



DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA AMBIENTAL – MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

ANÁLISIS GENERAL DE IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL DEL ANTEPROYECTO DE REVISIÓN DE LA NORMA DE EMISIÓN PARA LA REGULACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA CONTENIDA EN EL D.S. N°43/2012 DEL MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

Marzo 2021

Presentación

El Ministerio del Medio Ambiente (MMA) es el encargado de proponer, facilitar y coordinar el proceso de generación de las normas de emisión, según lo establecen el artículo 40 y la letra n) de la Ley N° 19.300 Sobre Bases Generales del Medio Ambiente. Corresponde al MMA además, según el párrafo 4° del Reglamento para la Dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión (D.S. N° 38/2012), elaborar un análisis general de impacto económico y social (AGIES) del anteproyecto de norma de emisión, considerando la situación actual y la situación con anteproyecto de norma. En particular, el AGIES debe evaluar los costos y beneficios que implique el cumplimiento del Anteproyecto de norma para la población, los titulares de las fuentes reguladas y para el Estado.

El proceso de elaboración de una Norma de Emisión, desde el desarrollo del Anteproyecto hasta su aprobación, contempla la elaboración de dos documentos:

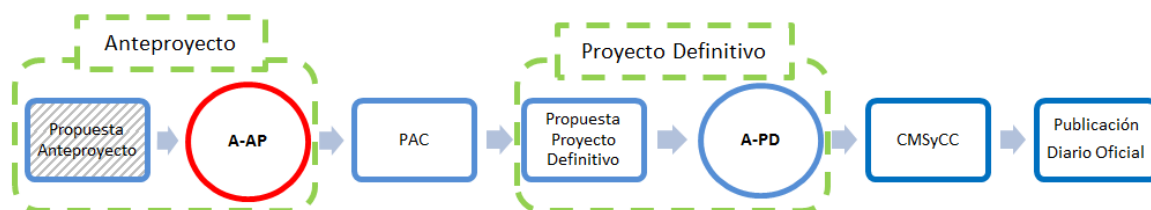
- AGIES del Anteproyecto (A-AP), para apoyar el proceso de participación ciudadana,
- Actualización de costos y beneficios para el Proyecto Definitivo (A-PD), que corresponde a una actualización de los valores del AGIES del Anteproyecto, según los cambios establecidos después del proceso de participación ciudadana, de tal forma de apoyar al Consejo de Ministros para la Sustentabilidad y Cambio Climático (CMS y CC) en la toma de decisión.

Es importante señalar que estos documentos son un apoyo a la toma de decisión de la autoridad y sirven para nutrir los procesos de Participación Ciudadana, el Consejo Consultivo y el

Consejo de Ministros para la Sustentabilidad y el Cambio Climático, por lo cual no debe ser considerado como el único o definitivo instrumento de evaluación. Tanto el AGIES del Anteproyecto como la actualización de costos y beneficios para el Proyecto Definitivo corresponden solamente a uno de los múltiples antecedentes para la toma de decisión. Otros antecedentes corresponden por ejemplo a antecedentes geográficos y demográficos, datos históricos, situación política y la percepción pública respecto a la contaminación.

El presente documento corresponde al AGIES del borrador de Anteproyecto (A-AP) de la Revisión del D.S. N° 43/2012 del MMA que establece la Norma de Emisión para la regulación de la contaminación lumínica; la Figura 1 muestra el proceso de elaboración del D.S.

Figura 1: Proceso de elaboración del Decreto Supremo.



Fuente: Elaboración propia

En el presente AGIES, según la información disponible por el MMA al momento de la evaluación, se evalúa el cumplimiento de la regulación y se estiman los costos y beneficios valorizables producto de su implementación. El análisis cuenta con limitaciones de información; no obstante, mediante supuestos se estima el parque de luminarias, los recambios necesarios para cumplir con la regulación evaluada, y los costos y beneficios asociados.

Resumen

El presente documento muestra los resultados del AGIES del Anteproyecto de revisión de la Norma de Emisión para la regulación de la contaminación lumínica contenida en el D.S. N°43/2012 del Ministerio de Medio Ambiente.

El objetivo de la regulación es prevenir y controlar la contaminación lumínica, de manera de proteger la calidad de los cielos nocturnos y la biodiversidad, especialmente en las Áreas de Protección Especial (APE). La norma establece límites máximos de niveles de iluminación (intensidad), restricción de emisión al hemisferio superior (dirección) y a la emisión espectral (color), según el objeto regulado, que corresponde a luminarias ambientales, funcionales, industriales, ornamentales y decorativas, deportivas y recreacionales y letreros. La norma se extiende a todo el territorio nacional, pero establece límites diferenciados para las APE. En la evaluación, el cumplimiento de la regulación se supone al momento del recambio natural de las luminarias de acuerdo a su vida útil o según lo estipule la regulación en el caso de las APE, por una tecnología que cumpla con los nuevos requerimientos.

El AGIES evalúa los costos y beneficios asociados al cumplimiento del Anteproyecto, adicionales a la norma vigente (D.S. N° 43/2012). Por lo tanto, estos se derivan del recambio de luminarias para un horizonte de 10 años que considera el periodo 2022-2032. Los resultados, en valor presente¹, indican lo siguiente:

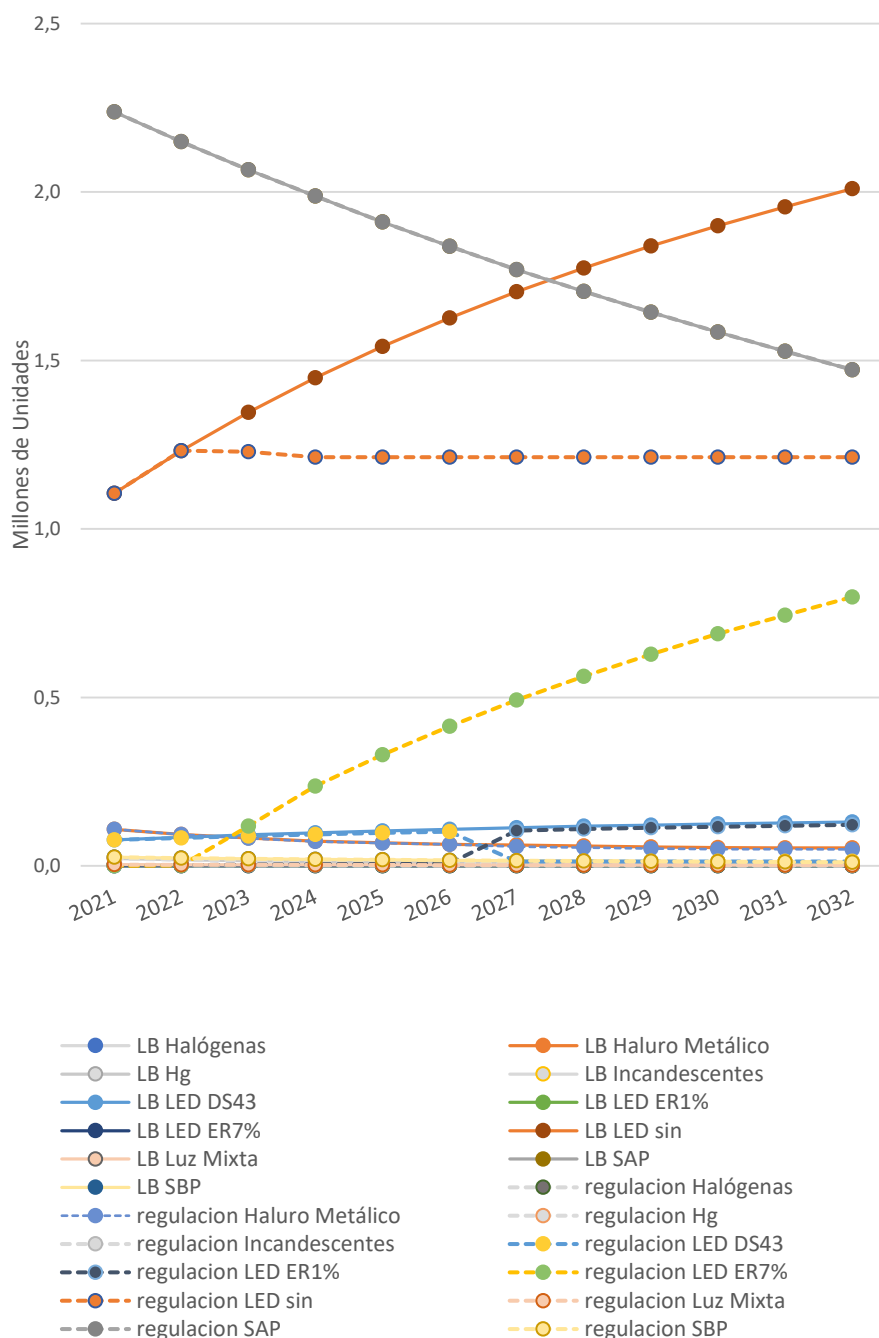
- La regulación genera costos por inversión e instalación asociados al recambio de luminarias que ascienden a MM USD 60,85. Por otro lado, se calcula un ahorro por menores costos de operación y menores costos de mantención de MM USD 39,97 y MM USD 1,00 respectivamente. Los costos asociados a la fiscalización del cumplimiento normativo se calculan en MM USD 0,71. Luego, los costos netos corresponden a MM USD 20,59.
- Los beneficios valorizados por menores emisiones de CO₂ equivalente² ascienden a MM USD 0,75; mientras que por una menor contaminación lumínica para la observación astronómica llegan a MM USD 58,65.
- Producto de la regulación, también se generarán beneficios (no valorizables) para la salud humana, la biodiversidad y actividad astronómica, potenciándose así el desarrollo científico y la economía.
- De manera acumulada, la regulación conlleva un beneficio neto total de MM USD 38,81. La relación entre los beneficios y costos valorizados para el cumplimiento del Anteproyecto de revisión de la Norma de Emisión para la regulación de la contaminación lumínica contenida en el D.S. N°43/2012 genera una razón beneficio-costos de 2,88. Por lo tanto, se concluye que es socialmente rentable.

A continuación, se presentan los principales resultados de la evaluación.

¹ Se calcula el valor presente a 2021 para el periodo 2022-2030 considerando una tasa de descuento de 6%, de acuerdo a lo recomendado por el Ministerio de Desarrollo Social.

² El CO₂ equivalente corresponde a una medida en toneladas y hace referencia a un conjunto de gases de efecto invernadero.

Figura 2: Recambio de luminarias públicas en línea base y escenario regulatorio (millones de unidades por año)



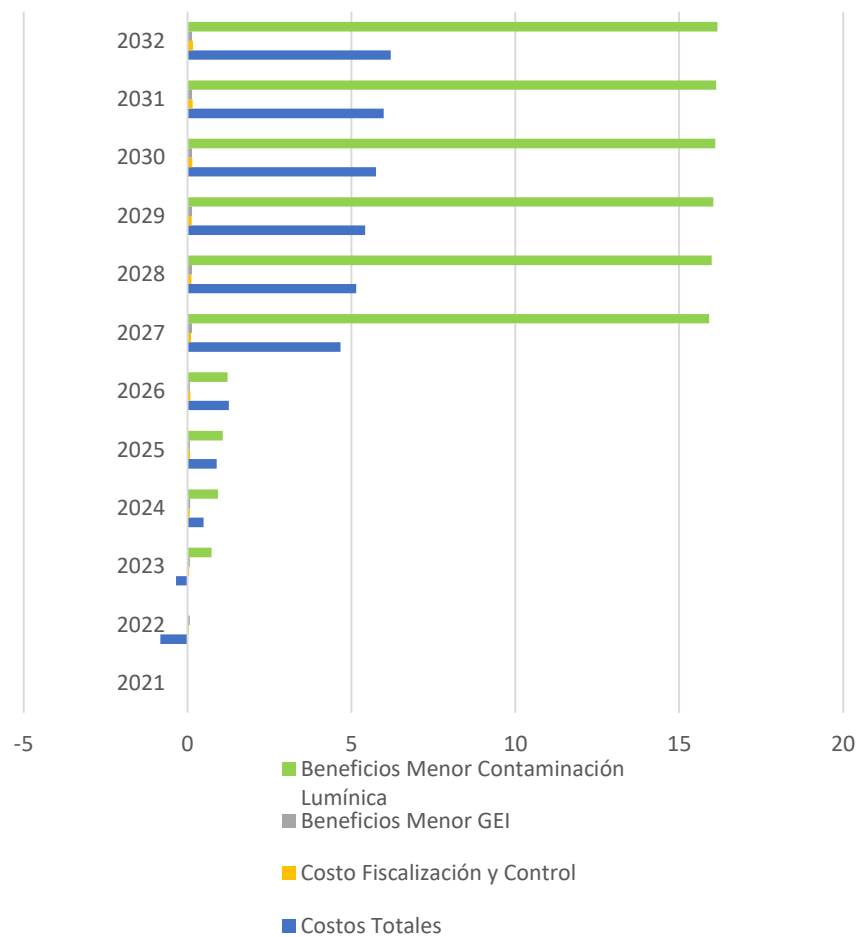
La Figura 2 muestra, para la categoría “*luminarias públicas*”, tanto el escenario de Línea Base (LB) o situación actual proyectada en comparación al escenario regulatorio, es decir, la situación con regulación proyectada (línea punteada).

La diferencia entre ambos escenarios resulta en los recambios de luminarias asociados al cumplimiento normativo durante el horizonte de evaluación.

Se observa que en LB hay un recambio natural hacia tecnología LED sin criterios particulares. En escenario regulatorio, dada la exigencia normativa, el tipo de tecnología LED por la que se recambian cumple criterios más restrictivos en la emisión de luz azul (1% y 7% para áreas de protección especial y resto del territorio respectivamente).

Las tecnologías SAP y aquellas menos eficaces en lúmenes/watt tienen un comportamiento decreciente tanto en línea base como en el escenario regulatorio.

Figura 3: Costos y beneficios anuales (MM USD) asociados al recambio tecnológico para todas las categorías de luminarias desde de línea base a escenario regulatorio.



La Figura 3 muestra los costos totales (instalación, mantención y operación), costos de fiscalización y beneficios, por menores emisiones de contaminantes (GEI) y menor contaminación lumínica generados por el cumplimiento de la regulación propuesta respecto a la línea base.

De la figura se desprende que, a partir del quinto año de entrada en vigencia de la regulación, los costos y beneficios aumentan sustancialmente, mientras que en los primeros 2 años de regulación (2022-2023) los costos negativos significan un ahorro (la situación con regulación es menos costosa que la situación de línea base).

Tabla 1: Indicadores económicos del cumplimiento regulatorio

Indicador	Valor
Valor presente beneficios (MM USD)	59,4
Valor presente costos (MM USD)	20,6
Razón Beneficio-Costo	2,88

La Tabla 1 muestra el valor presente de los beneficios y costos en relación al cumplimiento de la Norma de emisión.

La razón beneficio-costo es de 2,88.

Tabla de contenido

PRESENTACIÓN	1
RESUMEN.....	3
1. ANTECEDENTES	7
1.1. CONTAMINACIÓN LUMÍNICA.....	7
1.2. REGULACIÓN A EVALUAR	7
2. METODOLOGÍA AGIES	13
2.1. METODOLOGÍA GENERAL AGIES	13
2.2. METODOLOGÍA ESPECÍFICA AGIES	15
2.2.1. <i>Determinación de Línea Base.....</i>	<i>15</i>
2.2.1.1. <i>Parque de Luminarias.....</i>	<i>15</i>
2.2.1.2. <i>Proyección del parque de luminarias</i>	<i>18</i>
2.2.2. <i>Evaluación del cumplimiento normativo: Recambio de luminarias.....</i>	<i>21</i>
2.2.3. <i>Costos</i>	<i>26</i>
2.2.4. <i>Beneficios</i>	<i>33</i>
3. RESULTADOS	37
3.1. CUMPLIMIENTO DE ESCENARIO REGULATORIO	37
3.2. COSTOS Y BENEFICIOS.....	40
3.2.1. <i>Costos de inversión, operación y mantención.....</i>	<i>40</i>
3.2.2. <i>Costos de fiscalización y control.....</i>	<i>43</i>
3.2.3. <i>Beneficios por menor emisión de CO₂ equivalente</i>	<i>43</i>
3.2.4. <i>Beneficios por menor contaminación lumínica para la observación astronómica</i>	<i>44</i>
3.2.5. <i>Beneficios no cuantificables</i>	<i>44</i>
3.2.6. <i>Indicadores económicos</i>	<i>47</i>
4. CONCLUSIONES	50
5. REFERENCIAS.....	51
ANEXOS	54
A. PROYECCIÓN DE PARQUES DE LUMINARIAS EN LÍNEA BASE Y ESCENARIO REGULATORIO.	55
B. PRECIO DE COMPONENTES DE LOS COSTOS DE INVERSIÓN, OPERACIÓN Y MANTENCIÓN.....	63
C. EJERCICIO PRÁCTICO: COSTOS POR RECAMBIOS DE LUMINARIAS INDUSTRIALES.....	67

1. Antecedentes

1.1. Contaminación lumínica

La contaminación lumínica consiste en la emisión de flujo luminoso de fuentes artificiales nocturnas hacia el hemisferio superior en intensidades, direcciones, rangos espectrales u horarios innecesarios para la realización de las actividades propias de la zona en la que se instalan las luminarias, como la circulación, desplazamiento, la seguridad, etc. Es decir, la contaminación lumínica es toda aquella luz que no es aprovechada para iluminar el suelo y las construcciones. Esto puede suceder por dos razones principales: porque el haz luminoso no es dirigido hacia debajo de forma vertical, o porque la radiación luminosa es de una longitud de onda que el ojo humano no percibe. Su manifestación más evidente corresponde el aumento del brillo del cielo nocturno, por reflexión y difusión de la luz artificial en los gases y en las partículas del aire urbano, de forma que se disminuye la visibilidad de las estrellas y demás objetos celestes.

El problema de la luz mal usada o desaprovechada se genera por diversas razones generales y específicas. Respecto a las generales, por falta de un diseño o de un proyecto de iluminación que considere la tecnología adecuada, así como la instalación y cantidad de luminarias que se requieren; por desconocimiento de las tecnologías de iluminación disponibles y sus mejores usos; prejuicios respecto a que más cantidad e intensidad de luz siempre es mejor, especialmente en relación a temas de seguridad. En cuanto a las razones específicas, por mala instalación de la luminaria, es decir, luminarias cuya luz no ilumina el objeto o espacio que se necesita y/o se dirige al hemisferio superior u horizontal; por utilizar lámparas que emiten en el espectro de luz que no es útil para el ser humano, pero que afecta a otros seres vivos o el desarrollo de actividades como la astronomía, la cual es especialmente relevante en nuestro país.

En los últimos años el mercado de las luminarias ha tendido a la masificación de la tecnología LED en sus distintas alternativas (luz cálida y fría). Las de luz fría poseen una importante presencia de luz azul en su espectro radiante visible. Las emisiones en el espectro azul (450 nm) tienen la capacidad de dispersarse en la atmósfera tres veces más que las emisiones en el espectro amarillo-ámbar (589 nm) y seis veces más que en rojo (700 nm), lo que contribuye mucho más intensamente al brillo del cielo (Luginbuhl et al., 2009).

Por estas razones es relevante contar con Normas de Emisión que controlen la contaminación lumínica, de manera de proteger la calidad de los cielos nocturnos de todo el territorio nacional y la biodiversidad. La regulación pone especial hincapié en las áreas de interés científico para la observación astronómica y áreas silvestres protegidas, exigiendo una restricción mayor en la emisión del flujo radiante generado por las fuentes emisoras.

1.2. Regulación a evaluar

Desde 1998 Chile cuenta con una Norma de Emisión para la Regulación de la Contaminación Lumínica. El D.S. N° 686 del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo (MINECON) estableció una regulación lumínica para las regiones de Antofagasta, Atacama y Coquimbo, con el objetivo de prevenir la contaminación de los cielos nocturnos, conservar la calidad actual de

los cielos señalados y evitar su deterioro futuro. Con esta norma se buscó evitar la emisión de luz hacia el cielo y promover la utilización de tecnologías que no emitan en el espectro no útil para el ojo humano y que obstaculiza la observación astronómica.

Conforme a lo dispuesto por la normativa nacional, que exige un proceso de revisión de las normas de calidad ambiental y de emisión vigentes a lo menos cada cinco años, el año 2005 se dio inicio al proceso de revisión de la norma de emisión lumínica, proponiéndose modificaciones que la hacían más exigente, considerando que la calidad de los cielos podría verse amenazada con el crecimiento de las ciudades y con el desarrollo de la actividad minera e industrial en las regiones señaladas. En 2012 se promulgó la revisión de dicha norma a fin de establecer mayores exigencias, ampliar las fuentes reguladas e incluir nuevas tecnologías de iluminación (D.S. N° 43/2012 del MMA).

