



**Universidad Nacional Autónoma de México**

**Facultad de Ingeniería**

**Programa Único de Especializaciones de Ingeniería**



***“Inclusión del concepto de análisis de ciclo de vida en el diseño de los programas de sustitución de equipos ineficientes en México”***

**Tesina que presenta:**

**Ana Lucía RODRÍGUEZ LEPURE**

**Que para obtener el título de:**

**Especialista en Ahorro y Uso Eficiente de la Energía**

**Director de Tesina:**

**M. en I. Judith Catalina Navarro Gómez**

***Ciudad Universitaria, Ciudad de México, Diciembre 2018***

## Contenido

Introducción .....	4
Capítulo I. Marco Contextual .....	5
I.1. Situación Actual.....	5
I.2. Planteamiento del problema y justificación.....	5
I.3. Objetivos .....	8
I.3.1. Objetivo general.....	8
I.3.2. Objetivos específicos.....	8
Capítulo II. Marco Teórico .....	9
II.1. Análisis del Ciclo de Vida .....	9
II.2. Fases del Análisis de Ciclo de Vida .....	10
II.2.1. Fase de Definición de Objetivo y Alcance del ACV.....	10
II.2.2. Fase de Análisis de Inventario de Ciclo de Vida (ICV).....	11
II.2.3. Fase de Evaluación de Impacto del Ciclo de Vida (EICV).....	12
II.2.4. Fase de Interpretación .....	13
Capítulo III. Programas de Sustitución Internacionales .....	15
III.1. Análisis de Ciclo de Vida y Eficiencia Energética en España.....	15
III.2. Programa de Sustitución de Refrigeradores de la Agencia Nacional de Energía Eléctrica (ANEEL) en Brasil .....	16
III.3. Disposición Responsable de Aparatos y Equipos (RAD) en Estados Unidos .....	18
Capítulo IV. Programas de Sustitución en México .....	19
IV.1. Programa Cambio tu Viejo por uno Nuevo .....	19
IV.2. Programa Luz Sustentable (Fase I y II) .....	20
IV.3. Programa Ahórrate una Luz .....	22
IV.4. Programa Eco-crédito Empresarial .....	23
IV.5. Programa en Oficinas de la Administración Pública Federal .....	25
Capítulo V. Análisis Comparativo y Recomendaciones .....	28
Capítulo VI. Conclusiones .....	33
Referencias.....	35

Anexos.....	42
Anexo i. Comparación del potencial de diferentes tecnologías con y sin inclusión del análisis de ciclo de vida (ACV) en España .....	42
Anexo ii. Lámparas Fluorescentes Compactas (LFCs) - Programas de Sustitución de Equipos Ineficientes.....	44
Anexo iii. Centros de Acopio y Destrucción del Programa Eco-crédito Empresarial .....	46

## Introducción

Los programas de sustitución tanto de electrodomésticos como de luminarias en México han intentado incorporar la fase de costos por disposición del equipo ineficiente retirado de los hogares. En algunos casos se ha asignado un incentivo energético para el envío a centros de acopio autorizados.

Desde 2002, en México se han reemplazado al menos 2.6 millones de aparatos y equipos, y 90 millones de luminarias, por nuevas tecnologías ahorradoras de energía (CFE, 2006; Banco Mundial, 2016; CONUEE, 2016).

Este estudio se enfocó en identificar de qué forma es posible incluir el concepto de análisis de ciclo de vida (ACV) en los programas de sustitución de equipos ineficientes que ayuden a incluir los impactos ambientales asociados al uso de una tecnología u otra durante todo su ciclo de vida (de la cuna a la tumba).

La tesina se encuentra organizada en seis capítulos, adicional a esta breve introducción y a la sección de referencias y anexos. El *Primer Capítulo* presenta el marco contextual de esta investigación, definiendo de forma general la situación actual, el planteamiento del problema y los objetivos, generales y específicos, de la tesina.

El *Capítulo II* describe el marco teórico en el tema de análisis de ciclo de vida y las fases que lo componen. El *Capítulo III y IV* documentan las experiencias tanto a nivel internacional como en México, respectivamente, en la implementación de programas de sustitución de equipos ineficientes energéticamente.

Seguido, el *Capítulo V* presenta el análisis hecho a partir de las experiencias documentadas y se desarrollan unas recomendaciones a partir de dichas comparativas. Las *Conclusiones* de esta tesina son contenidas en el *Capítulo VI*. Finalmente, se presentan las referencias bibliográficas consultadas para la elaboración de este documento y la sección de anexos.

# Capítulo I. Marco Contextual

## I.1. Situación Actual

Los programas de sustitución de equipos ineficientes por equipos eficientes en el uso de energía no consideran la perspectiva de sustentabilidad en su diseño, menos en su evaluación; como mucho incluye los costos asociados al reciclaje del aparato reemplazado (De la Rue du Can *et al.*, 2014).

Estudios revelan que al incluir el análisis de ciclo de vida (ACV) completo de las tecnologías utilizadas en los programas de sustitución, el potencial de ahorro de energía puede reducir hasta en un 8.5% (Bernaldo, 2017).

## I.2. Planteamiento del problema y justificación

Desde 1990 el incremento de consumo final de energía en México ha aumentado a una tasa promedio anual de 3%. En 2015, el consumo final de energía en México fue de 5 283.13 petajoules (PJ) y el sector residencial fue responsable del 15% del consumo energético total (SENER, 2016a).

Con relación al tipo de energía consumida, en el mismo año el sector residencial fue el segundo consumidor de energía eléctrica (26.4%), con una tasa media de crecimiento anual de 2.8% en el periodo de 2005-2015, por arriba de la media total anual (SENER, 2016b). Por otro lado, respecto al consumo de combustibles, el sector residencial es el mayor consumidor de Gas L.P. (59.5%) (SENER, 2016c) y su participación en el consumo de Gas Natural es mínimo (1.26%) aunque en crecimiento (SENER, 2016d).

El establecimiento de estándares mínimos de eficiencia energética es uno de los principales instrumentos utilizados para reducir el consumo de energía en diversos sectores, promoviendo así la inclusión de tecnologías eficientes. En México, de acuerdo con la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), el 49% del consumo final de la energía proviene del uso de equipos que cuentan con alguna Norma Oficial Mexicana (NOM) de eficiencia energética que regula su uso, y el gobierno mexicano espera haber llegado al 51% al 2018 (CONUEE, 2017a).

Con la incorporación de las NOMs de eficiencia energética para equipos y sistemas, los programas gubernamentales de sustitución han sido el instrumento ideal para reemplazar aquellos equipos ineficientes, acelerar su penetración en el mercado y apresurar la adopción de equipos normados en eficiencia energética. Desde 2002, en México se han reemplazado al menos 2.6 millones de aparatos y

equipos, y 90 millones de luminarias, por nuevas tecnologías ahorradoras de energía (CFE, 2006; Banco Mundial, 2016; CONUEE, 2016).

Sin embargo, los elementos que intervienen en el diseño de programas de sustitución de aparatos y equipos no cuentan con una perspectiva de sustentabilidad. Así, en el componente ambiental como mucho incluye los costos asociados al reciclaje del aparato reemplazado (De la Rue du Can *et al.*, 2014).

Paralelamente, el gobierno mexicano se comprometió a reducir sus emisiones de gases efecto invernadero (GEI) en 20% y 50% al 2020 y 2050 respectivamente, comparado a los niveles de emisión del año 2000 (LGCC, 2012). En 2013, la generación de energía eléctrica fue la responsable del 20% de las emisiones GEI a nivel nacional (126.6 miles de toneladas de CO<sub>2e</sub>) (INECC-SEMARNAT, 2015).

Respecto a lo anterior, el principal beneficio de los programas de sustitución que se promueve es la reducción del consumo de energía, pero así también las emisiones de gases efecto invernadero evitadas asociadas a dichos ahorros. No obstante, las emisiones evitadas son calculadas basadas en la ventaja tecnológica que dan estos nuevos equipos en la eficiencia del consumo de energía durante su uso, y no considera las emisiones producidas durante las etapas de producción, distribución y disposición al final de la vida útil del equipo o aparato en cuestión.

Sin embargo, como ya se hizo mención, hay varios aspectos que son importantes que aún no han sido integrados como son la misma producción de la nueva tecnología (materias primas y la producción en sí) y su transporte y distribución (algunas de ellas siguen siendo primordialmente de exportación). Con respecto al equipo sustituido no sólo es su disposición y/o destrucción final, si no los costos asociados al reemplazo anticipado del equipo previo al término de su vida útil.

Esto apunta a la importancia de incorporar estos otros aspectos y costos asociados en el diseño de los programas de sustitución de equipos y aparatos eficientes en el uso final de la energía.

## **Justificación**

A nivel global los programas de sustitución de equipos ineficientes por equipos eficientes en el uso de energía son comúnmente usados para reemplazar el stock de aparatos y equipos actualmente en uso y para acelerar la introducción de estos equipos en el mercado.

Más programas de este tipo seguirán diseñándose e implementándose debido al número remanente de equipos ineficientes. Por ejemplo, se espera que para 2020, en el país, se tengan más de 2.1 millones de hogares con refrigeradores con

más de 15 años de antigüedad, por lo que los programas de sustitución de aparatos y equipos seguirán siendo diseñados e implementados (Carsteanu *et al.*, 2017).

Recientemente, nuevos programas que involucran la sustitución de equipos ineficientes han sido diseñados, al menos en su fase piloto. Por ejemplo, el Programa de Mejoramiento Integral Sustentable en Vivienda Existente se enfoca en el mejoramiento integral de las viviendas y también incluye el financiamiento para la sustitución de equipos de aire acondicionado, calentadores de agua y equipos de iluminación (FIDE, 2017).<sup>1</sup>

Otro proyecto es el Programa de Eficiencia Energética en Edificios de Oficinas de las Administración Pública Federal (EOAPF) que busca reemplazar equipos de iluminación y de aire acondicionado de alto consumo en 1 500 edificios (BID, 2017).

Adicionalmente, si se considera que aún la mitad de los equipos que utilizan electricidad como fuente de energía en México no se encuentran regulados en materia de eficiencia energética (CONUEE, 2017a), es muy probable que más programas de sustitución se instrumenten para reemplazar todos aquellos equipos existentes que consumen más energía que las tecnologías disponibles en el mercado o queden obsoletos por las nuevas normativas.

Como ya se mencionó, México ha tenido éxito en la implementación de este tipo de programas; tanto que a nivel Latinoamérica, así como en países en otras regiones, han diseñado sus programas utilizando la experiencia de México. Sin embargo, los programas hasta ahora no han introducido el concepto de análisis de ciclo de vida en el diseño inicial de los mismos.

