



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

ANÁLISIS DEL IMPACTO EN EL CONSUMO ELÉCTRICO DE LA
IMPLEMENTACIÓN EN CHILE DE LA POLÍTICA PÚBLICA DE
ESTÁNDARES MÍNIMOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA
LÁMPARAS INCANDESCENTES

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
ELECTRICISTA

ALEJANDRO MAURITZIO ONOFRI SALINAS

PROFESOR GUÍA:
RODRIGO ERNESTO EDUARDO PALMA BEHNKE

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
CLAUDIA ANDREA RAHMANN ZÚÑIGA
CARLOS ALBERTO BENAVIDES FARÍAS

SANTIAGO DE CHILE
2020

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL
TÍTULO DE: Ingeniero Civil Electricista
POR: Alejandro Maurizio Onofri Salinas
FECHA: 28/09/2020
PROFESOR GUÍA: Rodrigo Palma Behnke

ANÁLISIS DEL IMPACTO EN EL CONSUMO ELÉCTRICO DE LA IMPLEMENTACIÓN EN CHILE DE LA POLÍTICA PÚBLICA DE ESTÁNDARES MÍNIMOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LÁMPARAS INCANDESCENTES

Dentro de las medidas de Estado para reducir el consumo de energía eléctrica se encuentra la política pública de fijar estándares mínimos de desempeño energético - MEPS por sus siglas en inglés - que permiten retirar del mercado equipos ineficientes para reemplazarlos por otros de uso más eficiente. En este contexto, en el año 2013 se establece en Chile MEPS para lámparas incandescentes de uso residencial, prohibiendo su importación y comercialización a partir de diciembre del año 2015 y promoviendo su reemplazo con lámparas fluorescentes compactas, en ese tiempo una de las más eficientes. En su justificación se proyectaron beneficios a nivel país y también a nivel de los consumidores tanto a mediano como a largo plazo, principalmente ahorros en el consumo eléctrico acumulados a los años 2020 y 2030.

La interrogante que surge entonces es si, después de algunos años de aplicada la medida, efectivamente se lograron los beneficios esperados.

En el presente trabajo de título se analiza el impacto en el consumo eléctrico originado por la aplicación de la política pública antes citada, mediante una metodología consistente en elaborar perfiles de demanda de energía por la operación de lámparas de uso residencial para diferentes escenarios, caso base sin aplicar la medida y caso con MEPS implementado. De esta forma, utilizando un sencillo modelo de cálculo y los datos del stock de lámparas de uso residencial instaladas en Chile por año y por tipo de tecnología, se evalúa la diferencia de consumo de energía entre escenarios, obteniendo así los ahorros energéticos.

Los principales resultados que se obtienen muestran que la medida establecida en el año 2013 e implementada desde el año 2015, genera un ahorro en la demanda de energía a nivel nacional, entre los años 2016 y 2019, de 5.041 GWh/año, equivalentes a 785 millones de dólares, reduciendo las emisiones de CO₂ en 2,05 Mtoe y evitando una capacidad de generación de 1.271 MW, referida a los puntos de consumo.

Con los resultados alcanzados se demuestra que la política pública de estándares mínimos de desempeño energético produce beneficios tanto a nivel nacional como a nivel de los consumidores, constituyéndose como una de las medidas más costo-efectiva que tienen los países para reducir el consumo de energía, disminuir las emisiones de CO₂ y producir importantes ahorros económicos, sin dejar de mencionar la capacidad de generación evitada.

Tabla de contenido

1.	Introducción	1
1.1	Motivación y antecedentes	1
1.2	Descripción del problema	2
1.3	Objetivos	2
1.3.1	Objetivo general	2
1.3.2	Objetivos específicos	2
1.4	Alcances	2
2.	Marco teórico	3
2.1	Antecedentes generales	3
2.2	Antecedentes técnicos	3
2.2.1	Conceptos de iluminación	3
2.2.2	Tecnologías de iluminación	5
2.2.3	Eficiencia energética	12
2.2.4	Etiquetado de eficiencia energética	12
2.2.5	Estándares mínimos de eficiencia energética	14
2.3	Marco regulatorio aplicable	14
2.3.1	Institucionalidad de la eficiencia energética en Chile	14
2.3.2	Fundamentos legales	15
2.4	Referencias internacionales	16
3.	Metodología	18
3.1	Metodología general	18
3.2	Revisión bibliográfica	19
3.3	Análisis de la medida aplicada en el año 2013 en Chile	19
3.3.1	Implementación y programa de aplicación de la política pública	19
3.3.2	Justificación de la medida aplicada	20
3.3.3	Evaluación de la política pública	21
3.3.4	Resultados proyectados por la implementación de la política pública	21
3.4	Recolección y manejo de datos	22
3.4.1	Caracterización del mercado de lámparas de uso residencial	22
3.4.2	Cantidad de lámparas instaladas en Chile	26
3.4.3	Potencia promedio por lámpara	28
3.4.4	Factor de emisiones de CO ₂	28
3.4.5	Precio de la energía	28

3.4.6	Cantidad de viviendas	29
3.5	Casos de estudio.....	29
3.5.1	Caso 1: base.....	29
3.5.2	Caso 2: MEPS implementado	30
3.5.3	Caso 3: MEPS proyectado al 2020 y 2030	30
3.6	Modelo de Cálculo.....	31
3.6.1	Ahorro en energía	31
3.6.2	Ahorros económicos.....	32
3.6.3	Capacidad de generación evitada	32
3.6.4	Reducción de emisiones de GEI	33
3.6.5	Ahorros a nivel de hogares.....	33
3.7	Análisis de resultados.....	33
4.	Resultados y Análisis	34
4.1	Impactos en el mercado por la aplicación de la política pública	34
4.2	Resultados a nivel país caso 2	36
4.2.1	Ahorro de energía demandada a nivel país	36
4.2.2	Ahorros económicos a nivel país.....	37
4.2.3	Reducción de emisiones.....	37
4.2.4	Capacidad de generación evitada	38
4.3	Resultados a nivel de hogares caso 2.....	38
4.3.1	Ahorro de energía a nivel de hogares	38
4.3.2	Ahorro económico a nivel de hogares	39
4.4	Resultados a nivel país caso 3	39
4.4.1	Comparación de resultados proyectados	40
4.5	Análisis de resultados.....	41
5.	Conclusiones.....	43
5.1	Conclusiones generales.....	43
5.2	Trabajo futuro	44
	Bibliografía	45
	Anexo A	48

Índice de tablas

Tabla 2.1: Especificaciones de desempeño de iluminación incandescente y halógena. Fuente [2].....	7
Tabla 2.2: Especificaciones de desempeño de iluminación fluorescente. Fuente [2]	9
Tabla 2.3: Especificaciones de desempeño de iluminación led. Fuente [2].....	10
Tabla 2.4: Comparación de fuentes de iluminación. Elaboración propia	11
Tabla 3.1: Programa de implementación de MEPS para lámparas incandescentes. Fuente [17]	20
Tabla 3.2: Beneficios proyectados en 2013 por MEPS de lámparas incandescentes. Fuente [27].....	22
Tabla 3.3: Ventas de lámparas por año y tipo de tecnología. Elaboración propia en base SEC	25
Tabla 3.4: Vida útil de lámparas por tipo de tecnología. Elaboración propia	26
Tabla 3.5: Cantidad de lámparas instaladas por año en Chile. Elaboración propia	26
Tabla 3.6: Cantidad de lámparas instaladas a nivel nacional por tipo de tecnología, 2018. Fuente [3].....	27
Tabla 3.7: Cantidad promedio de lámparas por vivienda, según tecnología. Fuente [3]	27
Tabla 3.8: Potencia consumida por tipo de lámpara. Elaboración propia	28
Tabla 3.9: Factor de emisiones. Fuente [28]	28
Tabla 3.10: Precio de la energía. Fuente [29]	28
Tabla 3.11: Número total de viviendas. Fuente [30].....	29
Tabla 4.1: Ventas de lámparas por año y tipo de tecnología. Elaboración propia en base SEC	34
Tabla 4.2: Consumo de energía por tipo de lámpara unitaria. Elaboración propia	36
Tabla 4.3: Cantidad de lámparas por tipo y casos de estudio. Elaboración propia en base SEC	36
Tabla 4.4: Consumo de energía por año y ahorro total en demanda de energía. Elaboración propia.....	36
Tabla 4.5: Costo total ahorrado en energía a nivel país, 2016-2019. Elaboración propia	37
Tabla 4.6: Reducción total de emisiones de CO ₂ , 2016-2019. Elaboración propia	38
Tabla 4.7: Capacidad de generación evitada, año 2019. Elaboración propia	38
Tabla 4.8: Ahorros de energía a nivel de hogares, 2016-2019. Elaboración propia	38
Tabla 4.9: Costo total ahorrado en energía a nivel hogares, 2016-2019. Elaboración propia.....	39
Tabla 4.10: Ahorros concretos hasta el 2019 y proyectados hasta el 2030. Elaboración propia	39
Tabla 4.11: Comparación de resultados proyectados MEPS y estudio 2019. Elaboración propia	40

Índice de figuras

Figura 2.1: Ejemplos de lámparas incandescentes. Fuente [6].....	5
Figura 2.2: Elementos constitutivos de una lámpara incandescente. Fuente [6].....	6
Figura 2.3: Ejemplos de lámparas halógenas. Fuente [6]	6
Figura 2.4: Partes constitutivas de una lámpara fluorescente lineal. Fuente [6]	7
Figura 2.5: Ejemplos de lámparas fluorescentes compactas. Fuente [6].....	8
Figura 2.6: Principales componentes de una lámpara Led. Fuente [6].....	9
Figura 2.7: Producción de luz blanca con led. Fuente [2]	10
Figura 2.8: Ejemplos de lámparas Led. Fuente [6]	10
Figura 2.9: Niveles de eficacia lumínica de las lámparas, 2020. Elaboración propia	12
Figura 2.10: Ejemplos de etiquetas utilizadas en otros países. Fuente [4]	13
Figura 2.11: etiqueta de eficiencia energética para lámparas incandescentes. Fuente [10]	14
Figura 3.1: Metodología. Elaboración propia.....	18
Figura 3.2: Consumo de energía eléctrica residencial total país (%). Fuente [3].....	20
Figura 3.3: Tipos de lámparas a nivel residencial. Fuente [3]	21
Figura 3.4: Evolución de lámparas incandescentes. Elaboración propia en base SEC.....	23
Figura 3.5: Evolución de lámparas fluorescentes compactas. Elaboración propia en base SEC.....	24
Figura 3.6: Evolución de lámparas halógenas. Elaboración propia en base SEC	24
Figura 3.7: Evolución de lámparas led. Elaboración propia en base SEC.....	25
Figura 3.8: Caso 1 base, escenario sin la medida aplicada. Elaboración propia	29
Figura 3.9: Caso 2 MEPS implementado. Elaboración propia	30
Figura 3.10: Caso 3 MEPS proyectado. Elaboración propia	31
Figura 4.1: Cantidad de lámparas por año y tipo de tecnología. Elaboración propia en base SEC.....	35
Figura 4.2: Ilustración 4.2: Distribución de lámparas por tecnología, 2019. Elaboración propia	35
Figura 4.3: Ahorros de energía demandada por año a nivel país. Elaboración propia	37
Figura 4.4: Comparación de resultados proyectados MEPS y estudio 2019. Elaboración propia	40

1. Introducción

1.1 Motivación y antecedentes

El uso eficiente de la energía contribuye a la reducción de la demanda transformándose en un factor clave para el desarrollo sustentable y también para la disminución de los costos de energía de los consumidores.

El consumo de electricidad entre los años 2015 y 2030 de economías emergentes y en desarrollo, se incrementará en un 127% de no aplicarse medidas tendientes a la reducción del consumo eléctrico. Los equipos de aire acondicionado, refrigeradores residenciales, iluminación interior y exterior, motores eléctricos y transformadores de distribución consumen más de la mitad de la electricidad consumida a nivel mundial [1].

La iluminación es utilizada en forma amplia en la vida diaria de las personas, constituye un factor trascendental para mejorar la calidad de vida y productividad de los trabajadores. La iluminación artificial extiende la duración de un día productivo, permitiendo que las personas trabajen en viviendas, oficinas y fábricas, en lugares sin acceso a la luz natural. Los productos de iluminación consumen recursos en su funcionamiento y a medida que las economías crecen y la población se expande, la demanda por iluminación global también aumenta.

A nivel global, el 15% de la electricidad consumida es utilizada para iluminación de viviendas, recintos educacionales y negocios, estimándose que el uso de la iluminación aumentará un 50% en las próximas dos décadas [2]. En el caso de Chile, en el año 2018 el consumo de electricidad en el sector residencial por concepto de iluminación alcanzó un 16,9% del total de la energía utilizada en el país [3].

La eficiencia energética es una alternativa para disminuir la creciente demanda de energía eléctrica. Algunos países han implementado el uso obligatorio de etiquetas de eficiencia energética, que son etiquetas informativas adheridas a los productos fabricados para describir el rendimiento energético del producto (generalmente en forma de uso de energía, eficiencia o costo de energía). Las etiquetas de eficiencia energética proporcionan a los consumidores los datos necesarios para realizar compras informadas [4].

Además, de forma complementaria, se han fijado para ciertos productos, estándares de eficiencia energética, que corresponden a procedimientos y regulaciones que prescriben el rendimiento energético de los productos manufacturados, prohibiendo la venta de productos que son menos eficientes que un determinado nivel, retirándolos del mercado [4].

En Chile, desde el año 2005 se ha establecido el uso obligatorio de etiquetas de eficiencia energética [3] para productos que consumen cerca del 50% de la energía a nivel de los hogares [2]. Es así como en el año 2007 se estableció la etiqueta de eficiencia energética para lámparas incandescentes para servicio de iluminación general.

Posteriormente, apoyando la medida anterior, en el año 2013 se fijó el estándar mínimo para lámparas incandescentes, política pública que actualmente prohíbe la comercialización, por parte

de fabricantes e importadores, de este tipo de lámparas cuya clasificación de eficiencia energética está por debajo del estándar para potencias iguales o superiores a 25W [5].

1.2 Descripción del problema

A la fecha, no existe un estudio formal que consolide los resultados e impactos de las medidas implementadas en Chile, lo que impide evaluar la efectividad de estas medidas.

Por otro lado, existe una alta probabilidad de que los beneficios y ahorros proyectados con las medidas señaladas no sean los esperados, dado el aumento en el mercado de lámparas halógenas que tienen un alto consumo energético y por lo tanto ineficientes, En consecuencia, es necesario determinar y proyectar nuevos ahorros en el consumo eléctrico que permitan entregar información y sirvan de sustento para la aplicación de futuras medidas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Analizar el impacto en el consumo eléctrico producido por la implementación en Chile de la política pública de estándares mínimos de eficiencia energética para lámparas incandescentes de uso residencial, establecida en el año 2013.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar y caracterizar la evolución del mercado de lámparas de uso residencial en Chile, desde que se inició la medida.
- Realizar un estudio de las medidas de ahorro energético implementadas en otros países.
- Evaluar los impactos en el consumo energético, económicos y ambientales, de la implementación en Chile de estándares mínimos de eficiencia energética para lámparas incandescentes.
- Analizar nuevas medidas de ahorro energético en Chile para lámparas de uso residencial.

1.4 Alcances

El estudio comprende solo las fuentes de iluminación de uso residencial, a saber, ampollas o lámparas incandescentes, halógenas, fluorescentes compactas y led. Todo otro tipo de lámparas y luminarias no señaladas previamente queda fuera del presente estudio.

La información de mercado de las lámparas de uso residencial utilizada en el estudio, para los análisis y cálculos del consumo eléctrico, corresponde a los datos de la certificación de productos para la comercialización disponibles en la Superintendencia de Electricidad y Combustibles.

2. Marco teórico

2.1 Antecedentes generales

En este capítulo, para comprender los beneficios de la iluminación eficiente, se revisan los fundamentos teóricos de la iluminación y las diferencias principales entre las tecnologías de lámparas ineficientes y eficientes. Además, se tratan los aspectos reglamentarios que dan el marco de referencia y aplicación de la política pública implementada.

2.2 Antecedentes técnicos

2.2.1 Conceptos de iluminación

A continuación, se presenta información de conocimiento general y definiciones útiles sobre iluminación que son importantes para comprender propiedades como la calidad y la cantidad de luz producida por una lámpara.

Los elementos básicos de un sistema de iluminación son las fuentes de luz, las luminarias y los sistemas de control y regulación de las luminarias.

2.2.1.1 Fuentes de luz

Las fuentes de luz corresponden al tipo de lámpara utilizada, en este caso, incandescentes, halógenas, fluorescentes y led. A las fuentes de luz se les denomina indistintamente lámparas, ampollas, bombillas o bulbos, en este estudio se utilizará la palabra lámpara.