El D.S. N°43/2012 está vigente desde el 4 de mayo del año 2014. Esta norma restringe la emisión de flujo radiante hacia el hemisferio superior, además de ciertas emisiones espectrales de las lámparas, salvo aplicaciones puntuales. Las fuentes instaladas a partir del 4 de mayo de 2014 estaban sujetas a cumplir inmediatamente las nuevas exigencias D.S. N° 43/2012. Por su parte, las fuentes existentes (es decir, que estaban instaladas antes del 4 de mayo de 2014), tenían un plazo de 5 años para cumplir la regulación, lo que significa que desde el 4 de mayo del 2019 la norma es exigible para todas las fuentes reguladas en las regiones de Antofagasta, Atacama y Coquimbo. Las fuentes reguladas (luminarias) deben tener una certificación emitida por un laboratorio autorizado por la SEC. La fiscalización de la norma la realiza la Superintendencia del Medio Ambiente.

El Anteproyecto de la revisión de la Norma de Emisión para la regulación de la contaminación lumínica contenida en el D.S. 43/2012 MMA realiza modificaciones de diversa índole. Las principales modificaciones del Anteproyecto (AP) de Norma, en relación con la Norma Vigente (D.S. N° 43/2012), se señalan en la Tabla 2 a continuación.

Tabla 2. Principales aspectos de D.S. N° 43/2012 y AP de revisión de Norma de Emisión para regulación de contaminación ambiental.

Item	D.S. N° 43/2012	AP de revisión de DS°43 (escenario regulatorio)
Ámbito territorial	Aplica dentro de los límites territoriales administrativos de las regiones de Antofagasta, Atacama y Coquimbo.	Aplica dentro de todo el territorio nacional y establece Áreas de Protección Especial.
Fuentes emisoras a regular	Alumbrado de Exteriores, que corresponde al Alumbrado ambiental, funcional, ornamental y decorativo, industrial, deportivo y recreacional. Avisos, letreros luminosos, proyectores y otros dispositivos de iluminación posibles de ser movidos mientras se operan.	Alumbrado de Exteriores, que corresponde al Alumbrado ambiental, funcional, ornamental y decorativo, industrial, deportivo y recreacional, y alumbrado publicitario.

Item	D.S. N° 43/2012	AP de revisión de DS°43 (escenario regulatorio)								
Zona de interés	Equivalente al ámbito territorial considerado de regiones de Antofagasta, Atacama y Coquimbo.	Se establecen Áreas de Protección Especial, correspondientes a: - Áreas con valor científico y de investigación para la observación astronómica, definidas según la Ley N° 21.162; - Áreas de Protección para la Biodiversidad definidas en la Ley N° 19.300, especialmente aquellas vinculadas a especies amenazadas por contaminación lumínica; - Zonas de Reproducción establecidas en los planes de Recuperación, Conservación y Gestión de Especies, RECOGE.								
Límites de emisión de intensidad luminosa	Define distribución de intensidad luminosa máxima según el ángulo gama: • Para un ángulo gama igual a 90°, entre 0,00 y 0,49 candelas por cada 1.000 lúmenes de la lámpara. • Para un ángulo gama mayor a 90°, 0 candelas por cada 1.000 lúmenes del flujo de la lámpara. En el caso del alumbrado deportivo y recreacional, el límite de intensidad luminosa máxima será de 10 candelas por cada 1.000 lúmenes de luminaria, a un ángulo gama de 90°, junto con la adición de una visera que limite la emisión hacia el hemisferio superior. Dicha visera o para lumen deberá presentar un área similar a la de la superficie emisora del reflector, a objeto de cubrir efectivamente el plano superior del proyector o luminaria.	• Se mantiene exigencia del D.S. N°43/2012. • En el caso de deportivos y recreacionales, y de avisos y letreros luminosos e iluminados, deberán ser apagadas a las 00:00 hrs.								
Límites de radiancia espectral	Para las lámparas instaladas en luminarias o proyectores que sean utilizadas en el alumbrado funcional, ambiental, industrial y ornamental, las exigencias serán las siguientes: <table><tr><th>Rango espectral</th><th>Límite</th></tr><tr><td>Entre 300nm y 379 nm</td><td>15% de la radiación espectral entre 380 nm y 780 nm.</td></tr></table>	Rango espectral	Límite	Entre 300nm y 379 nm	15% de la radiación espectral entre 380 nm y 780 nm.	Para el caso de alumbrado funcional, ambiental, industrial, ornamental y decorativo y publicitario: • En las Áreas de Protección Especial, las luminarias no podrán exceder los siguientes valores de radiancia espectral: <table><tr><th>Rango espectral</th><th>Límite</th></tr><tr><td>Entre 300nm y 379 nm</td><td>1% de la radiación espectral entre 380 nm y 780 nm.</td></tr></table>	Rango espectral	Límite	Entre 300nm y 379 nm	1% de la radiación espectral entre 380 nm y 780 nm.
Rango espectral	Límite									
Entre 300nm y 379 nm	15% de la radiación espectral entre 380 nm y 780 nm.									
Rango espectral	Límite									
Entre 300nm y 379 nm	1% de la radiación espectral entre 380 nm y 780 nm.									

Item	D.S. N° 43/2012		AP de revisión de DS°43 (escenario regulatorio)									
	Entre 380 nm y 499 nm	15% de la radiación espectral entre 380 y 780 nm.	Entre 380 nm y 499 nm	1% de la radiación espectral entre 380 y 780 nm.								
	Entre 781 nm y 1.000 nm	50% de la radiación espectral entre 380 nm y 780 nm.	Entre 781 nm y 1.000 nm	10% de la radiación espectral entre 380 nm y 780 nm.								
	Para el resto del país, las luminarias no podrán exceder los siguientes valores de radiancia espectral:											
			<table><tr><th>Rango espectral</th><th>Límite</th></tr><tr><td>Entre 300nm y 379 nm</td><td>1% de la radiación espectral entre 380 nm y 780 nm.</td></tr><tr><td>Entre 380 nm y 499 nm</td><td>7% de la radiación espectral entre 380 y 780 nm.</td></tr><tr><td>Entre 781 nm y 1.000 nm</td><td>10% de la radiación espectral entre 380 nm y 780 nm.</td></tr></table>	Rango espectral	Límite	Entre 300nm y 379 nm	1% de la radiación espectral entre 380 nm y 780 nm.	Entre 380 nm y 499 nm	7% de la radiación espectral entre 380 y 780 nm.	Entre 781 nm y 1.000 nm	10% de la radiación espectral entre 380 nm y 780 nm.	
	Rango espectral	Límite										
	Entre 300nm y 379 nm	1% de la radiación espectral entre 380 nm y 780 nm.										
	Entre 380 nm y 499 nm	7% de la radiación espectral entre 380 y 780 nm.										
	Entre 781 nm y 1.000 nm	10% de la radiación espectral entre 380 nm y 780 nm.										
	Para el caso de luminarias deportivas.											
	Para recintos deportivos de clases I y II, según Norma UNE-EN 12193/2020, el alumbrado no podrá exceder los siguientes valores de radiancia espectral:											
		<table><tr><th>Rango espectral</th><th>Límite</th></tr><tr><td>Entre 300nm y 379 nm</td><td>1% de la radiación espectral entre 380 nm y 780 nm.</td></tr><tr><td>Entre 380 nm y 499 nm</td><td>20% de la radiación espectral entre 380 y 780 nm.</td></tr><tr><td>Entre 781 nm y 1.000 nm</td><td>10% de la radiación espectral</td></tr></table>	Rango espectral	Límite	Entre 300nm y 379 nm	1% de la radiación espectral entre 380 nm y 780 nm.	Entre 380 nm y 499 nm	20% de la radiación espectral entre 380 y 780 nm.	Entre 781 nm y 1.000 nm	10% de la radiación espectral		
Rango espectral	Límite											
Entre 300nm y 379 nm	1% de la radiación espectral entre 380 nm y 780 nm.											
Entre 380 nm y 499 nm	20% de la radiación espectral entre 380 y 780 nm.											
Entre 781 nm y 1.000 nm	10% de la radiación espectral											

Item	D.S. N° 43/2012	AP de revisión de DS°43 (escenario regulatorio)									
			entre 380 nm y 780 nm.								
		Para recintos deportivos de clase III, según Norma UNE-EN 12193/2020, el alumbrado no podrá exceder los siguientes valores de radiancia espectral:									
		<table><tr><th>Rango espectral</th><th>Límite</th></tr><tr><td>Entre 300nm y 379 nm</td><td>1% de la radiación espectral entre 380 nm y 780 nm.</td></tr><tr><td>Entre 380 nm y 499 nm</td><td>15% de la radiación espectral entre 380 y 780 nm.</td></tr><tr><td>Entre 781 nm y 1.000 nm</td><td>10% de la radiación espectral entre 380 nm y 780 nm.</td></tr></table>	Rango espectral	Límite	Entre 300nm y 379 nm	1% de la radiación espectral entre 380 nm y 780 nm.	Entre 380 nm y 499 nm	15% de la radiación espectral entre 380 y 780 nm.	Entre 781 nm y 1.000 nm	10% de la radiación espectral entre 380 nm y 780 nm.	
Rango espectral	Límite										
Entre 300nm y 379 nm	1% de la radiación espectral entre 380 nm y 780 nm.										
Entre 380 nm y 499 nm	15% de la radiación espectral entre 380 y 780 nm.										
Entre 781 nm y 1.000 nm	10% de la radiación espectral entre 380 nm y 780 nm.										
Límite de emisión por reflexión	Para luminarias o proyectores utilizados en el alumbrado funcional, ambiental y ornamental, los niveles de iluminación exterior no podrán exceder un 20% sobre los valores mínimos establecidos en la norma NSEG 9. N71 – Iluminación: Diseño de alumbrado público en sectores urbanos, de la Superintendencia de Servicios Eléctricos y de Gas (hoy Superintendencia de Electricidad y Combustibles), o la que la reemplace.	Se mantiene exigencia de no superar más allá de un 20% los niveles establecidos en los siguientes instrumentos:									
		<table><tr><th>Alumbrado</th><th>Límite</th></tr><tr><td>Alumbrado ambiental, funcional, industrial, ornamental y decorativo</td><td>Sobre valores mínimos de los Reglamentos de Alumbrado Público Ministerio de Energía</td></tr><tr><td>Alumbrado deportivo y recreacional en áreas comunes</td><td>Sobre valores mínimos de los Reglamentos de Alumbrado Público Ministerio de Energía</td></tr><tr><td>Alumbrado deportivo y</td><td>Sobre valores mínimos de Norma UNE EN 12193/2007.</td></tr></table>	Alumbrado	Límite	Alumbrado ambiental, funcional, industrial, ornamental y decorativo	Sobre valores mínimos de los Reglamentos de Alumbrado Público Ministerio de Energía	Alumbrado deportivo y recreacional en áreas comunes	Sobre valores mínimos de los Reglamentos de Alumbrado Público Ministerio de Energía	Alumbrado deportivo y	Sobre valores mínimos de Norma UNE EN 12193/2007.	
Alumbrado	Límite										
Alumbrado ambiental, funcional, industrial, ornamental y decorativo	Sobre valores mínimos de los Reglamentos de Alumbrado Público Ministerio de Energía										
Alumbrado deportivo y recreacional en áreas comunes	Sobre valores mínimos de los Reglamentos de Alumbrado Público Ministerio de Energía										
Alumbrado deportivo y	Sobre valores mínimos de Norma UNE EN 12193/2007.										

Item	D.S. N° 43/2012	AP de revisión de DS°43 (escenario regulatorio)																	
		recreacional de áreas de juego	Asimismo, apagado del alumbrado después de las 00:00 hrs.																
Límite general de emisión de luminancia	Los avisos y letreros iluminados no podrán tener una luminancia mayor a 50 cd/m² (candela/metro cuadrado).	Para alumbrado publicitario, correspondiente a avisos y letreros luminosos, se extiende el límite de luminancia de 50 cd/m² a todo el territorio nacional, sin inclinación de la pantalla. Asimismo, no puede ser dirigido hacia recintos que constituyan morada																	
Plazo de cumplimiento	La norma contempló una entrada en vigencia de un año desde su publicación en el Diario Oficial. Los plazos de cumplimiento se definen de la siguiente manera: <table><tr><th>Fuente nueva</th><th>Existente</th></tr><tr><td>Al momento de ser instalada, desde la entrada en vigencia</td><td>A la sustitución de la fuente con plazo máximo de 5 años desde la entrada en vigencia</td></tr></table>	Fuente nueva	Existente	Al momento de ser instalada, desde la entrada en vigencia	A la sustitución de la fuente con plazo máximo de 5 años desde la entrada en vigencia	Se contempla una entrada en vigencia de un año desde la publicación del Decreto Supremo en el Diario Oficial. Los plazos de cumplimiento se definen de la siguiente manera: <table><tr><th>Territorio</th><th>Fuente nueva</th><th>Existente</th></tr><tr><td>Áreas de Protección Especial A</td><td>Al momento de ser instaladas, desde la entrada en vigencia</td><td>A la sustitución de la fuente con plazo máximo de 5 años desde la entrada en vigencia</td></tr><tr><td>Áreas de Protección Especial B</td><td>Al momento de ser instaladas, desde la entrada en vigencia</td><td>Al término de su vida útil</td></tr><tr><td>Resto del país</td><td>Al momento de ser instaladas, a partir del segundo año desde la entrada en vigencia.</td><td>Al término de su vida útil</td></tr></table> Áreas de Protección Especial A: Son las comunas cercanas de las Áreas Astronómicas, Áreas de Protección para la Biodiversidad		Territorio	Fuente nueva	Existente	Áreas de Protección Especial A	Al momento de ser instaladas, desde la entrada en vigencia	A la sustitución de la fuente con plazo máximo de 5 años desde la entrada en vigencia	Áreas de Protección Especial B	Al momento de ser instaladas, desde la entrada en vigencia	Al término de su vida útil	Resto del país	Al momento de ser instaladas, a partir del segundo año desde la entrada en vigencia.	Al término de su vida útil
Fuente nueva	Existente																		
Al momento de ser instalada, desde la entrada en vigencia	A la sustitución de la fuente con plazo máximo de 5 años desde la entrada en vigencia																		
Territorio	Fuente nueva	Existente																	
Áreas de Protección Especial A	Al momento de ser instaladas, desde la entrada en vigencia	A la sustitución de la fuente con plazo máximo de 5 años desde la entrada en vigencia																	
Áreas de Protección Especial B	Al momento de ser instaladas, desde la entrada en vigencia	Al término de su vida útil																	
Resto del país	Al momento de ser instaladas, a partir del segundo año desde la entrada en vigencia.	Al término de su vida útil																	

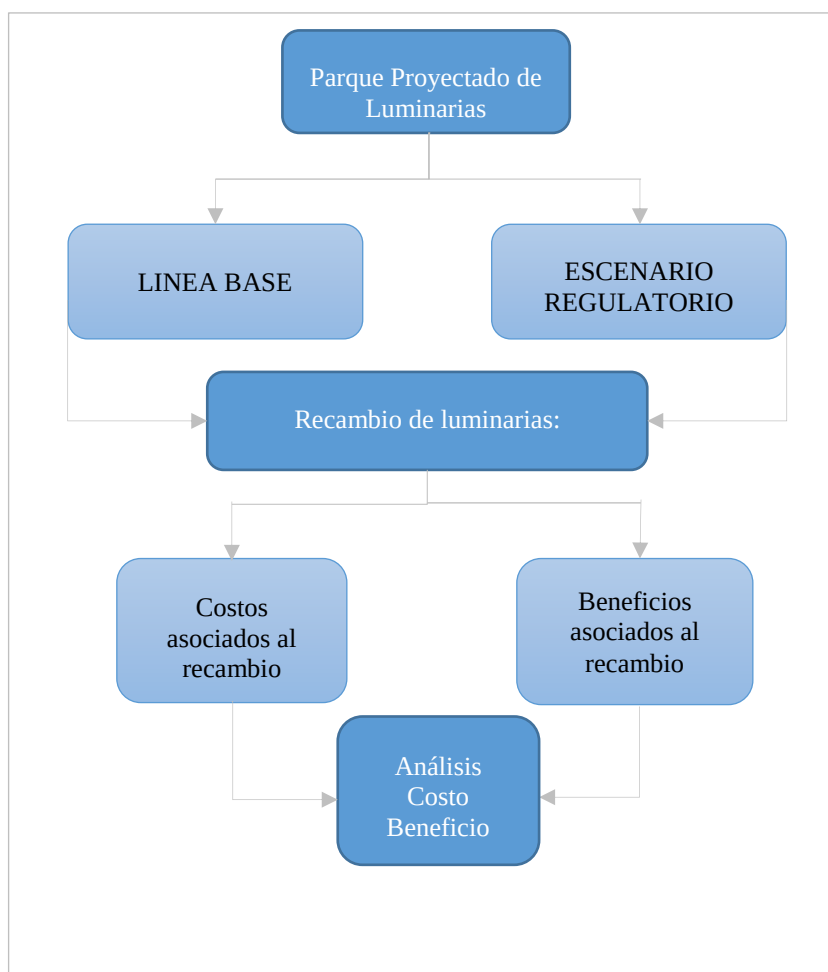
Item	D.S. N° 43/2012	AP de revisión de DS°43 (escenario regulatorio)
		vinculadas a especies clasificadas con amenaza por contaminación lumínica y las Zonas de Reproducción definidas en los Planes RECOGE. Áreas de Protección Especial B: Son las comunas lejanas de las Áreas Astronómicas y Otras Áreas de Protección para la Biodiversidad no vinculadas a especies clasificadas con amenaza por contaminación lumínica.

2. Metodología AGIES

2.1. Metodología general AGIES

El AGIES evalúa los costos y beneficios asociados al cambio en las emisiones por una fuente regulada, respecto de lo establecido en una línea base. Estos costos y beneficios son percibidos por distintos agentes impactados por la regulación.

En el caso particular de la presente norma, que regula la emisión lumínica de distintas categorías de alumbrados exteriores, la evaluación se realiza cuantificando la modificación en la composición de los parques de alumbrados en evaluación respecto de las tecnologías que los componen, lo que se traduce en los recambios necesarios para cumplir con la norma generándose así costos y beneficios.

Figura 4: Metodología general AGIES para normas de reducción de emisión lumínica

Fuente: Elaboración propia.

Se determinan así, determina los costos y beneficios generados al comparar la situación actual o línea base proyectada con la situación con regulación o escenario normativo. Al establecer el diferencial entre ambas situaciones es posible aislar los impactos asociados al cumplimiento de la norma en evaluación.

En la siguiente sección se profundiza cada etapa de la metodología del AGIES que, de manera simplificada considera los siguientes pasos:

- Determinación del parque y proyección temporal
- Simulación del parque en situación con regulación
- Determinación de la diferencia entre línea base proyectada y escenario regulatorio
- Cuantificación de costos y beneficios asociados al diferencial calculado

2.2. Metodología específica AGIES

La presente sección aborda las metodologías y supuestos que permiten estimar el parque de luminarias distribuido geográficamente según tecnología y potencias. Asimismo, el método para la estimación de recambios de luminarias y los costos y beneficios que con ello se generan.

2.2.1. Determinación de Línea Base

2.2.1.1. Parque de Luminarias

La fuente regulada considera luminarias públicas (ambiental, funcional, ornamental y decorativo), industriales, deportivas y recreacionales, así como publicitarias (avisos, letreros luminosos e iluminados). Las fuentes de información para cada una de ellas son diversas, además de contener diferentes niveles de disponibilidad de datos. La Tabla 3 muestra las distintas fuentes consultadas, además de las variables disponibles.

Tabla 3. Fuentes de información para línea base de luminarias.

Categoría	Fuente de información	Disponibilidad de información
Públicas	Superintendencia de Electricidad y Combustible (SEC) mediante su Trámite Eléctrico 2 (TE2): - Inventario de luminarias para año 2012. - Recambios y nuevas instalaciones para período 2014-2019.	- Ubicación geográfica a nivel comunal. - Tecnologías de luminarias³. - Potencia de luminarias [W]. - Cantidad luminarias [u].
Industrial	Superintendencia de Electricidad y Combustible (SEC) mediante su Trámite Eléctrico 1 (TE1): - Nuevas instalaciones para período 2014-2020.	- Ubicación geográfica a nivel comunal. - Potencia total de luminarias [kW].
Deportivas	Instituto Nacional de Deportes (IND): - Estadios de administración municipal e independiente de clase I y II.	- Ubicación geográfica a nivel comunal. - Potencia total de luminarias [W]. - Tecnologías de luminarias. - Cantidad de luminarias [u].
Publicitarias	OOH publicidad: - Letreros iluminados y pantallas LED.	- Ubicación geográfica a nivel comunal. - Cantidad de luminarias [u]. - Potencias a nivel agregado [W] - Tecnologías a nivel agregado.