Por lo tanto, es importante que se comience a estudiar el concepto de “análisis de ciclo de vida (ACV)” para que sea incorporado en el diseño de los programas de sustitución de equipos ineficientes, que reflejen los beneficios netos de la implementación de estos programas de eficiencia energética basados en la sustitución a tecnologías más eficientes en el consumo de energía.

Incluso, la introducción del ACV permite comparar otras opciones de tecnologías eficientes que podrían mejorar el programa desde su diseño, o identificar distintos problemas asociados que no se habían tomado en cuenta en un inicio.

---

<sup>1</sup> Programa de Mejoramiento Integral Sustentable en Vivienda Existente operado conjuntamente entre la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU), a través de la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI), y la Secretaría de Energía (SENER).

## **I.3. Objetivos**

### **I.3.1. Objetivo general**

Revisar la forma de inclusión del concepto de análisis de ciclo de vida en el diseño de los programas de sustitución de aparatos y equipos ahorradores de energía en otros países, para que México pueda considerar dicho concepto durante el diseño de nuevo programas de sustitución de equipos ineficientes.

### **I.3.2. Objetivos específicos**

- a. Revisar e identificar en la experiencia internacional cómo ha sido incluido el concepto de análisis de ciclo de vida (ACV) en el diseño de los programas de sustitución de aparatos y equipos ahorradores de energía.
- b. Con base en las experiencias internacionales identificadas, proponer la introducción del concepto de ciclo de vida en los programas de sustitución de aparatos y equipos ahorradores de energía en México.



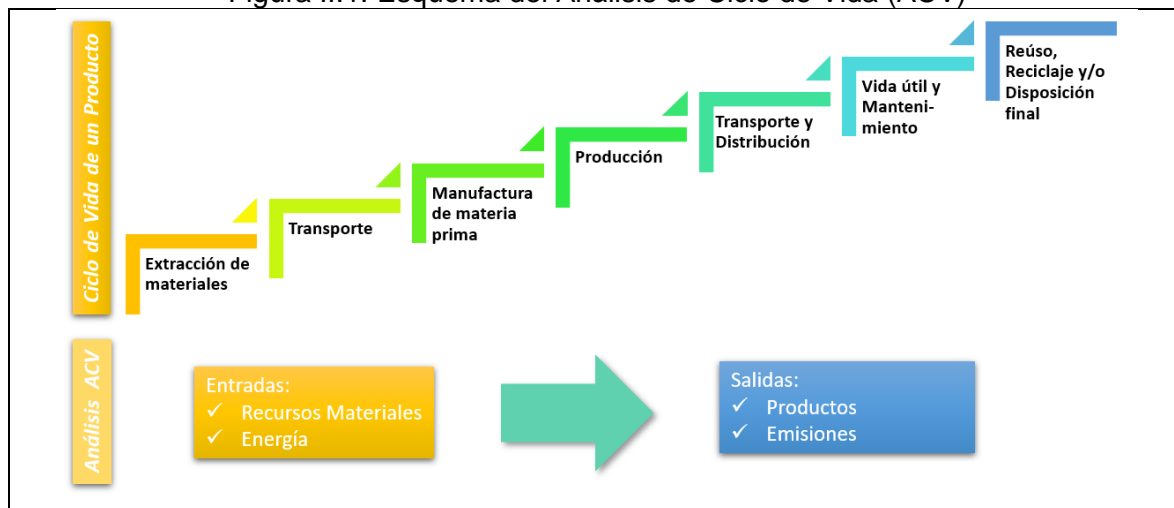
## Capítulo II. Marco Teórico

La presente investigación se enfocó en el concepto de análisis de ciclo de vida (ACV) debido al creciente interés en los impactos al ambiente que un producto o proceso pueda tener en el ambiente. En particular, se desea saber cómo el ACV puede integrarse en el diseño de programas de sustitución de equipos ineficientes en el uso de la energía. Por ello, este capítulo presenta los principales conceptos básicos que son necesarios conocer para el desarrollo de este trabajo, como lo es el análisis de ciclo de vida y las fases que lo conforman.

### II.1. Análisis del Ciclo de Vida

El análisis de ciclo de vida (ACV) es una técnica utilizada para determinar los impactos ambientales asociados a un producto o proceso durante todo su ciclo de vida, es decir desde la etapa de extracción de materiales para su elaboración, pasando por su traslado, manufactura y producción, distribución, uso durante su vida útil, así, hasta su destrucción, reciclaje o disposición final al término de su vida útil (lo que comúnmente se llama de la cuna a la tumba) (Figura II.1).

Figura II.1. Esquema del Análisis de Ciclo de Vida (ACV)



Fuente: Elaboración propia con base en la ISO 14040:2006

Lo anterior se hace reuniendo un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema del producto y evaluando los impactos ambientales potenciales asociados con dichas entradas y salidas, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impactos potenciales (ISO 14040:2006).

El origen del concepto de Análisis de Ciclo de Vida se remonta a la década de los 70s, cuando fue conceptualizado como REPA por sus siglas en Inglés (*Resource and Environmental Profile Analysis*), que se enfocaba a calcular los efectos que tenía la elaboración de un producto o un proceso en el ambiente y los recursos. Algunos de estos efectos son directos, como cuando se desechan los productos -residuos-, o indirectos como los contaminantes emitidos al aire o agua cuando son elaborados dichos productos (EPA, 2006).

Actualmente, el concepto se encuentra estandarizado por medio de dos normas ISO (International Organization for Standardization): (1) ISO 14040:2006 Gestión Ambiental – Análisis de Ciclo de Vida – Principios y Marco de Referencia y (2) la ISO 14040:2006 Gestión Ambiental – Análisis de Ciclo de Vida – Requisitos y Lineamientos. (ISO 14040:2006).

## **II.2. Fases del Análisis de Ciclo de Vida**

De acuerdo con la norma ISO-14040 el desarrollo del análisis de ciclo de vida se compone de cuatro fases, todas ellas relacionadas. La primera fase es definir el objetivo y el alcance del ACV, después es realizar un análisis del inventario de ciclo de vida, seguida por la tercera fase es la evaluación del impacto, y finalmente la fase de interpretación (ISO 14040:2006).

### **II.2.1. Fase de Definición de Objetivo y Alcance del ACV**

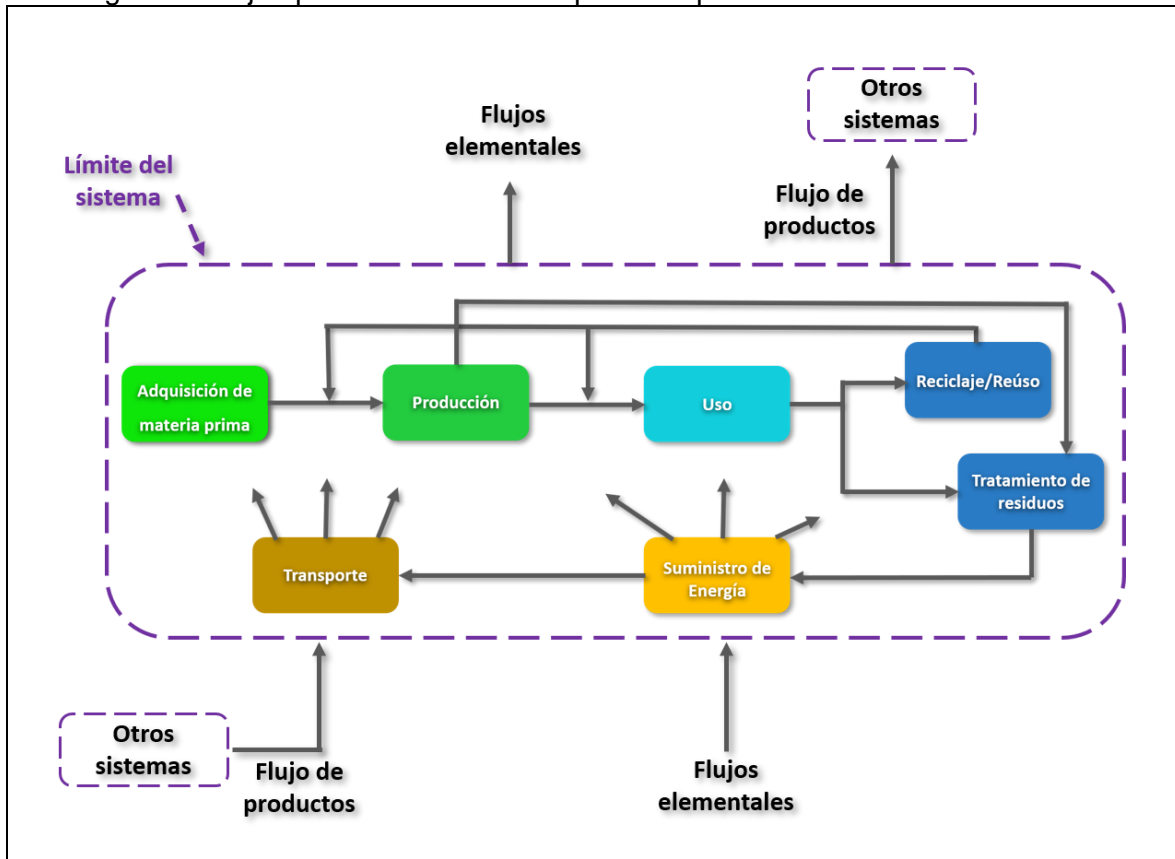
El objetivo debe establecer claramente cuál es el motivo de hacer el análisis de ciclo de vida, para qué será utilizado y a quién está dirigido. También es relevante que se especifique si como parte del objetivo es utilizar los resultados de forma comparativa que se pretende divulgar al público en general (ISO 14040:2006).

En el alcance se establece la amplitud, profundidad y detalles del estudio necesarios para seguir el objetivo establecido. Por lo tanto, en el alcance del ACV se define el sistema del producto o proceso a ser estudiado, los límites de dicho sistema, la unidad funcional, las categorías de impacto seleccionadas, así como las metodologías de análisis de impacto, los requisitos de calidad de los datos para el análisis, así como cualquier suposición hecha o limitaciones identificadas (ISO 14040:2006).

El límite del sistema es crucial ya que define los procesos unitarios que se incluirán en el sistema y serán analizados en sus entradas y salidas (Figura II.2). Existen flujos de otros sistemas o flujos elementales como el petróleo crudo, o productos intermedios como piezas plásticas, además hay flujos elementales que

salen de los procesos unitarios como las emisiones al aire, o descargas a cuerpos de agua o al suelo, así como flujos de productos que entran o salen del sistema como materiales reciclados o componentes para su reutilización (ISO 14040:2006).