2.2.1.2 Luminaria

Las luminarias son la envolvente que sirve de soporte y conexión a la red eléctrica de una o más lámparas, y cumplen una serie de funcionalidades ópticas y mecánicas además de las eléctricas.

2.2.1.3 Sistemas de control y regulación de la luminaria

Son dispositivos que permiten limitar y controlar el paso de la corriente eléctrica. Algunos tipos de lámparas no pueden ser conectadas directamente a la red eléctrica, por ejemplo, las lámparas fluorescentes requieren de un balasto y las lámparas led de un controlador electrónico.

Las características más importantes de las fuentes de luz o lámparas se describen a continuación:

2.2.1.4 Flujo luminoso

El flujo luminoso o flujo de luz corresponde a la cantidad de luz emitida por una fuente luminosa en todas direcciones, percibida por el ojo humano, y es lo primero que se debe tomar en cuenta al adquirir una lámpara. Esta cantidad de luz proporciona un parámetro objetivo de comparación entre las lámparas, ya que es independiente de la tecnología utilizada. Durante la vida útil de la lámpara,

el flujo de luz de salida disminuye con el tiempo hasta que falla. Su unidad son los lúmenes y se representa por lm [6].

2.2.1.5 Potencia de la lámpara

Corresponde a la potencia eléctrica consumida por la lámpara. Su unidad es el watt y se representa por W.

2.2.1.6 Eficacia luminosa

La eficacia luminosa o eficacia de la lámpara es la capacidad de la lámpara para transformar la energía eléctrica en luz visible. Se define como la razón entre el flujo luminoso emitido por una fuente de luz y la potencia eléctrica consumida por dicha fuente de luz, cuando se encuentra en funcionamiento. Esta transformación de energía eléctrica en energía luminosa va acompañada de radiaciones no visibles y de pérdidas de calor. Básicamente, cuanto mayor sea la eficacia, más eficiente será la lámpara. La eficacia de la lámpara puede variar dependiendo de la tecnología empleada, y generalmente aumenta con la potencia de la lámpara. Es uno de los parámetros más importantes para comparar lámparas y se expresa en lúmenes por Watt (lm/w).

2.2.1.7 Iluminancia

La iluminancia corresponde a la cantidad de luz, en lúmenes, que recibe una superficie determinada dividida por el área de dicha superficie, en metros cuadrados. Su unidad es el Lux, que equivale a lm/m^2 , y depende solo de estos dos parámetros, siendo independiente de la tecnología o fuente de luz utilizada. También se denomina densidad del flujo luminoso.

2.2.1.8 Intensidad luminosa

La intensidad luminosa o de la luz corresponde a la cantidad de flujo luminoso que emite una fuente puntual, en una determinada dirección, por unidad de ángulo sólido. Su unidad de medida es la candela y se representa por cd.

2.2.1.9 Luminancia

Es la cantidad de intensidad luminosa que emite una fuente de luz, en una determinada dirección de observación, dividida por el área de dicha superficie extensa. Es uno de los conceptos más complicados en iluminación, se relaciona con la luminosidad de un objeto, lo que incluye fuentes de luz, superficies que reflejan la luz y materiales que transmiten la luz. Su unidad son las candelas por metro cuadrado y se representa por cd/m^2 .

2.2.1.10 Vida útil de una lámpara

Es el tiempo durante el cual una lámpara o fuente de luz funciona sin perder rendimiento luminoso. No debe confundirse con la vida media de una lámpara, que corresponde al tiempo que ésta dura sin fundirse o deja de funcionar.

2.2.1.11 Temperatura de color

La temperatura de color de una lámpara es una cuantificación del color de la luz. Las lámparas con altas temperaturas de color dan luz blanca fría, relativamente mucho azul en la luz, mientras que las lámparas con temperaturas de color bajas dan luz blanca cálida, relativamente más roja en la luz. Su unidad es el Kelvin y se representa por K.

2.2.1.12 Índice de reproducción cromática IRC

El IRC es la capacidad de la lámpara para reproducir fielmente el color, comparándola con un patrón de referencia.

2.2.2 Tecnologías de iluminación

En general las lámparas se clasifican en tres familias de tecnología [6], dependiendo de la radiación electromagnética que emiten:

- lámparas térmicas
- lámparas de descarga de gas
- lámparas de estado sólido

Dentro de las lámparas del tipo térmica o termal se encuentran las incandescentes y halógenas; dentro de las lámparas de descarga, disponibles en versiones de alta y baja presión que utilizan como gas principal el mercurio o sodio, se encuentran las fluorescentes, y finalmente, en las lámparas de estado sólido que utilizan materiales semiconductores como fuente de iluminación, se encuentran las lámparas led.

2.2.2.1 Lámparas incandescentes

Existe una amplia variedad de lámparas incandescentes, como las de servicio general de iluminación, reflectoras, coloreadas y halógenas. La aplicación más importante de este tipo de lámparas es en la iluminación doméstica o residencial.



Figura 2.1: Ejemplos de lámparas incandescentes. Fuente [6]

Las lámparas incandescentes se desarrollaron originalmente a finales de la década de 1800. El principio de operación de una lámpara incandescente es simple, una corriente eléctrica circula a través de un filamento de alambre de muy alta resistencia calentándolo hasta la incandescencia, por

lo cual se emite una luz blanca cálida. Este filamento es colocado dentro de un bulbo o ampolla que se encuentra al vacío o con un gas inerte de relleno, lo que evita la oxidación.



Figura 2.2: Elementos constitutivos de una lámpara incandescente. Fuente [6]

Los filamentos para lámparas incandescentes están hechos de tungsteno, un metal que tiene la ventaja de tener un alto punto de fusión combinado con una presión de vapor relativamente baja, esta baja presión de vapor contribuye a prolongar la vida útil de la lámpara. La mayoría de las lámparas incandescentes utiliza un gas de relleno, una mezcla de Argón y Nitrógeno cuya principal función es disminuir la tasa de evaporación del filamento, prolongando también la vida útil de la lámpara.

Produce una buena calidad de luz, similar a la luz solar, con una temperatura de color baja.

2.2.2.2 Lámparas halógenas

Las lámparas halógenas se construyen a partir de las lámparas incandescentes, mejorándolas, a las cuales se les introduce un elemento halógeno en los bulbos, tales como Bromuro o Yodo, en pequeñas cantidades con el gas de relleno. Este halógeno evita el ennegrecimiento del bulbo durante la operación de las lámparas incandescentes normales, donde el tungsteno se evapora del filamento depositándose en la pared del bulbo. De esta forma se produce un aumento de la vida útil de las lámparas. A estas lámparas se les denomina halógeno-incandescentes o simplemente, lámparas halógenas.



Figura 2.3: Ejemplos de lámparas halógenas. Fuente [6]

En la tabla 2.1 se muestran las principales características de las lámparas incandescentes y halógenas.

Tabla 2.1: Especificaciones de desempeño de iluminación incandescente y halógena. Fuente [2]

Característica	Valor típico en una lámpara incandescente	Valor típico en una lámpara halógena
Rango de eficacia luminosa	8-17 lm/W	11-21 lm/W
Vida útil de la lámpara	1000-1500 horas	2000-3000 horas
Índice de reproducción cromática (Ra)	100	100
Temperatura de color	2600-2800 K	2800-3200 K
¿Regulación de la intensidad de la luz? (Atenuable)	Si	Si

Las ventajas de las lámparas incandescentes y halógenas son: bajo precio de compra, óptima reproducción cromática, no requieren equipo de control, fácil regulación de la intensidad de la luz y posición de funcionamiento universal. Por su parte, las desventajas son: eficacia reducida (mucha energía desperdiciada en forma de calor), vida útil corta (1.000 horas en incandescentes y 2.000 horas en halógenas), alto costo de operación (consumo) y alta temperatura de operación.

2.2.2.3 Lámparas fluorescentes

Las lámparas fluorescentes pertenecen a la familia de lámparas de descarga de gas de mercurio de baja presión. Son los tipos de lámparas de descarga más utilizados. Están disponibles en versiones lineales y compactas.

Las lámparas fluorescentes lineales (LFL) o tubos fluorescentes son ampliamente utilizados en oficinas, escuelas y locales industriales de techos bajos.

Las principales partes constitutivas de una lámpara fluorescente lineal son: tubo de vidrio, gas de llenado, electrodos, polvo fluorescente y casquillos.

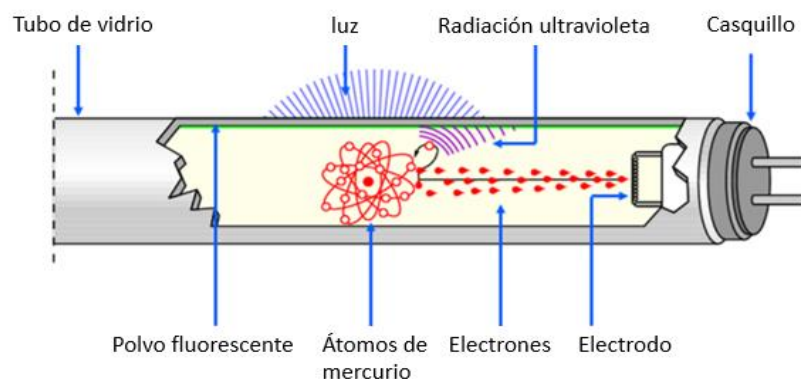


Figura 2.4: Partes constitutivas de una lámpara fluorescente lineal. Fuente [6]

El gas que llena una lámpara fluorescente consiste en una mezcla de vapor de mercurio y un gas inerte. El gas inerte tiene tres funciones, i) facilita el encendido, especialmente a temperaturas más bajas, ii) controla la velocidad de los electrones libres y iii) prolonga la vida útil de los electrodos al reducir la evaporación del material del electrodo. El gas inerte por lo general consiste en una mezcla de argón y neón, aunque a veces se usa también criptón.

La función de los electrodos es proporcionar electrones libres, que son necesarios para iniciar y mantener la descarga. Un electrodo de lámpara fluorescente consiste básicamente en un filamento de tungsteno que está recubierto con el material emisor de electrones.

Los pequeños cristales del polvo fluorescente aplicado al interior del tubo de descarga absorben la radiación de mercurio UV y la convierten en luz visible (este fenómeno físico se llama luminiscencia). Diferentes polvos fluorescentes convierten la radiación ultravioleta en luz visible de diferentes longitudes de onda y, por lo tanto, diferentes colores.

En su funcionamiento la lámpara fluorescente requiere un balasto para limitar y controlar la corriente que fluye a través de ella.

2.2.2.4 Lámparas fluorescentes compactas LFC

Las lámparas fluorescentes compactas (LFC) se desarrollaron originalmente para su uso en aquellas aplicaciones en las que las lámparas incandescentes se usaban tradicionalmente.

El principio de operación de estas lámparas fluorescentes compactas es exactamente el mismo que en las lámparas de descarga de gas lineales. Su característica compacta se logra reduciendo su longitud, esto se hace doblando un tubo más largo en uno más corto, o uniendo dos o más tubos paralelos para que se obtenga un camino abierto donde los electrones y iones libres pueden moverse de un electrodo al otro, como en un fluorescente recto normal tubo, ver ilustración 2.5.



Figura 2.5: Ejemplos de lámparas fluorescentes compactas. Fuente [6]

En cuanto al gas de relleno, electrodos y polvos fluorescentes, las lámparas fluorescentes compactas son esencialmente las mismas que las lámparas fluorescentes lineales.

La principal diferencia en la construcción entre las lámparas fluorescentes compactas y lineales radica en la forma del tubo y las tapas de las lámparas. Otro punto de diferencia es que en aquellas lámparas compactas que necesitan trabajar directamente desde la red eléctrica sin ningún componente eléctrico externo, el partidor y el balasto están integrados en la misma lámpara. En este caso, la base de la lámpara se utiliza para alojar el dispositivo de control.

En la tabla 2.2 se muestran las principales características de las lámparas fluorescentes.

Tabla 2.2: Especificaciones de desempeño de iluminación fluorescente. Fuente [2]

Característica	Valor típico en una LFC	Valor típico en una LFL
Rango de eficacia luminosa	50-70 lm/W	80-110 lm/W
Vida útil de la lámpara	6000-15000 horas	15000-30000 horas
Índice de reproducción cromática (Ra)	70-85	60-95
Temperatura de color	2500-6500 K	2700-6500 K
¿Regulación de la intensidad de la luz? (Atenuable)	Si el balasto es regulable	Si el balasto es regulable

Las ventajas de las lámparas fluorescentes son: costos de operación bajo (consumo), alta eficacia, larga vida de operación, muy buena a excelente reproducción cromática. Por otro lado, las desventajas son: requieren equipo de control (balasto) para su operación, los encendidos y apagados frecuentes pueden acortar su vida útil, para regular la intensidad de la luz se requiere de un balasto especial y contienen mercurio.

2.2.2.5 Lámparas led

Los leds son elementos radiantes de estado sólido donde la luz se crea dentro del material de estado sólido. La emisión de luz se puede obtener cuando una corriente eléctrica pasa a través de tipos específicos de materiales semiconductores. Las versiones de diodos radiantes de luz se denominan diodos emisores de luz o led.

Con su superficie emisora de luz de aproximadamente 0.5 mm² a 5 mm², un chip led individual representa la fuente de luz artificial más pequeña disponible actualmente. Los leds tienen una larga vida útil y, por ser de material de estado sólido, son extremadamente resistentes. Están disponibles en blanco y en versiones de luz de color.

El chip o pastilla led está incrustada en una estructura más grande para su protección mecánica, para las conexiones eléctricas, para la gestión térmica y para un desacoplamiento ligero eficiente.

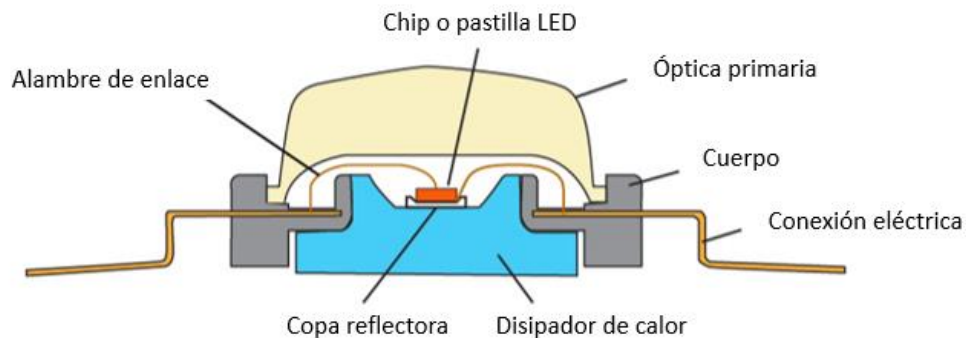


Figura 2.6: Principales componentes de una lámpara Led. Fuente [6]

A diferencia de las lámparas incandescentes y fluorescentes, las lámparas led no son inherentemente fuentes de luz blanca. En su lugar, emiten una luz prácticamente monocromática, lo que las convierte en una fuente sumamente eficiente para aplicaciones de luz de color como los semáforos o las señales de salida. Para poder ser utilizadas como una fuente de luz general, se requiere de una luz blanca, se requiere combinar distintos diodos o utilizar un fósforo. En la ilustración 2.7 se muestran distintas maneras de obtener luz blanca a partir del led y en la ilustración 2.8 ejemplos de lámparas led comerciales.

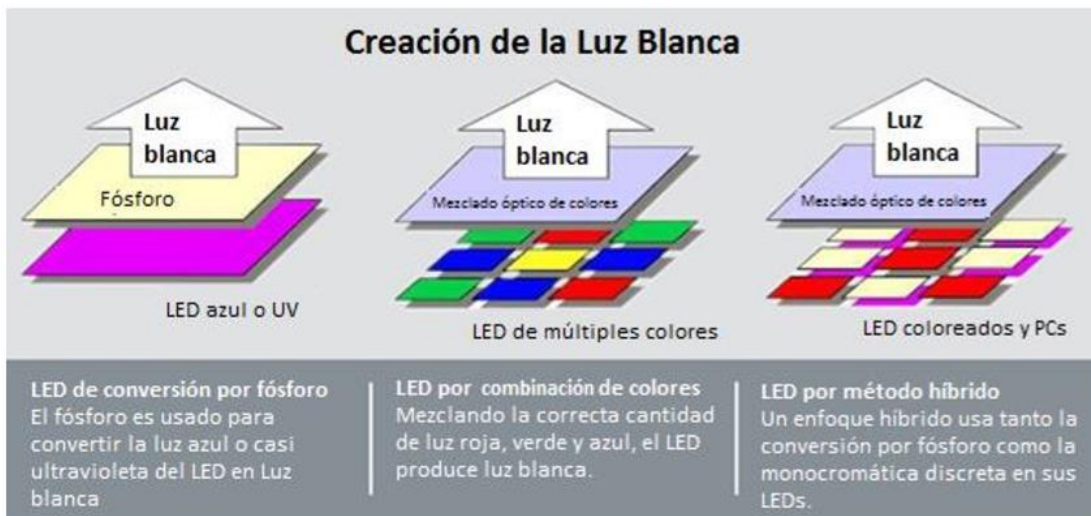


Figura 2.7: Producción de luz blanca con led. Fuente [2]



Figura 2.8: Ejemplos de lámparas Led. Fuente [6]

En la tabla siguiente se muestran las principales características de las lámparas led.