³ En tecnologías, se consideran Haluro Metálico, Halógenas, Incandescentes, Hg, Sódios de Alta Presión, Sódios de Baja Presión, LED.

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se profundiza respecto de las fuentes de información consideradas en la caracterización de cada una de las categorías de luminarias contempladas en la regulación.

Luminarias públicas

Respecto a la fuente de información de las luminarias públicas, esta es la más completa en relación a las otras categorías de luminarias, puesto que se cuenta con un inventario para el año 2012. Esto es, la cantidad total de luminarias distribuidas geográficamente a nivel comunal, con información de su tecnología y potencia [W]. Además, se complementa este inventario con los recambios e incorporación de nuevas instalaciones ocurridas entre los años 2014 y 2019.

Los recambios de luminarias públicas informan las tecnologías instaladas, pero no identifican cuáles fueron las instalaciones específicas cambiadas y su tecnología. Esto dificulta relacionar los recambios entre los años 2014 y 2019 con el inventario de luminarias públicas del año 2012. Para resolver aquello, se considera el supuesto de que se recambian las tecnologías del parque existente según aquellas que posean una menor eficacia lumínica en [lúmenes/watts]. Por otro lado, también se consideran recambios desde la tecnología SAP hacia la tecnología LED. Esto último en línea con antecedentes sobre casos de proyectos de recambio de luminarias con certificaciones de Formulario Trámite Eléctrico 2 (TE2) de la SEC, los cuales prácticamente el 100% de los recambios hacia tecnología LED provinieron de reemplazar tecnología SAP⁴.

Luminarias industriales

En cuanto a la fuente de información de luminarias industriales, esta proviene del Formulario TE1 de la SEC. En este caso la disponibilidad de datos es menor, sólo contando con la ubicación geográfica a nivel comunal de las nuevas instalaciones de alumbrados para el periodo 2014-2020 y la potencia en [kW] de alumbrados totales. No se cuenta con antecedentes de tecnologías de luminarias, la potencia en [W] de luminarias individualizadas ni cantidad de luminarias. Tampoco se cuenta con un inventario de luminarias industriales.

En relación a esta escasez de variables, se consideró una metodología que permitiría estimar, aunque con supuestos importantes, la cantidad de luminarias. Teniendo a disposición las potencias totales en [kW] de los alumbrados en un recinto industrial, se consideró utilizar una tecnología tipo de luminaria LED con una potencia específica. Así, mediante el cociente entre esta tecnología tipo con potencia específica y la potencia total de alumbrados en un recinto industrial, se podría estimar la cantidad de luminarias asociadas a esa tecnología tipo. Las potencias específicas provendrían de la distribución promedio comunal de potencias de alumbrados públicas con tecnología LED, la cual se obtiene del formulario TE2 de la SEC.

No obstante la información disponible, y particularmente la relacionada a potencias totales de alumbrados en recinto industrial, se cuenta altos grados de incertidumbre. De acuerdo a

⁴ De los proyectos de recambio identificables, correspondiente a una muestra de 9.489 luminarias, el 96,7% solían tener tecnología SAP. Luego, al analizar la tecnología por las cuales fueron cambiadas, se obtiene un total de 9.495 luminarias LED. Se puede asumir, entonces que prácticamente la totalidad del recambio fue entre esas tecnologías.

antecedentes provistos por la SEC, la información sobre potencias totales de alumbrados en recintos industriales no corresponde a únicamente alumbrados, sino que se tiene conocimiento que estos registros también fueron llenados con otras fuentes como las de enchufes en el recinto. Esta situación imposibilita el uso de la variable, en tanto dificulta aislar las potencias de alumbrados de las otras fuentes y puede generar una sobreestimación excesiva del alumbrado industrial. En síntesis, los altos grados de incertidumbre de la información hacen que no sea factible la identificación de luminarias industriales ni su potencia.

Por lo anterior, no es factible estimar un parque de luminarias para recintos industriales. Donde sí se cuenta con antecedentes es sobre luminarias en recinto industrial para empresas particulares. Mediante los registros de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) sobre procesos regularización de recambios de luminarias de un conjunto limitado de empresas industriales ubicadas en las regiones donde aplica el D.S. N° 43/2012, se tiene antecedentes de la cantidad de luminarias de esas empresas, además de sus tecnologías y potencias en [W]. Con esta información es posible aplicar la misma metodología del AGIES para efectos de evaluar los costos y beneficios del cumplimiento de la regulación en una de estas empresas específicas. Sus resultados no son, por cierto, extrapolables a todas las industrias, puesto que se trata de contextos particulares de una empresa en términos de composición tecnológica de las luminarias y años de antigüedad. Sin embargo, es un insumo que permite evaluar los diversos efectos que podría llegar a tener la regulación en recintos industriales. Este análisis es abordado en el ANEXO C.

Otra información disponible acerca de potenciales efectos de la regulación en recintos industriales es la minuta técnica elaborada por el Departamento de Ruidos, Lumínicas y Olores del Ministerio del Medio Ambiente, en donde se señala la eventual cobertura que podría llegar a tener la regulación sobre recintos industriales en las APE⁵. Mediante el Catastro de Unidades Fiscalizables, esto es, empresas fiscalizables de la SMA, se estima que la regulación podría exigir el recambio al 5° año una vez entrada en vigencia la Norma a un 9,12% de las Unidades Fiscalizables (MMA, 2021). Esto en tanto cuenten con una composición tecnológica de luminarias que obligue su recambio.

Luminarias deportivas

En relación a las luminarias deportivas, su fuente de información proviene del IND y considera los estadios municipales de clase I y II. No se cuenta con información de luminarias deportivas para recintos como gimnasios ni estadios de menor tamaño que calificarían como de clase III. Para los estadios considerados, se cuenta con información sobre cantidad de luminarias, además de su tecnología y potencia en [W]. En la Tabla A-7 de la sección Anexos se encuentra una desagregación de los estadios considerados.

Luminarias publicitarias

Las luminarias publicitarias agrupan a los soportes publicitarios, esto es, letreros iluminados por focos y letreros luminosos o pantallas. Su información es provista por la empresa OOH Publicidad. En ella se contempla el número de letreros iluminados y pantallas junto con su

⁵ Disponible en el expediente de la Norma.

distribución geográfica a nivel comunal y regional respectivamente. En cuanto a la tecnología, para las pantallas se cuenta con información de su tecnología que correspondería a LED. Mientras que para los letreros iluminados se cuenta con antecedentes a nivel agregado de la distribución entre tecnologías Haluro metálico y LED. Se cuenta con información a nivel agregado, también, sobre sus potencias en [W].

Con las fuentes de información e imputaciones señaladas anteriormente en cada categoría de luminarias se estima el parque de luminarias sujeto a la regulación (ver Tabla A-1, Tabla A-2 y Tabla A-3 en la sección Anexos). Es importante señalar que, aún con las estrategias metodológicas anteriormente mencionadas, siguen existiendo brechas de información importante. Con la excepción de las luminarias públicas, no se cuenta con un inventario exhaustivo de las luminarias deportivas ni publicitarias, además de no contar con la información suficiente para incorporar a las luminarias industriales en el análisis. Por ello es que todo análisis que se realice en el presente documento, debe tener en consideración la subestimación del parque de luminarias y, por tanto, de los costos y beneficios asociados a la regulación.

2.2.1.2. Proyección del parque de luminarias

El parque de luminarias estimado para la línea base se proyecta para el periodo 2020-2032 utilizando la información disponible detallada en la sección anterior, considerando dos aspectos:

- a. Incorporación de nuevas instalaciones al parque existente, y
- b. Recambio tecnológico natural.

Los supuestos considerados para la proyección de las luminarias por categorías se muestran a continuación:

Tabla 4: Supuestos para la estimación de proyecciones del parque de luminarias por categoría en línea base.

Categoría	Incorporación de nuevas instalaciones	Recambio tecnológico
Públicas	Crecimiento anual decreciente en base a nuevas instalaciones del periodo 2014-2019	Se proyecta la entrada de luminarias LED que reemplazan a tecnologías menos eficientes, además de la incorporación anual de nuevas instalaciones al parque, ambos en base a la información disponible. Las luminarias que ingresan tanto como recambio como nuevas instalaciones cumplen con la regulación vigente, es decir, el D.S. N° 43/2012 en las regiones reguladas por esta norma. El resto del país no se encuentra regulado (LED D.S. N° 43 y LED sin en Figura 5).
Deportivas	El parque se considera constante en el tiempo, no se estima incorporación de nuevas instalaciones.	En base a la información disponible se asume que no existe recambio tecnológico natural.

Publicitarias	El parque se considera constante en el tiempo, no se estima incorporación de nuevas instalaciones.	En base a la información disponible se asume que no existe recambio tecnológico natural.
---------------	--	--

Fuente: Elaboración propia.

Para la proyección del parque y la composición tecnológica del alumbrado público se determinan de manera separada dos funciones: la primera determina el grado de penetración de la tecnología LED en el parque (y mediante esta, el recambio tecnológico natural en línea base), y la segunda la cantidad de luminarias adicionales que se incorporan al parque de manera anual.

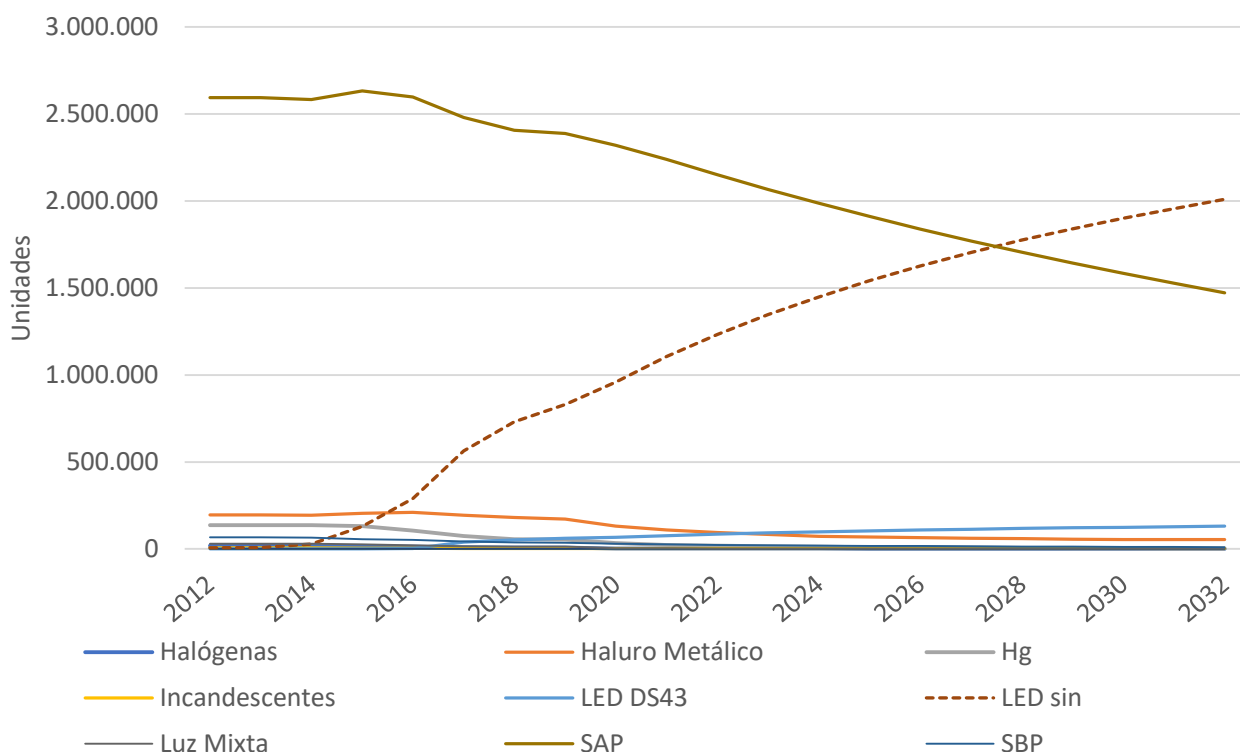
La estimación de las dos funciones antes señaladas se basa en la información disponible correspondiente al parque para el año 2012, y los recambios y ampliación del parque para el periodo 2014-2019, sumada al supuesto de recambio tecnológico natural hacia tecnologías mas eficientes (LED). Matemáticamente, en base al año analizado (t), las estimaciones quedan de la forma:

$$\begin{aligned} i) \quad \Delta LED(t) &= 641,85*(2019-t)^2 - 18.400*t + 189.298 \\ ii) \quad \Delta parque(t) &= 109,62*(2019-t)^2 - 3.820,3*t + 29.467 \end{aligned}$$

Ecuación 1

La primera función indica el número de luminarias LED que se suman cada año al parque reemplazando a luminarias con tecnologías menos eficientes. La función *ii)*, por otro lado, indica el número de luminarias adicionales al parque que se instalan de manera anual. Es importante señalar que estas funciones se construyeron para el intervalo proyectado, es decir, el periodo entre los años 2021 a 2032.

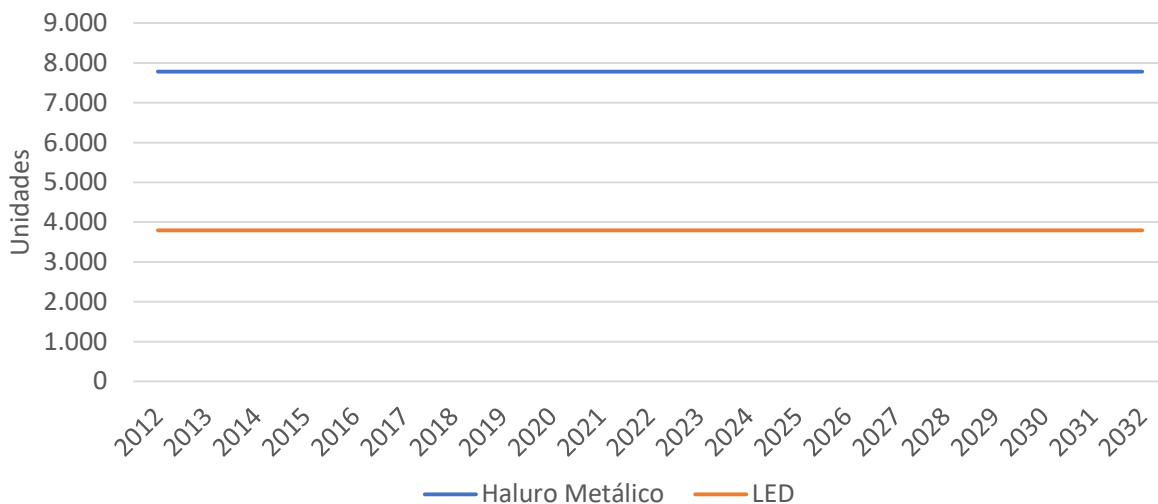
En base a lo anterior, el parque proyectado y su composición tecnológica en el tiempo para cada una de las categorías de luminarias consideradas, es el siguiente:

Figura 5: Parque acumulado proyectado de luminarias públicas en unidades anuales según tecnología

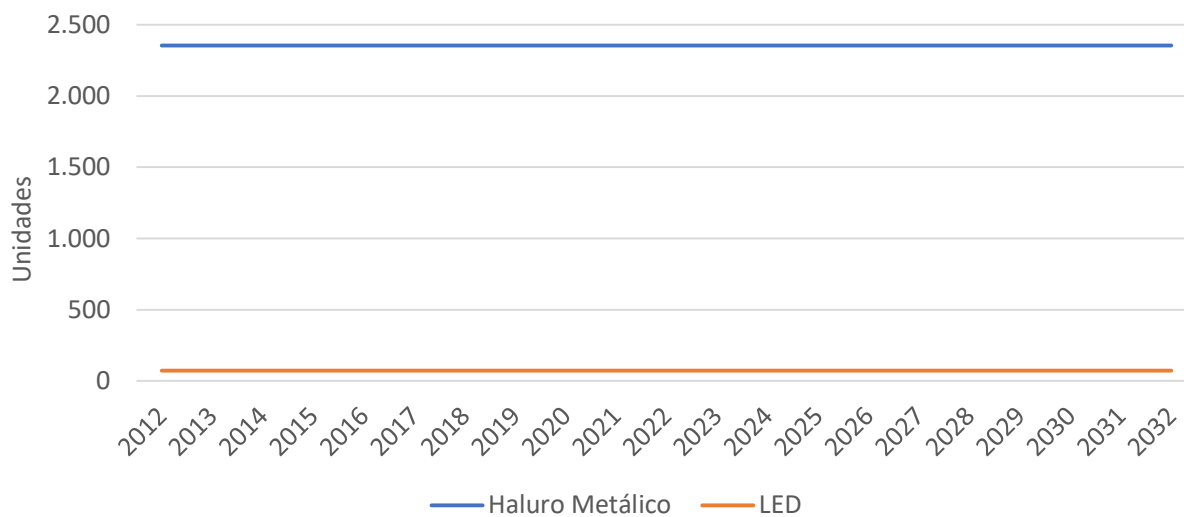
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Trámite Eléctrico 2 de la SEC.

La tecnología LED sin criterios incrementa su presencia en el tiempo, así como la LED que cumple el D.S. N° 43 en las regiones de Atacama, Antofagasta y Coquimbo. Por otro lado, la tecnología SAP y aquellas menos eficaces en términos de lúmenes/watt tienden a decrecer en el tiempo. La evolución detallada de la evaluación de luminarias en línea base se muestra en la Tabla A-1.

En relación a las luminarias publicitarias y deportivas, tal como fue indicado en la tabla 3, se proyecta un comportamiento constante durante el horizonte de evaluación, realizando, en línea base, recambio por la misma tecnología original (Figura 6 y Figura 7).

Figura 6: Parque acumulado proyectado de luminarias publicitarias en unidades anuales según tecnología

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de OOH Publicidad

Figura 7: Parque acumulado proyectado de luminarias deportivas en unidades anuales según tecnología

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Instituto Nacional del Deporte

2.2.2. Evaluación del cumplimiento normativo: Recambio de luminarias

La metodología empleada en la presente evaluación es similar a la utilizada en el AGIES del D.S. N° 43/2012 (MMA, 2012). Esta tuvo su base en el método de Búsqueda Directa⁶, en que

⁶ Los métodos de Búsqueda Directa son aplicables en situaciones en las cuales no se puede hacer más que comparar valores de la función objetivo.

se detectan las posibles alternativas de recambio de luminaria y se opta por la que represente un mayor beneficio neto.

Un recambio asume que la nueva tecnología mantiene la eficacia lumínica de la luminaria, es decir, la relación entre el flujo luminoso total emitido por la fuente y el suministro total de potencia de la fuente en lúmenes por watt [Lm/W]. Este supuesto se encuentra en el marco de lo señalado en el artículo 13 del Decreto 51/2015 del Ministerio de Energía⁷, en donde se señala que, en materia de elaboración de proyectos, ejecución, operación, mantenimiento, modificación, recambio masivo y reparación de instalación de alumbrado público, los interesados deberán acreditar ante la SEC que cumplen con la mantención del nivel de eficacia, eficiencia energética y seguridad.

La evaluación considera que los recambios tecnológicos ocurrirán desde una serie de tecnologías menos eficiente hacia tecnología LED, con diferentes características específicas. Entonces, una luminaria con una tecnología i y a una potencia P , para mantener constante la eficacia lumínica del alumbrado, requiere cambiarse por una tecnología LED con una potencia igual o menor que j . Para identificar esta relación, se utiliza un ratio de eficacia que relaciona los lúmenes/Watts de la tecnología de línea base y la LED. Es decir,

$$R_{i,LED} = \frac{E_i}{E_{LED}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde,

$R_{i,LED}$: Ratio de eficacia lumínica entre la tecnología i de línea base y la tecnología LED.

E_i : Eficacia lumínica de la tecnología i de línea base [lúmenes/Watts].

E_{LED} : Eficacia lumínica de la tecnología LED [lúmenes/Watts].

Entonces, la potencia de la nueva luminaria de tecnología LED por la cual se recambiará la luminaria de línea base se obtiene de la siguiente expresión:

$$P'_i = P_i * R_{i,LED} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde,

P'_i : Potencia de luminaria de tecnología LED [Watts].

P_i : Potencia de luminaria de tecnología i de línea base [Watts].