Figura II.2. Ejemplo de un sistema de producto para el análisis de ciclo de vida.



Fuente: Adaptado de la ISO 14040:2006

## II.2.2. Fase de Análisis de Inventario de Ciclo de Vida (ICV)

La fase de Análisis de Inventario de Ciclo de Vida implica la recopilación de datos y los procedimientos de cálculo para cuantificar las entradas y salidas relevantes del sistema en estudio. El proceso para realizar un análisis de inventario es iterativo. A medida que se recopilan datos y se aprende más sobre el sistema, se pueden identificar nuevos requisitos o limitaciones de datos que requieren un cambio en los procedimientos de recopilación de datos para que los objetivos del estudio aún se cumplan. A veces, se pueden identificar problemas que requieren de la revisión de la meta y alcance del estudio (ISO 14040:2006).

En términos prácticos, la fase de análisis de inventario del ciclo de vida se fundamenta en la recolección de datos y los cálculos de los datos, con el fin de dar una visión global del producto/proceso al que corresponde. El cuadro II.1 muestra los aspectos que debe incluir la recolección y el cálculo de datos (ISO 14040:2006).

Cuadro II.1 Aspectos Relevantes de la Fase de Análisis de Inventario de Ciclo de Vida

Recolección de datos	Cálculos de datos
Insumos de energía, insumos de materias primas, insumos auxiliares, otros insumos físicos.	Validación de los datos recopilados (se pueden realizar balances de materia y energía).
Productos, coproductos y desechos (emisiones al aire, descargas al agua y al suelo y otros aspectos ambientales).	La relación de los datos con los procesos unitarios y la relación de los datos con el flujo de referencia de la unidad funcional.

Fuente: Elaboración propia con información de la ISO 14040:2006

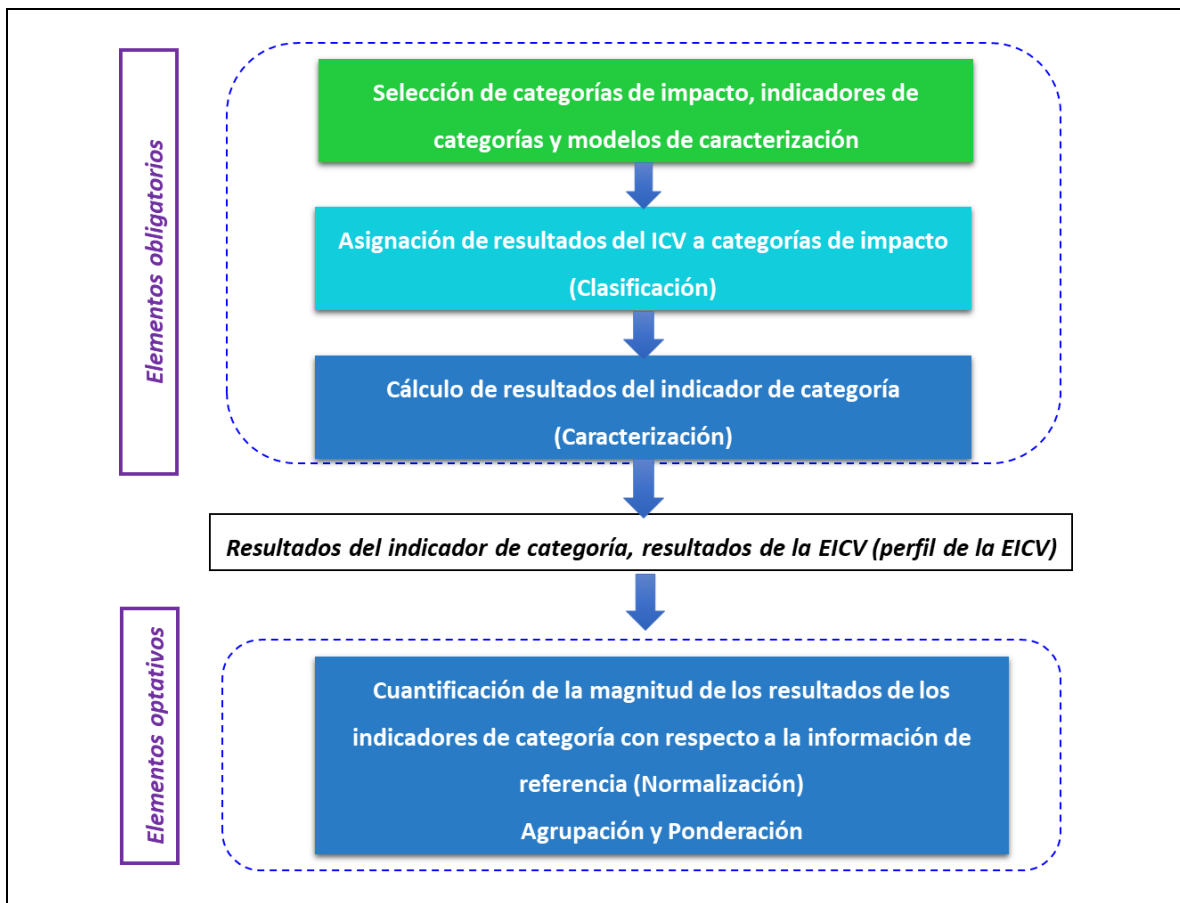
### II.2.3. Fase de Evaluación de Impacto del Ciclo de Vida (EICV)

Esta fase tiene como objetivo evaluar la importancia de los posibles impactos ambientales utilizando los resultados de análisis de ciclo de vida. El proceso implica asociar datos de inventario con categorías específicas de impacto ambiental. La fase también proporciona información para la fase de interpretación del ciclo de vida (Figura II.3).

La evaluación de impacto puede incluir el proceso iterativo de revisión de la meta y el alcance del estudio de ACV para determinar si los objetivos del estudio se han cumplido, o para modificar la meta y el alcance si la evaluación indica que no se pueden lograr (ISO 14040:2006).

Cuestiones como la elección, el modelado y la evaluación de categorías de impacto pueden inducir la subjetividad en la fase de la evaluación de ciclo de vida. Por lo tanto, la transparencia es fundamental para la evaluación de impacto para garantizar que las suposiciones estén claramente descritas e informadas (ISO 14040:2006).

Figura II.3. Elementos de la Fase de Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida (EICV)



Fuente: Adaptado de la ISO 14040:2006

## II.2.4. Fase de Interpretación

La interpretación es la fase del ACV en la que los hallazgos del análisis de inventario y la evaluación de impactos se combinan. La fase de interpretación debe proporcionar resultados que sean consistentes con el objetivo y el alcance definidos y que alcancen conclusiones, expliquen las limitaciones y brinden recomendaciones (ISO 14040:2006).

La interpretación debe reflejar el hecho de que los resultados de la EICV se basan en un enfoque relativo, que indican efectos ambientales potenciales y que no predicen los impactos reales en los puntos finales de la categoría, la superación de umbrales o márgenes de seguridad o riesgos. Los hallazgos de esta interpretación pueden tomar la forma de conclusiones y recomendaciones para los tomadores de decisiones, de acuerdo con el objetivo y el alcance del estudio (ISO 14040:2006).

La interpretación del ciclo de vida también pretende proporcionar una presentación comprensible, completa y coherente de los resultados de un ACV, de acuerdo con la definición del objetivo y el alcance del estudio (ISO 14040:2006).

La fase de interpretación puede involucrar el proceso iterativo de revisión del alcance de la ACV, así como la naturaleza y la calidad de los datos recopilados de una manera que sea consistente con la meta definida. Los hallazgos de la interpretación del ciclo de vida deben reflejar los resultados del elemento de evaluación (ISO 14040:2006).

## **Capítulo III. Programas de Sustitución Internacionales**

La presente investigación se enfocó en identificar, a partir de experiencias internacionales, cómo ha sido aplicado el concepto de análisis de ciclo de vida (ACV) en el diseño de los programas de sustitución de aparatos y equipos ahorradores de energía. Encontrándose que son pocos los casos documentados a este respecto, se halló que existen diversos estudios que abarcan el concepto de ACV, aunque no enfocados, de manera particular, a programas de sustitución de equipos ineficientes.

Entonces, en este capítulo se describe la experiencia de España, Brasil y Estados Unidos, siendo el caso de España, el único que se localizó en el que se realizan análisis de ciclo de vida para diferentes tecnologías de sustitución, pero, aclarando, como una post-evaluación. Los casos de Brasil y Estados Unidos se escogieron por contar con un mecanismo de disposición final de residuos de equipos ineficientes que finalmente internalizan el costo por los impactos ambientales de la disposición al final de la vida útil de los equipos.

### **III.1. Análisis de Ciclo de Vida y Eficiencia Energética en España**

A nivel internacional, la experiencia más reciente que vincula el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) con programas de sustitución de equipos eléctricos para reducir el consumo de energía, es una evaluación hecha a los programas gubernamentales de eficiencia energética enfocadas a la sustitución de tecnologías implementadas por el gobierno español (Economics for Energy, 2011).

Dicho post-análisis ha encontrado que los potenciales de reducción de energía son menores si es considerada toda la cadena (ciclo de vida) de consumo de energía de las tecnologías que sustituyen a las ineficientes. Al incluir el ciclo de vida completo de las tecnologías utilizadas en un programa de sustitución el potencial de ahorro se reduce en un 8.5%, y los costos del paquete de medidas de eficiencia energética aumentan hasta en 50% (Bernaldo, 2017).

Como parte de lo encontrado en ésta investigación se menciona que existen muy pocos estudios que analicen completamente la situación española, y ninguno que incluya el análisis de ciclo de vida en sus estimaciones; de tal forma que la investigación revisa las medidas con y sin análisis de ciclo de vida, a fin de comparar los resultados obtenidos en ambos casos en las curvas de costo marginal de mitigación (curvas MACC, ver Anexo i), las cuales pretenden evaluar el costo y la efectividad de distintas medidas, generalmente para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en general (CO<sub>2</sub> equivalente), o de CO<sub>2</sub> en particular.

Los resultados obtenidos con respecto a las diferencias entre los escenarios con y sin consideración del ACV indicaron que el potencial de ahorro energético en 2030 se reduce de 106 millones de MWh a 97 millones de MWh. Dicho de otra forma, el potencial de ahorro de la demanda de energía primaria se reduce un 8.54% por el hecho de tener en cuenta todas las fases del ciclo de vida de las distintas tecnologías.