Tabla 2.3: Especificaciones de desempeño de iluminación led. Fuente [2]

Característica	Valor típico en una lámpara LED
Rango de eficacia luminosa	60-130 lm/W
Vida útil de la lámpara	15000-30000 horas
Índice de reproducción cromática (Ra)	70-95
Temperatura de color	2700-6500 K
¿Regulación de la intensidad de la luz? (Atenuable)	Con controlador regulable

Las ventajas de la iluminación led son: fuentes de luz con la mayor eficacia disponible, ofrece los costos de operación más bajos, vida útil muy larga (superior a las 15.000 horas), mayor flujo luminoso en un espacio pequeño (bueno para el control óptico), puede ofrecer una excelente reproducción cromática, encendido y reencendido al instante, posibilidad de regular la intensidad de la luz, no contiene mercurio. En tanto que sus desventajas son: requieren equipos de control para su operación, elevado costo inicial relativo (en disminución), requiere un diseño térmico adecuado porque el calor residual se conduce pues no se proyecta.

2.2.2.6 Comparación de tipos de lámparas

Los parámetros más importantes que permiten comparar diferentes tecnologías de lámpara desde el punto de vista de la eficiencia energética son la eficacia luminosa y la vida útil.

De acuerdo con lo revisado en los puntos anteriores, se obtiene la siguiente tabla resumen:

Tabla 2.4: Comparación de fuentes de iluminación. Elaboración propia

Característica	Lámpara incandescente	Lámpara halógena	Lámpara LFC	Lámpara LED
Rango de eficacia luminosa	8-17 lm/W	11-21 lm/W	50-70 lm/W	60-130 lm/W
Vida útil de la lámpara	1000-1500 horas	2000-3000 horas	6000-15000 horas	15000-30000 horas
Índice de reproducción cromática	100	100	70-85	70-95
Temperatura de color	2600-2800 K	2800-3200 K	2500-6500 K	2700-6500 K

De la tabla anterior, se desprende que las lámparas fluorescentes compactas LFC, en comparación con las lámparas incandescentes y halógenas, consumen aproximadamente un 75% menos de electricidad para producir la misma cantidad de luz y tienen una vida útil de 10 veces más.

Por su parte, una lámpara led posee más del doble del rendimiento energético comparada con una lámpara LFC y es 10 veces más eficiente que una lámpara incandescente.

En cuanto a la calidad de la fuente de luz, las lámparas incandescentes y halógenas presentan un nivel óptimo del índice de reproducción cromática, en tanto que las lámparas Led tienen mejor índice de reproducción cromática que las lámparas LFC y temperaturas de color de mayor espectro entre todas las tecnologías.

Se realiza un estudio de lámparas de uso residencial en el comercio electrónico, levantando información de las principales características de los productos de iluminación que se comercializan en el país, entre otras, potencia consumida, vida útil, eficacia lumínica y precio. Ver anexo A.

Los niveles de eficacia lumínica, expresados en lm/W, de las lámparas led presentan los mejores índices alcanzando, en promedio, 87 lm/W. Por otra parte, las halógenas poseen un nivel de 16

lm/W, en promedio, donde los mejores modelos tienen eficiencias similares a las peores unidades de LFC disponibles en el mercado.

En la siguiente ilustración se muestran los intervalos de rendimiento lumínico encontrados en el estudio, esto releva la gran disparidad de eficiencia entre las tecnologías presentes en el mercado nacional.

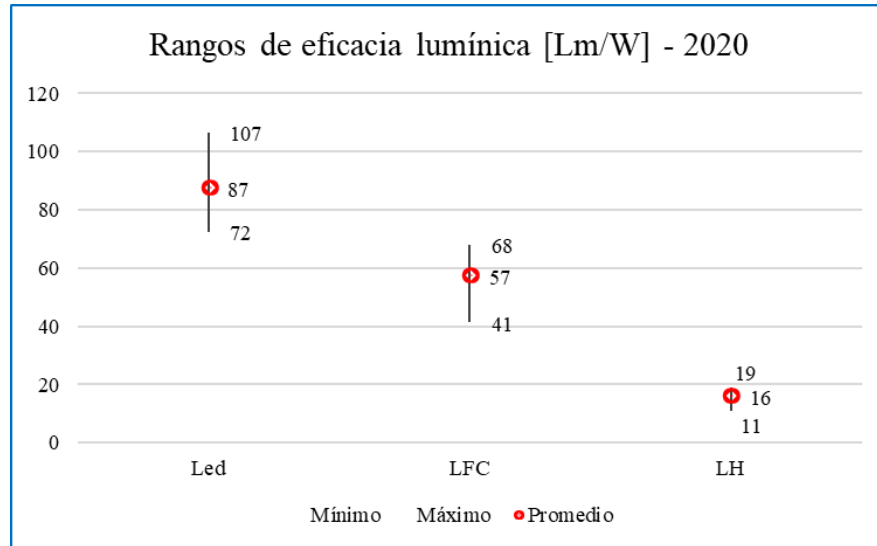


Figura 2.9: Niveles de eficacia lumínica de las lámparas, 2020. Elaboración propia

2.2.3 Eficiencia energética

La eficiencia energética corresponde al conjunto de iniciativas y acciones que permiten reducir la cantidad de energía eléctrica y de combustibles que es utilizada, pero conservando la calidad y el acceso a los bienes y servicios. Para lograr lo anterior, puede implementarse un cambio tecnológico, creando nuevas técnicas que incrementen el rendimiento de los artefactos o desarrollando nuevos diseños de máquinas y recintos habitables, mejorando la gestión de la energía, o simplemente cambiando los hábitos y actitudes de las personas [4][7].

El uso de una lámpara led o una lámpara fluorescente compacta (LFC) que requiere menos energía que una lámpara incandescente para producir la misma cantidad de luz es un ejemplo de eficiencia energética [8].

2.2.4 Etiquetado de eficiencia energética

Corresponde a una etiqueta informativa de productos relacionados con la energía, con la especificación de una serie de características técnicas y energéticas, que proporciona datos a los consumidores para que puedan adquirir estos productos con la información adecuada desde el punto de vista de la eficiencia energética [4][9].

2.2.4.1 Objetivos del etiquetado de eficiencia energética

- Proveer información clara y útil que permita una decisión de compra informada
- Entregar otros atributos de los productos además de los precios
- Incentivar a los consumidores para que elijan productos más eficientes
- Incentivar a los fabricantes para mejorar el desempeño energético de sus productos

2.2.4.2 Tipos de etiquetado de eficiencia energética

- Etiquetas de aprobación sobre una especificación, que expresan cumplimiento.
- Etiquetas de comparación, que entregan información para comparar productos.
- Etiquetas de información, cuya función es proporcionar datos sobre el rendimiento del producto



Figura 2.10: Ejemplos de etiquetas utilizadas en otros países. Fuente [4]

2.2.4.3 Criterios de selección de productos para el etiquetado de eficiencia energética

Las principales variables que utilizan las autoridades para seleccionar un artefacto a ser etiquetado son el peso del artefacto en el consumo energético en las viviendas, existencia de normas técnicas a nivel internacional, disponibilidad tecnológica para generar cambios en el mercado, evolución de las ventas anuales en el tiempo, proyección de las ventas a futuro y ciclo de vida de los productos.

2.2.4.4 Etiquetado de eficiencia energética en Chile

Las etiquetas de eficiencia energética utilizadas en Chile, generalmente junto con entregar información sobre el rendimiento de los artefactos, clasifican a los productos y equipos en una escala de letras, donde la primera letra de la etiqueta (color verde) corresponde a lo más eficiente y la última letra de la escala (color rojo) a los artefactos que tienen un mayor consumo y por lo tanto son menos eficientes.

Las primeras etiquetas de eficiencia energética implementadas en Chile fueron para lámparas incandescentes de uso general o usualmente llamadas ampolletas corrientes.

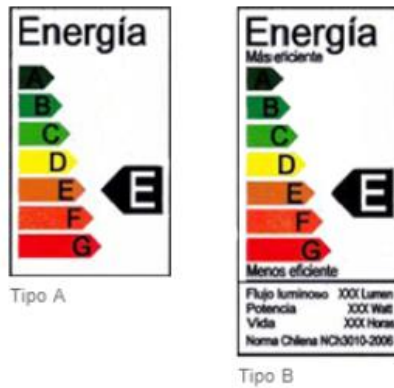


Figura 2.11: etiqueta de eficiencia energética para lámparas incandescentes. Fuente [10]

2.2.5 Estándares mínimos de eficiencia energética

Especificación de una serie de requisitos de desempeño energético que un producto debe cumplir para su comercialización, y que limita la cantidad máxima de energía que puede ser consumida por un producto en el desempeño de una tarea específica. El desempeño puede medirse mediante un índice de eficiencia energética, eficiencia mínima o consumo de energía máximo [4][11].

Los estándares mínimos de eficiencia energética, es una política pública que establece requisitos para la comercialización de productos relacionados con energía y a nivel internacional, es una de las medidas de eficiencia energética más costo-efectiva [12].

2.2.5.1 Criterios de selección de productos para fijar estándares mínimos de eficiencia energética

- Potencial de ahorro energético: productos que presenten mayor potencial de ahorro de energía;
- Tenencia: productos de uso masivo o de alta tenencia en el sector de consumo respectivo;
- Factibilidad: productos en los que sea viable técnica y económicamente fijar un estándar mínimo de eficiencia energética;
- Experiencia internacional: productos respecto de los cuales exista experiencia relevante y documentada a nivel internacional, respecto de los cuales existan normas técnicas de general aplicación o que ya estén sujetos a estándares mínimos de eficiencia energética.

2.3 Marco regulatorio aplicable

2.3.1 Institucionalidad de la eficiencia energética en Chile

El marco regulatorio para la iluminación eficiente se comenzó a construir en el año 2005, sobre el marco legal de normativas y regulaciones de certificación de seguridad y calidad de productos, establecidas en el Decreto Supremo N°298 de 2005, que aprueba el Reglamento para la Certificación de Productos Eléctricos y de Combustibles. Actualmente ambos objetivos, seguridad

y eficiencia, estructuran una base legal que obliga a los fabricantes, importadores y comercializadores a obtener un certificado para sus productos, independiente de su origen, que prueben cumplir con alguno de los sistemas de certificación permitidos, dando cumplimiento a los protocolos de análisis y/o ensayos respectivos establecidos por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles SEC. Dicho certificado de aprobación sólo puede ser otorgado por un Organismo de Certificación autorizado por SEC específicamente para el producto en trámite y los ensayos deben ser realizados por laboratorios acreditados [13]. El desempeño técnico de las tecnologías de iluminación estudiadas previamente se indica en el certificado de eficiencia y/o etiqueta de eficiencia energética, siendo obligatorias para las lámparas incandescentes, lámparas fluorescentes compactas, lámparas halógenas y lámparas led.

Es así como en el año 2005 fue creado el Programa País de Eficiencia Energética PPEE de la Comisión Nacional de Energía CNE, dependiente del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, dando origen a las primeras acciones concretas para el fomento de la eficiencia energética. En el año 2006 obtuvo su primer presupuesto y con ello el inicio formal de la operación del PPEE.

En el año 2007, en conjunto con otras instituciones, surge el etiquetado de eficiencia energética, presentando la primera campaña comunicacional denominada “Campaña Nacional para el Buen Uso de la Energía”, con el lema “Usa Bien la Energía. Sigue la Corriente”, creando mesas regionales de eficiencia energética y comenzando con el diagnóstico de diversos sectores productivos del país, entre otras acciones.

En el año 2010 se consolida la nueva institucionalidad, se crea el Ministerio de Energía que entre sus divisiones cuenta con la División de Eficiencia Energética, encargada de proponer las políticas públicas de eficiencia energética a nivel de Gobierno. Por otra parte, el Programa País de Eficiencia Energética da paso a la Agencia Chilena de Eficiencia Energética (ACHEE), fundación de derecho privado, sin fines de lucro, cuya misión es promover, fortalecer y consolidar el uso eficiente de la energía en el país y ser el brazo ejecutor de las políticas públicas. La ACHEE cuenta con un directorio conformado por representantes del Ministerio de Energía, Ministerio de Hacienda y de la Confederación de la Producción y del Comercio. Así, la División de Eficiencia Energética del Ministerio y la ACHEE trabajan de manera conjunta para mejorar la eficiencia energética.

En el año 2018, es creada la Agencia de Sostenibilidad Energética en reemplazo de la ACHEE [14], luego de más de 7 años de funcionamiento se requería una mirada más integral, para aprovechar las sinergias entre la eficiencia energética y otras temáticas como la electromovilidad, energías renovables, generación distribuida y energía distrital.

2.3.2 Fundamentos legales

Los siguientes cuerpos legales dan el marco regulatorio aplicable en el presente estudio respecto de las políticas públicas en materia de eficiencia energética y estándares mínimos de desempeño energético.

- Decreto Ley 2.224 de 1978, del Ministerio de Minería. Crea la Comisión Nacional de Energía.

- Ley 20.402 de 2009, del Ministerio de Minería. Crea el Ministerio de Energía y le confiere atribuciones en el artículo 4° letra h para fijar estándares mínimos de eficiencia energética [15].
- Decreto N°298 de 2005, del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. Aprueba el reglamento para la certificación de productos eléctricos y de combustibles [16].
- Decreto Supremo N°97 de fecha 15.11.2011, del Ministerio de Energía. Aprueba reglamento que establece el procedimiento para la fijación de estándares mínimos de eficiencia energética y normas para su aplicación, dando operatividad a la Ley. Reglamento que establece el procedimiento para la fijación de estándares mínimos de eficiencia energética y normas para su aplicación fue publicado en el Diario Oficial el 14 de mayo de 2012 [11].
- Decreto Supremo N°64 de fecha 06.06.2013, del Ministerio de Energía. Aprueba reglamento que establece el procedimiento para la elaboración de las especificaciones técnicas de las etiquetas de consumo energético y normas para su aplicación [9].
- Resolución Exenta N°60 de fecha 18.12.2013, del Ministerio de Energía. Establece el estándar mínimo de eficiencia energética para lámparas incandescentes [5].
- Resolución Exenta N°6277 de fecha 18.12.2013, de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles. Instruye y fija el programa de implementación del estándar mínimo de eficiencia energética para lámparas incandescentes [17].

2.4 Referencias internacionales

Desde hace más de dos décadas, muchos países han adoptado normativas sobre la eficiencia energética en productos de iluminación para transformar sus mercados y favorecerse de las fuentes de luz que presentan una mayor eficiencia.

La Unión Europea desde la década de los 90 ha tomado medidas destinadas a fomentar la eficiencia energética de los productos comercializados en su mercado común. La primera Directiva, en septiembre de 1992, tuvo como objetivo la armonización de las medidas nacionales relativas a la publicación, en especial por medio del etiquetado y de la información sobre los productos, de datos sobre el consumo de energía y de otros recursos esenciales, de manera que los consumidores pudieran elegir aparatos con un mejor rendimiento energético. Desde la publicación de esa Directiva se han realizado varias actualizaciones que han aumentado los niveles de exigencia para los productos de iluminación comercializados en Europa. En la Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de octubre de 2009 se instaura un marco para el establecimiento de requisitos de diseño ecológico y define un cronograma de implementación de MEPS para la iluminación residencial que entró en vigor en septiembre de 2009 [18].

En Estados Unidos, en 2007, el Congreso promulgó la Ley de Seguridad e Independencia Energética [19], diseñada para reducir el uso de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero y hacer del país menos dependiente de fuentes energéticas extranjeras, además,

estableció la eliminación de las lámparas incandescentes de manera gradual. Posteriormente, en 2017, el Departamento de Energía propuso un estándar mínimo de 45 lm/W con vigencia a partir del 1 de enero de 2020. El estándar 45 lm/W básicamente prohíbe la futura comercialización de lámparas incandescentes y halógenas porque no pueden cumplir con este nivel mínimo de eficiencia. En lugar de ello, los consumidores podrán elegir entre las lámparas fluorescentes compactas y las lámparas LED, tecnologías eficientes y duraderas, a partir del 1 de enero de 2020. Es probable que los consumidores compren tecnología LED debido a su rendimiento superior.