⁷ Aprueba reglamento de alumbrado público de bienes nacionales de uso público destinados al tránsito peatonal

Las potencias de los alumbrados recambiados se homogenizan de acuerdo a las potencias factibles de instalar, considerando las potencias de luminarias LED mayormente disponibles en el mercado de alumbrados. De esta manera, Se aproxima la potencia teórica obtenida a partir del ratio R_i (P'_i) a la potencia factible más cercana.

$$P^f_i(P'_i) = \begin{cases} P_I & \text{si } P'_i \leq P_I \\ P_I & \text{si } P_I < P'_i \leq P_{II} \text{ y } |P'_{i,j} - P_I| < |P'_i - P_{II}| \\ P_{II} & \text{si } P_I < P'_i \leq P_{II} \text{ y } |P'_{i,j} - P_I| > |P'_i - P_{II}| \\ P_{II} & \text{si } P_{II} < P'_i \leq P_{III} \text{ y } |P'_{i,j} - P_{II}| < |P'_i - P_{III}| \\ \vdots & \vdots \\ P_{N-1} & \text{si } P_{N-2} < P'_i \leq P_{N-1} \text{ y } |P'_i - P_{N-2}| > |P'_i - P_{N-1}| \\ P_{N-1} & \text{si } P_{N-1} < P'_i \leq P_N \text{ y } |P'_i - P_{N-1}| < |P'_i - P_{N-2}| \\ P_N & \text{en otro caso} \end{cases} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde,

P^f_i : Potencia factible de luminaria recambiada desde tecnología i a tecnología LED.

$P_I, P_{II}, \dots, P_{N-1}, P_N$: Potencias disponibles en el mercado para luminarias LED.

La emisión [lúmenes por Watt] para cada tecnología se obtuvo de estudio del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) en conjunto al Ministerio de Energía (MINERGÍA, 2014), con la excepción de la tecnología LED, en donde se usa la información de SUBDERE (2018), la OPCC y el Comité Español de Iluminación (CEI), en donde relevan el desarrollo de la tecnología LED y su aumento en la eficacia lumínica, pudiendo llegar incluso a 166 lúmenes/Watt. Las emisiones por tecnología se señalan en la tabla de a continuación.

Tabla 5: Ratio de eficacia lumínica para cada tecnología relativo a la LED.

Tecnología	(lúmenes /W promedio)	Ratio
LED	110 ⁸	1,00
SAP	117	1,06
SBP	150	1,36
Halógenas	15	0,14
Hg	47	0,43

⁸ La tecnología LED que cumplen con límite del 1 y 7%, poseen una eficacia lumínica mayor a las LED del D.S. N° 43 y que la tecnología que no cumplen con criterios. La eficacia lumínica puede llegar a 160 lúmenes/watt.

Tecnología	(lúmenes /W promedio)	Ratio
Incandescentes	14	0,13
Haluro Metálico	83	0,75
Luz Mixta	24	0,22

Fuente: Elaboración propia a partir de información de BID (2014) y SUBDERE (2018).

Del ratio de eficacia se desprende que las tecnologías más antiguas como, por ejemplo, Halógena, requeriría cambiarse por LED de menor potencia de modo de mantener constante la eficacia lumínica.

Las características específicas de las luminarias públicas de tecnología LED a utilizar para recambiar en línea base y escenario regulatorio se basarán en los requerimientos que se deben cumplir para cumplir tanto con la regulación vigente como con la modificación evaluada. A partir de información proporcionada por OPCC, es posible identificar una serie de luminarias que cumplen con: (i) D.S. N° 43, el cual se encuentra vigente en las regiones de Atacama, Antofagasta y Coquimbo; (ii) modificación al D.S. N° 43 evaluada (escenario regulatorio) y las nuevas exigencias según ubicación territorial, esto es, con las restricciones de dirección, intensidad, restricción horaria y la luz azul del 1% y 7% en la emisión espectral; y (ii) tecnologías LED que no cumplen con las exigencias anteriores.

Lo anterior se expresa en la siguiente tabla:

Tabla 6: Tecnologías LED y cumplimiento de criterios de regulaciones de contaminación lumínica para luminarias públicas.

Detalle Tecnología LED	Contenido espectral límite azul	Cumple D.S. N° 686	Cumple D.S. N° 43	Cumple revisión D.S. N° 43
LED c/filtro óptico de azul	1	Si	Si	Si
LED PC ámbar A	1	Si	Si	Si
LED PC ámbar B	1	Si	Si	Si
LED c/filtro cierre ámbar	1	Si	Si	Si
LED 2800K	7	Si	Si	Si
LED 2200K	7	Si	Si	Si
LED 3000K A	15	Si	Si	No
LED 3000K B	15	Si	Si	No
LED 4000K A	22	Si	No	No
LED 4000K B	22	Si	No	No

Detalle Tecnología LED	Contenido espectral límite azul	Cumple D.S. N° 686	Cumple D.S. N° 43	Cumple revisión D.S. N° 43
LED 5000K A	28	No	No	No
LED 5000K B	28	No	No	No

Fuente: Elaboración propia a partir de información de la Oficina de Protección de la Calidad de los Cielos del Norte de Chile (OPCC).

Para las categorías de luminarias publicitarias y deportivas, por motivos de disponibilidad de datos, se considera que los recambios en línea base se realizan por la misma tecnología actual, mientras que en escenario regulatorio se migrará hacia una única tecnología LED.

La Tabla 7 detalla los supuestos considerados en la evaluación, en relación a la tecnología LED por la cual se recambiarán las distintas luminarias tanto de manera natural (línea base proyectada) como para cumplir con las nuevas exigencias (escenario regulatorio).

Así, en escenario regulatorio, para el área de protección especial, el recambio natural de línea base se realiza por una LED que cumple con el D.S. N° 43 para las luminarias públicas, en tanto que en escenario regulatorio, en esta zona, el recambio ocurre por una LED con límite de 1% en la luz azul de la radiancia espectral.

Para el resto del país, el recambio de las luminarias públicas en línea base se hace por una LED que no responde a algún criterio regulatorio, mientras que en escenario regulatorio el recambio se hace por una LED que cumple con el límite del 7% en la luz azul. Por otro lado, en las deportivas y publicitarias, el recambio se hace por la misma tecnología en línea base y LED en el escenario regulatorio.

Tabla 7: Recambios de luminarias según línea base y escenario regulatorio

Área	Categoría	Tecnología	
		Línea base	Escenario regulatorio
Área Protección Especial A y B	Pública	LED D.S. N° 43	LED 1%
	Publicitaria y deportiva	Haluro metálico	LED
Resto del territorio	Pública	LED sin criterio	LED 7%
	Publicitaria y deportiva	Haluro metálico	LED

Fuente: Elaboración propia.

Los supuestos que se consideran respecto de en vigencia de la regulación es la siguiente:

Tabla 8: Supuestos de entrada en vigencia para evaluación de la regulación

Regulación	Área Protección Especial A	Área Protección Especial B	Resto del territorio
Nuevas luminarias	Entrada en vigencia: 2022	Entrada en vigencia: 2022	2do año desde entrada en vigencia: 2024
Luminarias existentes	5 año de entrada en vigencia ⁹ : 2027	Al recambio natural de la luminaria	Al recambio natural de la luminaria

Fuente: Elaboración propia.

En el área de protección especial el recambio de las luminarias existentes deberá efectuarse al 5° año desde entrada en vigencia la regulación, esto es, al año 2027, mientras que en el resto del país el cambio a una nueva tecnología se efectuará en el momento de recambio natural de la luminaria. Para las luminarias nuevas, por otro lado, la exigencia de una tecnología diferente se materializa desde 2022 en las zonas de protección especial, y en 2024 para el resto del país.

2.2.3. Costos

El recambio de luminarias traerá consigo costos asociados, los cuales se pueden dividir en tres: costo de inversión inicial o de instalación de la luminaria; costos de operación; y costos de mantención.

Matemáticamente, el costo anual de una luminaria puede ser expresado como:

$$CT_{t,i} = CI_{t,i} + CO_{t,i} + CM_{t,i} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde,

CT_t : Costo total anual de una luminaria de tecnología i en el año t (USD/año)

CI_t : Costo de inversión anualizado para una luminaria de tecnología i en el año t (USD/año).

CO_t : Costo anual de operación para una luminaria de tecnología i en el año t (USD/año).

CM_i : Costo anual de mantención de una luminaria de tecnología i en el año t . (USD/año).

A continuación, se explicita la metodología para estimar cada componente de estos costos.

2.2.3.1. Costos de inversión

Luminarias públicas

El costo de inversión o de instalación de una luminaria de tecnología y potencia específicas, considera los costos de las lámparas, de materiales necesarios para la instalación de las nuevas luminarias en alumbrado existente y la mano de obra necesaria, como se muestra en la Ecuación 6.

⁹ No aplica a tecnologías SAP/SBP, las cuales aplica el recambio natural de las luminarias.

$$CI_{ij} = CL_{ij} + CMat * p + CMO$$

Ecuación 6

Donde,

CI_{ij} : Costo de inversión total para una luminaria de tecnología i y potencia j (USD/unidad).

CL_{ij} : Costo de nueva luminaria de tecnología i y potencia j (USD/unidad).

$CMat$: Costo de componentes necesarios para la instalación de una nueva luminaria en el alumbrado existente (USD/unidad).

p : Probabilidad de que se necesiten materiales.

CMO : Costo de mano de obra para la instalación de una luminaria (USD/unidad).

El costo de la nueva luminaria a instalar dependerá de las exigencias que necesita cumplir a partir de la entrada en vigencia de la regulación. Tal como fue expuesto en la Tabla 7, el recambio ocurrirá por una tecnología LED que cumpla con el D.S. N° 43 o con el 1% de luz azul si se trata de línea base y escenario regulatorio en zonas de protección especial, respectivamente. Asimismo, una tecnología LED que no cumple criterios exigidos por normativa vigente y una con el 7% de luz azul para el resto del territorio para línea base y escenario regulatorio.

Los costos unitarios de las nuevas luminarias se muestran a continuación:

Tabla 9: Precio de luminarias de tecnología LED según potencia [W] (USD/unidad)

Tecnología	Potencia			
	60 W	90 W	120 W	150 W
LED sin criterio	112	121	138	159
LED D.S. N° 43	166	179	203	235
LED 7%	192	207	235	271
LED 1%	232	235	267	308

Fuente: Elaboración propia a partir de cotizaciones a empresas e información de la OPCC.

Se considera que la necesidad de materiales para la instalación no será constante en todas las luminarias, por lo que se asigna una probabilidad de ocurrencia, de acuerdo a la estrategia metodológica usada en el AGIES de D.S. N° 43/2012, del 15%. Este costo de componentes no aplica para la tecnología LED, la cual presenta una tecnología que no requiere, por ejemplo, del componente gancho.

Tabla 10: Costos de instalación y componentes para el recambio de luminarias (USD/unidad)

Elemento	Valor (USD)
Costo de instalación	38
Componentes de luminaria	40

Fuente: Elaboración propia a partir de AGIES de la modificación del DS686 (2012).

El costo de inversión se anualiza de acuerdo a la vida útil de las luminarias, y es el valor anualizado el que se considera en la Ecuación 5.

Luminarias deportivas y publicitarias

Para el caso de las luminarias deportivas y publicitarias, el costo de inversión corresponde a la misma Ecuación 6 señalada para las luminarias públicas, pero con ciertos matices, dadas las diferencias en estructura del alumbrado y precios.

Las luminarias deportivas se instalan sobre torres o marquesinas en los recintos deportivos. Esto involucra una inversión de mayor magnitud. Las luminarias publicitarias, por otro lado, son de dos tipos: letreros iluminados y letreros luminosos. Los primeros poseen 4 focos que alumbran el letrero, mientras que los segundos consisten en pantallas LED que emiten luz. Estas pantallas tienen la capacidad de ser ajustadas en los criterios contemplados en la revisión del D.S. N° 43, de modo que no se asocia un costo adicional por recambio.

La Tabla 10 resume los precios de las categorías anteriores.

Tabla 10: Precio unitario de luminarias deportivas y publicitarias según tecnología (USD/unidad)

Tecnología	Precio de luminaria deportiva unitaria	Precio de foco en letrero iluminado
Haluro Metálico	6.096	253
LED	10.804	301

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Instituto Nacional de Deportes y Asociación de Medios de Publicidad Exterior.

2.2.3.2. Costos de operación

Luminarias públicas

Los costos de operación son equivalentes al consumo energético del alumbrado. Su estimación considera el número de horas que las luminarias permanecerán encendidas y el precio del consumo energético asociado, mediante la siguiente relación matemática:

$$CO_{i,j} = PE * h_{func} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde,

CO_{ij} : Costo de operación de una luminaria de tecnología i y potencia j ($USD/año$)

PE : Precio electricidad ($USD/kWhora$).

h_{func} : Horas totales de funcionamiento anual de una luminaria ($horas/año$)

Las luminarias de tecnología LED cuentan con sistemas de reducción de nivel de potencia, llamados *Drivers* que les permitirá reducir el consumo energético en hasta 50%¹⁰. Como supuesto de la evaluación se considera que esta reducción en consumo ocurre durante 2/3 el total de horas de funcionamiento anual de una luminaria pública¹¹.

Tabla 11: Horas de operación de luminarias públicas ($horas/año$)

Horas operación luminarias	Número de horas anuales
Horas con ahorro energético	2.561
Horas sin ahorro energético	1.460
Total anual	4.021

Fuente: Elaboración propia a partir de AGIES de la modificación del DS686 (2012).

No solo la tecnología LED posee estos componentes para la reducción del consumo energético. Las tecnologías SAP y SBP contemplan el uso de balastos de doble nivel para obtener un ahorro energético. Estos instrumentos permiten programar las luminarias para entregar un menor nivel de iluminación en las horas en que el requerimiento es menor, implicando un ahorro energético del 30%¹².

Considerando los potenciales ahorros energéticos, el cálculo de los costos de operación deriva en:

$$CO_{B,j} = P_{B,j}^f * PE * [h_{norm} + h_{red} * (1 - a_b)] \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde,

$CO_{B,j}$: Costo de operación de luminaria de tecnología disponible para usar Balasto y Driver respectivamente ($USD/año$).

PE : Precio electricidad ($USD/kWhora$).

h_{norm} : Número de horas en que la luminaria instalada funciona a potencia normal ($horas/año$).

¹⁰ Ver <https://www.eseficiencia.es/2017/01/20/drivers-cruciales-garantizar-ahorro-energetico-luminarias-led-dali>. Se considera 30% para Led sin criterio y LED D.S. N° 43, y 50% para LED 1% y 7%

¹¹ Se considera que una luminaria pública promedio se encontrará encendida durante 11 de las 24 horas del día durante 365 días en un año.

¹² Según manual técnico de balastos de Industrias Ventura S.L.

url: www.layrton.com/frances/espanol/formacion/balastos.pdf

h_{red} : Número de horas en que la luminaria funciona a potencia reducida (*horas/año*)

a_b : Reducción de consumo energético debido al Balastro o Driver de doble nivel (%)

Por otro lado, el precio de la energía (\$/kWh) se estima en base al cociente entre el consumo promedio energético de una vivienda (\$) y el consumo energético mensual en horas (kWhh). A este resultado, luego se le descuenta el IVA para asimilar el precio para el sector público.

Tabla 12: Consumo promedio de hogar y horas de operación de luminarias

Variable	Valor
Cuenta promedio hogar mensual (USD)	29,90
Consumo energético mensual (kWh)	180,00
Costo promedio (USD/kWh)	0,17
Precio energía (USD/kWh)	0,13

Fuente: Elaboración propia a partir de AGIES de la modificación del DS686 (2012).

Luminarias deportivas y publicitarias

La estimación del consumo energético de las luminarias deportivas y publicitarias sigue la misma estructura de la Ecuación 8. Eso sí, aquí aplica la restricción horaria que establece la regulación, en donde se establece que las luminarias deben apagarse a las 00:00 horas.

Para efectos de la evaluación se considera que en línea base las luminarias deportivas son encendidas, en promedio, 19 veces en un año por un periodo de 5 horas de acuerdo a información primaria reportada por IND. En la situación con regulación, considerando la restricción horaria se asume que se mantendrán el número de encendidos anuales, pero disminuirán en duración a 3,5 horas por vez.

Las luminarias publicitarias se consideran encendidas todos los días del año por 5 horas en línea base, y por 4 horas en escenario regulatorio.

El recambio de luminarias desde algunas de las tecnologías de poca eficacia lumínica a tecnologías LED podría significar un ahorro en términos de consumo eléctrico al comparar la situación de línea base con la situación con regulación.

2.2.3.3. Costos de mantención

En el caso de los costos de mantención, aplica la misma metodología tanto para luminarias públicas como deportivas y publicitarias. Este costo está asociado a actividades de limpieza de y mantención de componentes, así como a la renovación de ampolletas en las luminarias que así lo requieran para mantenerlas en funcionamiento permanente. Matemáticamente:

$$CM_{i,t} = CL + d * (CA_{i,j} + C_{RE,i,j})$$

Ecuación 9

Donde,

$CM_{i,t}$: Costo total anual de mantención anual de una luminaria de tecnología i en el periodo t (USD/año).

CL : Costo anual de limpieza y mantención de componentes de una luminaria t (USD/unidad).

$CA_{i,j}$: Costo de ampolla de reemplazo para una luminaria de tecnología i y potencia j (USD/unidad).

$C_{RE,i,j}$: Costo asociado al reemplazo de ampolla para una luminaria de tecnología i y potencia j (USD/unidad)

$d_{i,j}$: Número de veces en el año que se deben reemplazar la ampolla para una luminaria de tecnología i y potencia j (veces/año).

El recambio de una ampolla en el proceso de mantención no aplica para el caso de las tecnologías LED, las cuales no requieren ese cambio para su funcionamiento. Los costos de instalación, de limpieza y mantención de componentes se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 13: Componentes del costo de mantención (USD)

Componentes	Valor
Instalación ampolla	8,3
Limpieza luminaria y mantención de componentes	30,5

Fuente: Elaboración propia a partir de cotizaciones a empresas comercializadoras e información de la OPCC.

Por otro lado, los precios de ampollas para luminarias que requieren renovación se muestran en la siguiente Tabla 14.

Tabla 14: Precios de ampollas según tecnología y potencia en [W] (USD/unidad)

Tecnología	60W	90W	120W	150W
SAP	3.428	3.802	4.260	5.324
SBP	3.428	3.802	4.260	5.324
Halógenas	1.691	1.776	2.368	2.960
Hg	5.105	5.663	6.343	7.929
Incandescentes	492	517	689	861
Haluro Metálico	7.127	7.803	9.020	11.025
Luz Mixta	598	898	1.197	1.496

Fuente: Elaboración propia a partir de cotizaciones a empresas comercializadoras.

La vida útil en años de las ampolletas de tecnología *i*, se obtienen del cociente entre cantidad de horas potenciales de uso de las ampolletas¹³ y las horas que operarán anualmente.

Tabla 15: Vida útil de ampolletas según tecnología

Tecnología	Vida útil total (horas)	Vida útil (años)
SAP	23.272	5,8
SBP	22.364	5,6
Halógenas	1.750	0,4
Hg	20.286	5,0
Incandescentes	1.000	0,2
Haluro Metálico	8.038	2,0
Luz Mixta	10.000	2,5

Fuente: Elaboración propia a partir de AGIES de la modificación del DS686 (2012).

Con la información sobre vida útil en horas de cada ampolleta, se puede estimar la cantidad de veces que requiere ser mantenida una luminaria.

Es posible que el costo de mantención, dado el recambio generado por la normativa evaluada, sea menor que el que ocurriría en línea base, generándose así ahorros asociados a la regulación.

2.2.3.4. Costos de fiscalización y control

El escenario regulatorio traerá consigo esfuerzos adicionales de fiscalización y de control por parte de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) y la Superintendencia de Electricidad y Combustible (SEC).

Respecto a la SMA, su función es verificar que cada recambio de luminaria cumpla con la Norma de Emisión. Actualmente, este actor cuenta con asignación presupuestaria para la realización de procesos de fiscalización ambiental contenida en los programas de norma de emisión, entre ellas la relacionada al D.S. N° 43/2012.

En la resolución exenta 1.946/2019, se estableció el presupuesto para el ejercicio del año 2020. En el artículo 8, se estableció que el programa que regula la contaminación lumínica (D.S. N° 43/2012) contaría con 25 procesos de fiscalización de un total de 1.621, en un universo de tres regiones: Antofagasta, Atacama, Coquimbo. Asimismo, señala que la SMA contaría con un presupuesto de MM CLP 616 (MM US\$ 0,853). Con esta información, se estima el presupuesto asociado a los procesos de fiscalización que permitirían el cumplimiento de la norma vigente

¹³ Es importante precisar que la vida útil de la luminaria dista de la vida útil de las ampolletas. Dependiendo de la tecnología, una luminaria recibirá reiterados cambios de ampolletas a lo largo de su vida útil.

contemplando las luminarias en el territorio nacional. El aumento de procesos de fiscalización, y por tanto presupuestario, se asume que se realizará en forma gradual en el horizonte de evaluación.