En la mayoría de los casos, el ahorro conseguido considerando el ACV es inferior al que se lograba en los escenarios sin ACV. Un claro ejemplo es un lavavajillas, que al realizar el análisis de entradas y salidas de insumos energéticos y materias primas en cada una de las etapas de su ciclo de vida, el 95.5% del total de las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas son generadas en la etapa de producción del electrodoméstico y no durante su periodo de utilización de consumo de energía.

Un caso extremo es el del auto híbrido que se conecta, para el que en el escenario con ACV el ahorro se vuelve negativo. Las calderas de gas de condensación y de gas de baja temperatura también se ven negativamente afectadas: el potencial de ahorro se reduce en un 57% y en un 83% respectivamente.

Desarrollando el análisis de ciclo de vida de diversas tecnologías y poniéndolas en perspectiva una con otra puede ser especialmente útil en el diseño de políticas públicas en materia de eficiencia energética, no sólo en el momento de priorizar el sector de mayor potencial, sino también que tecnología conlleva más ahorros con menores impactos ambientales (al menos en términos de CO<sub>2e</sub>).

### **III.2. Programa de Sustitución de Refrigeradores de la Agencia Nacional de Energía Eléctrica (ANEEL) en Brasil**

La Agencia Nacional de Energía Eléctrica (ANEEL) del gobierno de Brasil ha fomentado la eficiencia energética en diferentes sectores de la economía por medio de los distribuidores de energía que participan en el mercado energético del país. Las empresas energéticas deben invertir 0.5% de las ganancias anuales en programas de eficiencia energética en el consumo final (WEC, 2010).

Desde 2005 y hasta ahora, la mitad de esas inversiones deben enfocarse en hogares de bajos ingresos económicos, y es así como las empresas energéticas han desarrollado programas de apoyo a las viviendas en los temas de iluminación, recableado eléctrico, cambio de refrigeradores e inserción de calentadores solares de agua (WEC, 2010).

Así, en colaboración con grandes productores de electricidad, el gobierno de Brasil está implementando programas de intercambio de refrigeradores en todo el



país, principalmente con fines de eficiencia energética. El diseño del programa de sustitución incluye la disposición correcta de los refrigeradores recolectados los cuales se desechan de manera apropiada ambientalmente.

En colaboración con la Agencia de Cooperación Alemana (GIZ), el gobierno de Brasil ha desarrollado un sistema de reciclaje integral de refrigeradores y congeladores domésticos viejos. El proyecto cuenta con una planta de reciclaje con capacidad de procesamiento de 350,000–400,000 refrigeradores y congeladores, en la cual se recuperan los clorofluorocarbonos (CFCs) y otros gases fluorados de los sistemas de refrigeración, así como los contenidos en la espuma de aislamiento (GIZ, 2011).

El proyecto involucra a todas las partes interesadas relevantes del sector de reciclaje de refrigeradores en Brasil: fabricantes y distribuidores, técnicos de servicio y recolectores informales de chatarra; a estos últimos se les ofrece una capacitación para recolectar y entregar los refrigeradores sin dañarlos, y así como para que los CFCs contenidos en los equipos no escapen de acuerdo con la norma técnica emitida para ello (ABNT NBR 15960:2011).

Con la capacidad de reciclaje de la planta de 350,000 refrigeradores al año, se estima la captura de hasta 40 toneladas de CFC-12 del sistema de refrigeración y 98 toneladas de CFC-11 de la espuma de aislamiento, lo que resulta en una reducción de las emisiones directas de 890,000 toneladas de CO<sub>2e</sub> (GIZ, 2011).

Adicionalmente, el gobierno brasileño ha aprobado una ley que exige el desarrollo de un sistema de devolución y reciclaje de residuos de equipos eléctricos y electrónicos. Esto es relevante pues con ello el gobierno busca trasladar la responsabilidad de la disposición final (tratamiento, reciclaje o disposición) a los fabricantes y distribuidores (responsabilidad extendida) (DOU, 2010).

La Política Nacional de Residuos Sólidos de ese país, requiere entonces, que los fabricantes, importadores, distribuidores o comerciantes diseñen e implementen sistemas de devolución de productos después de su uso por parte de los consumidores, con el fin de hacer efectiva la responsabilidad compartida para el ciclo de vida producto (CDB, 2012).

Este es un esquema interesante, que también incluye otro tipo de residuos como son lámparas fluorescentes, de vapor de sodio y mercurio, aceites lubricantes y medicinas. Una vez que los distribuidores y minoristas reciben de regreso los aparatos obsoletos, se los entregan a productores o importadores quienes tienen la responsabilidad de dar disposición final adecuada (CDB, 2012).

### **III.3. Disposición Responsable de Aparatos y Equipos (RAD) en Estados Unidos**

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés) maneja el programa de “Disposición Responsable de Aparatos y Equipos” (*RAD, por sus siglas en inglés*). RAD es un programa de asociación voluntaria que trabaja con empresas de servicios públicos, minoristas, fabricantes, afiliados, gobiernos locales, y otros para recolectar aparatos usados de aire acondicionado, calefacción y refrigeradores, y así implementar las mejores prácticas para la eliminación de estas unidades (EPA, 2017a).

Si bien RAD no es un programa de sustitución per sé, es un esquema interesante que los gobiernos estatales o locales utilizan como parte de los programas de sustitución de equipos ineficientes que ellos implementan (generalmente para personas de bajos ingresos). Por ejemplo, la Ciudad de Los Ángeles, California cuenta con un programa de reemplazamiento de equipos ineficientes (refrigeradores, aires acondicionados tipo ventana y lavadoras) que se encuentra aliado al programa RAD para la recolección y correcto tratamiento del equipo sustituido (LAWDP, 2018).

El Programa RAD busca aliados en todo el territorio estadounidense (incluido Puerto Rico), que recolectan los aparatos usados de los consumidores, incluidos refrigeradores, congeladores, aires acondicionados y deshumidificadores. Además, trabajan con los recicladores para garantizar que se eliminen los aparatos usados utilizando las mejores prácticas ambientales (EPA, 2017b).

En 2017, los 42 socios del programa RAD recolectaron y procesaron un total de 561 529 equipos de refrigeración a nivel nacional, evitaron la liberación de 67 toneladas de refrigerantes y agentes espumantes, y se logró una reducción de 1.9 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente (MtCO<sub>2</sub>e) (EPA, 2017b).

El programa inició su implementación en 2007, y ofrece información al público mediante su portal en internet ([www.epa.gov/rad](http://www.epa.gov/rad)), en donde se puede encontrar la información relacionada a los métodos de manejo de los residuos recolectados, los resultados del programa, así como sus reportes anuales.

## Capítulo IV. Programas de Sustitución en México

El establecimiento de nuevos niveles de eficiencia en México ha requerido que el gobierno implemente programas de sustitución de tecnologías menos eficientes u obsoletas desde el punto de vista de la nueva regulación. En este capítulo se describen cinco programas implementados en México para la sustitución de equipos ineficientes en diversos sectores:

- a. Sector Residencial. Programa de Sustitución de Equipos Electrodomésticos “Cambio tu Viejo por uno Nuevo”.
- b. Sector Residencial. Programa Luz Sustentable I y II (PLS I y PLS II).
- c. Sector Residencial. Programa Ahórrate una luz.<sup>2</sup>
- d. Sector Industrial. Eco-crédito Empresarial.
- e. Sector Gubernamental. Programa de Eficiencia Energética en Edificios de Oficinas de las Administración Pública Federal.

La selección de estos cinco programas de sustitución se basó por la magnitud de dichos programas, número de equipos a ser sustituidos e impactos esperados de reducción en el consumo de energía, así como de emisiones evitadas. Asimismo, otro aspecto crucial en el momento de escoger los programas a documentar fue la disponibilidad de información y datos por fuentes administrativas públicas.

### IV.1. Programa Cambio tu Viejo por uno Nuevo

En 2002, se implementó el primer programa de sustitución masiva de aparatos electrodomésticos en el sector residencial en México. El programa, a cargo de la Secretaría de Energía (SENER) y operado por el Fideicomiso para el Ahorro de la Energía Eléctrica (FIDE), financiaba la adquisición de refrigeradores y aires acondicionados (ACs) eficientes en el uso de la energía. En este primer programa, llamado Programa de Financiamiento para el Ahorro de la Energía Eléctrica (PFAEE) se reemplazaron 628 283 refrigeradores y 132 318 ACs (CFE, 2006).<sup>3</sup>

Debido al éxito obtenido, en 2009 se implementó un segundo programa denominado comúnmente como “Cambia tu Viejo por uno Nuevo”<sup>4</sup> con el cual se

---

<sup>2</sup> El nombre oficial del programa es “Programa Nacional de Sustitución de Lámparas Incandescentes por Fluorescentes Compactas Autobalastadas en Localidades de hasta 100,000 Habitantes.”

<sup>3</sup> Este primer programa también financió la instalación de 25 526 aislamientos térmicos en hogares.

<sup>4</sup> El nombre oficial del programa es “Programa de Sustitución de Equipos Electrodomésticos (PSEE)”.

llegó a sustituir hasta 1 682 802 refrigeradores y 201 327 ACs (Banco Mundial, 2016).

De acuerdo con el reporte de conclusión y resultados del Banco Mundial del Programa, todos los equipos sustituidos (refrigeradores y aires acondicionados) fueron manejados adecuadamente en más de 100 centros de acopio y destrucción (CAyDs) en todo el país, enfocados en la recuperación de gases refrigerantes y el reciclaje de materiales (Banco Mundial, 2016). Como parte del proyecto se realizó una auditoría ambiental en cuatro de estos CAyDs y se encontró que las prácticas de acopio y destrucción eran deficientes, constatando que parte del gas refrigerante se dejaba escapar a la atmósfera y que no se aplicaban los registros y controles de los procedimientos establecidos como parte del programa (Banco Mundial, 2010).

No obstante, no existe un reporte que indique el número total de equipos manejados, toneladas de gases refrigerantes recuperados, así como de materiales reciclados o enviados a disposición final. Adicionalmente, vale la pena mencionar que los ahorros energéticos y las emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas, asociados a la implementación del programa, fueron calculados directamente por la diferencia de demanda eléctrica entre los nuevos equipos eficientes instalados *versus* los equipos ineficientes retirados, sin considerar los impactos ambientales en las diferentes fases del ciclo de vida de dichos equipos (Banco Mundial, 2016).

