunta 2)
  2. No (Pase a pregunta 3)
- 2) Si en los estudios correspondientes a las tecnologías requeridas para reducir la contaminación lumínica se determinara que el costo mensual que usted debería pagar es mayor que lo esperado ¿Estaría usted dispuesto a pagar X+Y pesos por un cambio en visibilidad de la foto A a la foto B?
  1. Sí (Pase a la siguiente sección)
  2. No (Pase a la siguiente sección)
- 3) ¿Usted estaría dispuesto a pagar X-Y pesos porque se produjera el cambio entre la foto A y B?
  1. Sí (Pase a la siguiente sección)
  2. No (Pase a pregunta 4)
- 4) ¿Estaría dispuesto a pagar algo?
  1. Sí (Pase a pregunta 5)
  2. No (Pase a pregunta 6)

5) ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar? (Indique monto y pase a la siguiente sección)

6) ¿Por qué no está dispuesto a pagar para que se produzcan estas mejoras? (Sondear y pasar a la siguiente sección)

### C. Características del entrevistado

Finalmente, quisiéramos pedirle que responda las siguientes preguntas acerca de usted mismo

1) Edad

1. Menos de 25

2. 25-34

3. 35-44

4. 45-54

5. 55+

2) Género M\_\_\_\_\_ F\_\_\_\_\_

3) Estado Civil

1. Soltero

2. Casado

3. Separado

4. Viudo

4) Nivel educacional. Por favor indique cuál de las siguientes alternativas refleja mejor la educación que Ud. ha recibido.

1. Sin educación

- 2. Educación básica incompleta
- 3. Educación básica
- 4. Educación media incompleta
- 5. Educación media
- 6. Educación técnica incompleta
- 7. Educación técnica
- 8. Educación universitaria incompleta
- 9. Educación universitaria
- 10. Educación de post-grado incompleta
- 11. Educación de post-grado
- 12. Otro

5) Ocupación. ¿Cuál de las siguientes actividades representan mejor su actual ocupación?

- 1. Estudiante
- 2. Dueño de empresa grande
- 3. Jubilado o pensionado
- 4. Ejecutivo
- 5. Obrero especializado
- 6. Dueña de casa
- 7. Obrero no especializado
- 8. Empleado público no profesional
- 9. Comerciante o pequeño empresario
- 10. Profesional universitario independiente
- 11. Profesional universitario empleado
- 12. Técnico titular independiente
- 13. Técnico titular empleado
- 14. Empleado privado no profesional
- 15. Cesante

16. Otros \_\_\_\_\_

6) Ingreso del hogar. Cuál de los siguientes niveles describe mejor los ingresos MENSUALES totales de su hogar, incluyendo a todas las personas que tienen ingresos en su casa?

- 1. Menos de USD 150
- 2. Entre USD 151 y USD 200
- 3. Entre USD 201 y USD 300
- 4. Entre USD 301 y USD 400
- 5. Entre USD 401 y USD 500
- 6. Entre USD 501 y USD 600
- 7. Entre USD 601 y USD 700
- 8. Entre USD 701 y USD 800
- 9. Entre USD 801 y USD 900
- 10. Entre USD 901 y USD 1000
- 11. Entre USD 1001 y más
- 12. No sabe