A estos costos de fiscalización se debe adherir el costo de inversión en un sistema de información para el cumplimiento de la norma. Al respecto, el oficio ORD N°1920/2018 de la SMA que responde el oficio ORD N°183131 del MMA, señala que un sistema para apoyar la fiscalización costaría aproximadamente MM CLP \$66 (MM US\$ 0,09) por una sola vez. Este costo de adecuación se anualiza en el horizonte de evaluación.

En cuanto a los costos de control, se contempla el costo de adecuación de sistemas de la Superintendencia de Electricidad y Combustible (SEC) para la evaluación de las luminarias que cumplan la norma propuesta, la cual, en base a información primaria, se contempla un costo del orden de MM CLP 60 (MM USD 0,082). Al igual que el costo de adecuación anterior, este se anualiza en la evaluación.

2.2.4. Beneficios

2.2.4.1. Beneficios cuantificables

Menor emisión de GEI

Por último, el reemplazo de algunas de las tecnologías actuales por luminarias con tecnología LED genera ahorros en consumo eléctrico, y con esto, reducciones indirectas en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Estas menores emisiones se cuantifican mediante la reducción del consumo energético y las toneladas de CO₂eq asociadas en el sistema eléctrico nacional. Luego, es posible establecer beneficios económicos asociados a la reducción de GEI, gracias a su valorización por medio del Costo Social del Carbono, establecido por el Ministerio de Desarrollo Social, equivalente a 32,5 USD/ton CO₂eq (MIDESO, 2018)

Para establecer la reducción de emisión asociados al menor consumo energético se considera un factor de emisión de CO₂ equivalente por unidad de energía consumida. Con el precio social del carbono establecido por el Ministerio de Desarrollo Social, es posible valorizar el ahorro en toneladas emitidas de GEI (MIDESO, 2018).

$$P_{GEI} = \frac{\Delta P_{ij}^f * h_{noche}}{1.000.000} * FE * PSC \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde,

P_{GEI} : Beneficio económico por reducción en emisiones de CO₂eq por recambio a una luminaria de tecnología i y potencia j (USD/año).

ΔP_{ij}^f : Diferencial de consumo energético por recambio de luminaria de tecnología i a tecnología LED.

FE : Factor de emisión de CO₂ equivalente $\left(\frac{\text{ton CO}_2 \text{ eq}}{\text{MWh}}\right)$

PSC: Precio social del carbono $\left(\frac{USD}{ton}\right)$

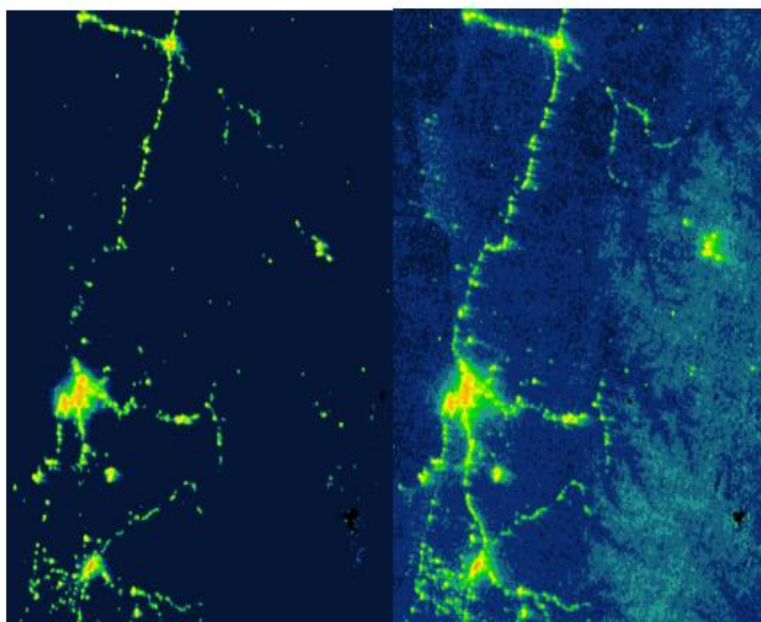
El factor de emisión permite estimar cuánta emisión anual de CO₂eq se está generando como consecuencia del consumo energético. En este caso, se define como el cociente entre la emisión anual de GEI del sistema de generación eléctrica y la generación eléctrica anual. En este estudio se utilizó el promedio anual de los factores de emisión entre el 2018 y mayo del 2019 aportados por el Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

Beneficios a la Actividad Astronómica

La regulación sobre la contaminación lumínica tiene un directo beneficio en los cielos donde se realizan actividades astronómicas, del cual Chile se encuentra en la frontera del conocimiento. La contaminación lumínica disminuye en gran medida el contraste del brillo de una estrella sobre el fondo. Si el brillo del cielo artificial aumenta, eventualmente puede hacer que las estrellas con un brillo más débil no puedan ser discernibles, haciendo que la efectividad de la visualización de un telescopio se reduzca considerablemente (OPCC, 2019). En efecto, la efectividad de los telescopios para medir fuentes celestes con débil brillo del cielo requiere aumentar un 10% el tiempo de observación para obtener la misma relación-señal-ruido (SNR) de la fuente a observar (Luginbuhl et al., 2009). Por lo tanto, se estima que el efecto de reducir el contraste debido a la contaminación lumínica es equivalente a reducir el diámetro efectivo del espejo primario del telescopio, y el costo de un telescopio se incrementa con la tercera potencia del diámetro del espejo (Schreuder, 2001).

Murdin (2001) calcula que el valor efectivo de un telescopio puede disminuir entre un 10-40% del valor original, solo por este tipo de contaminación. Por otro lado, Schreuder (2001) estima que cuando la contaminación lumínica incrementa el brillo del cielo artificial aproximadamente un 10% en cielos contaminados, reduce el diámetro efectivo del espejo de un telescopio de 4 metros de apertura un 5%. Esto implicaría una pérdida económica aproximada del 15%. Si se considera que un telescopio de una apertura relativamente grande puede tener fácilmente costos de más de 100 millones de USD, entonces la reducción de la contaminación lumínica podría evitar pérdidas de más de 15 millones de USD por cada telescopio instalado (Schreuder, 2001). De acuerdo a este antecedente, la OPCC calcula que, en base al costo de los grandes proyectos de observatorios astronómicos ópticos e infrarrojos al 2008, que es aproximadamente 3.500 millones de USD, las pérdidas debidas a la contaminación lumínica pudieran ser superiores a los 500 millones de USD (OPCC, 2019).

En base a la metodología anterior, se considerará el ahorro en el valor económico del instrumento, los telescopios ópticos, en tanto haya una reducción de la contaminación lumínica. Respecto a esto último, se cuenta con antecedentes desde la OPCC de que entre los años 2016 y 2019 la contaminación lumínica en la región de Coquimbo ha aumentado un 4,47%.

Figura 8: Aumento de la contaminación lumínica en la región de Coquimbo¹⁴, 2016-2019.

Fuente: OPCC, 2019.

La regulación exigirá que al 5° año, esto es en el 2027, las luminarias de las áreas de protección especial recambien sus tecnologías por una que cumpla con el criterio desde el 15% de luz azul en la emisión espectral que señala el D.S. N° 43 a uno donde cumpla con el 1% de la luz azul. Este cambio implicará una reducción en el brillo artificial de los cielos, el cual se asumirá ocurrirá durante el horizonte de evaluación. De modo que el aumento que hubo entre los años 2016 y 2019 se asumirá revertido durante el horizonte de evaluación¹⁵. Con ello, la reducción de la contaminación lumínica implicará un costo evitado de los instrumentos astronómicos. A partir de la Crawford (2000), una reducción del 4,5% del brillo artificial traerá consigo un ahorro del 6,4% del valor económico de los instrumentos.

Tabla 11: Porcentaje de pérdida de valor efectivo de un telescopio de 4 metros de apertura debido al incremento del brillo artificial

Incremento del brillo artificial	Apertura equivalente del telescopio (m)	Porcentaje de pérdida del valor original
0%	4	0%

¹⁴ Variación mensual promedio obtenido por sensor VIIRS NPP de región de Coquimbo de los meses de enero 2016 (izquierda) y junio 2019 (derecha)

¹⁵ Esta reducción del 4,5% del brillo artificial como consecuencia de la exigencia de 1% de luz azul en el espectro radiante se encuentra en línea con simulaciones realizadas por la OPCC para una ciudad tipo de características similares a conurbación La Serena-Coquimbo, en donde el recambio desde una tecnologías LED de 5.000K de temperatura a color, asimilable a una emisión de luz azul en torno al 26%, hacia una tecnología con emisión de 1% de luz azul, reduciría la luminancia entre 14 a 16 veces, y si el recambio es hacia una tecnología con emisión de 7% de luz azul, el efecto contaminantes es 3,5 veces menor (OPCC, 2021).

5%	3,9036	6,37%
10%	3,8139	12,07%

Fuente: Elaboración propia a partir de Crawford (2000).

Este costo evitado del 6,4% aplicará sobre el valor económico de telescopios ubicados en observatorios astronómicos internacionales que cuenten con instrumentos con 4 metros de diámetro del lente óptico. Asimismo, el ahorro aplicará en tanto se ejecuten recambios de luminarias desde LED D.S. N° 43 a una LED que restringe al 1% la luz azul. En la tabla siguiente se enumeran los observatorios astronómicos aplicables.

Tabla 12: Observatorios internacionales con telescopios ópticos y sus costos de inversión total (MM USD).

Nombre	Región	Costo (MM USD)
Observatorio Paranal	Antofagasta	833
Observatorio Gemini Sur	Coquimbo	200
Observatorio Las Campanas	Atacama	130
Observatorio Interamericano de Cerro Tololo (CTIO)	Coquimbo	250
Observatorio SOAR (Southern Astrophysical Research)	Coquimbo	28
Proyecto Gran Telescopio de Estudio Sinóptico, LSST	Coquimbo	45
Proyecto E-ELT	Antofagasta	1.190
Proyecto TAO	Antofagasta	400
MGT (Giant Magellan Telescope)	Atacama	700

Fuente: Elaboración propia en base a Conicyt (2008).

2.2.4.2. Beneficios no cuantificables

El establecimiento de límites en la dirección, intensidad, emisión de luz azul en el espectro radiante y funcionamiento horario generará beneficios no solo económicos, sino que también en diversas dimensiones como la salud humana y la biodiversidad. Muchos de esos beneficios, por disponibilidad de datos, no podrán cuantificarse ni valorizarse en términos monetarios, ni parametrizarse para incorporarlo en el modelo del AGIES, no obstante, se identifican como beneficios cualitativos a tener en consideración.

Para la identificación de estos beneficios se realiza una revisión bibliográfica de la literatura científica y/o especializada en las dimensiones de la salud humana y biodiversidad, como también en actividades económicas relacionadas con la observación del cielo, con el objeto de dejar en evidencia los efectos potenciales que puede tener una regulación de luminarias de exterior.

3. Resultados

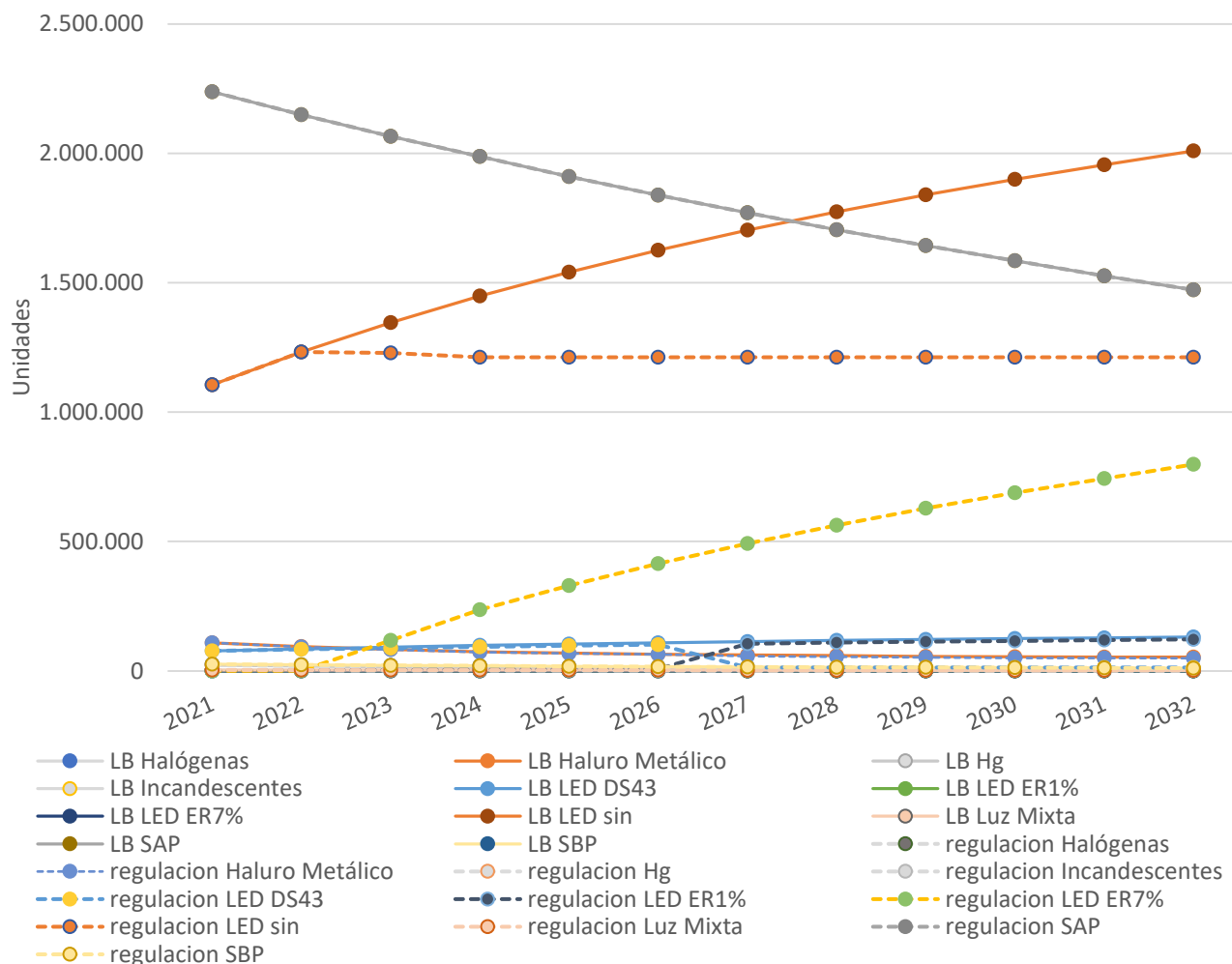
En base a la metodología especificada en la sección 2.2, se estimó la cantidad de las luminarias en el escenario de línea base y los recambios naturales que se esperan sucedan en el horizonte de evaluación, y por otro lado, se proyectó el escenario regulatorio y los recambios a realizar producto de la norma evaluada. Los resultados detallados más abajo derivan de la comparación entre ambos escenarios respecto de las cantidades, costos y beneficios generados en ambas situaciones.

3.1.Cumplimiento de escenario regulatorio

El cumplimiento del escenario regulatorio según lo indicado en la sección 1.2, provoca un recambio de luminarias hacia una mayor presencia de la tecnología LED que cumple con criterios de la regulación.

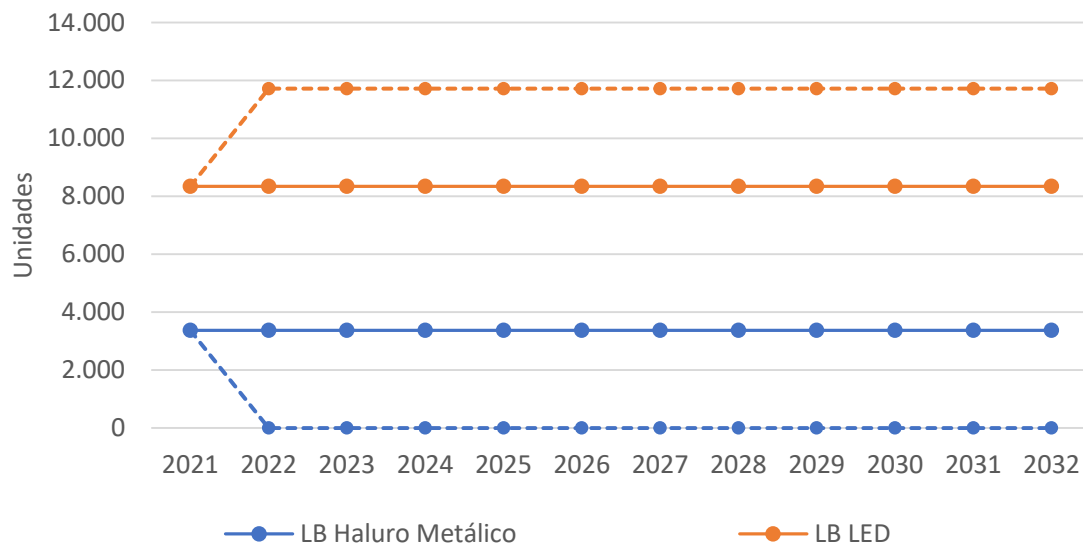
Como se muestra en la Figura 9, las luminarias que solían cambiarse por la tecnología LED que no cumplen con criterios regulatorios, en el escenario regulatorio se cambian por una LED que si cumple con la regulación (7% en la luz azul de la emisión espectral). Lo mismo sucede en el área de protección especial, en donde las luminarias que solían cambiarse en la línea base por una tecnología LED que cumple con el D.S. N° 43, en el escenario regulatorio se cambian por una LED que cumple con el 1% en la luz azul de la emisión espectral.

La Figura 9 muestra también que tanto en línea base como en escenario regulatorio hay una tendencia decreciente de las tecnologías SAP y aquellas menos eficaces en emisiones de lúmenes/watts.

Figura 9: Luminarias públicas en escenario regulatorio y línea base, 2022-2032

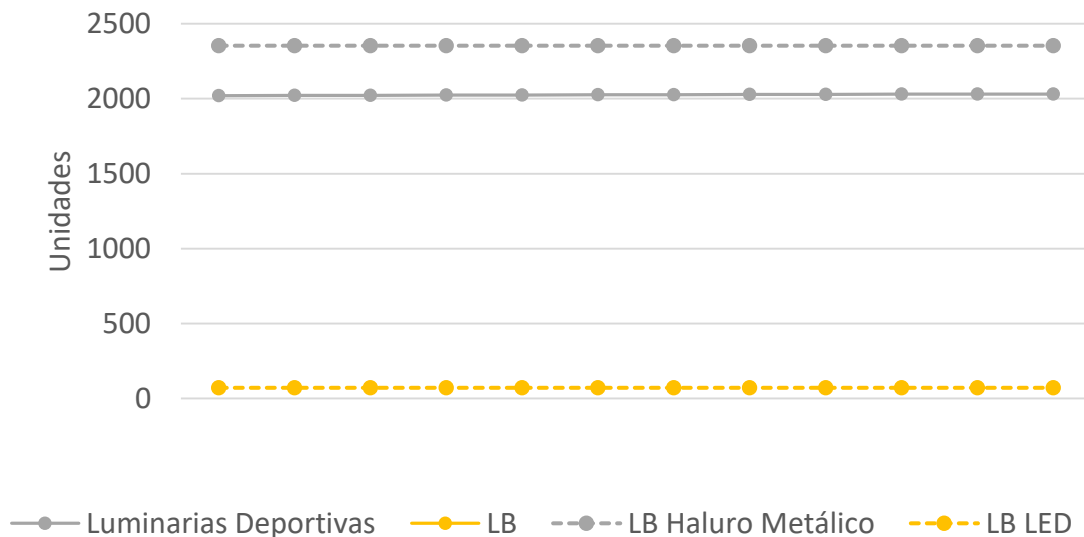
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Formulario Trámite Eléctrico 2, SEC.

Respecto a la evolución para los casos deportivos y publicitarios, se muestran en la Figura 10 y Figura 11 a continuación. Ambas categorías de luminarias tienen un recambio importante desde luminarias de tecnología Haluro Metálico hacia LED. En el caso de las publicitarias, este cambio ocurre a partir del año 2022, dada la antigüedad de sus luminarias en letreros iluminados, las cuales se instalaron mayormente en la década de los noventa.