## **IV.2. Programa Luz Sustentable (Fase I y II)**

En 2011, se implementó el programa de sustitución de focos incandescentes “Programa Luz Sustentable”, sustituyendo, en sus dos fases, 45.8 millones de focos por lámparas fluorescentes compactas (LFCs) evitando la emisión de 13.6 millones toneladas de bióxido de carbono equivalente (CO<sub>2e</sub>)<sup>5</sup> (Banco Mundial, 2016). Este programa en conjunto fue reconocido con un Récord Guinness por ser el programa más grande en número de lámparas entregadas gratuitamente (Guinness World Record, 2012).

Este programa acompañó la entrada en vigor de la norma oficial mexicana NOM-028-ENER-2010<sup>6</sup> que prohibió la fabricación, distribución y comercialización de focos incandescentes, particularmente, esta norma establecía la salida gradual

---

<sup>5</sup> Cifras calculadas sólo por la reducción de la demanda de las LFCs comparadas con los focos incandescentes.

<sup>6</sup> La norma fue actualizada el 09 de marzo de 2018 “NOM-028-ENER-2017”. En la actualización se adecuaron los límites mínimos de eficacia luminosa para las lámparas de uso general destinadas a la iluminación en los sectores residencial, comercial, servicios, industrial y alumbrado público, así como sus métodos de prueba.

del mercado de las lámparas incandescentes de 100 Watts (W) al 2011, 75 W al 2012 y las de 40 y 60 W a partir del 01 de enero de 2015.

A decir, el mecanismo de operación del Programa de Luz Sustentable (PLS) incluyó en su diseño el acopio y la destrucción de las lámparas incandescentes recolectadas, sin embargo, omitió el manejo final de las lámparas fluorescentes compactas, entregadas como parte del programa, al final de su vida útil (Banco Mundial, 2016). El problema no es menor cuando se espera que derivado de estos programas 23 millones de lámparas fluorescentes compactas cumplan su vida útil para 2019 (ver Anexo ii).

Un estudio del impacto del Programa Luz Sustentable elaborado en 2015 indagó en el manejo que los beneficiarios del programa les dieron a las lámparas fluorescentes adquiridas por medio del programa, y encontraron que la mayoría de las personas (8 de cada 10) desecharon las lámparas fluorescentes en el bote de basura de su casa, es decir que no fueron entregadas en centros de acopio para el manejo adecuado (SENER, 2015).

Esto puede deberse a que la población no esté sensibilizada a los daños ambientales de este tipo de luminarias y que su disposición final debe hacerse por medio de empresas especializadas para ello. Aunado, una pequeña muestra de este mismo estudio (3% de los encuestados) dijo que tenían almacenadas las lámparas en su casa debido a que no contaban con información de dónde deberían ser entregadas.

Entonces, se hace notar que no ha sido considerado generar material de difusión, así como llevar a cabo campañas de comunicación de los programas. Los costos de desarrollar un componente de difusión deberían ser incluidos dentro de los costos de dichos programas, y deberían ser sumados a los costos del impacto ambiental derivado de la incorrecta disposición de estas lámparas. La disposición final de los residuos es al menos una de las fases del ciclo de vida que los programas de sustitución de equipos ineficientes ya están contemplando en su diseño, y en este programa no fue así.

En 2015, posterior a la implementación del programa PLS, el FIDE realizó un estudio sobre centros de acopio especializados en la destrucción de LFCA-LFL (Lámparas Fluorescentes Compactas Autobalastadas y Lineales), con el fin de contar con información que ayudara al gobierno a instrumentar la correcta recolección y destrucción de LFCA y LFL (FIDE, 2015a).

Como parte del estudio, determinó que en 2015 existían sólo tres empresas autorizadas por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) para el manejo de residuos de lámparas fluorescentes, especialmente para el manejo de mercurio, éstas ubicadas en Baja California,

Estado de México y Nuevo León (FIDE, 2015a). En la actualidad, en la Ciudad de México sólo cuatro empresas están registradas en el directorio de centros de autorizados para el acopio de focos ahorradores y lámparas fluorescentes (SEDEMA, 2018).

### **IV.3. Programa Ahórrate una Luz**

El programa de sustitución de luminarias implementado más recientemente es el “Programa Ahórrate una Luz”.<sup>7</sup> Operado por el FIDE, con el apoyo de Diconsa, CFE y la SENER. Entre 2015 y 2017, por medio de este programa se sustituyeron cerca de 40 millones de focos incandescentes menores a 60 Watts por Lámparas Fluorescentes Compactas en localidades menores a 100 mil habitantes (CONUEE, 2016).

Similar al Programa Luz Sustentable, la implementación de Ahórrate una Luz fue impulsado para ayudar en la eliminación paulatina de los focos incandescentes de 40 a 60 W y beneficiar a casi 8 millones de usuarios de energía eléctrica en tarifa doméstica que no fueron beneficiados por el Programa Luz Sustentable. Este programa entregaba cinco focos ahorradores (LFC) a cambio de por lo menos una lámpara incandescente (FIDE, 2018).

El manejo de este programa no establece claramente cómo fueron recolectados los focos incandescentes ni cuántos de ellos fueron entregados por los beneficiarios al acudir por sus lámparas LFC en las tiendas Diconsa o los eventos masivos de entrega, y menos la disposición final que se le dieron. Algunos reportes de la Fiscalización Superior de las Cuentas Públicas documentaron problemas en el almacenamiento de las LFC por falta de espacio en los almacenes, así como bastidores o armarios para resguardarlas (ASF, 2014).

En el presupuesto original aprobado en 2014 para este programa, no contenía un monto específico asignado para el manejo de lámparas. Sin embargo, en 2015 se modificó dicho presupuesto y fueron asignados MXN \$ 3 millones en una partida denominada “Programa de Disposición Mercurio de LFCA”. La auditoría de 2015 indicó que al cierre de ese año el monto por ese concepto no había sido ejecutado (ASF, 2015).

La información previa lleva a pensar que es posible que las condiciones de acopio de las lámparas incandescentes reemplazadas no hayan sido las más adecuadas. Incluso el diagrama simplificado del programa menciona que como

---

<sup>7</sup> El nombre oficial de este programa es “Programa Nacional de Sustitución de Lámparas Incandescentes por Fluorescentes Compactas Autobalastadas en Localidades de hasta 100,000 Habitantes”.

parte de la mecánica del programa el beneficiario “entrega al menos un foco incandescente que se destruye en su presencia” y después es colocado en un contenedor para su disposición final (FIDE, 2015b y FIDE, 2018).

No existe más información pública de cómo se llevó a cabo esa recolección para su disposición final en las casi 19 mil instalaciones de Diconsa que fueron parte del sistema de distribución, así como de “destrucción” de los focos incandescentes (272 almacenes rurales y 18 501 Tiendas Diconsa participantes en el programa) (FIDE, 2018).

Por otro lado, revisando la información disponible en este momento, se encontró información de un estudio realizado en la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), realizando el análisis de ciclo de vida en tres tipos de luminarias usadas en interiores: focos incandescentes, lámparas fluorescentes compactas y LED (Hernández, 2015).

El estudio demuestra que el consumo eléctrico de la incandescente es 5.5 veces más que la luminaria fluorescente y 8.10 veces más que la de LED. Las emisiones de CO<sub>2e</sub> en su conjunto de producción, uso y disposición final de la luminaria incandescente (49,334.4 CO<sub>2e</sub>) contribuye al calentamiento global 29.87 veces más que la fluorescente (1,651.2 Kg. CO<sub>2e</sub>) y 146.82 veces más que la de LED (336 Kg. CO<sub>2e</sub>).

Sin duda, los programas de sustitución de luminarias han adolecido de un diseño adecuado que considere los impactos ambientales globales ocasionados, por ejemplo por la inexistencia de programas de manejo de las luminarias sustituidas al final de su vida útil, así como de las lámparas nuevas entregadas una vez que haya terminado su función.

Esto es más latente, cuando el FIDE, uno de los operadores de este tipo de programas de sustitución, ha evaluado que la infraestructura para el correcto manejo es básicamente nulo comparado con la cantidad de lámparas que se encuentran próximas al final de su vida útil (FIDE, 2015a).

#### **IV.4. Programa Eco-crédito Empresarial**

En el 2012, inició el Programa de Ahorro y Eficiencia Energética Empresarial conocido como “Eco-crédito Empresarial”, un programa de financiamiento enfocado a las micro, pequeñas y medianas empresas (MIPYME) para la adquisición de equipos eficientes en términos energéticos y sustituir así los equipos ineficientes (FIDE, 2014).

El programa es operado por el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE), pero en su implementación participan la Secretaría de Energía (SENER) y la

Secretaría de Economía (SE) como aportadores de los recursos, Nacional Financiera (NAFIN) quien administra la línea de crédito y la Comisión Federal de Electricidad (CFE) que cobra el préstamo a través el recibo de facturación de energía eléctrica (FIDE, 2014).

A inicios de 2018, el programa había ayudado a sustituir más de 37 mil equipos eléctricos, siendo en su gran mayoría equipos de refrigeración comercial (8.6 de cada 10 equipos son refrigeradores comerciales), seguido por aire acondicionado de 1 a 10 TR (9%) y sistemas de iluminación (tipo lineal T5 y T8, LED e inducción magnética) (Cuadro IV.2) (SENER, 2017).

Cuadro IV.2. Número Acumulado de Equipos Financiados por el Programa Eco-crédito Empresarial por Tipo a septiembre de 2018

Tipo de Equipos Adquiridos	Número de equipos
Aire Acondicionado	3 422
Iluminación*	1 429
Refrigeradores Comerciales	32 129
Subestaciones Eléctricas	160
Motores Eléctricos**	1
Banco de Capacitores	14
Cámaras de Refrigeración	38
Calentadores Solares de Agua	10

\*Paquete de iluminación (T8, T5 y LED)

\*\*Actualmente el programa no financia la sustitución de motores eléctricos

Fuente: Elaboración propia con información del Reporte de Avances y Resultados del Programa Sectorial de Energía 2013-2018 (SENER, 2017)

Respecto al diseño del programa y el análisis de los impactos ambientales durante el ciclo de vida de los equipos, lo más avanzado que tiene al respecto es que el programa considera un “incentivo energético” equivalente al 10% del valor de los equipos financiados (el cual se resta al monto del crédito recibido) que supone cubre los costos por el manejo adecuado del equipo sustituido (FIDE, 2014).

Existen 38 centros de acopio y destrucción (CAyD) registrados ante el FIDE en total en todo el país y en los cuales se supone los equipos son procesados, reciclados y dispuestos de forma ambientalmente adecuada (ver Anexo iii) (FIDE, 2018b). Sin embargo, no hay información disponible que verifique que los equipos



sustituídos han sido manejados adecuadamente y qué empresas específicas han sido contratadas para ello.