Canadá, en enero de 2014, entró en vigor la prohibición de comercialización de ampollas incandescentes. En cuanto a los requisitos generales para productos de iluminación, estos se encuentran publicados en las “regulaciones de eficiencia energética, 2016, SOR/2016-311 [20], cuya última modificación fue realizada el 31 de octubre de 2018 y que entró en vigor en abril de 2019.

Australia y Nueva Zelanda, desde 2012, las lámparas incandescentes y halógenas están sujetas a los estándares de emisiones y mínimos energéticos (Greenhouse and Energy Minimum Standards) [21], bajo esta normativa se regula la eficiencia energética y estándares asociados a la calidad. Las regulaciones de eficiencia energética están en continua revisión, por ejemplo, en abril de 2018 se publicó la nueva regulación para promover la iluminación eficiente, a través de la tecnología LED.

China, en 2011 definió un cronograma de prohibición de uso de lámparas incandescentes en 2011.

México, desde enero de 2019, se prohíbe la importación o comercialización de las lámparas incandescentes y halógenas, de acuerdo con lo establecido en la norma oficial sobre eficiencia energética de lámparas para uso general, lo que abre paso a la migración en su totalidad a una iluminación más eficiente con tecnología LED [22].

Brasil, desde 2010, presenta requisitos para la venta de productos de iluminación basado en su eficacia energética, en particular para lámparas incandescentes y lámparas fluorescentes compactas [23]. Con respecto a las lámparas LED, desde 2014 mantiene obligación de certificar requisitos mínimos de eficiencia energética y seguridad. Un aspecto significativo dentro de las políticas de eficiencia energética en Brasil es el uso de etiqueta complementado por el Sello Procel, que premia los mejores productos dentro de cada categoría.

Colombia, en septiembre de 2008, el Ministerio de Minas y Energía dicta medidas sobre uso racional y eficiente de energía eléctrica, y se establece la obligatoriedad de sustituir en todo el territorio colombiano, las fuentes de iluminación de baja eficacia, incluidas las lámparas fluorescentes, por las fuentes de iluminación de mayor eficacia lumínica [24]. Esta medida señala que a partir del 1 de enero del año 2011 no se permite en el territorio de la República de Colombia la importación, distribución, comercialización y utilización de fuentes de iluminación de baja eficacia lumínica.

Argentina, en diciembre de 2010, prohíbe la importación y comercialización de lámparas incandescentes de uso residencial general [25]. En diciembre de 2018, hace extensiva la prohibición de importar y comercializar a las lámparas halógenas en todos sus tipos y modelos.

3. Metodología

Para alcanzar el objetivo de analizar el impacto en el consumo eléctrico por la aplicación en Chile de la política pública de estándar mínimo de eficiencia energética para lámparas incandescentes, el enfoque del estudio fue principalmente de investigación con análisis de tipo cualitativo y cuantitativo de los antecedentes recolectados.

El método de recolección de datos para el estudio se fundó en el análisis y extracción de información de las bases de datos de certificación de productos eléctricos, del periodo 2010-2019, disponibles en SEC y en la revisión del resultado del estudio de usos finales de la energía, realizado a través de encuestas aplicadas a más de 3.500 hogares en el año 2018 [3]. Para el desarrollo de los cálculos y representación gráfica se utilizó planilla Excel.

El presente estudio se justifica porque los métodos de evaluación de resultados de las políticas públicas disponibles en la literatura se basan en proyecciones y estimaciones a futuro, no existiendo informes con la evaluación de resultados reales.

3.1 Metodología general

La metodología general propuesta para dar cumplimiento al objetivo del presente estudio se inicia con la revisión bibliográfica, después de forma paralela, por una parte, se analiza el estándar mínimo de eficiencia energética establecido el año 2013 a lámparas incandescentes y, por otro lado, se procede con la recolección de los datos a utilizar en el estudio y con la definición de los casos de estudio, luego se presentan las fórmulas de cálculo correspondientes y se finaliza con el análisis de los resultados obtenidos. La metodología se muestra en la ilustración siguiente.

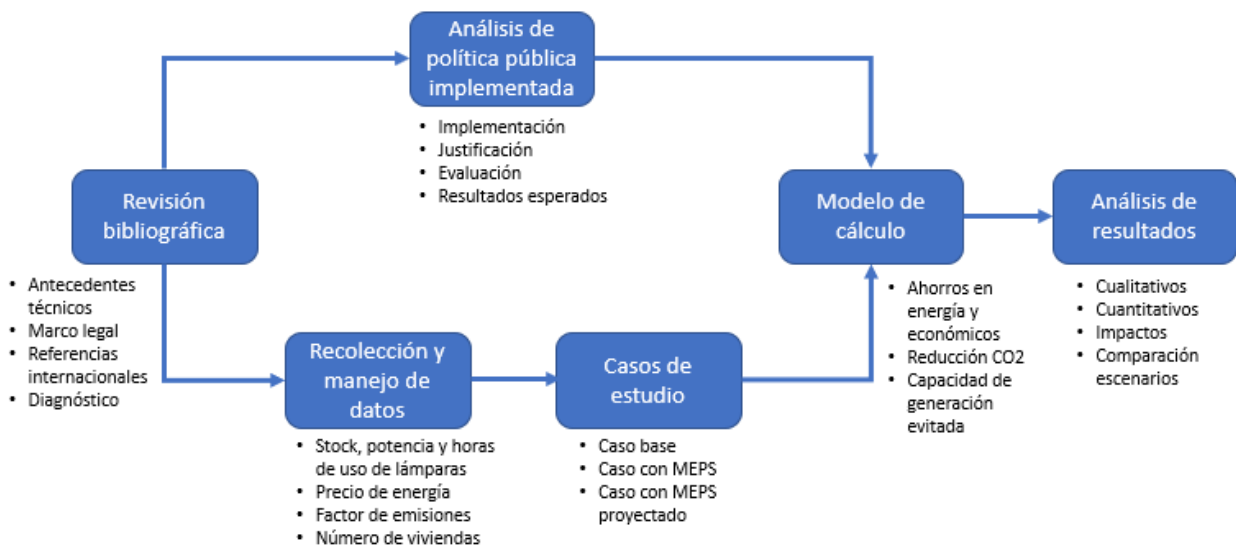


Figura 3.1: Metodología. Elaboración propia

3.2 Revisión bibliográfica

La primera fase de la metodología es la revisión bibliográfica que cimenta las bases de la investigación a realizar, entregando una referencia para el desarrollo del estudio.

Se efectúa un estudio de manuales técnicos de los fabricantes de fuentes de luz, a fin de conocer las características y factores relevantes que inciden en el consumo energético, describiendo y analizando las ventajas y desventajas de las diferentes tecnologías que se utilizan a nivel residencial, como son las lámparas incandescentes, halógenas, fluorescentes compactas y led.

Se profundiza en el concepto de eficiencia energética y de estándares mínimos de desempeño energético.

Se analiza la normativa legal vigente en Chile respecto de las políticas públicas de eficiencia energética y de las medidas adoptadas en este sentido, que dan el marco reglamentario del estudio.

Se realiza una revisión de medidas similares de ahorro energético implementadas para iluminación en otros países.

De la revisión bibliográfica es posible concluir que no existen estudios con resultados e impactos reales en el consumo eléctrico debido a la aplicación de políticas públicas de ahorro energético.

Los estudios analizados solo presentan proyecciones a futuro al momento de evaluar el costo-beneficio de su implementación.

3.3 Análisis de la medida aplicada en el año 2013 en Chile

En esta parte de la metodología se realiza una revisión de la política pública implementada en Chile para lámparas incandescentes, describiendo su justificación, evaluación y los resultados que fueron proyectados.

3.3.1 Implementación y programa de aplicación de la política pública

La resolución exenta N°6277 de fecha 18.12.2013, de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles, aplicó la política pública de estándares mínimos de eficiencia energética (MEPS) para lámparas incandescentes y fijó el programa de implementación, según lo establecido por el Ministerio de Energía [5]. De acuerdo con el programa indicado, los fabricantes e importadores de lámparas incandescentes no pueden comercializar las lámparas según las fechas señaladas en la tabla 2.5 siguiente. Esta resolución no prohíbe a los comercializadores finales la comercialización de los productos, siempre y cuando hayan sido adquiridos antes de las fechas de prohibición de señaladas, hasta agotar el stock de estas lámparas [17].

Tabla 3.1: Programa de implementación de MEPS para lámparas incandescentes. Fuente [17]

Periodo	Potencia lámpara incandescente	Fecha efectiva de aplicación
Transcurridos 12 meses desde la dictación de la Resolución	Potencia > 75 W	18.12.2014
Transcurridos 12 meses desde la dictación de la Resolución	Potencia > 40 W	18.06.2015
Transcurridos 12 meses desde la dictación de la Resolución	Potencia \geq 25 W	18.12.2015

De acuerdo con la tabla anterior, a contar del 18.12.2014, se prohibió la importación de lámparas incandescentes con una potencia superior a 75 W, a contar del 18.06.2015, se prohibió la importación de lámparas incandescentes con una potencia mayor a 40 W y, a contar del 18.12.2015, ya no pueden ingresar al territorio nacional lámparas de potencia igual o superior a 25 W.

3.3.2 Justificación de la medida aplicada

En la decisión de selección del producto al cual aplicar la política pública de estándar mínimo de desempeño se tomó en consideración el peso del artefacto en el consumo eléctrico, la existencia de alternativa tecnológica para impulsar el cambio y la experiencia nacional e internacional.

De acuerdo con el estudio de usos finales y curva de oferta de la conservación de la energía en el sector residencial, realizado el año 2009 [3], la distribución en el consumo de energía eléctrica residencial a nivel total país era el que se muestra en la figura siguiente:

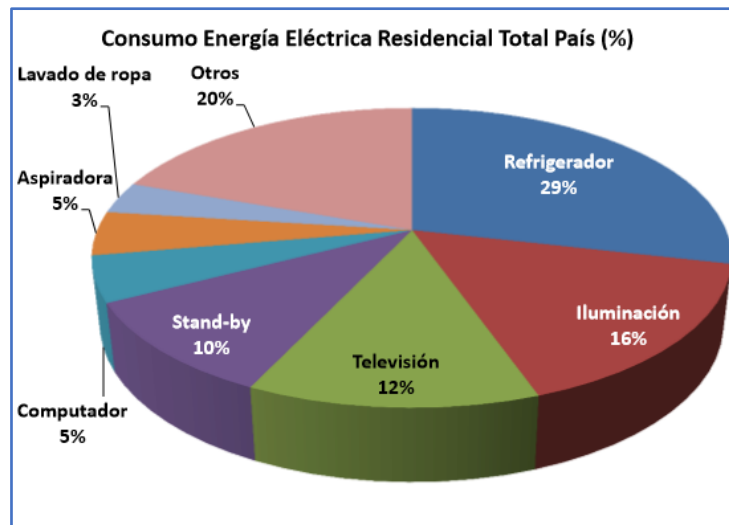


Figura 3.2: Consumo de energía eléctrica residencial total país (%). Fuente [3]

Como se observa, el 16% del consumo eléctrico total a nivel residencial, en el año 2009, era por artefactos de iluminación.

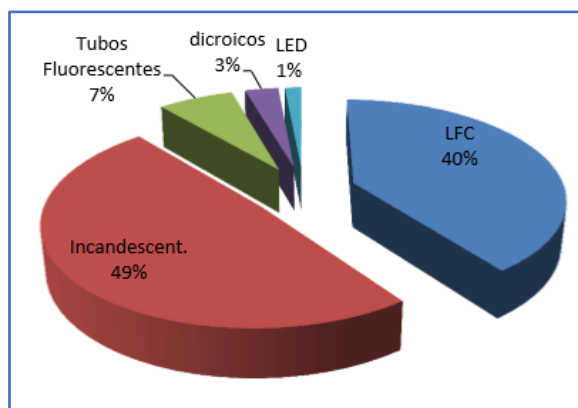


Figura 3.3: Tipos de lámparas a nivel residencial. Fuente [3]

El gráfico anterior muestra la distribución del consumo eléctrico por tipo de tecnología de lámparas, siendo la lámpara incandescente la que más consumo eléctrico representaba, 49%. Además, puede verificarse que la lámpara fluorescente compacta LFC es la alternativa tecnológica existente que permitió impulsar el cambio.

3.3.3 Evaluación de la política pública

Para el análisis técnico-económico de la política pública se utilizó una herramienta denominada Policy Analysis Modeling System (PAMS), desarrollada por Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) para el Programa Colaborativo para el Etiquetado y Estándares de Artefactos CLASP [4][26], que permite la evaluación de los costos y beneficios a nivel del consumidor, además, evaluar una amplia gama de impactos a nivel nacional, tales como energía ahorrada, valor presente neto del ahorro, reducción de gases de efecto invernadero (CO₂) y capacidad de generación evitada debido a una determinada política.

Los parámetros de entrada utilizados en la evaluación son:

- Precios de venta de las lámparas
- Categoría de eficiencia energética de las lámparas
- Potencia eléctrica de las lámparas
- Horas de uso por día de las lámparas
- Stock y penetración de lámparas eficientes en el mercado, en este caso LFC

Los resultados esperados que entrega la herramienta son a nivel de hogares y a nivel del país.

3.3.4 Resultados proyectados por la implementación de la política pública

La herramienta PAMS señalada en el punto anterior, examinó, desde el punto de vista de los hogares individuales, los costos y beneficios de utilizar lámparas fluorescentes compactas en lugar de lámparas incandescentes.

Tabla 3.2: Beneficios proyectados en 2013 por MEPS de lámparas incandescentes. Fuente [27]

Beneficios a nivel país debido a la política pública	
Ahorros acumulados en generación de energía hasta 2020	8.635 GWh
Ahorros acumulados en generación de energía hasta 2030	9.261 GWh
Ahorros acumulados de energía primaria hasta 2020	1.671 Mtoe
Ahorros acumulados de energía primaria hasta 2030	1.792 Mtoe
Emisiones de CO2 evitadas hasta 2020	4,51 Mt
Emisiones de CO2 evitadas hasta 2030	8,83 Mt
Potencia desplazada máxima en el periodo en hora punta	872 MW

En la tabla 3.2 anterior se presentan los resultados esperados por la implementación en 2013 de la política pública para lámparas incandescente.

Desde el punto de vista nacional, la herramienta PAMS incluye los costos y beneficios agregados a nivel de país, para proyectar los resultados financieros, energéticos y medioambientales esperados por la aplicación de la política pública de MEPS.

3.4 Recolección y manejo de datos

Con el objeto de contar con los antecedentes necesarios que permitan dimensionar y abordar el problema, en esta sección de la metodología se analiza el parque de iluminación de uso residencial, específicamente la cantidad total de unidades de lámparas (ampolletas) comercializadas e instaladas por cada tipo de tecnología a nivel de hogares y a nivel país, a saber, lámparas incandescentes, lámparas fluorescentes compactas, lámparas halógenas y lámparas led. Para ello se considera la información de certificación de productos eléctricos administrada por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles y los resultados entregados por el estudio de usos finales y curva de oferta de la conservación de la energía en el sector residencial, del año 2018, estudio que presenta la forma en que se utilizaba la energía en ese año [3].

Además, se investiga respecto del precio de la energía, factores de emisión de gases de efecto invernadero y del número de viviendas en Chile.

3.4.1 Caracterización del mercado de lámparas de uso residencial

Se realiza un análisis de las bases de datos de certificación de productos disponibles en la Superintendencia de Electricidad y Combustibles, con el objeto de extraer información respecto de la comercialización de lámparas por cada tipo de tecnología, obteniendo resúmenes y gráficos de la evolución de lámparas incandescentes, halógenas, fluorescentes compactas y led, incluidas en el estudio.

3.4.1.1 Ventas de lámparas incandescentes

Entre los años 2011 y 2019 se comercializaron en Chile un total de 128.192.122 unidades de lámparas incandescentes. En el gráfico N°4.1 siguiente se muestra la evolución en el tiempo de la cantidad de lámparas incandescentes para uso residencial.