Figura 10: Luminarias Publicitarias en escenario regulatorio y línea base

Fuente: Elaboración propia

En tanto, en el caso de las luminarias deportivas, los recambios inician a partir del año 2027 con la exigencia de reemplazar luminarias al 5° año en el área de protección especial, y en los años posteriores con el recambio natural de luminarias deportivas en estadios en el resto del país.

Figura 11: Luminarias Deportivas en escenario regulatorio y línea base

Fuente: Elaboración propia

3.2. Costos y beneficios

A continuación, se señalan los costos y beneficios asociados a la diferencia entre los recambios de línea base y escenario regulatorio, es decir, la diferencia entre los costos de inversión, operación y mantención asociados al recambio de las luminarias públicas, deportivas y publicitarias.

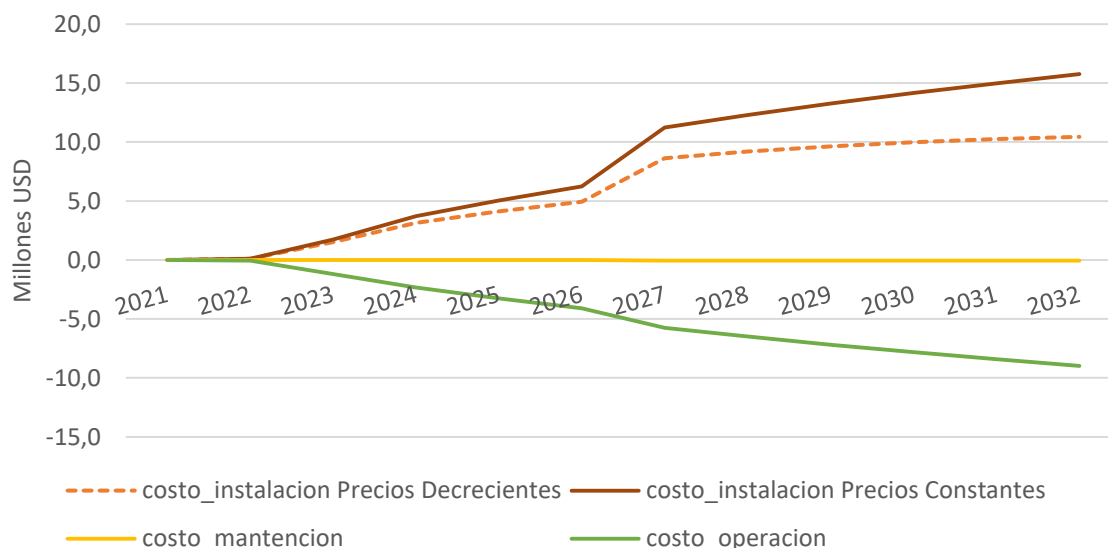
3.2.1. Costos de inversión, operación y mantención

El costo de inversión de luminarias públicas ocurre a lo largo del horizonte de evaluación, considerando los precios señalados en la sección 2.2.4.1. Al tratarse de proyecciones, existe incertidumbre en torno al comportamiento de estos precios en el tiempo. Para abordar aquello, se consideran dos escenarios de resultados de los costos de recambios de luminarias: un primer escenario que considera costos de inversión constantes en el tiempo; y un segundo escenario que supone costos de inversión decrecientes para las tecnologías LED.

Ambos escenarios presentan pros y contras. Respecto al escenario de costos de inversión constantes, corresponde al escenario más conservador posible para estimar la evolución de los costos del recambio de luminarias asociados al cumplimiento de la normativa. Por otro lado, el escenario con costos de inversión decrecientes incorpora antecedentes respecto a la evolución del precio de luminarias de tecnología LED desde su arribo al mercado nacional, el cual ha registrado disminuciones de precio. Esto significa adicionar un supuesto de proyección del comportamiento del precio. En efecto, se asume una función decreciente para los distintos tipos de tecnologías LED, teniendo una mayor tasa de decrecimiento en tecnologías con menor inserción en el mercado, y por tanto con precios más elevados, que sería el caso de las LED de 1 y 7%.

La Figura 12 presenta los costos de inversión asociados al cumplimiento de la regulación para las luminarias públicas, esto es, la diferencia entre escenario regulatorio y la línea base, de manera diferenciada para ambos escenarios de precios de tecnología LED. De ella se verifica un incremento de los costos de inversión o instalación de luminarias públicas a lo largo del horizonte de evaluación, teniendo un mayor crecimiento a partir del año 2027 que es el quinto año desde la entrada en vigencia de la regulación y donde se exige el recambio en las áreas de protección especial. Este costo es mayor en el escenario de costos de inversión (o precios LED) constantes en el tiempo.

Figura 12: Flujos de los costos al recambiar luminarias públicas entre escenario de línea base y regulatorio, 2022-2032 (MM USD 2020).

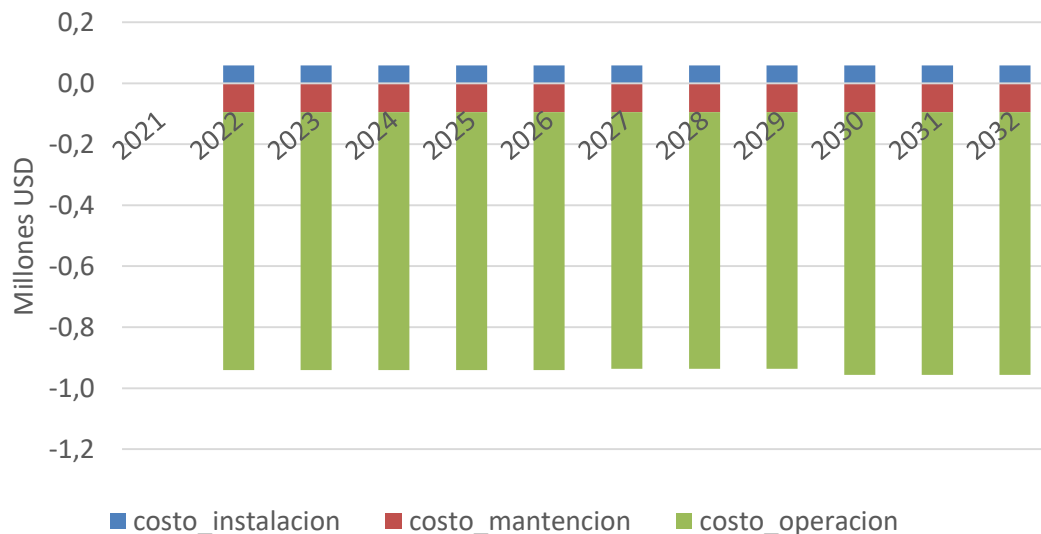


Fuente: Elaboración propia

La Figura 12 también muestra ahorros en operación y mantención por parte de las luminarias públicas (costos negativos). El recambio desde tecnologías menos eficaces en términos lúmenes/watt a tecnologías LED generó ahorros tanto en operación, ya que, como se indicó en la sección 2.2.2, se recambia hacia potencias menores. Por otro lado, se generan ahorros, aunque de menor magnitud, en mantención de las luminarias. Esto pues, con el recambio se reduce la necesidad de reposición de ampolletas durante el horizonte de evaluación.

La Figura 13 y Figura 14 muestran los costos asociados a la regulación en las luminarias publicitarias y deportivas, respectivamente. En ambos casos sólo se aplica el escenario de proyección de precios constantes, debido a la disponibilidad de datos. Respecto a las luminarias publicitarias, la Figura 13 muestra los costos asociados a la regulación. De ella se desprende que los ahorros por operación y de mantención son mayores que los costos de inversión o instalación. Esto ya que el cambio desde tecnologías Haluro Metálico de potencias altas en (W), que en línea base correspondían al 70% del total de letreros iluminados, en escenario regulatorio se recambian por LED de menor potencia en (W) generando un menor consumo energético.

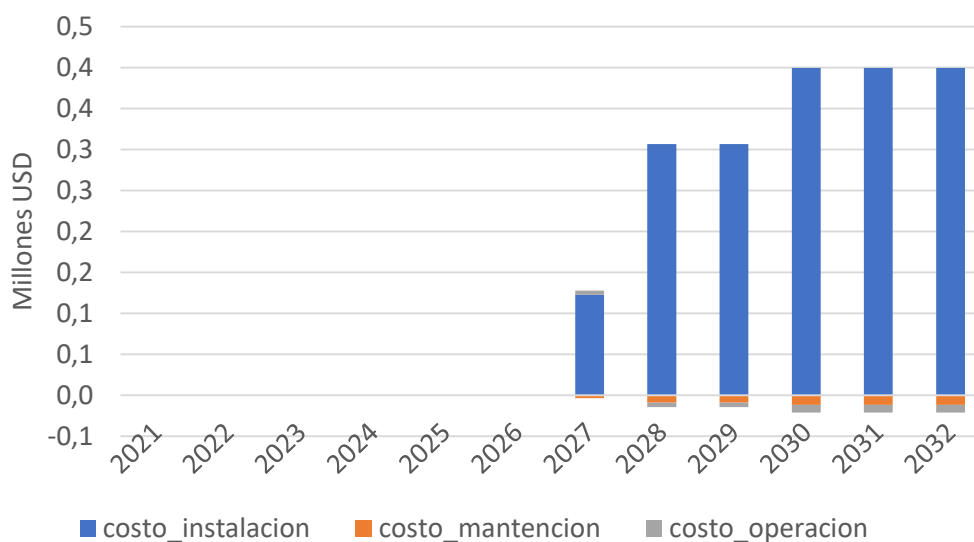
Figura 13: Costos anuales asociados al recambio de luminarias publicitarias de la regulación en relación a línea base, 2021-2032



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, la Figura 14 muestra los costos y ahorros asociados a las luminarias deportivas. Es posible verificar que los costos de inversión o instalación son más elevados en relación a los ahorros en operación y mantención. Esto ya que los costos de instalar luminarias en infraestructura de estadios de clase I y II son significativamente más altos que las de luminarias públicas o publicitarias.

Figura 14: Costos asociados al recambio de luminarias deportivas por la regulación en relación a línea base, 2021-2032



Fuente: Elaboración propia

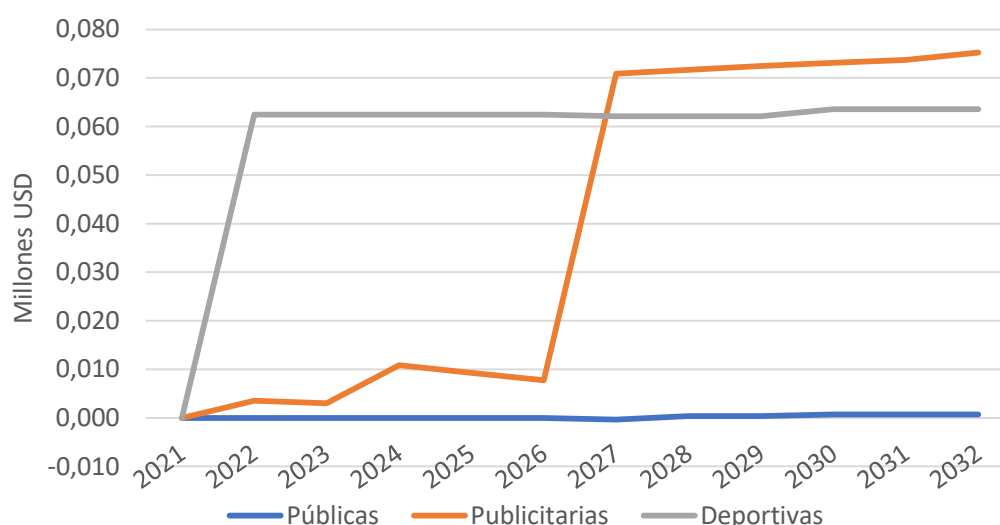
3.2.2. Costos de fiscalización y control

Los costos de fiscalización, por otro lado, se incrementan de acuerdo al aumento en el número de procesos a realizar. A partir de su metodología señalada en la sección 2.2.3.4, se obtiene que los costos de fiscalización en el horizonte de evaluación llegan, en valor presente, a MM US\$ 0,5. Por otro lado, los costos anualizados de adecuación de sistemas de la SEC y de sistemas de información de la SMA se anualizan en el horizonte de evaluación, y en VP, corresponden a 0,2 MM US\$. De modo que, en VP, los costos de fiscalización y control llegan a 0,7 MM US\$.

3.2.3. Beneficios por menor emisión de CO₂ equivalente

El cumplimiento de la normativa provoca beneficios por menor emisión de CO₂ equivalente. Tal como se señaló en la sección 2.2.4.1.2, el recambio de luminarias desde tecnologías menos eficaces, en términos de lúmenes/watt por luminarias LED, genera un menor consumo energético, pues se recambia por menores potencias para mantener la eficacia lumínica constante. Esta reducción en el consumo energético genera una menor emisión de CO₂ equivalente. Los beneficios en el tiempo se muestran en la Figura 15.

Figura 15. Beneficios por menor emisión CO₂ eq. asociados a la regulación, 2022-2032.

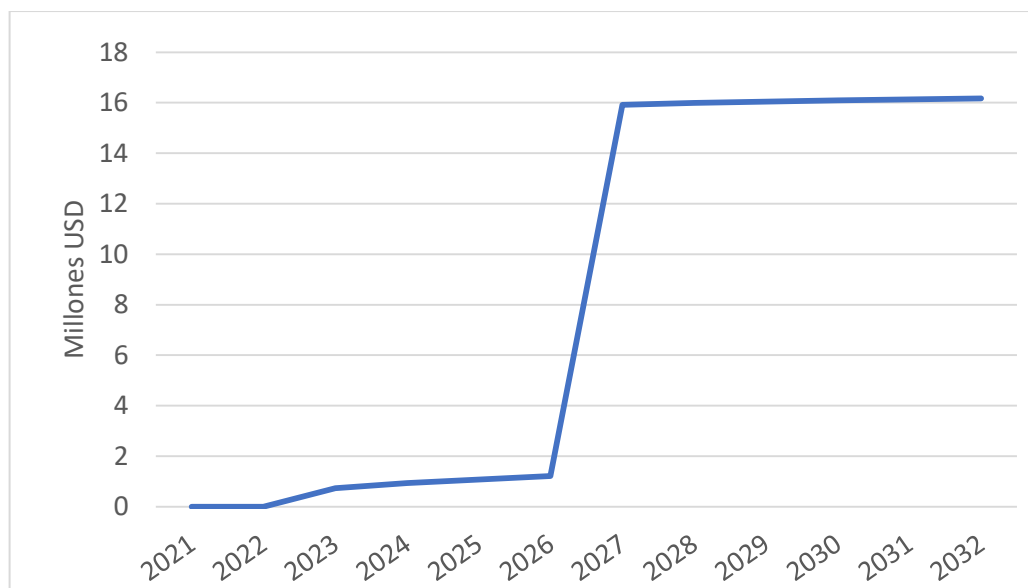


El recambio de luminarias deportivas y publicitarias genera mayor reducción de CO₂eq que en las luminarias públicas. Esto porque el recambio en las primeras ocurre desde una cantidad sustantiva de luminarias de tecnología Haluro Metálico hacia LED. Mientras que, en las públicas, aun cuando también ocurren recambios desde tecnologías menos eficaces energéticamente hacia las LED, un importante número de recambios ocurre desde luminarias LED sin criterio y D.S. N° 43 hacia LED con exigencias del 7% y 1% en la luz azul. Este recambio se hace manteniéndose potencias, y por tanto generando misma emisión de CO₂eq.

3.2.4. Beneficios por menor contaminación lumínica para la observación astronómica

En el área de protección especial el cumplimiento de la regulación exigirá reducir la emisión de luz azul en el espectro radiante desde el 15% que exige el D.S. N° 43 hacia el 1% que exige la nueva regulación. Lo anterior se traduce en una emisión de brillo artificial de los cielos, mejorando las condiciones para la observación astronómica. Esto, de acuerdo a la metodología explicada en la sección 2.2.4.1, implica un costo evitado en la pérdida de valor económico de los instrumentos para la observación del cielo, el cual se evidencia en la Figura 16.

Figura 16. Beneficios asociados a menor contaminación lumínica para la observación astronómica, 2022-2032.



Los beneficios para la observación astronómica se generan mayormente a partir del año 2027, que es el año que la regulación exige el recambio de luminarias en las APE. El recambio hacia una LED que limita al 1% la luz azul alcanza los 90% de las luminarias en las APE, de modo que es en esos años donde se obtiene un mayor beneficio por la menor emisión de brillo artificial en el cielo para la observación astronómica.

3.2.5. Beneficios no cuantificables

De la revisión de antecedentes para lo que respecta impactos de la contaminación lumínica en la salud humana, biodiversidad y actividades económicas relacionadas, se identificaron un conjunto de efectos que se proceden a mencionar.

Salud humana

Diversos estudios han identificado posibles efectos en la salud asociados a la contaminación lumínica (Kloog et al, 2008; Davies y Smyth, 2017). En efecto, la sobreexposición a la luz puede producir alteraciones del ciclo circadiano (horario), lo que está asociado a desordenes en el metabolismo, sueño, nivel de alerta y desempeño cognitivo (Cajochen et al, 2011; Chang et al, 2014). Asimismo, la creciente presencia de la tecnología LED con altas emisiones de luz

azul es de creciente preocupación a nivel internacional, ya que esta ocurre en la frecuencia más efectiva para suprimir la producción de melatonina (Haim y Zubidat, 2015; West et al., 2011).

Niveles bajos de melatonina pueden propiciar algunos tipos de cáncer (Falchi, Cinzano et al. 2011; International Agency Research on Cancer, 2007). Al respecto, Davis et al. (2001) han concluido que existe un mayor riesgo de cáncer de mama en las mujeres debido a los niveles más bajos de producción de melatonina. Asimismo, Rybnikova y Portnov (2016) encontraron una asociación significativa entre la exposición de luz artificial por la noche (ALAN, por sus siglas en inglés) y el cáncer de mamas para un área metropolitana de Israel. De modo que, reducciones en la contaminación lumínica de luminarias de exterior que afectan hogares aledaños a estas, pueden tener potenciales reducciones de riesgo de enfermedades asociadas a la salud humana.

Por último, existen antecedentes respecto al problema del deslumbramiento que pueden ocasionar las luminarias públicas con el aumento en la probabilidad de accidentes de tráfico para los peatones, ciclistas y conductores de vehículos motorizados (Davoudian et al, 2014). Un aumento en las exigencias de los alumbrados de exterior permitiría reducir estos potenciales riesgos de accidentes.

Biodiversidad

La luz natural del día y los ciclos de la luz de la luna juegan un papel fundamental para muchos organismos y procesos ecológicos, por lo que un aumento de la contaminación lumínica puede afectar a las comunidades y los servicios ecosistémicos (Luarte et al, 2016). En efecto, el brillo de la luz artificial de las ciudades, que puede ser hasta doscientas veces superior al brillo de la luna nueva, tiene un impacto en el comportamiento de la población y comunidad ecológica (Navara y Nelson 2007), (Rich y Longcore 2004) y (Rich y Longcore 2006). A continuación, se profundiza en estos impactos.

La luz artificial tiene efectos significativamente adversos sobre los patrones de actividad y el comportamiento de búsqueda de alimento de los anfípodos, así como de la sensibilidad visual de invertebrados nocturnos (Pawon y Bader, 2014). Asimismo, dado el aumento constante de la contaminación lumínica artificial, las comunidades de playas arenosas podrían verse negativamente afectadas, con consecuencias inesperadas para todo el ecosistema. (Luarte et al, 2016). De hecho, la exposición a luz artificial por la noche (ALAN) podría alterar importantes rasgos conductuales y fisiológicos de pequeños juveniles de *Concholepas*, una especie de depredador clave que, como mecanismo para evitar los depredadores visuales, son principalmente activos durante la noche. De ello se deduce que ALAN en las zonas costeras podría modificar toda la estructura comunitaria de los hábitats intermareales al alterar el comportamiento de esta especie clave. (Manríquez et al, 2019).

En la misma línea, como consecuencia de la atracción a luminarias, las aves y particularmente las aves marinas de tipo petreles, fardelas y golondrinas de mar, son uno de los grupos más afectados por la contaminación lumínica (Ainley et al 2001; Le Corre, 2002; Rodríguez et al, 2017; Barros et al, 2019). Además de afectar su ritmo circadiano, percepción visual y orientación espacial, la contaminación lumínica afecta su fenología reproductiva (Dominoni et al, 2013; Dominoni, 2015; Gaston et al. 2017).