Esta investigación no pudo constatar si el programa Eco-crédito Empresarial ya cuenta con un sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV), que desde 2013 el FIDE reconocía que no había desarrollado y que era un reto pendiente. El sistema MRV no sólo sirve para dar seguimiento a los ahorros energéticos y económicos del programa, sino que podría ser utilizado para verificar que los equipos retirados son manejados adecuadamente en términos ambientales (FIDE, 2014).

#### **IV.5. Programa en Oficinas de la Administración Pública Federal**

Un caso interesante y en reciente fase piloto, es el programa diseñado por Banco Interamericano de Desarrollo (BID) en coordinación con la Secretaría de Energía (SENER) y la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de Energía (CONUEE) llamado “Programa de Eficiencia Energética en Edificios de Oficinas de la Administración Pública Federal (PEEEOAPF)”. El objetivo de este programa es financiar la sustitución de sistemas de iluminación y de equipos de aire acondicionado de alto consumo por tecnologías de alta eficiencia en oficinas del gobierno federal (BID, 2017a).

El programa inició su etapa piloto en 2018 (iniciando con diez edificios) y será implementado a lo largo de los siguientes cinco años, sustituyendo equipos en un total de 1 500 edificios. Se estima que se sustituyan alrededor de 730 000 lámparas fluorescentes y 8 000 equipos de aire acondicionado (BID, 2017a).

El proyecto ejecutivo contempló el desarrollo de una evaluación de impacto ambiental y social, e incluyó un Plan Maestro para el Manejo de Residuos generados por el proyecto (Figura IV.1). En su diseño, el programa especifica que el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE) será responsable de la implementación, entre otros, del procedimiento de “retiro y manejo de los equipos reemplazados y sus residuos” (BID, 2017b).

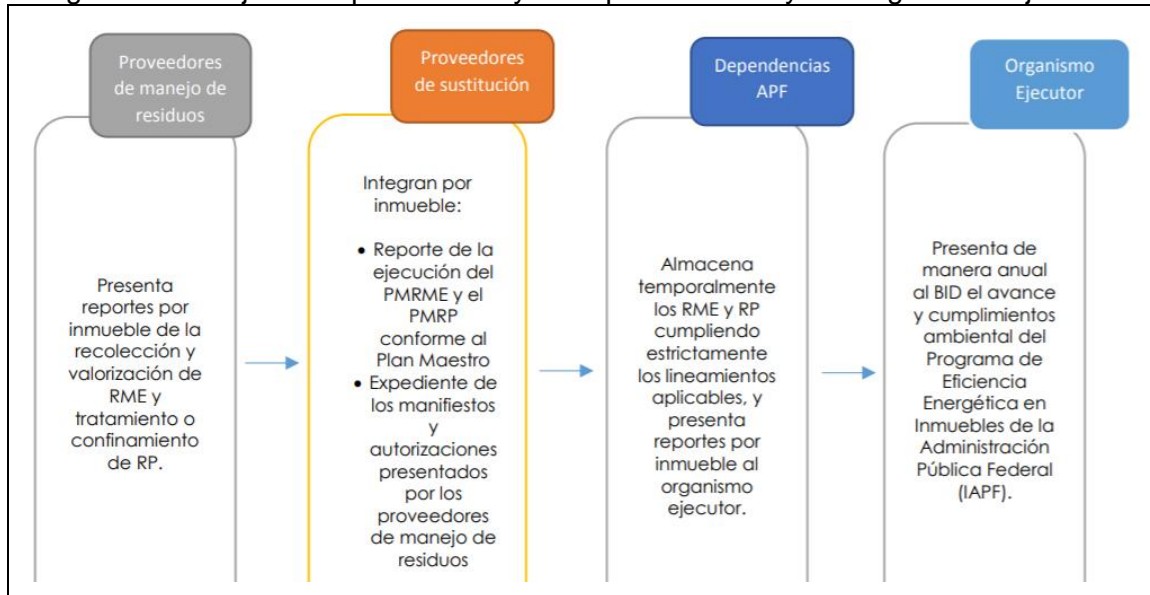
De acuerdo con la Ley General para la Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR, 2003) y de la Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011<sup>8</sup> referente a los residuos de manejo especial, aún resta que el FIDE elabore y registre ante la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) los

---

<sup>8</sup> NOM-161-SEMARNAT-2011, Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo.

planes de manejo de residuos peligrosos y de residuos de manejo especial vinculados al proyecto (SEMARNAT, 2018).

Figura IV.1. Flujo de Reporte de Proyectos por Inmueble y del Organismo Ejecutor.



Fuente: Plan de Gestión Ambiental y Social (PGAS) del Programa de Eficiencia Energética en Inmuebles de la Administración Pública Federal (IAPF) (BID, 2017a).

Respecto a los ahorros potenciales económicos y de emisiones de CO<sub>2</sub>, el BID realizó un estudio del potencial de ahorro de los edificios de oficinas de la APF y encontró que sólo por la sustitución de equipos de iluminación y aire acondicionado se podría evitar el consumo de 115 GWh al año en consumo eléctrico y hasta MXN \$ 189.5 millones de pesos anuales en facturación (BID, 2017b).

Las emisiones evitadas asociadas (52 670 tCO<sub>2</sub>e/año) las calcularon utilizando el factor de emisiones de la industria eléctrica, es decir, las emisiones que se hubieran producidos por la generación de 115 GWh al año (BID, 2016). Como se viene apuntando, se asumen beneficios sólo por el diferencial de demanda energética de los equipos reemplazados respecto a los equipos nuevos eficientes.

Sin embargo, es interesante este caso, ya que el Plan Maestro para el Manejo de Residuos incluyó unos costos asociados por el manejo de residuos de las lámparas fluorescentes (trituration y captura del vapor de mercurio), así como del manejo de equipos de aire acondicionado. Estos costos son sólo sugeridos por el consultor que desarrolló el Plan Maestro para el Manejo de Residuos, y dichos costos aún no se han visto reflejados en el diseño del programa en general (BID, 2017b).

Si bien el análisis referido no sigue las etapas establecidas en el análisis de ciclo de vida (ACV), al identificar e incluir dichos costos, se estaría ampliando el enfoque hacia el ACV, dando pasos hacia la dirección correcta en la inclusión de los costos asociados por los impactos ambientales indirectos que generan el desarrollo de los proyectos al retirar los equipos ineficientes.

## Capítulo V. Análisis Comparativo y Recomendaciones

Los programas de sustitución tanto de electrodomésticos como de luminarias en México han intentado incorporar la fase de costos por disposición del equipo ineficiente retirado de los hogares. En algunos casos se ha asignado un incentivo energético para el envío a centros de acopio autorizados, pero que no en todos los casos ha funcionado.

A nivel internacional se ha empezado a considerar para el diseño de los programas de sustitución de equipos ineficientes por equipos eficientes no sólo el beneficio que se da por el menor consumo de energía de forma operativa (durante su uso) sino también la incorporación de consumos energéticos (energía incorporada) relacionados a la fabricación de estos nuevos equipos (extracción de materiales, producción de componentes), así como a su transporte; además de la energía consumida para la disposición final o destrucción al término de su vida útil del nuevo equipo, y no sólo del sustituido.

### *ACV de diversas tecnologías*

El ejemplo de España nos muestra que es posible desarrollar análisis de ciclo de vida de diferentes equipos y aparatos que tomen en cuenta las emisiones globales equivalentes de gases efecto invernadero considerando todas las etapas descritas con anterioridad y no únicamente las relacionadas al consumo de energía en su operación (de la cuna a la tumba).

Las instituciones que se han dedicado a la implementación de estos programas, como son el FIDE, la SENER, la CONUEE podrían tener a su disposición información que les ayude a realizar acciones post-implementación que puedan minimizar el impacto ambiental de la omisión de un análisis previo de los impactos en todo el ciclo de vida de los equipos sustituidos, por ejemplo, las lámparas fluorescentes compactas.

Contar con el ACV de diversas tecnologías en el diseño de los programas de sustitución proporciona información adicional sobre los impactos ambientales y en la salud humana que tradicionalmente no se tiene en cuenta al seleccionar un producto o tecnología.

Se recomienda que SENER y CONUEE impulsen investigación científica y tecnológica aplicada al ACV de equipos y aparatos que sean de interés primordial en términos de niveles de eficiencia energética. Esta acción la podrían ejecutar bajo los fondos sectoriales CONACYT-SENER-Sustentabilidad Energética, cuyas convocatorias generalmente están enfocadas a institutos de investigación y de educación superior del país. Con ellos se espera poder contar con más estudios de

ACVs en diversas tecnologías como el desarrollado para luminarias por la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM) (Hernández, 2015).

Asimismo, se recomienda que como parte del proceso de elaboración de las normas de eficiencia energética (NOMs) sea integrado el análisis de ciclo de vida como una preevaluación de las diferentes opciones de tecnologías que se pudieran estar regulando. Esto conllevará a incrementar las capacidades técnicas en el ACV al interior de la CONUEE y de aquellos que participen en los grupos de trabajo de la elaboración de las normas.

Por medio de las asociaciones de productores e importadores de aparatos y equipos, como la ANFAD (Asociación Nacional de Fabricantes de Aparatos Domésticos), se puede iniciar un mecanismo de coordinación para que los productores, importadores, distribuidores y comercializadores también fomenten la elaboración de ACVs de sus productos. Esto se podría realizar en colaboración con las universidades o centros de investigación, o como parte de las áreas de investigación y desarrollo que actualmente tienen algunos de los fabricantes de aparatos y equipos (Mabe, Siemens, Danfoss, Daikin, etc.).

#### *Centros de Acopio y Reciclaje*

En el caso de las luminarias en México, si bien los programas de sustitución de lámparas incandescentes pueden haber ya cumplido varios de sus objetivos iniciales como era acompañar a la salida del mercado de lámparas incandescentes y acelerar su reemplazo, mejorar los precios de lámparas ahorradoras (el precio de las LFCs se redujo hasta un 30%), el número de LFCs que están llegando al final de su vida útil es considerable.

Como se mencionó en el capítulo anterior, sólo de programas de sustitución implementados por el gobierno mexicano 87 millones de LFCs podrían llegar al final de su vida útil al 2022, sin sumar las lámparas que como parte de la tendencia de adquisición de equipos más eficientes hayan sido adquiridas de forma independiente a dichos programas. Es obvio que la infraestructura actual para el reciclaje y manejo final de estas lámparas no es suficiente.

En el caso de aparatos de mayor tamaño, en 2014, el programa de Eco-crédito contaba con más de 55 centros de acopio y destrucción de equipos (CAyD) y su número se redujo en un 30% en los últimos 4 años (FIDE, 2014; FIDE, 2018B). Los motivos detrás de ello pueden ser diversos, pero sin duda si la demanda del servicio se reduce las empresas no encontrarán atractivo continuar con centros que implican una responsabilidad ambiental y social.