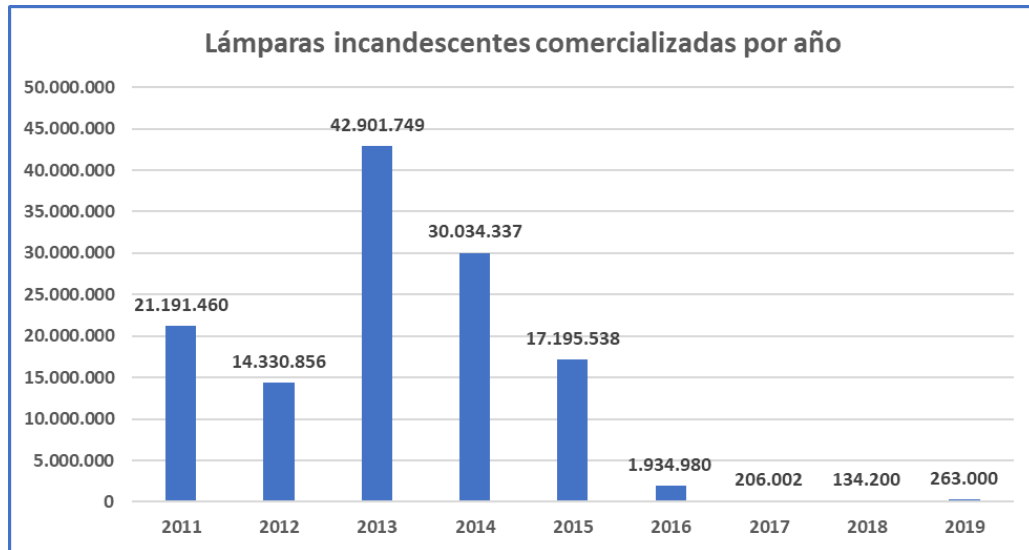


Figura 3.4: Evolución de lámparas incandescentes. Elaboración propia en base SEC

Como se observa en el gráfico anterior, la mayor cantidad de lámparas incandescentes fueron comercializadas en los años 2013 y 2014 y, a contar del año 2016, se produce un descenso significativo en la comercialización de este tipo de lámparas. Las ventas de este tipo de lámparas, en el año 2017, representó el 0,5% del total comercializado en el año 2013.

3.4.1.2 Ventas de lámparas fluorescentes compactas LFC

Entre los años 2011 y 2019 se comercializaron en Chile 80.804.062 unidades de lámparas fluorescentes compactas. En el gráfico N°4.2 siguiente se muestra la evolución en el tiempo de la cantidad de lámparas fluorescentes compactas comercializadas.

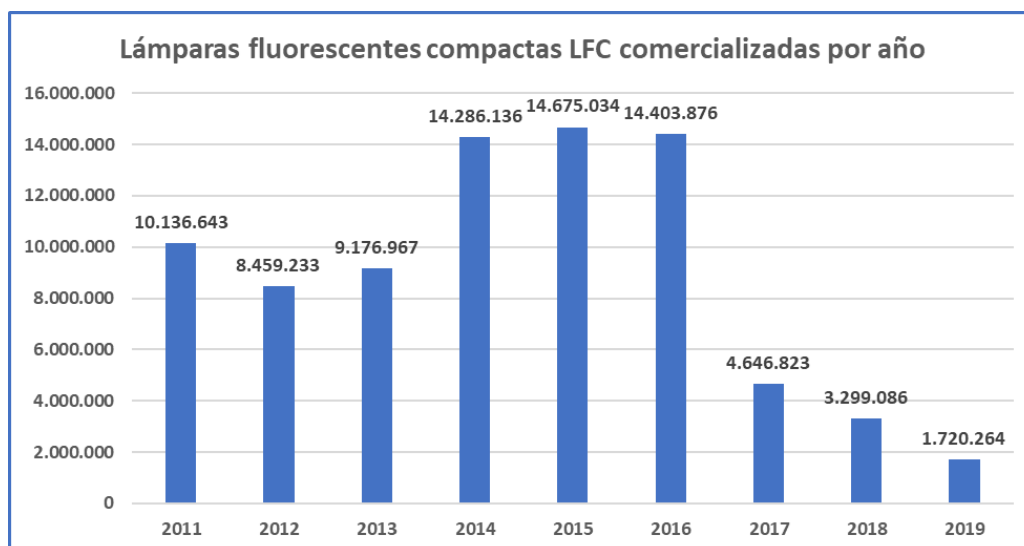


Figura 3.5: Evolución de lámparas fluorescentes compactas. Elaboración propia en base SEC

Como puede observarse en el gráfico anterior, entre los años 2014 y 2016 se comercializó la mayor parte de lámparas LFC, correspondiendo al 54% del total de este tipo de lámparas en el periodo bajo estudio. Sin embargo, a contar del año 2017 se produce una disminución importante en las ventas de este tipo de tecnología.

3.4.1.3 Ventas de lámparas halógenas

En el año 2015 comenzó la obligatoriedad de certificación de las lámparas halógenas para su comercialización y hasta diciembre del año 2019 se habían comercializado en Chile 47.422.439 unidades. En el gráfico N°4.3 siguiente se muestra la evolución en el tiempo de la cantidad de lámparas halógenas comercializadas.



Figura 3.6: Evolución de lámparas halógenas. Elaboración propia en base SEC

Como se observa en el gráfico, en el año 2016 se concentró la mayor cantidad de lámparas halógenas comercializadas, aumentando en un 265% respecto del año 2015. Las lámparas

halógenas reemplazaron a las lámparas incandescentes luego de la implementación del estándar mínimo de eficiencia energética para estas últimas.

3.4.1.4 Ventas de lámparas led

Al igual que las lámparas halógenas, la obligatoriedad de certificación de las lámparas led para su comercialización se inició en el año 2015. De acuerdo con la información disponible en los registros de certificación de SEC, entre los años 2014 y 2019 fueron comercializadas en Chile 38.941.687 unidades de lámparas led para uso residencial. En el gráfico N°4.4 siguiente se muestra la evolución en el tiempo de la cantidad de lámparas led comercializadas.

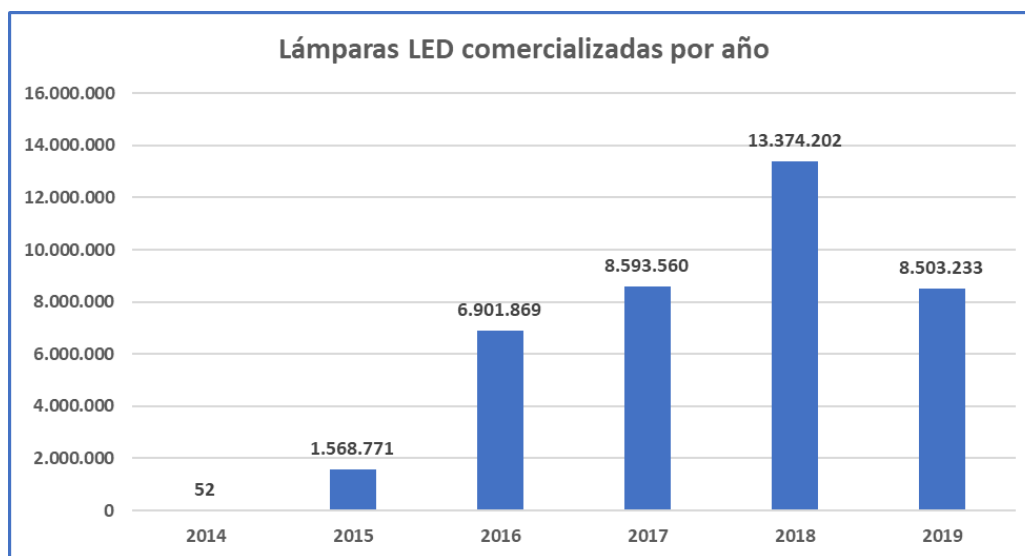


Figura 3.7: Evolución de lámparas led. Elaboración propia en base SEC

Como se muestra en el gráfico, en el año 2018 se concentró la mayor venta de lámparas led, con más de 13 millones de unidades, representando un aumento del 56% respecto del año anterior.

3.4.1.5 Resumen de la comercialización en Chile de lámparas de uso residencial

De acuerdo con los antecedentes anteriores, el mercado de lámparas de uso residencial, considerando las tecnologías incandescentes, fluorescentes compactas, halógenas y led, ha evolucionado como se muestra en la tabla resumen siguiente:

Tabla 3.3: Ventas de lámparas por año y tipo de tecnología. Elaboración propia en base SEC

Tipo de lámpara	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Lámparas incandescentes	21.191.460	14.330.856	42.901.749	30.034.337	17.195.538	1.934.980	206.002	134.200	263.000
Lámparas LFC	10.136.643	8.459.233	9.176.967	14.286.136	14.675.034	14.403.876	4.646.823	3.299.086	1.720.264
Lámparas halógenas					4.303.108	15.729.257	8.488.774	11.194.776	7.706.524
Lámparas LED				52	1.568.771	6.901.869	8.593.560	13.374.202	8.503.233
Total	31.328.103	22.790.089	52.078.716	44.320.525	37.742.451	38.969.982	21.935.159	28.002.264	18.193.021

3.4.2 Cantidad de lámparas instaladas en Chile

Utilizando los datos de comercialización de lámparas presentados en la tabla 3.3. anterior y la vida útil en años por cada tipo de tecnología, es posible determinar la cantidad de lámparas instaladas a nivel residencial en el país.

En la tabla 2.4, comparación de fuentes de iluminación, se indica el rango en horas de la vida útil de las lámparas, cuyos valores más pesimistas son 1.000 horas para las incandescentes, 6.000 horas para las fluorescentes compactas, 2.000 horas para las halógenas y 15.000 horas para las Led. Considerando 4 horas de uso promedio al día, la vida útil en años de las lámparas es la que se indica en la tabla 3.4 siguiente:

Tabla 3.4: Vida útil de lámparas por tipo de tecnología. Elaboración propia

Tipo de lámpara	Vida útil (años)
Lámparas incandescentes	1
Lámparas LFC	4
Lámparas halógenas	1
Lámparas LED	10

De acuerdo con la tabla anterior, puede estimarse que la cantidad de lámparas incandescentes y halógenas instaladas en un año determinado corresponde a la cantidad de lámparas comercializadas en el mismo año, puesto que su vida útil se aproxima a 1 año. En el caso de las lámparas fluorescentes, como su vida útil es de 4 años, la cantidad instalada corresponde a la suma de las ventas de 4 años y en el caso de las lámparas Led corresponde a la suma de las ventas de 10 años.

De acuerdo con la metodología descrita, en la tabla 3.5 se presenta la cantidad determinada de lámparas instaladas por año y por tipo de tecnología.

Tabla 3.5: Cantidad de lámparas instaladas por año en Chile. Elaboración propia

Tipo de lámpara	2015	2016	2017	2018	2019
Lámparas incandescentes	17.195.538	1.934.980	206.002	134.200	263.000
Lámparas LFC	46.597.370	52.542.013	48.011.869	37.024.819	24.070.049
Lámparas halógenas	4.303.108	15.729.257	8.488.774	11.194.776	7.706.524
Lámparas led	1.568.823	8.470.692	17.064.252	30.438.454	38.941.687
Total	69.664.839	78.676.942	73.770.897	78.792.249	70.981.260

Entre los años 2015 y 2019 la cantidad promedio de lámparas instaladas en Chile es de 74.377.237.

3.4.2.1 Cantidad de lámparas instaladas a nivel residencial

Los resultados anteriores pueden contrastarse con los datos obtenidos en el estudio de usos finales y curva de oferta de la conservación de la energía en el sector residencial, 2019 [3]. En la tabla siguiente se muestra la cantidad de lámparas instaladas en Chile determinada por el estudio.

Tabla 3.6: Cantidad de lámparas instaladas a nivel nacional por tipo de tecnología, 2018. Fuente [3]

Tipo de lámpara	Cantidad a nivel país, año 2018
Lámpara fluorescente compacta LFC	47.731.602
Lámpara incandescente	13.188.995
Lámpara halógena	1.884.142
Lámpara LED	10.048.758
Total de lámparas por vivienda	72.853.497

De acuerdo con el estudio indicado, la cantidad de lámparas instaladas en Chile en el año 2018 es de 72.853.497, representando 8% menos que el valor determinado utilizando la información de las ventas por año y 2% menos que el promedio.

En relación con el estudio realizado en 2018, las lámparas fluorescentes compactas con 47,7 millones de unidades representan la tecnología instalada con mayor presencia en las viviendas, le sigue las lámparas incandescentes con 13,1 millones de unidades y a continuación las lámparas led con 10 millones de unidades instaladas a nivel país. Sin embargo, al considerar las ventas por año, la situación es algo diferente, son 37 millones de LFC, 30,4 millones de Led y 11,1 millones de halógenas, y la cantidad de lámparas incandescentes es muy baja.

En el año 2018, uno de los usos de energía que representaba un consumo eléctrico alto en una vivienda era el de iluminación (16,9%) [3]. En la siguiente tabla, por cada tecnología de iluminación se muestra la cantidad promedio de lámparas por vivienda.

Tabla 3.7: Cantidad promedio de lámparas por vivienda, según tecnología. Fuente [3]

Tipo de lámpara	Cantidad promedio por vivienda, año 2018
Lámpara incandescente	2,1
Lámpara LFC	7,6
Lámpara halógena	0,3
Lámpara LED	1,6
Total de lámparas por vivienda	11,6

En el año 2018, según el estudio referenciado [3], las lámparas ineficientes representan el 20% del total de iluminación en una vivienda y las lámparas de tecnología más eficiente, como las fluorescentes compactas y led, representan un 80% del total. En cambio, de acuerdo con los resultados determinados considerando el nivel de ventas, las lámparas ineficientes representan el 14% del total instalado en Chile.

Para los efectos de este trabajo de investigación se utilizarán los datos obtenidos a partir de las ventas de lámparas indicada en la tabla 3.5.

3.4.3 Potencia promedio por lámpara

Se realiza un estudio de lámparas de uso residencial en el comercio electrónico, levantando información de las potencias, vida útil, eficacia lumínica y precios, entre otros parámetros, de las distintas tecnologías con la finalidad de obtener valores que se utilizarán para determinar el consumo de energía. Ver anexo A.

La potencia promedio de las lámparas por tipo de tecnología se indica en la tabla 3.6. En la tabla se ha agregado para la lámpara incandescente una potencia de 70 W.

Tabla 3.8: Potencia consumida por tipo de lámpara. Elaboración propia

Tipo de lámpara	Potencia W
Lámparas incandescentes	70
Lámparas LFC	18
Lámparas halógenas	50
Lámparas LED	9

Las lámparas Led son las más eficientes en el mercado de iluminación actual, tienen una eficacia lumínica mayor a las demás tecnologías.

3.4.4 Factor de emisiones de CO₂

El factor de emisiones se define como el cociente entre la emisión de la central sobre la generación de la unidad correspondiente. Para determinar el factor de emisiones por central se utilizan datos de emisiones anuales de CO₂ de las unidades de generación reportadas a la Superintendencia del Medio Ambiente, y datos de generación de electricidad anual publicados por la CNE [28].

El factor de emisiones en millones de toneladas de CO₂ para el sistema eléctrico nacional correspondiente al año 2019, de acuerdo con el anuario estadístico de energía es el siguiente:

Tabla 3.9: Factor de emisiones. Fuente [28]

Factor de emisiones en Toe CO ₂ / MWh
0,406

3.4.5 Precio de la energía

Para determinar los ahorros económicos equivalentes al ahorro de energía por de la aplicación de la política pública será necesario conocer el precio de la energía para clientes regulados en tarifa BT1a. Se utilizará la información de la empresa eléctrica ENEL, correspondiente a diciembre de 2019 [29].

Tabla 3.10: Precio de la energía. Fuente [29]

Precio de energía en \$/kWh
116

3.4.6 Cantidad de viviendas

Así mismo para determinar los ahorros de energía obtenidos a nivel de cada vivienda del país se utilizará la información disponible en los resultados del censo de 2017 [30], específicamente la cantidad total de viviendas.

Tabla 3.11: Número total de viviendas. Fuente [30]

Total viviendas particulares
6.499.355

3.5 Casos de estudio

Para el análisis del impacto en el consumo eléctrico por la aplicación de la política pública se definen los siguientes 3 casos de estudio o escenarios:

3.5.1 Caso 1: base

El caso 1 o base es el escenario sin la aplicación de la política pública de MEPS para lámparas incandescentes, correspondiendo al marco de referencia para el estudio. En este escenario coexiste la lámpara incandescente con las demás tecnologías de lámparas.