La Red de Observadores de Aves (ROC) ha señalado que al menos catorce especies de aves marinas son afectadas por la contaminación lumínica, de las cuales siete están clasificadas “En Peligro” en el país y una como “Vulnerable”. Consecuencia de ello es que, en diciembre del 2018, la golondrina de mar negra (*Oceanodroma markhamii*) fue declarada en peligro (DS N°79/2018 MMA). En efecto, la cantidad de golondrinas de mar negra que mueren cada año son cerca de 20 mil, principalmente en las ciudades de Arica e Iquique (como efecto del alumbrado público) y en las inmediaciones de Salar Grande (actividad minera y portuaria). La ONG *Oikonos Ecosystem Knowledge* evidencian el impacto de las luces artificiales en las aves marinas amenazadas del Archipiélago Juan Fernández e Isla Mocha. En efecto, de 4 tipos de aves que son endémicas y que nidifican en la Isla Juan Fernández, se encuentran en categoría de amenaza.

Actividad astronómica y Astroturismo

El aumento de observatorios a nivel científico posibilita que Chile pueda llegar a ser la principal potencia en observación astronómica. Si bien las investigaciones son mayoritariamente extranjeras, el uso asegurado de un 10% del tiempo para investigadores nacionales en algunos observatorios como los E-ELT¹⁶ (*European Extremely Large Telescope*), LSST (*Large Synoptic Survey Telescope*) y el MGT (*Giant Magellan Telescope*), fomenta la cantidad y calidad del trabajo nacional.

La inversión en I+D en astronomía puede tener multiplicadores de retornos para la industria de 10 veces lo invertido por el gobierno. Cerca de un tercio de la inversión realizada en los telescopios y observatorios queda en el país, debido a que la construcción de edificios e instalaciones se realiza con profesionales nacionales, mientras que los instrumentos especializados son importados. Por otro lado, de los gastos operacionales anuales, que corresponden a un 10% de la inversión aproximadamente, entre un 50 y 70% son gastados localmente para financiar profesionales, operadores, servicios básicos y otros¹⁷. Se estima que aproximadamente entre un 20% y un 30% del gasto operacional anual se ocupa en subcontratos en empresas chilenas. La experiencia internacional indica un factor entre 2 y 10 adicional por el efecto de los nuevos contratos que las empresas obtendrían como consecuencia directa de tener en su cartera de clientes a los observatorios internacionales.

Otro beneficio derivado de la actividad astronómica es el aporte monetario que hacen continuamente los socios internacionales de los observatorios en Chile a Conicyt, habiéndose creado los fondos concursales para el desarrollo de la actividad astronómica “ALMA-Conicyt”¹⁸ y “GEMINI-Conicyt”¹⁹, los que ascienden a alrededor de MM CLP 2.800 y MM

¹⁶ Clase Ejecutiva de El Mercurio, “¿Cuánto vale Nuestro Cielo?” Patricio del Sol. Domingo 22-06-2011.

¹⁷ Datos proporcionados por Dr. R. Chris Smith, director del Observatorio Cerro Tololo.

¹⁸ El fondo ALMA recibe aportes de AUI (Associated Universities, Inc.), ESO (European Southern Observatory) y NAOJ (National Astronomical Observatory of Japan), cifras corresponden al periodo 2004-2012.

¹⁹ El fondo GEMINI recibe aportes de AURA (Association of Universities for Research in Astronomy). Cifras corresponden al periodo 2006-2012.

CLP 1.300 respectivamente²⁰. El año 2012, por primera vez se crea un fondo con aportes nacionales dentro del Programa de Astronomía de Conicyt.

Además, existe un importante número de observatorios turísticos, que permiten al mundo no científico disfrutar de las excelentes condiciones de los cielos del norte del país. En efecto, se cuenta con una hoja de ruta para el Astroturismo 2016-2025, en donde se plantea como meta 2025 ser el destino astroturístico más relevante del mundo (Astroturismo Chile, 2016). Sin embargo, el aumento del brillo artificial de los cielos está comenzando a invadir áreas conocidas internacionalmente, pudiendo generarse un daño a los servicios naturales del área que reduzca la disposición a pagar de los visitantes del área (Murdock, 2006; Font, 2000). Con ello, se mermaría los planes del sector del astroturismo de acrecentar las visitas totales desde 214 mil visitas en el año 2014 a 750 mil al año 2025, y con ello los ingresos potenciales estimados en US\$5 millones el año 2014 y que se proyectaba cuadruplicar a US\$20 millones.

Por otro lado, la regulación sobre la contaminación lumínica protege el patrimonio natural y cultural del norte del país. Las culturas Quechua, Aymara y Atacameña utilizan la observación del sol, la luna y las estrellas para predecir el curso de las estaciones, de lluvias, y fertilidad de la tierra y así pronosticar el desarrollo de sus cultivos y la fecundidad de sus animales (Magaña, 2006).

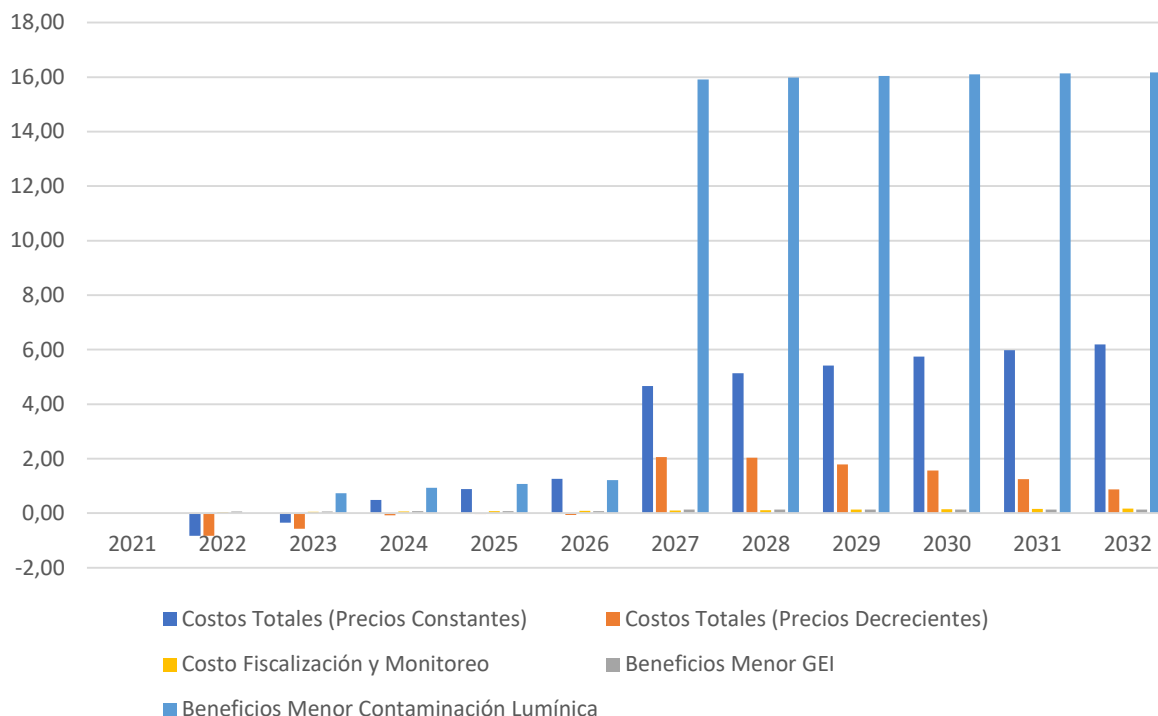
Esto tiene especial relevancia si consideramos las condiciones adversas de uno de los desiertos más secos del mundo, en que la observación del cielo por agricultores y pastores permite ubicarse en el tiempo y el espacio, y así sobrevivir junto con sus animales y siembras. Asimismo, las condiciones climáticas y eventos cósmicos que son propicios para el brote de una semilla, la reproducción de los animales, y la movilidad por las montañas requieren de conocimiento especializado y sistematizado del entorno, heredado por la transmisión y la costumbre de observar el cielo.

Por último, el cuidado de los cielos y fomento de la actividad astronómica puede generar encadenamientos productivos hacia otros sectores de la economía que potencien un crecimiento verde, en el entendido de que fomenta la innovación tecnológica como, por ejemplo, las construcciones con tecnología antisísmica especialmente diseñada para dependencias de los observatorios y la logística asociada a transporte de espejos con bajos niveles de impactos ambientales, entre otros.

3.2.6. Indicadores económicos

En términos agregados, los costos y beneficios asociados al cumplimiento de la regulación se muestran en la Figura 17. Es posible verificar que los costos asociados a la regulación tienen una menor proporción a los beneficios que la normativa genera.

²⁰ Datos proporcionados por Andrea Zúñiga Cabrera, encargada de Administración y Finanzas, Programa de Astronomía, Conicyt.

Figura 17. Costos y beneficios asociados al cumplimiento de la regulación

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 13 muestra los beneficios y costos, en valor presente, asociados al cumplimiento de la normativa. Los beneficios alcanzan los MM USD 59,40, mientras que los costos, en escenario constante y de costos de inversión decrecientes, alcanzan los MM USD 20,59 y MM USD 5,04 respectivamente. El ratio beneficio costo (B/C) entonces corresponde a 2,88 y 11,78 respectivamente. Tratándose de dos escenarios, la recomendación para el uso de estos indicadores económicos es situarse sobre el escenario conservador.

Tabla 13. Indicadores económicos en valor presente (MM USD)

Ítem	Escenario Costos de inversión Constantes	Escenario Costos de Inversión Decrecientes
Beneficios	59,40	59,40
Menor GEI	0,75	0,75
Menor Contaminación Lumínica	58,65	58,65
Costos Totales	20,59	5,04

Luminarias Deportivas	1,41	1,41
Luminarias Publicas	25,43	9,88
Luminarias Publicitarias	-6,58	-6,58
Fiscalización y Monitoreo	0,71	0,71
Razón B/C	2,88	11,78

4. Conclusiones

En el presente estudio se evalúa el cumplimiento del Anteproyecto de revisión de la Norma de Emisión para la regulación de la contaminación lumínica. En este análisis, según la información disponible por el MMA al momento de la evaluación, se evalúa los costos y beneficios asociados al cumplimiento de la regulación.

Este cumplimiento implica el recambio del alumbrado público, deportivo y publicitario, de acuerdo a lo establecido en la regulación, y se realiza desde tecnologías menos eficaces en términos de lúmenes/watt hacia la tecnología LED que cumple con las exigencias en los criterios señalados en la regulación. Se consideran los costos de inversión o instalación, costos de operar la luminaria y costos de mantenerlas durante el horizonte de evaluación. Ambos pueden compensar los costos de inversión, debido a que el recambio de algunas tecnologías de la situación actual a LED involucra menores costos de consumo energético y de mantención.

También se contemplan los costos que el ente fiscalizador deberá incurrir y los beneficios por reducir la emisión de gases de efecto invernadero. Los resultados del estudio concluyen que la regulación genera un costo de inversión, para el escenario más conservador, en valor presente de MM USD 60,8 millones en el horizonte de evaluación, estos se ven compensados por un ahorro en valor presente por conceptos de menores costos de operación y mantención de MM USD 39,9 y MM USD 1,1 respectivamente. Los costos en valor presente de la fiscalización llegan a ser MM USD 0,7, con lo que el costo neto total de la regulación asciende a MM USD 20,59.

De los beneficios asociados a la regulación, se obtiene una menor emisión de CO₂ eq, el cual se estima en valor presente MM USD 0,7. Por otro lado, se obtiene un beneficio por menor contaminación lumínica para la observación astronómica de MM USD 58,6. En suma, la regulación conlleva un beneficio neto, en valor presente, de MM USD 38,8 en el horizonte de evaluación, y un índice de beneficio-costos de 2,8 en el escenario más conservador.

Es importante relevar la existencia de beneficios no cuantificables en la salud humana, la biodiversidad y actividades económicas como el Astroturismo. Respecto a la salud humana, reducir la contaminación lumínica permitiría disminuir las alteraciones del ciclo circadiano, lo que se asocia a desórdenes en el metabolismo, sueño, nivel de alerta, desempeño cognitivo y menor producción de melatonina. En cuanto a la biodiversidad, la reducción de la contaminación lumínica disminuiría los impactos en patrones de actividad y comportamiento de anfípodos, invertebrados nocturnos entre muchas otras especies. Asimismo, se reduciría el efecto en el ritmo circadiano, percepción visual, orientación espacial y fenología reproductiva de aves y aves marinas de tipo petreles, fardelas y golondrinas de mar, hoy profundamente afectadas. Por último, la regulación sobre la contaminación lumínica protege el patrimonio natural y cultural del norte del país, y fomenta diversas actividades económicas asociadas a la astronomía, apoyando actividades de astroturismo, facilitando el cumplimiento de su hoja de ruta que apela a que el país se transforme en el destino astroturístico más relevante del mundo.

El AGIES del Anteproyecto corresponde a un apoyo a la toma de decisión de la autoridad y sirven para nutrir los procesos de Participación Ciudadana, el Consejo Consultivo y el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad y el Cambio Climático. Este, sin embargo, no debe ser considerado como el único instrumento de evaluación.

5. Referencias

- Ainley D.G, Podolsky R., Nur N., Deforest L., y Spencer G. (2001). Status and population trends of the Newell's shearwater on Jauai: a model for threatened petrel son urbanized tropical oceanic islands. *Sudis in Avian Biology* 22: 108-123.
- Astroturismo Chile (2016). Hoja de Ruta para el Astroturismo en Chile 2016-2015. Proyecto financiado por CORFO, Bienes públicos para la Competitividad Nacional.
- Barros R., Medrano F., Norambuena H., Peredo R., Silva R., de Groote F. y Schmitt F. (2019) Breeding biology, distribution and conservation status of Markham's Storm-Petrel (*Oceanodroma markhami*) in the Atacama Desert. 107(1): doi:10.5253/arde.v107i1.a1.
- Cajochen C., Frey S., Anders D., Späti J., Bues M., Pross A., Stefani O., (2011). Evening exposure to a light-emitting diodes (LED)-backlit computer screen affects circadian physiology and cognitive performance. *Journal of Applied Physiology*, 110, 1432-1438.
- Conicyt (2008). Observatorios astronómicos en Chile. Disponible en: <https://www.conicyt.cl/documentos/Fichasobservatorios.pdf>
- Chang A., Aeschbach D., Duffy J., y Czeisler C., (2014). Evening use of light-emitting eReaders negatively affects sleep, circadian timing, and next-morning alertness. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.*, 112, 1232-1237.
- Davoudian N., Raynmham P. y Barrett E. (2014). Disability glare: A study in simulated road lighting conditions. *Lighting Res. Technol.* 2014: Vol. 46: 695-705.
- Davis, Scott, Mirick, Dana, Stevens, Richard, (2001). Night Shift Work, Light at Night, and Risk of Breast Cancer. *Journal of the National Cancer Institute* 93 (20), 1557–1562.
- Davies T., y Smyth T., (2017). Why artificial light at night should be a focus for global change research in the 21st century. *Glob Change Biol.* 2017; 1-11.
- Dominoni D., Quetting M., y Partecke j, (2013). Long-term effects of chronic light pollution on seasonal functions of European blackbirds (*Turdus merula*). *PLoS ONE* 8(12): e85069. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0085069>.
- Dominoni D. (2015). The effects of light pollution on the biological rhythms of birds: an integrated, mechanistic perspective. *Journal of Ornithology* 156: 409-418.
- Falchi, F., P. Cinzano, et al. (2011). "Limiting the impact of light pollution on human health, environment and stellar visibility." *Journal of Environmental Management*.
- Font, Antoni Riera, 2000. Mass tourism and the demand for protected natural areas: a travel cost approach. *Journal of Environmental Economics and Management* 39 (1), 97–116.
- Gaston K., Davies T., Nedelec S., y Holt L. (2017). Impacts of artificial light at night on biological timings. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 48: 49-68.

Haim A., y Zubidat A., (2015). LED light between Nobel Prize and cancer risk factor. *Chronobiology International*, 32, 725-727.

Hooke R. y Jeeves T. A. (1961). “Direct Search” solution of numerical and statistical problems. *J. Ass. Comput. March*, 8:212-29, 1961.

International Agency for Research on Cancer (2007). IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to human. Volume 98: Painting, firefighting, and shiftwork. Lyon 2010: World Health Organisation International Agency for Research on Cancer.

Kloog I., Haim A., Stevens R., Barchana M. y Portnov B., (2008). Light at night co-distributes with incident breast but not lung cancer in the female population of Israel. *Chronobiology International*, 25, 65-81.

Le Corre M., Ollivier A., Ribes S. y Jouventin P., (2002). Light-induced mortality of petrels: a 4-year study from Reunion Island (Indian Ocean). *Biological Conservation* 105: 93-102.

Luarte T., Bonta C, Silva-Rodriguez E., Quijón P. et al (2016) “Light pollution reduces activity, food consumption and growth rates in a sandy beach invertebrate” *Journal of Environmental Pollution*.

Magaña, E. (2006). Astronomía de algunas poblaciones Quechua-Aymara del Loa superior, norte de Chile. *Boletín del Museo Chileno de Arte Precolombino*. Vol. 1.

Manríquez P., Jara M., Diaz M., Quijón P. et al (2019) “Artificial light pollution influences behavioral and physiological traits in a keystone predator species, *Concholepas concholepas*” *Journal of Science of the Total Environment*

Ministerio de Energía (2018). Programa de recambio de alumbrado público. Informe Final.

Ministerio del Medio Ambiente (2012). Antecedentes para el Análisis del Impacto Económico y Social de la Norma de Emisión para la Regulación de la Contaminación Lumínica. Preparado por SCL Econometrics.

Ministerio del Medio Ambiente (2021). Minuta técnica. Análisis de aplicación de la futura regulación en el alumbrado industrial. Proceso de revisión del Decreto Supremo N°43/2012 del Ministerio del Medio Ambiente (Norma Lumínica).

Ministerio de Desarrollo Social (2018). Precios sociales 2018. Departamento de metodologías y estudios – División de Evaluación social de inversiones.

Ministerio del Medio Ambiente (2012). Análisis General de Impacto Económico y Social de la Modificación del DS686/98.

Murdock, Jennifer, 2006. Handling unobserved site characteristics in random utility models of recreation demand. *Journal of Environmental Economics and Management* 51 (1), 1–25.

Navara, K. J. and R. J. Nelson (2007). "The dark side of light at night: physiological, epidemiological, and ecological consequences." *Journal of Pineal Research*.

Luginbuhl et al. (2009). Lighting and Astronomy. *Physics Today* 62, 12, 32, <https://doi.org/10.1063/1.3273014>

OPCC (2021). Análisis del Impacto Lumínico de las Fuentes con Radiancias Espectrales Diferenciadas.

Pawson S., y Bader M., (2014). LED lighting increases the ecological impact of light pollution irrespective of color temperatura. *Ecological Applications*, 24(7), 2014 pp.1561-1568.

Rich, C. y Longcore T., (2004). "Ecological light pollution." *Frontiers in Ecology and the Environment*.

Rich, C. y Longcore T., (2006). *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*, Island Press.

Rodriguez A., Holmes N., Ryan P., Wilson K., Faulquier L., Murillo Y., et al (2017). Seabird mortality induced by land-based artificial lights. *Conservation Biology*, Volume OO, No. 0, 1-16.

Rybnikova N., y Portnov B., (2016). Outdoor light and breast cancer incidence: A comparative analysis of DMSP and VIIRS-DNB satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 38, 1-10.

SUBDERE (2018). Especificaciones técnicas mínimas para proyectos de alumbrado público vial y peatonal. Manual de proyectos de energización. División de Desarrollo Regional.

SustenTank y RodaEnergía (2014). Apoyo a la eficiencia energética en el sector residencial y municipal. Consultoría técnica – Alumbrado público CT-CH-1128-SN1. Estudio a solicitud del Banco Interamericano de Desarrollo y Ministerio de Energía.

Schreuder (2001). Recent CIE Activities on Minimizing Interference to Optical Observations. Preserving the Astronomical Sky, proceeding of IAU symposium 196, held 12-16 july 1999, in Vienna, Austria. Edited by E. J. Cohen and Q.T. Sullivan, 2001, ...p.69.

West K., Jablonski M., Wartfield B., Cecil K., James M., Ayers M. y Hanifin J., (2011). Blue light from light-emitting diodes elicits a dose-dependent suppression of melatonin in humans. *Journal of Applied Physiology*, 110, 619-626.