No es objetivo de este trabajo elaborar una política pública que pueda resolver esta situación, sin embargo, sí es proveer ejemplos de políticas o programas

exitosos que han sido implementados, tal es el caso del Programa RAD (Programa de Disposición Responsable de Aparatos y Equipos) en Estados Unidos.

Este programa ha logrado conjuntar a más de 50 socios entre empresas de servicios públicos (privadas y públicas), distribuidores, fabricantes, y gobiernos estatales. Los incentivos para todos ellos son diferentes pero los que más resalta el programa es el reconocimiento público como líderes ambientales por la Agencia de Protección al Ambiente (EPA), la EPA les ayuda a monitorear el manejo adecuado de los residuos por medio de una plataforma exclusiva para los socios de RAD, además de una amplia gama de herramientas e información para mejorar su desempeño.

Para mantener un número suficiente de centros de acopio y reciclaje de equipos electrónicos y electrodomésticos, incluidas las lámparas, será necesario crear incentivos, los cuales no tienen por qué ser económicos, para que exista una mayor participación del sector privado, acompañado de regulaciones que exijan a los fabricantes o importadores el cumplimiento de la disposición adecuada de residuos de manejo especial y sus posibles componentes peligrosos.

La SENER y la CONUEE en coordinación con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la Procuraduría de Protección al Ambiente (PROFEPA) podrían establecer alianzas con cámaras y asociaciones industriales, así como fabricantes, importadores y comercializadores, y recicladores para instalar una red de centros de acopio. El sumar a diferentes actores es con la idea de garantizar que los centros de acopios sean parte de una estrategia integral de manejo y disposición adecuada de residuos de aparatos y equipos.

#### *Plataforma de Verificación*

En caso de implementar una red de centros de acopio y reciclaje, debería considerarse en su diseño el establecimiento de un procedimiento de registro de información que detalle el número de equipos recolectados, tipo y cantidad de sustancias extraídas como gases refrigerantes y/o aceites, así como materiales para su aprovechamiento y reciclaje, y métodos de manejo, y tenerlo disponible de forma transparente y actualizada.

Por ejemplo, el Programa RAD de los Estados Unidos cuenta con una plataforma en línea con recursos disponibles para el conocimiento de lo que hace el programa, cómo lo hace, quiénes son los aliados y muestra los principales resultados en el manejo de los residuos procesados. Cada empresa recicladora envía anualmente sus reportes a la EPA en formatos establecidos por el RAD. También el programa provee capacitación para el llenado y envío de los reportes.

### *Campañas de Difusión para los Usuarios*

Se hace notar que un programa de reemplazamiento que no se abordó en este estudio fue el de las televisiones analógicas como parte del apagón analógico en 2015, con el que se entregaron gratuitamente 12.6 millones de televisiones digitales sin condicionar su entrega a cambio de la televisión analógica desplazada (SCT, 2014).

Para este programa, la SEMARNAT en coordinación con la PROFEPA autorizó más de 680 centros de acopio en todo el país pero, como se comentó, el usuario debía entregar su antigua televisión en estos centros de acopio. El programa tenía como meta acopiar y confinar debidamente el 70% de las TVs analógicas a diciembre de 2015, sin embargo a marzo de 2016 la PROFEPA anunció que hasta ese momento sólo se habían acopiado 12 mil 200 aparatos, es decir ni siquiera 1 % de las TVs supuestamente reemplazadas (PROFEPA, 2016).

Entonces, además de contar con una red de centros de acopio establecida es necesario que en conjunto se diseñen campañas de difusión para los usuarios de dichas tecnologías sobre los daños que producen estos aparatos y equipos cuando son desechados sin un control o manejo adecuado.

Para informar a los ciudadanos de la peligrosidad y toxicidad de los aparatos se pueden utilizar etiquetas en los productos (como el eco-etiquetado) que describa las características principales de dichos equipos o aparatos, y cuál es el manejo más adecuado para el mismo. El gobierno federal, en específico la CONUEE en coordinación con la SEMARNAT, deberían iniciar grupos de trabajo para la elaboración de una norma sobre ecodiseño, así como evaluar la opción de ampliar la información actual de las etiquetas de eficiencia energética que por norma los equipos deberían mostrar en sus equipos.

Otro punto para considerar en la difusión de información a los usuarios es proveer de opciones a los ciudadanos para que puedan entregar los aparatos y equipos para su disposición adecuada, ya sea en centros de acopio, a empresas autorizadas, o redes de recolección gratuitas o privadas (o como se lo establezca el gobierno a cargo del diseño).

Como parte integral de las campañas de difusión se pueden incluir eventos de recolección masiva para los cuales se establecen fechas y lugares específicos para su recolección. Para ello, la autoridad gubernamental puede coordinarse con productores, importadores y distribuidores de las tecnologías en cuestión, así como empresas de reciclaje y tratamiento para realizar dichas campañas.

Se cuenta con experiencias previas en el manejo de residuos electrónicos (celulares, computadoras, impresoras), donde gobiernos municipales, estatales y federal se coordinan con universidades (generalmente son los que hacen la

convocatoria), productores, distribuidores y empresas de reciclaje para implementar con éxito campañas de reciclaje.

### *Responsabilidad Extendida*

Finalmente, existen varios ejemplos de legislación en países donde la responsabilidad de manejar los residuos de aparatos y equipos al final de su vida útil recae en los productores o importadores, es decir trasladan la responsabilidad de la disposición final (tratamiento, reciclaje o disposición) a los fabricantes y distribuidores (responsabilidad extendida al productor).

Tal es el caso del Programa de Sustitución de Refrigeradores de la Agencia Nacional de Energía Eléctrica de Brasil, descrito anteriormente, y que sirvió como base para el sistema de devolución de productos después de su uso por parte de los consumidores, con el fin de hacer efectiva la responsabilidad compartida para el ciclo de vida producto (CDB, 2012).

Un caso similar es también el del Gobierno Chileno, quien en 2016 promulgó la Ley para la Gestión de Residuos y Responsabilidad Extendida del Producto (REP) y que busca que el productor (o importador) se haga cargo de su producto una vez terminada su vida útil (MMA, 2016). Sin embargo, su implementación aún no ha mostrado muchos avances.

Finalmente, valdría la pena, en futuras investigaciones, explorar si en México se podría implementar un mecanismo, siguiendo este principio, que incluya la responsabilidad extendida a los productores y distribuidores. Actualmente, la Ley General Para la Gestión Integral de los Residuos ya tiene estipulado el principio de “Responsabilidad Compartida, pero Diferenciada” de productores, importadores, distribuidores, consumidores y autoridades gubernamentales, en el manejo de residuos tecnológicos, considerados de manejo especial (LGPGIR, 2003).



## Capítulo VI. Conclusiones

Este estudio se enfocó en identificar de qué forma es posible incluir el concepto de inclusión de análisis de ciclo de vida (ACV) en los programas de sustitución de equipos ineficientes que ayuden a incluir los impactos ambientales asociados al uso de una tecnología u otra, durante todo su ciclo de vida (de la cuna a la tumba).

México cuenta ya con varios años de experiencia en el diseño e implementación de programas de sustitución de tecnologías ineficientes u obsoletas en diversos sectores (refrigeración residencial y comercial, lámparas, sistemas de iluminación para alumbrado público, motores, aires acondicionados, etc.), sin embargo en su diseño no incluyen los impactos ambientales de los productos reemplazados ni los introducidos (como el caso de focos incandescentes y lámparas fluorescentes compactas).

Estos programas, que han sido reconocidos hasta con un Récord Guinness, deben evolucionar y a partir de las cuantiosas lecciones aprendidas, incorporar el análisis de ciclo de vida para elaborar e implementar programas de eficiencia energética que realmente integren los tres pilares de la sustentabilidad: ambiental, económico y social.

El análisis de ciclo de vida es una técnica que permite determinar los impactos ambientales asociados a un producto durante todo su ciclo de vida (de la cuna a la tumba). Como se observó en el caso de España, la introducción del ACV permite comparar otras opciones de tecnologías eficientes que podrían mejorar el programa desde su diseño, o identificar otros problemas asociados que no se habían tomado en cuenta en un inicio (en otra etapa asociada al producto como su fabricación o transporte).

De la revisión previa, para los casos ejemplificados de México, en los primeros programas diseñados para el reemplazamiento de equipos ineficientes no se tenía contemplado tomar en cuenta o internalizar cualquier otro impacto ambiental asociado por la implementación de ese tipo de programas.

Sin embargo, la fase final del ciclo de vida de aparatos y equipos cada vez es más tomada en consideración, aunque no al nivel de incluirlos como elemento crucial en el diseño previo del programa. Generalmente, la atención hacia el reciclaje o manejo adecuado de los residuos de los equipos y aparatos electrodomésticos ha sido reactiva o como algo lateral que no se encuentra directamente relacionado y que no afecta en las estimaciones de los ahorros calculados.

Estudios demuestran que los programas de sustitución de equipos ineficientes en el uso de la energía son buenas herramientas para ayudar actualizar el stock de

aparatos y equipos en todos los sectores de la economía, o para apoyar a la introducción de nuevos estándares de eficiencia energética en el mercado.

Sin embargo, también cada vez más, se encuentra demostrado que los ahorros energéticos y reducciones de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes asociadas son menores si involucramos todas las fases del ciclo de vida de los productos o procesos que estamos fomentando en las políticas públicas.

Más programas de sustitución se seguirán diseñando e implementando, no sólo en México sino en el mundo, debido al número aún remanente de equipos ineficientes en términos energéticos, así como los que se van agregando al paso de la evolución tecnológica que tiende a desarrollar medios más eficientes en el uso de la energía.

La inclusión del concepto de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) busca integrar un enfoque más amplio del consumo de energía y los impactos ambientales que se producen al implementar programas de sustitución de equipos ineficientes. Es importante que en México se empiece a diseñar los programas incluyendo el concepto de ACV, por lo menos en ciertas partes del sistema, que reflejen los beneficios netos de la implementación de estos programas.

Finalmente, al incluir el ACV en el diseño de los programas de sustitución de equipos ineficientes, se podría dotar de más información a los tomadores de decisión tanto en el gobierno como en la industria sobre los diferentes equipos eficientes que podrían ser propuestos para dicha sustitución, pero también a los usuarios de esos equipos, los ciudadanos, que también son parte de este círculo de responsabilidad compartida.