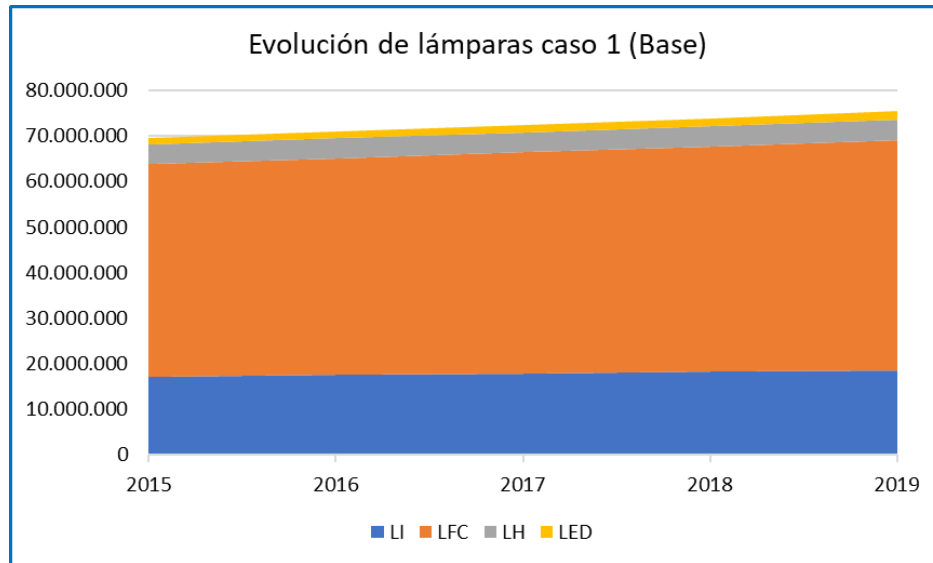


Figura 3.8: Caso 1 base, escenario sin la medida aplicada. Elaboración propia

El gráfico muestra que la cantidad de lámparas crece de forma constante en relación con el aumento de las viviendas a una tasa del 2% anual, considerando las estimaciones y proyecciones del INE. En la misma proporción aumenta el consumo de energía. En este caso la distribución de lámparas por tipo de tecnología se mantiene en el periodo 2015-2019.

3.5.2 Caso 2: MEPS implementado

El caso 2 corresponde al escenario con la aplicación de la medida que prohíbe la comercialización de lámparas incandescentes. Permite determinar los ahorros efectivos e impactos en el consumo de energía en el periodo 2016-2019 respecto del año 2015, materia del presente estudio.

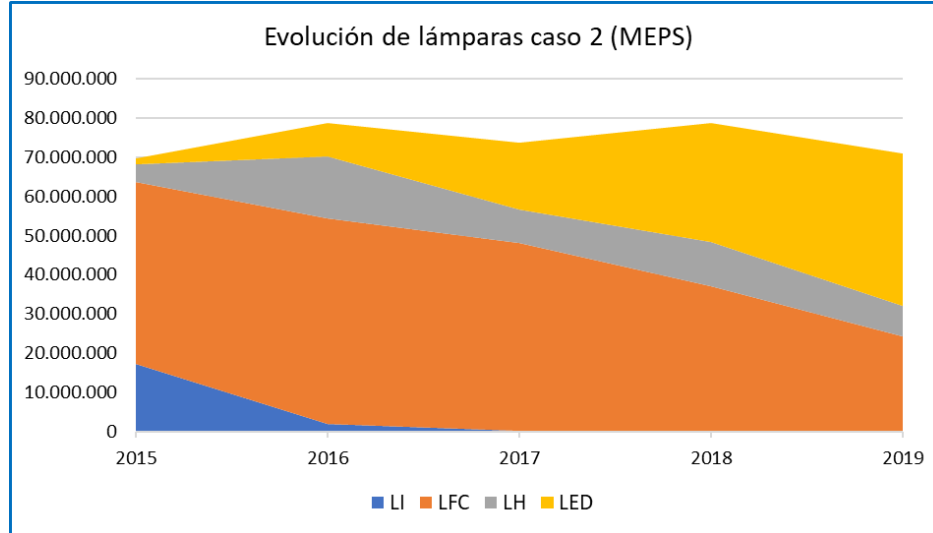


Figura 3.9: Caso 2 MEPS implementado. Elaboración propia

El gráfico anterior muestra la evolución en la cantidad de lámparas instaladas a nivel residencial en Chile, determinada a partir de las ventas reales por año. Como puede apreciarse el stock de lámparas a nivel país se mantiene prácticamente constante, existiendo una marcada tendencia en el aumento de lámparas Led como reemplazo de las lámparas fluorescentes compactas que van a la baja.

3.5.3 Caso 3: MEPS proyectado al 2020 y 2030

El caso 3 corresponde a una extensión del escenario del caso 2 pero proyectado a los años 2020 y 2030. La cantidad de lámparas y los ahorros en el consumo eléctrico obtenidos en el año 2019 son proyectados hasta el año 2030, considerando una tasa del 2% de crecimiento en el número de viviendas por año. Este caso se define con el objetivo de comparar con lo esperado cuando se aplicó la medida de MEPS para lámparas incandescentes.

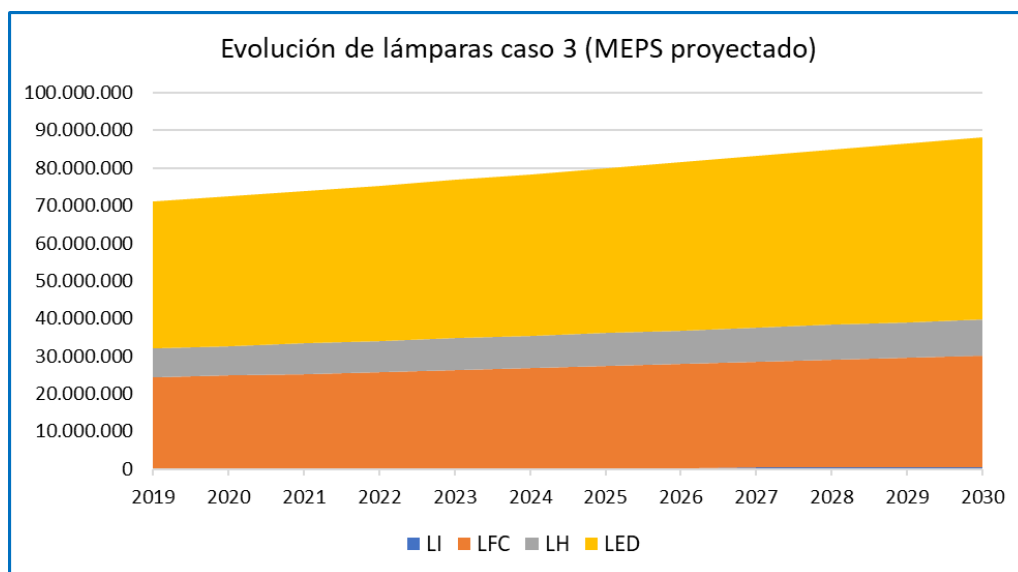


Figura 3.10: Caso 3 MEPS proyectado. Elaboración propia

La figura anterior muestra la evolución en la cantidad de lámparas instaladas en las viviendas de Chile por año, considerando que la distribución por tipo de tecnología entre los años 2019-2030 se mantiene constante en el tiempo. Puede apreciarse que la cantidad de lámparas crece de forma constante en relación con el aumento de las viviendas a una tasa del 2% anual, considerando las estimaciones y proyecciones del INE. En la misma proporción aumenta el consumo de energía.

3.6 Modelo de Cálculo

En esta parte de la metodología se definen las fórmulas de cálculo que permiten determinar, a nivel de país, los ahorros en energía, los ahorros económicos, las reducciones de emisiones de CO₂ y la capacidad de generación evitada. Posteriormente, se define la forma de cálculo de los ahorros respectivos a nivel de los hogares.

Los parámetros técnicos principales que se consideran en el modelo de cálculo, por cada tipo de tecnología de lámparas, son la cantidad, potencia y horas de uso de éstas.

3.6.1 Ahorro en energía

Se determina el consumo de energía por la utilización de las lámparas, tanto para el caso base, escenario de referencia que corresponde al año 2015, como para el escenario con la medida aplicada. La diferencia entre el consumo de energía del año base y el consumo de energía en los años posteriores a la aplicación de la medida, es decir 2016 a 2019, representa el ahorro en energía.

El consumo de energía anual por cada tipo de lámpara se determina a partir de:

$$E_L = N_L \cdot P_L \cdot H$$

Donde N_L es la cantidad, P_L la potencia consumida y H las horas de uso de las lámparas. N_L y P_L son propias por cada tipo de tecnología de lámparas, en tanto que H es la misma para todos los

tipos. Luego, para determinar el consumo de energía total anual E por el uso de todos los tipos de lámparas se realiza la suma de los consumos individuales.

$$E = \sum_{L=1}^4 E_L$$

Utilizando la expresión anterior se determina el consumo de energía para el caso base E_B y el consumo de energía por cada año con MEPS implementado E_M .

El ahorro de energía total E_A corresponde a la suma de los ahorros obtenidos en cada año posterior a la aplicación de la medida.

$$E_A = \sum_{i=1}^t (E_{Bi} - E_{Mi})$$

El ahorro en el año i está dado por la diferencia $E_{Bi} - E_{Mi}$. Cabe señalar que E_B es el mismo en todos los años pues corresponde al caso base, escenario en el cual no se ha aplicado la política pública.

3.6.2 Ahorros económicos

El costo total ahorrado en energía C_{TA} se determina del producto entre la energía total ahorrada E_A y el precio de la energía P_E .

$$C_{TA} = E_A \cdot P_E$$

3.6.3 Capacidad de generación evitada

La capacidad de generación evitada Q_E se determina en el año donde los ahorros en energía son mayores debido a la aplicación de la política pública y representa la potencia instantánea ahorrada a nivel nacional durante las horas punta.

La expresión para determinar la capacidad de generación evitada es la siguiente:

$$Q_E = \frac{E_{A-max}}{T_p}$$

Dónde E_{A-max} es la energía ahorrada máxima y T_p representa el periodo de horas punta en el cual son utilizadas las lámparas, se asume entre las 18:00 y 24:00 horas, es decir un 25% del tiempo de un año.

Cabe señalar que esta capacidad de generación evitada está referida al sitio dónde se producen los ahorros, para obtener la capacidad evitada de generación en la fuente misma deben considerarse

otros factores como las pérdidas en transmisión y distribución y el factor de carga de las plantas generadoras.

3.6.4 Reducción de emisiones de GEI

La expresión para determinar la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero R_E se determina de multiplicar el ahorro total de energía y el factor de emisiones.

$$R_E = E_A \cdot F_E$$

3.6.5 Ahorros a nivel de hogares

Los ahorros tanto en energía como económicos a nivel de cada vivienda se determinan dividiendo los ahorros a nivel país en la cantidad de viviendas.

- Ahorros en energía

$$E_{AV} = \frac{E_A}{N_V}$$

- Ahorros económicos

$$C_{TAV} = \frac{C_{TA}}{N_V}$$

Dónde E_{AV} y C_{TAV} son los ahorros en energía y económicos a nivel de viviendas, respectivamente, y N_V es la cantidad total de viviendas a nivel país, de acuerdo con el último informe censal.

3.7 Análisis de resultados

En esta parte de la metodología y que es tratada en profundidad en el capítulo 4 de este estudio, se muestran los resultados obtenidos, utilizando el modelo de cálculo señalado en el punto anterior para determinar los ahorros en energía correspondiente a los escenarios definidos como 2 y 3, es decir, MEPS implementado y MEPS proyectado, respectivamente. Con estos resultados se evalúan los impactos en el consumo eléctrico por la implementación en Chile de la política pública de estándares mínimos de desempeño energético (MEPS), determinando, además, ahorros económicos, reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero y la capacidad de generación evitada.

4. Resultados y Análisis

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos mediante la aplicación de la metodología descrita en el capítulo 3 y el análisis correspondiente de los impactos en el consumo eléctrico de la aplicación en Chile de la política pública de estándares mínimos de desempeño energético para lámparas incandescentes, permitiendo la validación de la medida aplicada.

Primero se realiza un análisis de los impactos directos y el efecto en el mercado de las lámparas de uso residencial debido a la aplicación de la política pública. Este análisis es de tipo cualitativo y se basa fundamentalmente en la cantidad de lámparas comercializadas por cada tipo de tecnología.

Posteriormente, se realiza el análisis cuantitativo de los resultados obtenidos de aplicar el modelo de cálculo desarrollado en la metodología definida en el estudio, para los casos MEPS implementado y MEPS proyectado.

4.1 Impactos en el mercado por la aplicación de la política pública

En diciembre del año 2013 fue promulgada la política pública de estándares mínimos de desempeño para lámparas incandescentes [17], de implementación gradual hasta prohibir totalmente, a contar de diciembre del año 2015, la importación de este tipo de lámparas para una potencia mayor o igual a 25 watts. El efecto de esta política pública influyó notablemente en la industria provocando que, entre los años 2013 y 2015, aumentará en más del 70% las ventas de lámparas incandescentes. La evolución en la cantidad de lámparas de uso residencial se muestra en la tabla 4.1 e ilustración 4.1 siguientes:

Tabla 4.1: Ventas de lámparas por año y tipo de tecnología. Elaboración propia en base SEC

Tipo de lámpara	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Lámparas incandescentes	21.191.460	14.330.856	42.901.749	30.034.337	17.195.538	1.934.980	206.002	134.200	263.000
Lámparas LFC	10.136.643	8.459.233	9.176.967	14.286.136	14.675.034	14.403.876	4.646.823	3.299.086	1.720.264
Lámparas halógenas					4.303.108	15.729.257	8.488.774	11.194.776	7.706.524
Lámparas led				52	1.568.771	6.901.869	8.593.560	13.374.202	8.503.233
Total	31.328.103	22.790.089	52.078.716	44.320.525	37.742.451	38.969.982	21.935.159	28.002.264	18.193.021

El gran volumen de lámparas halógenas comercializado desde el año 2016 en adelante muestra que este tipo de tecnología fue el reemplazo para las lámparas incandescentes y no las lámparas fluorescentes compactas, siendo más eficientes que las halógenas.

Se aprecia también, una masificación en la venta de lámparas fluorescentes compactas entre los años 2014 y 2016, posiblemente como consecuencia de la reciente aplicación del estándar mínimo de desempeño energético para lámparas incandescentes y del conjunto de campañas impulsadas por el gobierno para el uso eficiente de la energía.

Además, puede observarse un notable crecimiento de las lámparas led, representando en forma individual, en los años 2017 y 2018, el 44% del total de ventas con esta tecnología en el país, desplazando a las lámparas fluorescentes compactas como la alternativa más eficiente en

iluminación. Esto se explica, en gran medida, porque los precios de ambas tecnologías se equipararon, haciéndose más rentable la adquisición de las lámparas led.

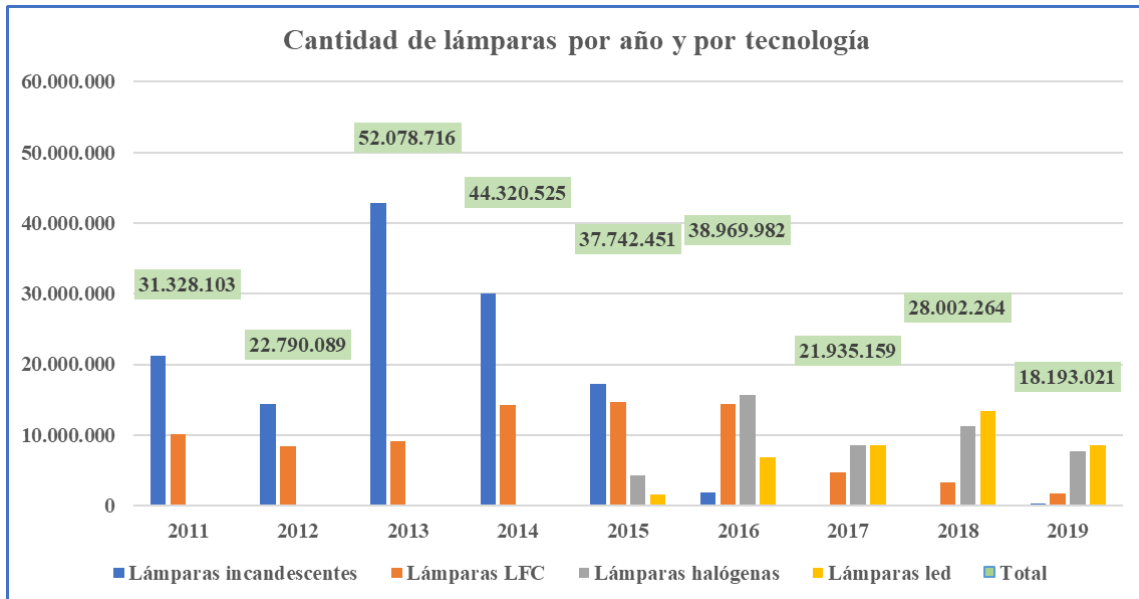


Figura 4.1: Cantidad de lámparas por año y tipo de tecnología. Elaboración propia en base SEC

Por otra parte, cabe tener presente que una característica relevante de las lámparas incandescentes es su corta vida útil, no más de 1.000 horas, lo que implica una constante tasa de cambio. En la medida que este tipo de lámpara es reemplazada por aquellas de tecnología con mayor vida útil, como las lámparas halógenas con cerca de 2.000 horas, lámparas fluorescentes compactas sobre las 4.000 horas y lámparas led con vida útil mayor a 10.000 horas, se puede confirmar una disminución importante de las ventas globales de lámparas, ver ilustración 4.5, llegando a 18 millones de unidades vendidas en el año 2019, la cantidad más baja comercializada en el periodo bajo estudio, lo que está en concordancia con la mayor cantidad de horas de vida útil de las tecnologías que han reemplazado a las lámparas incandescentes.