Anexos

A. Proyección de parques de luminarias en línea base y escenario regulatorio.

Tabla A-1: Distribución geográfica proyectada de luminarias publicas según tecnología en unidades anuales para Escenario de Línea Base

Zona Geográfica	Tecnología	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Resto del País	Halógenas	2.388	2.060	1.831	1.662	1.528	1.406	1.293	1.209	1.171	1.135	1.108	1.108
	Haluro Metálico	102.606	88.247	77.494	68.200	63.625	59.452	56.698	54.111	51.560	49.641	49.326	48.716
	Hg	20.711	17.043	14.186	11.721	9.819	8.346	7.017	5.775	4.618	3.600	2.636	2.052
	Incandescentes	1.328	1.423	1.511	1.596	1.664	1.716	1.754	1.779	1.791	1.792	1.782	1.772
	LED sin	1.082.390	1.212.503	1.329.064	1.434.227	1.529.643	1.616.606	1.696.154	1.769.132	1.836.237	1.898.051	1.955.069	2.009.184
	Luz Mixta	3.304	2.732	2.354	2.306	2.282	2.260	2.240	2.200	2.193	2.193	2.187	2.155
	SAP	2.093.639	2.010.923	1.932.618	1.859.730	1.787.788	1.720.346	1.655.912	1.595.139	1.537.568	1.482.382	1.428.212	1.376.772
	SBP	25.205	22.934	21.084	19.387	17.919	16.607	15.412	14.352	13.423	12.429	11.501	10.659
Total Resto del País		3.331.570	3.357.864	3.380.143	3.398.830	3.414.267	3.426.738	3.436.481	3.443.696	3.448.560	3.451.224	3.451.821	3.452.417
Zona de Interés A	Halógenas	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	Haluro Metálico	4.243	3.860	3.864	3.866	3.869	3.872	3.865	3.839	3.841	3.841	3.841	3.840
	Hg	1.307	1.144	997	863	739	624	527	474	424	377	332	290
	Incandescentes	361	361	361	361	361	361	361	361	361	361	361	361
	LED D.S. N° 43	63.347	69.588	75.125	80.061	84.475	88.432	91.980	95.163	98.015	100.566	102.841	105.001

Zona Geográfica	Tecnología	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
	Luz Mixta	242	242	242	242	242	242	242	242	242	242	242	242
	SAP	104.175	101.132	97.636	94.423	91.443	88.661	86.046	83.566	81.177	78.899	76.720	74.654
	SBP	452	37	37	37	37	37	37	28	28	28	28	28
Total Zona de Interés A		174.156	176.395	178.292	179.883	181.197	182.259	183.089	183.703	184.117	184.344	184.395	184.446
Zona de Interés B	Halógenas	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	Haluro Metálico	1.143	962	798	649	638	630	623	616	610	605	605	605
	Hg	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98
	Incandescentes	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	LED D.S. N° 43	11.049	13.083	14.904	16.544	18.029	19.381	20.614	21.742	22.777	23.728	24.601	25.430
	Luz Mixta	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
	SAP	33.324	31.833	30.484	29.251	27.990	26.819	25.727	24.705	23.743	22.835	21.969	21.149
	SBP	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Total Zona de Interés B		45.690	46.052	46.360	46.618	46.831	47.003	47.138	47.237	47.304	47.341	47.349	47.358
Total Nacional		3.551.415	3.580.311	3.604.795	3.625.330	3.642.296	3.656.001	3.666.707	3.674.637	3.679.982	3.682.909	3.683.565	3.684.221

Tabla A-2: Distribución geográfica proyectada de luminarias deportivas según tecnología en unidades anuales para Escenario de Línea Base

Zona Geográfica	Tecnología	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Resto del País	Haluro Metálico	1.934	1.934	1.934	1.934	1.934	1.934	1.934	1.934	1.934	1.934	1.934	1.934
	LED sin	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
Total Resto del País		2.006	2.006	2.006	2.006	2.006	2.006	2.006	2.006	2.006	2.006	2.006	2.006
Zona de Interés A	Haluro Metálico	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296
Total Zona de Interés A		296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296
Zona de Interés B	Haluro Metálico	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124
Total Zona de Interés B		124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124
Total Nacional		2.426	2.426	2.426	2.426	2.426	2.426	2.426	2.426	2.426	2.426	2.426	2.426

Tabla A-3: Distribución geográfica proyectada de luminarias publicitarias según tecnología en unidades anuales para Escenario de Línea Base

Zona Geográfica	Tecnología	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Resto del País	Haluro Metálico	7.085	7.085	7.085	7.085	7.085	7.085	7.085	7.085	7.085	7.085	7.085	7.085
	LED sin	3.468	3.468	3.468	3.468	3.468	3.468	3.468	3.468	3.468	3.468	3.468	3.468
Total Resto del País		10.553	10.553	10.553	10.553	10.553	10.553	10.553	10.553	10.553	10.553	10.553	10.553
Zona de Interés A	Halógenas	545	545	545	545	545	545	545	545	545	545	545	545

Zona Geográfica	Tecnología	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
	Haluro Metálico	257	257	257	257	257	257	257	257	257	257	257	257
Total Zona de Interés A		802	802	802	802	802	802	802	802	802	802	802	802
Zona de Interés B	Halógenas	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148
	Haluro Metálico	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68
Total Zona de Interés B		216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216
Total Nacional		11.571	11.571	11.571	11.571	11.571	11.571	11.571	11.571	11.571	11.571	11.571	11.571

Tabla A-4: Distribución geográfica proyectada de luminarias publicas según tecnología en unidades anuales para Escenario Regulatorio

Zona Geográfica	Tecnología	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Resto del País	Halógenas	2.388	2.060	1.831	1.662	1.528	1.406	1.293	1.209	1.171	1.135	1.108	1.108
	Haluro Metálico	102.606	88.247	77.494	68.200	63.625	59.452	56.698	54.111	51.560	49.641	49.326	48.716
	Hg	20.711	17.043	14.186	11.721	9.819	8.346	7.017	5.775	4.618	3.600	2.636	2.052
	Incandescentes	1.328	1.423	1.511	1.596	1.664	1.716	1.754	1.779	1.791	1.792	1.782	1.772
	LED ER7%	1.082.390	1.212.503	1.329.064	1.434.227	1.529.643	1.616.606	1.696.154	1.769.132	1.836.237	1.898.051	1.955.069	2.009.184
	Luz Mixta	3.304	2.732	2.354	2.306	2.282	2.260	2.240	2.200	2.193	2.193	2.187	2.155
	SAP	2.093.639	2.010.923	1.932.618	1.859.730	1.787.788	1.720.346	1.655.912	1.595.139	1.537.568	1.482.382	1.428.212	1.376.772

	SBP	25.205	22.934	21.084	19.387	17.919	16.607	15.412	14.352	13.423	12.429	11.501	10.659
Total Resto del País		3.331.570	3.357.864	3.380.143	3.398.830	3.414.267	3.426.738	3.436.481	3.443.696	3.448.560	3.451.224	3.451.821	3.452.417
Zona de Interés A	Halógenas	30	30	30	30	30	30	10	10	10	10	10	10
	Haluro Metálico	4.243	3.860	3.864	3.866	3.869	3.872	221	217	217	217	217	217
	Hg	1.307	1.144	997	863	739	624	78	70	63	56	49	43
	Incandescentes	361	361	361	361	361	361	3	3	3	3	3	3
	LED D.S. N° 43	63.347	69.588	75.125	80.061	84.475	88.432						
	LED ER1%							96.691	99.806	102.617	105.129	107.365	109.488
	Luz Mixta	242	242	242	242	242	242	3	3	3	3	3	3
	SAP	104.175	101.132	97.636	94.423	91.443	88.661	86.046	83.566	81.177	78.899	76.720	74.654
	SBP	452	37	37	37	37	37	37	28	28	28	28	28
Total Zona de Interés A		174.156	176.395	178.292	179.883	181.197	182.259	183.089	183.703	184.117	184.344	184.395	184.446
Zona de Interés B	Halógenas	6											
	Haluro Metálico	1.143	61	39	20	18	17	16	15	15	14	14	14
	Hg	98											
	Incandescentes	29											
	LED D.S. N° 43	11.049	13.083	14.904	16.544	18.029	19.381	20.614	21.742	22.777	23.728	24.601	25.430
	LED ER1%		1.058	916	786	776	770	764	758	752	748	748	748

	Luz Mixta	24											
	SAP	33.324	31.833	30.484	29.251	27.990	26.819	25.727	24.705	23.743	22.835	21.969	21.149
	SBP	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Total Zona de Interés B		45.690	46.052	46.360	46.618	46.831	47.003	47.138	47.237	47.304	47.341	47.349	47.358
Total Nacional		3.551.415	3.580.311	3.604.795	3.625.330	3.642.296	3.656.001	3.666.707	3.674.637	3.679.982	3.682.909	3.683.565	3.684.221

Tabla A-5: Distribución geográfica proyectada de luminarias deportivas según tecnología en unidades anuales para Escenario Regulatorio

Zona Geográfica	Tecnología	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Resto del País	Haluro Metálico	1934	1934	1934	1934	1934	1934	1934	1490	1490	1266	1266	1266
	LED sin	72	72	72	72	72	72	72	516	516	740	740	740
Total Resto del País		2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006
Zona de Interés A	Haluro Metálico	296	296	296	296	296	296						
	LED sin							296	296	296	296	296	296
Total Zona de Interés A		296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296
Zona de Interés B	Haluro Metálico	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124
Total Zona de Interés B		124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124
Total Nacional		2.426	2.426	2.426	2.426	2.426	2.426	2.426	2.426	2.426	2.426	2.426	2.426

Tabla A-6: Distribución geográfica proyectada de luminarias publicitarias según tecnología en unidades anuales para Escenario Regulatorio

Zona Geográfica	Tecnología	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Resto del País	Haluro Metálico	7.085											
	LED sin	3.468	10.553	10.553	10.553	10.553	10.553	10.553	10.553	10.553	10.553	10.553	10.553
Total Resto del País		10.553	10.553	10.553	10.553	10.553	10.553	10.553	10.553	10.553	10.553	10.553	10.553
Zona de Interés A	Halógenas	545											
	Haluro Metálico	257	802	802	802	802	802	802	802	802	802	802	802
Total Zona de Interés A		802	802	802	802	802	802	802	802	802	802	802	802
Zona de Interés B	Halógenas	148											
	Haluro Metálico	68	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216
Total Zona de Interés B		216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216
Total Nacional		11.571	11.571	11.571	11.571	11.571	11.571	11.571	11.571	11.571	11.571	11.571	11.571

Tabla A-7: Estadios de clase I y II considerados para la identificación de luminarias deportivas.

Región	Estadio
Arica y Parinacota	Carlos Dittborn Arica
Tarapacá	Tierra de Campeones Iquique
Atacama	Luis Valenzuela Hermosilla Copiapó
Coquimbo	Sanchez Rumoroso Coquimbo
Coquimbo	La portada de La Serena
Valparaíso	Elías Figueroa Valparaíso
Valparaíso	Sausalito Viña del Mar
Metropolitana	Nacional Nuñoa
Metropolitana	Bicentenario La Florida
O'Higgins	El Teniente Rancagua
Maule	La Granja de Curicó
Maule	Fiscal de Talca
Nuble	Nelson Oyarzún Chillán
Biobío	Ester Roa Concepción
Araucanía	German Becker Temuco
Los Lagos	Chiniquihue e Puerto Montt

B. Precio de componentes de los costos de inversión, operación y mantención.

Precios de componentes de costo de inversión

Respecto al costo de inversión de luminaria, se estima a partir del costo de la luminaria y de componentes: costo de instalación y gancho. En el caso de la tecnología LED, no requiere de este último.

En ocasiones el gancho no es necesario de recambiar, por lo que, siguiendo la metodología elaborada para el AGIES del D.S. N° 43/2012, se establece una probabilidad de ocurrencia de recambio de gancho, el cual corresponde al 15%.

Los Precio de las luminarias, así como el costo de sus componentes, se señalan a continuación:

Tabla B-1: Precio de luminarias según tecnología y potencia (US\$ 2019).

Componentes	Potencia			
Tecnología de luminarias	60W	90W	120W	150W
LED	174	188	213	246
SAP	109	113	117	121
SBP	109	113	117	121
Halógenas	17	26	35	43
Hg	109	113	117	121
Incandescentes	17	26	35	43
Haluro Metálico	109	113	117	121
Luz Mixta	17	26	35	43

Luego, componentes de la inversión de luminarias.

Tabla B-2: Costo de instalación y material en la inversión de luminarias (US\$ 2019).

Componentes	Precios (US\$ 2019)
Costo de instalación	331
Gancho	45

Los costos unitarios de inversión en luminaria, entonces, corresponden a las siguientes:

Tabla B-3: Costo unitario de inversión en luminarias (US\$ 2019).

Componentes	Precios (US\$ 2019)			
	60W	90W	120W	150W
Tecnología de luminarias				
LED	505	519	544	577
SAP	447	451	455	459
SBP	447	451	455	459
Halógenas	355	364	372	381
Hg	447	451	455	459
Incandescentes	355	364	372	381
Haluro Metálico	447	451	455	459
Luz Mixta	355	364	372	381

Precios de componentes de costos de mantención

Las ampollas poseen la siguiente vida útil según su tecnología.

Tabla B-4: Vida útil de ampollas según tecnología y potencias (horas).

Tecnología	Vida útil (horas)
LED	46.364
SAP	23.272
SBP	22.364
Halógenas	1.750
Hg	20.286
Incandescentes	1.000
Haluro Metálico	8.038
Luz Mixta	10.000

La cantidad de ampolletas a instalar anualmente se calcula en base al cociente entre un año y la vida útil en años de la ampolleta. Los resultados se señalan a continuación.

Tabla B-5: Número de mantenciones según tecnología.

Tecnología	Mantenciones al año
LED	0,1
SAP	0,2
SBP	0,2
Halógenas	2,3
Hg	0,2
Incandescentes	4,0
Haluro Metálico	0,5
Luz Mixta	0,4

Respecto al precio de las ampolletas, están variando de acuerdo a la tecnología y potencia. Las potencias señaladas en el presente estudio están en base a potencias factibles de la tecnología LED, de modo que se estiman los precios de ampolletas de otras tecnologías para esas potencias factibles mediante una regresión lineal.

Tabla B-6: Costo de ampolletas según tecnología y potencias (US\$ 2019).

Tecnología	60	90	120	150
LED	12	12	12	14
SAP	5	5	6	7
SBP	5	5	6	7
Halógenas	2	2	3	4
Hg	7	8	9	11
Incandescentes	1	1	1	1
Haluro Metálico	10	11	13	15
Luz Mixta	1	1	2	2

Fuente: elaboración propia a partir de cotizaciones.

Por último, se considera un costo de instalación de ampolletas de US\$ 9,1.

Precios de componentes del costo de operación

El precio de la energía se estimó a partir de una cuenta tipo promedio de consumo energético de una vivienda al año 2019. El consumo energético en US\$ corresponde a 34,6. Luego, dividiendo en el consumo energético mensual en horas, que corresponde a 180 horas, se de la energía privada. A esta le descontamos el IVA con el objeto de asimilar el precio de la energía para sector público. De este modo, el precio de energía promedio a utilizar en las luminarias es de US\$ 0,2.

Las horas de operación de las luminarias corresponden a las siguientes.

Tabla B-7: Costo de ampolletas según tecnología y potencias (US\$ 2019).

Horas operación luminarias	Número de horas
Horas noche	4.021
Horas potenciales de ahorro	2.561
Horas sin ahorro	1.460

C. Ejercicio práctico: Costos por recambios de luminarias industriales

Considerando la falta de información para las luminarias industriales, se ha realizado un ejercicio particular para una empresa donde si se cuenta con datos suficientes para aplicar la metodología detallada anteriormente.

Producto del proceso de regularización de luminarias realizado en 2020 por la Superintendencia del Medio Ambiente²¹ se obtuvo la caracterización de la luminarias existentes en las instalaciones de la Empresa Nacional de Minería (ENAMI), específicamente las instalaciones ubicadas en la región de Coquimbo (comunas de Coquimbo y Ovalle).

La distribución de las luminarias en escenario de línea base para ENAMI es la siguiente:

Tecnología	Cantidad
Haluro metálico	193
LED D.S. N° 43	183
SAP	6
Total	382

Las comunas evaluadas (Coquimbo y Ovalle) pertenecen a la Zona de protección especial por lo que las luminarias existentes que no cumplan las exigencias de la regulación evaluada deberán ser recambiadas como máximo en 2027 (de acuerdo a los supuestos de entrada en vigencia considerados).

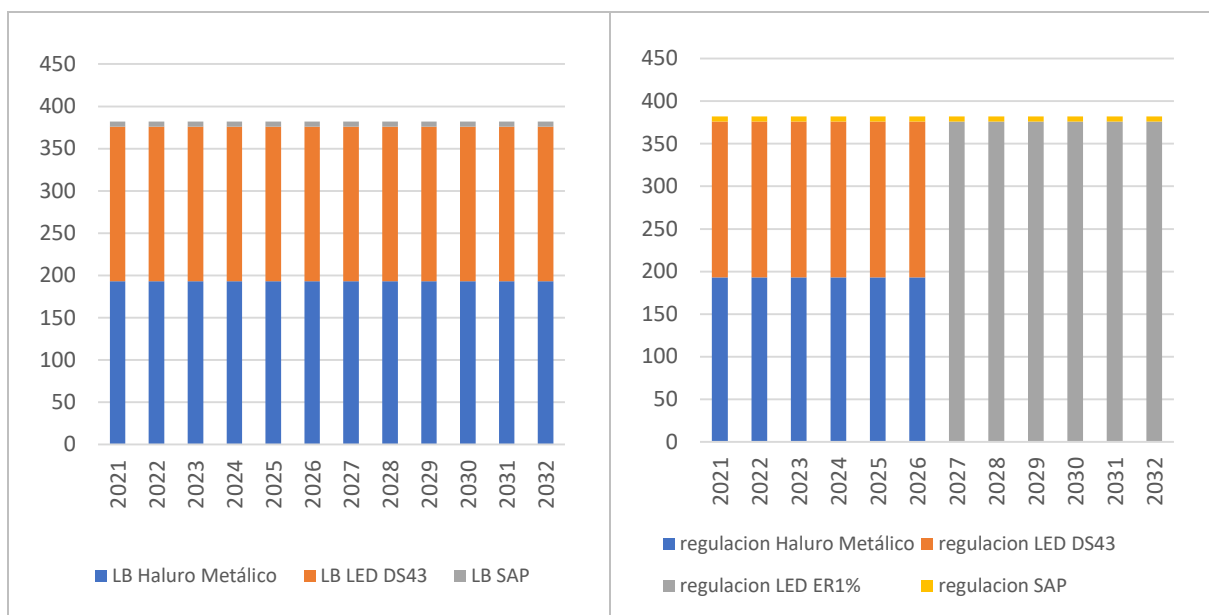
La proyección de la línea base considera que el recambio de luminarias por finalización de vida útil, se realiza utilizando la misma tecnología actual.

La línea base proyectada y la situación en escenario regulatorio, para esta empresa en particular, se compara en la siguiente gráfica:

Tabla C-1: Proyección de luminarias en Línea base y regulación para ENAMI (unidades anuales)

Línea Base Proyectada	Situación con regulación proyectada
------------------------------	--

²¹ Según Resolución Exenta N° 434 del 2019 de la SMA



Es posible observar cómo, producto de la implementación de la exigencia de recambio, en el año 2027 la totalidad de luminarias de tecnologías LED D.S. N° 43 y Haluro metálico deberán ser reemplazadas por la tecnología LED 1%.

Producto de los recambios antes detallados, se generan costos de inversión, mantención y operación calculados en la forma en que se indica en la metodología de AGIES antes presentada.

La diferencia entre las situaciones de línea base y regulación genera los siguientes costos atribuibles a la regulación para la empresa ENAMI.

Tabla C-2: Flujo de costos y beneficios derivados de la implementación de la regulación (MMUSD por año)

Escenario	Costo	2027 ²²	2028	2029	2030	2031	2032
Precios LED constantes	Instalación	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007
	Mantención	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002
	Operación	-0,011	-0,011	-0,011	-0,011	-0,011	-0,011
	Total	-0,007	-0,007	-0,007	-0,007	-0,007	-0,007
Precios LED decrecientes	Instalación	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
	mantención	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002
	Operación	-0,011	-0,011	-0,011	-0,011	-0,011	-0,011
	Total	-0,011	-0,011	-0,011	-0,011	-0,011	-0,011

²² Los años anteriores al 2027 no generan costos derivados de la comparación entre Línea Base y regulación

Tal como se indica en el cuerpo del informe, la existencia de costos negativos se traduce en ahorros derivados de la implementación de la regulación. En el agregado, la suma de los costos para la empresa evaluada, tanto en escenario de precios de LED constantes como decrecientes en el tiempo generan ahorros netos dados por los menores costos de operación y mantención en la situación con regulación en comparación a la línea base proyectada.

En valor presente²³ los ahorros (costos negativos), en los dos escenarios evaluados varían entre USD 23.146 y USD 37.027.

²³ Valor presente al 2021 del periodo de evaluación 2021-2032, considerando una tasa de descuento de 6%.