Las lámparas halógenas tienen una participación importante en la venta de productos de iluminación, en el año 2019 significaron un 42% del total comercializado, no obstante ser una de las tecnologías más ineficientes. El consumidor prefiere este tipo de iluminación por sobre otras más eficientes en lo que al ahorro energético respecta. En la ilustración siguiente se muestra la distribución de ventas para el año 2019.

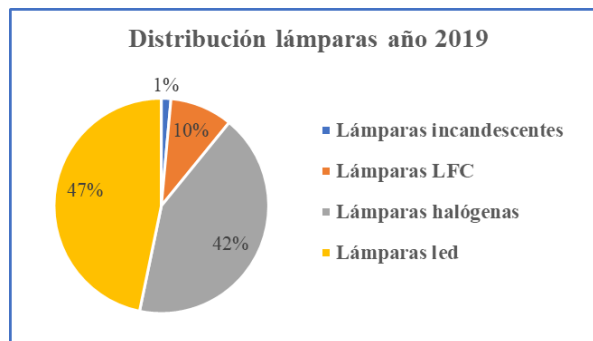


Figura 4.2: Ilustración 4.2: Distribución de lámparas por tecnología, 2019. Elaboración propia

4.2 Resultados a nivel país caso 2

Los resultados a nivel país se determinan a partir de los cálculos del consumo de energía en cada año desde 2015 hasta 2019, considerando que 2015 corresponde al caso base y entre 2016 y 2019 al caso MEPS implementado.

Las variables de entrada, potencia y horas de uso, utilizadas para calcular el consumo de energía por cada tipo de lámpara unitaria se muestran en la tabla 4.2.

Tabla 4.2: Consumo de energía por tipo de lámpara unitaria. Elaboración propia

Tipo de lámpara	Potencia W	Horas/día	Horas/año	kWh/año
Lámparas incandescentes	70	4	1.460	102,20
Lámparas LFC	18	4	1.460	26,28
Lámparas halógenas	50	4	1.460	73,00
Lámparas Led	9	4	1.460	13,14

En los cálculos se ha estimado un tiempo de uso de 4 horas en promedio de las lámparas, en concordancia con el estudio de usos finales de la energía realizado el año 2018 [3].

También como variable de entrada, la cantidad de lámparas por cada tipo de tecnología, entre los años 2015 y 2019, incluidas en la tabla 4.3 siguiente.

Tabla 4.3: Cantidad de lámparas por tipo y casos de estudio. Elaboración propia en base SEC

Tipo de lámpara	Caso Base	Caso MEPS implementado			
	2015	2016	2017	2018	2019
Lámparas incandescentes	17.195.538	1.934.980	206.002	134.200	263.000
Lámparas LFC	46.597.370	52.542.013	48.011.869	37.024.819	24.070.049
Lámparas halógenas	4.303.108	15.729.257	8.488.774	11.194.776	7.706.524
Lámparas Led	1.568.823	8.470.692	17.064.252	30.438.454	38.941.687
Total	69.664.839	78.676.942	73.770.897	78.792.249	70.981.260

4.2.1 Ahorro de energía demandada a nivel país

Con los datos de entrada indicados en el punto anterior y utilizando el modelo de cálculo descrito en la metodología, se obtienen los resultados del ahorro en la demanda de energía en GWh/año desde el año 2015 hasta el 2019. Estos resultados se muestran en la tabla 4.4 e ilustración 4.2.

Tabla 4.4: Consumo de energía por año y ahorro total en demanda de energía. Elaboración propia

Tipo de lámpara	Caso Base	Caso MEPS implementado			
	2015	2016	2017	2018	2019
Lámparas incandescentes	1.757	198	21	14	27
Lámparas LFC	1.225	1.381	1.262	973	633
Lámparas halógenas	314	1.148	620	817	563
Lámparas led	21	111	224	400	512
Consumo [GWh/año]	3.317	2.838	2.127	2.204	1.734
Ahorro [GWh/año]	0	545	1.324	1.316	1.856

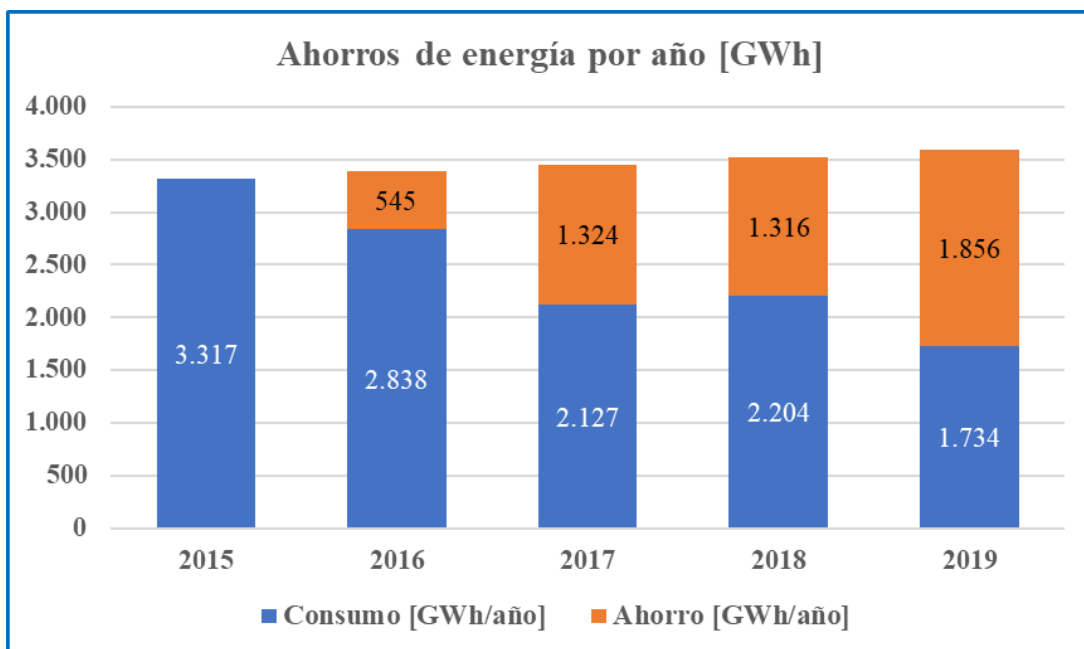


Figura 4.3: Ahorros de energía demandada por año a nivel país. Elaboración propia

Puede observarse que los ahorros en la demanda de energía más importantes se producen en el año 2019. La energía total ahorrada acumulada entre los años 2016 y 2019 es de 5.041 GWh/año. En el año 2015 no existen ahorros pues corresponde al caso base de referencia para el estudio, antes de la prohibición de las lámparas incandescentes. En el cálculo se ha considerado la tasa de crecimiento del 2% en el consumo del caso base.

4.2.2 Ahorros económicos a nivel país

De acuerdo con lo señalado en la metodología, el costo total ahorrado en energía entre los años 2016 y 2019 se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 4.5: Costo total ahorrado en energía a nivel país, 2016-2019. Elaboración propia

Energía total ahorrada [GWh/año]	Precio de la energía [\$/kWh]	Valor dólar observado [\$/US\$]	Costo total ahorrado [millones US\$]
5.041	116	744,62	785,31

En el cálculo de este ahorro económico se ha utilizado el valor del dólar observado al 30 de diciembre de 2019 [31] y el precio de la energía en tarifa BT1a a diciembre de 2019, correspondiente a la empresa ENEL, como referencia [29].

4.2.3 Reducción de emisiones

Por su parte, las emisiones totales de CO₂ evitadas en el periodo 2016-2019 se muestra en la tabla 4.6.

Tabla 4.6: Reducción total de emisiones de CO₂, 2016-2019. Elaboración propia

Energía total ahorrada [GWh/año]	Factor de emisiones [ToeCO ₂ /MWh]	Reducción de emisiones [MToe CO ₂]
5.041	0,406	2,05

En el cálculo de la reducción de emisiones de CO₂ se ha utilizado el valor de 0,406 ToeCO₂/MWh correspondiente al año 2019, de acuerdo con el anuario estadístico de energía [28].

4.2.4 Capacidad de generación evitada

Como puede apreciarse en la ilustración 4.2, en el año 2019 es mayor el ahorro de energía demandada con 1.856 GWh/año. La capacidad de generación evitada para este caso es la que se muestra en la tabla 4.7 siguiente:

Tabla 4.7: Capacidad de generación evitada, año 2019. Elaboración propia

Ahorro energía máximo [GWh/año]	Tiempo horas punta [h]	Capacidad de generación evitada [MW]
1.856	1.460	1.271

En la tabla anterior, el valor de 1.460 horas corresponde al tiempo total de uso de iluminación al día durante un año en horario punta, considerando un promedio de 4 horas de uso diario.

4.3 Resultados a nivel de hogares caso 2

Al considerar el número total de viviendas existentes en el país [30] y los ahorros en energía demandada y económicos calculados a nivel país, se obtienen los resultados a nivel de los hogares.

4.3.1 Ahorro de energía a nivel de hogares

El ahorro en energía a nivel de cada hogar, durante el periodo 2016-2019 correspondiente al caso con MEPS implementado es el que se indica en la tabla siguiente:

Tabla 4.8: Ahorros de energía a nivel de hogares, 2016-2019. Elaboración propia

Energía total ahorrada a nivel país [GWh/año]	Número total de viviendas	Energía total ahorrada a nivel de hogares [kWh/año]
5.041	6.499.355	775,62

En el cálculo de la energía total ahorrada a nivel de hogares se ha considerado la energía demanda total ahorrada a nivel país y el total de viviendas existentes [30].

4.3.2 Ahorro económico a nivel de hogares

De la misma forma anterior, el costo ahorrado en energía demandada a nivel de hogares, en el periodo 2016-2019 es el siguiente:

Tabla 4.9: Costo total ahorrado en energía a nivel hogares, 2016-2019. Elaboración propia

Costo total ahorrado a nivel país [millones US\$]	Número total de viviendas	Costo total ahorrado en energía a nivel hogares [\$]
785	6.499.355	89.971

En el cálculo del costo total ahorrado en energía demandada a nivel de hogares se ha utilizado el valor del dólar observado al 31.12.2019 [31].

4.4 Resultados a nivel país caso 3

La aplicación de la medida impulsada en el año 2013 proyectó beneficios a nivel país, hasta los años 2020 y 2030. La metodología desarrollada en el presente estudio también permite estimar resultados para los años indicados, esto corresponde al caso 3 MEPS proyectado.

Tabla 4.10: Ahorros concretos hasta el 2019 y proyectados hasta el 2030. Elaboración propia

Periodo	Energía ahorrada neta [GWh/año]	Energía ahorrada acumulada [GWh/año]
año 1 (2016)	545	545
año 2 (2017)	1.324	1.869
año 3 (2018)	1.316	3.185
año 4 (2019)	1.856	5.041
año 5 (2020)	1.856	6.898
año 6 (2021)	1.856	8.754
año 7 (2022)	1.856	10.610
año 8 (2023)	1.856	12.467
año 9 (2024)	1.856	14.323
año 10 (2025)	1.856	16.180
año 11 (2026)	1.856	18.036
año 12 (2027)	1.856	19.892
año 13 (2028)	1.856	21.749
año 14 (2029)	1.856	23.605
año 15 (2030)	1.856	25.462

En la tabla 4.10 se muestran los resultados de la energía ahorrada anual hasta el año 2030. En este caso se asume el ahorro de forma conservadora utilizando los ahorros determinados en el año 2019 como constantes hasta el año 2030.

4.4.1 Comparación de resultados proyectados

Utilizando los valores del ahorro de energía indicados en la tabla 4.10 anterior, se determinan resultados proyectados a 2020 y 2030 y se comparan con los resultados esperados en el año 2013 cuando se justifica la aplicación de la política pública de MEPS para lámparas incandescentes, lo que puede observarse en la tabla 4.11.

Tabla 4.11: Comparación de resultados proyectados MEPS y estudio 2019. Elaboración propia

Beneficios nivel país	Proyección MEPS 2013	Proyección estudio 2019
Potencia desplazada máxima en el periodo en hora punta [MW]	872	1.271
Emisiones de CO ₂ evitadas hasta 2020 [Mtoe]	4,51	2,80
Emisiones de CO ₂ evitadas hasta 2030 [Mtoe]	8,83	10,34
Ahorros acumulados en generación de energía hasta 2020 [GWh/año]	8.635	6.898
Ahorros acumulados en generación de energía hasta 2030 [GWh/año]	9.261	25.462

En la ilustración siguiente puede observarse los beneficios a nivel país de la política pública aplicada a lámparas incandescentes, tanto en las proyecciones realizadas en el año 2013 cuando se toma la decisión de aplicar la medida como en los resultados proyectados en el presente estudio utilizando los datos concretos determinados al año 2019.

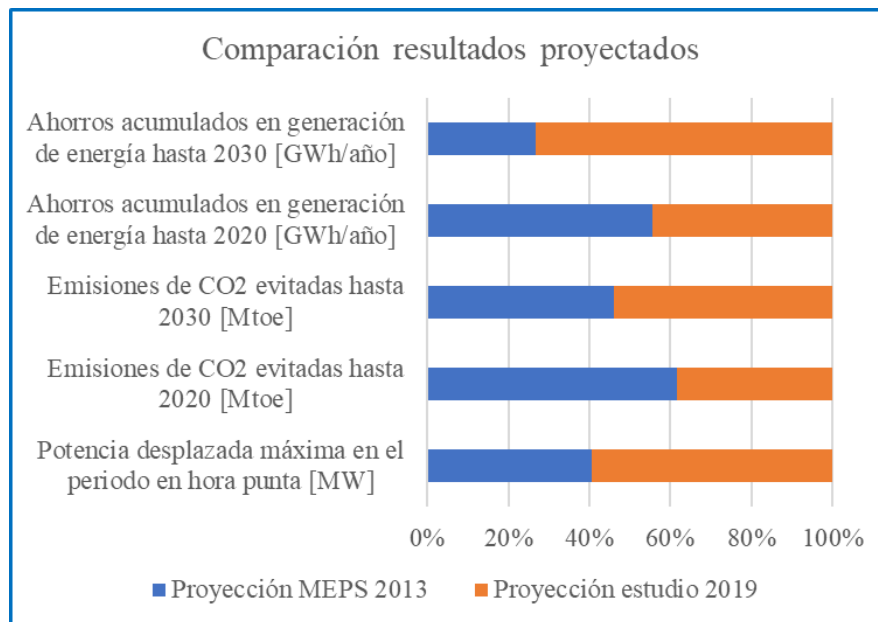


Figura 4.4: Comparación de resultados proyectados MEPS y estudio 2019. Elaboración propia

En el gráfico anterior se contrastan en términos porcentuales relativos los resultados proyectados determinados cuando se aplica la política pública de estándares mínimos de desempeño energético y los obtenidos en el presente estudio.

4.5 Análisis de resultados

Los resultados obtenidos demuestran que los impactos en el consumo de energía son positivos significando beneficios tanto a nivel de país como a nivel de hogares, debido a la implementación de la medida de prohibición de las lámparas incandescentes desde diciembre de 2015.

Desde el punto de vista del mercado de iluminación de uso residencial, las lámparas incandescentes una vez prohibidas fueron rápidamente reemplazadas por otras tecnologías, que al comienzo eran más eficientes, como las lámparas fluorescentes compactas (LFC), sin embargo, en la actualidad el consumidor ha preferido comprar lámparas halógenas, de característica ineficientes. En el año 2015 las ventas de lámparas ineficientes, principalmente incandescentes, constituían el 57% del total de lámparas disponibles y, en 2019, son las lámparas eficientes, como las LFC y Led, las que representan el 56% de las ventas de la industria.

Respecto a la evolución en las ventas del mercado de las lámparas, entre los años 2011 y 2016 la cantidad comercializada en promedio, independientemente de la tecnología, se aproxima los 37,6 millones, en 2019 esta cifra ha disminuido a la mitad, con solo 18,1 millones de lámparas vendidas, lo que se explica porque las tecnologías más eficientes poseen una mayor vida útil y el consumidor ya no debe reemplazarlas periódicamente, tal es el caso de las lámparas led con una vida útil mayor a las 15.000 horas. La disminución en la cantidad de lámparas ineficientes se traduce en una disminución en el consumo eléctrico.

No obstante haber disminuido las ventas de lámparas entre 2015 y 2019, el stock de lámparas instaladas a nivel residencial se ha mantenido prácticamente estable con un promedio de 74,4 millones, lo que equivale a tener 11,4 lámparas por vivienda.

En relación con los resultados obtenidos en el escenario con la medida aplicada, caso 2 MEPS implementado, representativo al periodo 2016-2019, los ahorros a nivel país en el consumo de energía son significativos alcanzando 5.041 GWh/año, lo que se traduce en importantes beneficios a nivel económico y ambiental, esto es 785 millones de dólares y 2,05 Mtoe de CO₂ evitadas, respectivamente. Por otro lado, la capacidad de generación evitada es de 1.271 MW, mayor un 46% a lo esperado en 2013 cuando se aplica la política pública. En este escenario también se han beneficiado los consumidores, ya que los resultados llevados a nivel de hogares muestran que, en promedio, se ha reducido el consumo de energía en 776 kWh/año, equivalentes a \$90.000 de ahorro aproximadamente.

Examinando los resultados obtenidos para el caso 3, escenario con MEPS proyectado, construido con la finalidad de comparar los beneficios esperados y determinados cuando se estableció la medida y las proyecciones realizadas con la metodología del presente estudio, puede observarse que en ambas alternativas los resultados resultan beneficiosos a nivel país, no existiendo grandes diferencias. Al año 2020 la energía ahorrada y las reducciones de emisiones de CO₂ resultan ser levemente mayores en los resultados esperados cuando se establece la medida que en los resultados del presente estudio, sin embargo, la situación se invierte al proyectar al 2030.

Las diferencias se explican, por una parte, porque la herramienta PAMS utilizada para proyectar los ahorros debido a la política pública considera las pérdidas por transmisión y distribución, es decir, está referida al sitio de generación, mientras que el resultado obtenido mediante la metodología del presente estudio se localiza en los puntos de consumo. Respecto a la diferencia en

la reducción de emisiones de CO₂, obtenidas por los dos métodos, se utilizaron valores de años diferentes del factor de emisiones.

5. Conclusiones

5.1 Conclusiones generales

En el año 2013 se establece en Chile la política pública de estándares mínimos de eficiencia o desempeño energético – MEPS por sus siglas en inglés - para lámparas incandescentes como una medida de estado para lograr la reducción en el consumo eléctrico eliminando del mercado tecnologías de iluminación ineficientes e impulsando el uso de tecnologías más eficientes como las lámparas fluorescentes compactas. En su definición se proyectaron beneficios a nivel país y también a nivel de los consumidores a mediano y largo plazo, principalmente ahorros en el consumo eléctrico acumulados a los años 2020 y 2030.

En el presente trabajo se ha analizado los impactos en el consumo eléctrico por la implementación en Chile de la política pública de MEPS para lámparas incandescentes de uso residencial, establecida en el año 2013, a través del procesamiento de datos disponibles del parque de lámparas comercializadas e instaladas en los años posteriores a la aplicación de la medida. Para ello se ha propuesto una metodología consistente en evaluar escenarios sin la medida y con la medida aplicada y la utilización de un modelo simple de cálculo para determinar los ahorros efectivos en energía. Lo anterior ha permitido realizar una comparación con las evaluaciones y proyecciones desarrolladas al establecer la política pública.

Se ha examinado el comportamiento y evolución en el mercado de iluminación por la aplicación de MEPS lo que ha permitido explicar el movimiento de las ventas y del stock de lámparas instalado a nivel del país.

Con el ahorro en el consumo de energía obtenido y otras variables técnicas consideradas se ha podido determinar los impactos económicos y ambientales, y, la capacidad de generación evitada. Desde el punto de vista energético, la medida aplicada ha permitido ahorrar en 4 años, a nivel nacional, 5.041 GWh/año, equivalentes a 785 millones de dólares y 2,05 Mtoe CO₂ evitadas, además, la capacidad de generación ahorrada es de 1.271 MW referida a los puntos de consumo.

Con el desarrollo del estudio se ha podido conocer las diferentes tecnologías de iluminación y sus características técnicas más importantes desde el punto de vista del uso eficiente, como es la eficacia lumínica y la vida útil de las lámparas.

Además, se han revisado las medidas de ahorro energético implementadas a nivel internacional, encontrando que los primeros países comenzaron hace casi tres décadas implementado este tipo de medidas, que los países más avanzados en estas políticas actualizan constantemente sus estándares definiendo otros más exigentes, tal es el caso de Europa, Argentina, México y Australia, y que una vez establecidos requisitos mínimos para lámparas incandescentes definen estándares para lámparas halógenas. En la mayoría de las economías revisadas, los estándares mínimos de desempeño energético se basan en cumplir un valor mínimo de la eficacia lumínica [Lm/W].

En conclusión, el trabajo de tesis y la metodología utilizada en la investigación han permitido cumplir con el objetivo general propuesto de analizar el impacto en el consumo eléctrico y validar la política pública de estándares mínimos de desempeño energético aplicado a lámparas

incandescentes de uso residencial, además, de proveer de un estudio formal que consolide los resultados e impactos de las medidas implementadas en Chile.

5.2 Trabajo futuro

Para mejorar el estudio como trabajo futuro se propone incorporar en el modelo de cálculo otros aspectos y variables para determinar los beneficios a nivel de los consumidores, como es el efecto de reducir la tasa de recambio de lámparas debido a la mayor vida útil de las tecnologías más eficientes. De esta forma, el ahorro económico a nivel de hogares es influenciado por el costo de inversión de los distintos tipos de lámparas, lo que permite comparar este costo, mayor o menor, con la disminución efectiva en el gasto por consumo de electricidad.

Además, se propone considerar las pérdidas por transmisión y distribución a fin de determinar con mayor exactitud la capacidad evitada en generación de energía.

En otras materias, se recomienda realizar una investigación para obtener evidencia estadística de la relación de la tasa de fallas en lámparas Led con los fenómenos transitorios en los sistemas eléctricos, principalmente a nivel de distribución, y con la calidad de las instalaciones en Chile.

Finalmente, se expone realizar un estudio de impactos en el consumo energético por la aplicación de un nuevo estándar mínimo de desempeño energético para lámparas de uso residencial que tengan un bajo nivel de eficacia lumínica, lo que significa sacar del mercado lámparas más ineficientes como son las lámparas halógenas que actualmente presentan un alto nivel de penetración en el mercado de iluminación a nivel de país.

Bibliografía

- [1] ONU Medio Ambiente, U4E, Maneras simples de lograr la Eficiencia Energética, 2017, [en línea]
<https://united4efficiency.org/wp-content/uploads/2017/12/U4E-EnergyEfficientBrochure-SPANISH-201712-LOWRES.pdf>
- [2] ONU Medio Ambiente, Guía de Políticas de Iluminación, Aceleración de la adopción mundial de la iluminación energéticamente eficiente, 2016 [en línea]
<https://united4efficiency.org/wp-content/uploads/2017/04/Lighting-Policy-Guide-Spanish-20180201.pdf>
- [3] Ministerio de Energía, Estudio de usos finales y curva de oferta de la conservación de la energía en el sector residencial, 2010 y actualización 2019
- [4] Energy-Efficiency Labels and Standars: A Guidebook for Appliances, Equipment and Lighting – Lead Authors: Stephen Wiel and James E. McMahon - Collaborative Labeling and Appliance Standars Program (CLASP)
- [5] Ministerio de energía, Resolución Exenta N°60, de fecha 18.12.2013
- [6] Lighting Hardware, Van Bommel, W., & Rouhana, A. (2011), Holanda: Koninklijke Philips Electronics N.V.
- [7] Guía Práctica de Eficiencia Energética, Fundación Chile, Chile-Compra, Ministerio de Hacienda, PPEE, 2012
- [8] U.S. Energy Information Administration (EIA), <https://www.eia.gov/energyexplained/use-of-energy/efficiency-and-conservation.php>
- [9] Ministerio de Energía, Decreto Supremo N°64, de fecha 06.06.2013
- [10] Superintendencia de Electricidad y Combustibles
http://www.sec.cl/portal/page?_pageid=33,2785362&_dad=portal&_schema=PORTAL
- [11] Ministerio de Energía, Decreto Supremo N°97, de fecha 15.11.2011
- [12] Ministerio de Energía, Ruta Energética 2018-2022, p.58
- [13] Ministerio de Energía & Fundación Chile, Estrategia Nacional de Iluminación Eficiente ENIE, 2013-2017
- [14] Agencia Chilena de Sostenibilidad Energética
- [15] Ministerio de Minería, Ley N°20.402, 2009 [en línea]
<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1008692>
- [16] Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, Decreto Supremo N°298, 2005

- [17] Superintendencia de Electricidad y Combustibles, Resolución Exenta N°6277, de fecha 18.12.2013
- [18] Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea, Directiva 2009/125/CE, de 21 de octubre de 2009 [en línea]
<https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:285:0010:0035:ES:PDF>
- [19] Congress of the United States, Public Law 110–140, dec. 19, 2007 [en línea]
<https://www.govinfo.gov/content/pkg/PLAW-110publ140/pdf/PLAW-110publ140.pdf>
- [20] Government of Canada, Energy Efficiency Regulations, 2016 [en línea]
<https://laws-lois.justice.gc.ca/eng/Regulations/SOR-2016-311/index.html>
- [21] Government of Australia, Greenhouse and Energy Minimum Standards, 2012
<https://www.energy.gov.au/government-priorities/energy-productivity-and-energy-efficiency/gems-act-review>
- [22] NORMA Oficial Mexicana NOM-028-ENER-2017, Eficiencia energética de lámparas para uso general. Límites y métodos de prueba
- [23] Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Brasil, Portaria Interministerial MME/MCT/MDIC N°1.007, de 31.12.2010 [en línea]
http://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/legislacao/portarias_interministeriais/migracao/Portaria_Interministerial_MMEMCTMDIC_n_1007_de_31122010.html
- [24] Ministerio de Minas y Energía de Colombia, Decreto N°3450 de 2008 [en línea]
<http://www.bogotaturismo.gov.co/sites/intranet.bogotaturismo.gov.co/files/DECRETO%203450%20DE%202008.pdf>
- [25] República de Argentina, Ley N°26.473, de 2008
<http://www.saij.gob.ar/legislacion/ley-nacional-26473-prohibicion-importar-comercializar-lamparas.htm>
- [26] Policy Analysis Modeling System (PAMS), Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) for CLASP [en línea]
<https://ies.lbl.gov/project/policy-analysis-modeling-system>
- [27] Analysis of Minimum Efficiency Performance Standards for Residential General Service Lighting in Chile, Virginie E. Letschert, Michael A. McNeil, Francisco Humberto Leiva Ibáñez, Ana María Ruiz, Mariana Pavon and Stephen Hall, 2011, Environmental Energy Technologies Division, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory
- [28] Comisión Nacional de Energía, Anuario estadístico de energía 2019, p.179, junio 2020
- [29] ENEL, Tarifas de Suministro de Clientes Regulados, 2019 [en línea]

<https://www.enel.cl/content/dam/enel-cl/es/personas/informacion-de-utilidad/tarifas-y-reglamentos/tarifas/tarifas-hist%C3%B3ricas/tarifas-de-suministros-clientes-regulados/Tarifas%20Suministros%20Clientes%20Regulados%20-%20Diciembre%202019.pdf>

- [30] Instituto Nacional de Estadísticas, Síntesis de resultados Censo 2017, p.16, junio 2018
- [31] Banco Central de Chile, Indicadores diarios, dólar observado, diciembre 2019 [en línea]
<https://si3.bcentral.cl/indicadoressiete/secure/indicadoresdiarios.aspx>

Anexo A

Levantamiento de características principales de lámparas de uso residencial. Investigación realizada en junio de 2020 en sitios web de empresas comercializadoras de productos de iluminación.

Tipo de lámpara	Marca	Potencia	Vida Útil	Lm	Lm/W	T° de color	Precio [\$]
LFC	Westinghouse	23	8.000	1.500	65	Cálido (2700-2999)	1.290
LFC	Westinghouse	15	8.000	900	60	Luz día (6000-6500)	2.844
LFC	Westinghouse	32	6.000	2.080	65	Luz día (6000-6500)	1.690
LFC	Westinghouse	26	10.000	1.426	55	Frío (4000-4500)	1.190
LFC	Westinghouse	20	4.000	1.000	50	Cálido (2700-2999)	1.590
LH	Westinghouse	42	2.000	624	15	Cálido (2700-2999)	1.190
LH	Westinghouse	53	2.000	848	16	2800	990
Led	Westinghouse	8	15.000	806	101	2700/4000	2.990
Led	Westinghouse	8	15.000	730	91	Cálido (3000-3200)	3.490
Led	Westinghouse	10	15.000	1.055	106	Luz día (6000-6500)	4.390
Led	FSL	7	6.000				1.590
Led	Dairu	7,5				Luz cálida	1.330
LFC	Philips	12	15.000	665	55	Fría	2.790
LH	Westinghouse	70	2.000	1.100	16	Cálida	1.490
LH	Westinghouse	42	2.000	800	19	Cálida	990
Led	Philips	12	10.000	1.150	96	Luz cálida	3.890
LH	Philips	53	1.000	850	16	Cálida	1.290
LH	Philips	70	1.000	1.140	16	Cálida	1.490
LFC	Philips	23	6.000			Cálida 2700	2.990
LFC	Philips	23	6.000			Fría 6500	2.790
LFC	Oppl	20				Cálida 2700	1.953
Led	Geolux	8	15.000	720	90	Fría 6000	2.658
Led	Geolux	10	15.000	900	90	Fría 6000	3.192
Led	Ekoline	10				Fría 4500	2.564
LFC	Ekoline	13	8.000	750	58	Cálida 2700	1.150
LFC	Ekoline	15	8.000	900	60	Cálida 2700	1.150
LFC	Luxalite	18				Fría	2.406
LFC	Philips	14				Cálida	1.691
Led	Philips	9				Fría 6500	1.379
Led	Philips	7,5	10.000	680	91	Cálida 3000	3.390
LFC	Nex	20	15.000	1.100	55	Cálida 3000	2.490
Led	Nex	5	15.000	390	78	Cálida 3000	1.990
LFC	Elfa	20	8.000	1.340	67	Cálida	1.790
LFC	Philips	27	6.000	1.477	55	Cálida	3.990

LFC	Philips	12	6.000	655	55	Cálida	2.490
Led	Elfa	14	20.000			Cálida 3000	7.290
LH	Westinghouse	52	2.000	833	16	Cálida	1.290
LH	Westinghouse	42	2.000	624	15	Cálida 2800	990
Led	Megabright	9,5		800	84	Cálida 3000	998
Led	Megabright	9,5	15.000			Fría 6400	1.490
Led	Megabright	9,5	15.000	855		Fría 6000	1.000
LH	Megabright	70	1.500			Cálida 2800	790
Led	sin marca	12	15.000		80	Fría	1.390
Led	sin marca	10					1.190
LH	Unilux	70	2.000				590
LH	Megabright	53	1.500	840	16	Cálida 2800	700
LH	Unilux	9	15.000			Cálida	1.142
LFC	Great Value	20	8.000			Luz fría	1.990
LH	Westinghouse	60	2.000			Cálida	990
Led	Great Value	11	15.000	1.055	96	Luz día	3.990
LFC	Great Value	32	6.000	2.180	68	Cálida 2700	2.990
Led	Great Value	4	15.000	300	75	Cálida	2.390
Led	Great Value	4	15.000	300	75	Cálida	3.490
Led	Westinghouse	8		806	101	Fría 6500	3.495
LFC	Philips	15					2.990
Led	Westinghouse	9				Cálida	3.190
LH	Philips	70					990
Led	Green-e	7		630	90		1.090
Led	Want	12	15.000		80	3500 cálido	
Led	Want	10	15.000	750	75	3000	
Led	Want	12	15.000	1.030	86	3000	
Led	Want	14	15.000	1.100	79	3000	
Led	Want	4	15.000	300	75	3000	
Led	Want	6,5	15.000	470	72	3000	
LH	Megabright	53	1.500	840	16	2800	700
LH	Megabright	70	1.500	1.180	17	2800	700
LH	Megabright	42	1.500	720	17	2800	700
LFC	Globaltronics	14	8.000	700	50	6400	1.850
LFC	Globaltronics	14	8.000	700	50	2700	1.850
Led	General Electric	14	10.000	1.410	101	2700	3.290
Led	General Electric	11,5	10.000	980	85	2700	2.190
Led	General Electric	9,5	10.000	750	79	2700	1.790
Led	General Electric	6	10.000	470	78	2700	1.590
Led	General Electric	9	15.000	850	94	6500	1.190
Led	General Electric	15	15.000	1.600	107	6500	3.290
Led	General Electric	11,5	10.000	1.060	92	6500	2.190
LH	Westinghouse	28	2.000	300	11	2700	1.000

LFC	General Electric	20				Cálida	979
LFC	Westinghouse	20	4.000	950	48	6500	1.590
LFC	General Electric	23	4.000	950	41	6500	1.590
LFC	General Electric	14	4.000	950	68	6500	1.590
LFC	Elfa	20	8000	1.220	61	6400	1.350