## Referencias

- ABNT NBR 15960:2011. Norma Técnica. Fluidos refrigerantes - Recolección, reciclado y regeneración (3R) – Procedimiento. Asociación Brasileña de Normas Técnicas (ABNT). 11 de julio 2011. Disponible en: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=087555>
- ASF, 2014. Informe del Resultado de la Fiscalización Superior de la Cuenta Pública 2014. Auditoría Financiera y de Cumplimiento: 14-0-18100-02-0341. Auditoría Superior de la Federación (ASF). México. Disponible en: [https://www.asf.gob.mx/Trans/Informes/IR2014i/Documentos/Auditorias/2014\\_0341\\_a.pdf](https://www.asf.gob.mx/Trans/Informes/IR2014i/Documentos/Auditorias/2014_0341_a.pdf)
- ASF, 2015. Informe del Resultado de la Fiscalización Superior de la Cuenta Pública 2015. Auditoría Financiera y de Cumplimiento: 15-0-18100-02-0480. Auditoría Superior de la Federación (ASF). México. Disponible en: [https://www.asf.gob.mx/Trans/Informes/IR2015i/Documentos/Auditorias/2015\\_0480\\_a.pdf](https://www.asf.gob.mx/Trans/Informes/IR2015i/Documentos/Auditorias/2015_0480_a.pdf)
- Banco Mundial, 2010. Mexico - Efficient Lighting and Appliances Project: environmental assessment (Vol. 5): Anexo D Resultados de las auditorías ambientales a cuatro centros de acopio y destrucción de equipos, del programa piloto. 18 de Junio 2010. México. Disponible en: <http://documents.worldbank.org/curated/en/430971468045080966/pdf/E24950v50MX0An1os0de0las0auditorias.pdf>
- Banco Mundial, 2016. Mexico- Efficient lighting and appliances project: implementation completion and results report. World Bank Group Reporte No. ICR00003706. 10 de Mayo 2016, Washington, D.C. Disponible en: <http://documentos.bancomundial.org/curated/es/770671469672145946/pdf/ICR3706-P106424-P120654-Box394887B-PUBLIC-disclosed-5-12-16.pdf>
- Bernaldo de Quirós Redondo, S., 2017. Análisis de Ciclo de Vida y Eficiencia Energética. Tesis de Maestría. Universidad Pontificia Comillas. Junio de 2017, España. Disponible en: <https://www.iit.comillas.edu/pfc/resumenes/594cc8c299b58.pdf>
- BID, 2016. Evaluación de Potenciales y Propuestas de Estrategias Financiera-Administrativa para Implementar medidas de Eficiencia Energética para la Administración Pública Federal. Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Informe Interno.
- BID, 2017a. Perfil de Proyecto ME-L1267 “Programa de Eficiencia Energética en Edificios de Oficinas de la Administración Pública Federal”. Banco Interamericano de Desarrollo (BID). 27 de julio de 2017. Disponible en:

<http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=EZSHARE-1662964228-11>

BID, 2017b. Plan de Gestión Ambiental y Social (PGAS) del Programa de Eficiencia Energética en Inmuebles de la Administración Pública Federal (IAPF). Banco Interamericano de Desarrollo (BID). 19 de octubre de 2017. Disponible en: <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=EZSHARE-1533116556-11>

Carsteanu, A.A., A.A. Rendón Peña y J.A. Guzmán Sanluis, 2017. Proyección del número de refrigeradores con antigüedad mayor a 15 años existentes en México. Revista Eficiencia Energética Número 15, año 14, julio-septiembre de 2017, 11-17.

CDB, 2012. Política Nacional de Residuos Sólidos. Segunda Edición. Câmara dos Deputados do Brasil (CDB). 18 de mayo 2012. Brasilia, Brasil. Disponible en: [https://fld.com.br/catadores/pdf/politica\\_residuos\\_solidos.pdf](https://fld.com.br/catadores/pdf/politica_residuos_solidos.pdf)

CFE, 2006. Informe Anual 2006 de la Comisión Federal de Electricidad (CFE). <http://app.cfe.gob.mx/informe2006/archivos/indice.html>

CONUEE, 2014. Normas Oficiales Mexicanas de eficiencia energética – Balance 2013.

CONUEE, 2016. Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2014-2018: Avance y Resultados 2016. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/262733/18pe\\_aprovechamiento\\_energiasustentableL2016.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/262733/18pe_aprovechamiento_energiasustentableL2016.pdf)

CONUEE, 2017a. Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2014-2018. Diario Oficial de la Federación (DOF), 19 de enero de 2017, México. [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5469371&fecha=19/01/2017](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5469371&fecha=19/01/2017)

CONUEE, 2017b. Normas Oficiales Mexicanas en Eficiencia Energética Vigentes (consulta de documentos). Disponible en: <https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/normas-oficiales-mexicanas-en-eficiencia-energetica-vigentes>. Consultado el 20/11/2017.

De la Rue du Can, S., G. Leventis, A. Phadke y A. Gopal, 2014. Design of incentive programs for accelerating penetration of energy-efficient appliances. Energy Policy Vol 72 (2014), 56–66.

DOU, 2010. Ley Nº 12.305. Diário Oficial da União (DOU). 02 de Agosto 2010. Brasil. Disponible en: <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2010/lei-12305-2-agosto-2010-607598-publicacaooriginal-154180-pl.html>

Economics for Energy, 2011. Potencial económico de reducción de la demanda de energía en España. Economics for Energy. 2011. España.

EPA, 2006. Life Cycle Assessment: Principles and Practice. Scientific Applications International Corporation (SAIC). National Risk Management Research Laboratory - U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Mayo 2006. Estados Unidos. Disponible en:

[US EPA Life Cycle Assessment: Principles and Practice - epa nepis](#)

EPA, 2017a. U.S. Environmental Protection Agency's Responsible Appliance Disposal (RAD) Program: 2017 Program Update. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 2017. Estados Unidos. Disponible en: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-09/documents/responsible-appliance-disposal-program-update-2017.pdf>

EPA, 2017b. 10<sup>th</sup> Anniversary of the Responsible Appliance Disposal Program. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Diciembre 2017. Estados Unidos. Disponible en: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-12/documents/epa-rad-10th-anniversary.pdf>

FIDE, 2014. Un Programa que financia el ahorro de energía eléctrica de MIPYMES. Revista Eficiencia Energética Número 3, año 1, enero-marzo de 2014, 8-13. Disponible en: [http://www.fide.org.mx/wp-content/uploads/2018/05/REVISTAS/eficiencia\\_energetica\\_33fb/files/assets/common/downloads/publication.pdf](http://www.fide.org.mx/wp-content/uploads/2018/05/REVISTAS/eficiencia_energetica_33fb/files/assets/common/downloads/publication.pdf)

FIDE, 2015a. Estudio de Centros de Acopio Especializados en la Destrucción de LFCA. Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE). Junio 2015, México. Disponible en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/315525/6\\_LAMPARAS.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/315525/6_LAMPARAS.pdf)

FIDE, 2015b. Ahórrate una Luz. Los beneficios del Programa Nacional de Sustitución de Lámparas Incandescentes por Fluorescentes Compactas Autobalastadas en localidades de hasta 100,000 habitantes. Revista Eficiencia Energética Número 5, año 1, enero-marzo de 2015, 5-8. Disponible en: [http://www.fide.org.mx/wp-content/uploads/REVISTAS/eficiencia\\_energetica\\_5.pdf](http://www.fide.org.mx/wp-content/uploads/REVISTAS/eficiencia_energetica_5.pdf)

FIDE, 2017. Programa de Mejoramiento Integral Sustentable. Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE). Disponible en: [http://www.fide.org.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=704&Itemid=308](http://www.fide.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=704&Itemid=308). Consultada el 18/11/2017.

FIDE, 2018a. Concluye Exitosamente El Programa Ahórrate Una Luz. Ávila García, Eduardo. Revista Eficiencia Energética Número 18, año 4, abril-junio de 2018, 5-

12. Disponible en: [http://www.fide.org.mx/wp-content/uploads/Revistas/REE\\_18\\_ALTA.PDF](http://www.fide.org.mx/wp-content/uploads/Revistas/REE_18_ALTA.PDF)
- FIDE, 2018b. Directorio Centros de Acopio y Destrucción (CAYD) del Programa Eco-Crédito Empresarial Masivo. Disponible en: [http://www.fide.org.mx/?page\\_id=4189](http://www.fide.org.mx/?page_id=4189)
- GIZ, 2011. Capturing ozone-depleting substances and greenhouse gases from household refrigerators - Introduction of a Comprehensive Refrigerator Recycling Programme in Brazil. 2011. Agencia de Cooperación Alemana (GIZ). Disponible en: <https://www.giz.de/de/downloads/giz2011-en-proklima-projectsheet-brazil.pdf>
- Guinness World Record, 2012. Largest give-away of free energy-saving light bulbs. Programa Luz Sustentable. Guinness World Record. 14 de Junio 2012. Disponible en: <http://www.guinnessworldrecords.com/world-records/largest-distribution-of-free-energy-saving-light-bulbs>.
- Hernández Moreno, Silverio, 2015. Análisis comparativo por ciclo de vida de tres tipos de luminarias empleadas en los interiores de edificios. Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM). Nova Scientia Vol. 7 No.14 (Octubre 2015). México. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-07052015000200538](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052015000200538)
- INECC-SEMARNAT, 2015. Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2015, México. [http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/2015\\_bur\\_mexico\\_low\\_resolution.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/2015_bur_mexico_low_resolution.pdf)
- ISO 14040:2006 Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework. 2006. Disponible en: [https://www.pdfpit.com/view?t=INTERNATIONAL+ISO+STANDARD+14040++PQM-online&u=http%3A%2F%2Fpgm-online.com%2Fassets%2Ffiles%2Flib%2Fstd%2Fiso\\_14040-2006.pdf](https://www.pdfpit.com/view?t=INTERNATIONAL+ISO+STANDARD+14040++PQM-online&u=http%3A%2F%2Fpgm-online.com%2Fassets%2Ffiles%2Flib%2Fstd%2Fiso_14040-2006.pdf)
- ISO 14044:2006 Environmental Management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines. 2006. Disponible en: <https://www.pdfpit.com/view?t=ISO+14044&u=http%3A%2F%2Fwap.sciencenet.cn%2Fhome.php%3Fmod%3Dattachment%26id%3D4637>
- LAWDP, 2018. Programa de Intercambio de Refrigeradores del Departamento de Agua y Energía de Los Ángeles. Los Angeles Department of Water & Power (LAWDP). Estados Unidos. Disponible en: <https://www.ladwp.com/ladwp/faces/ladwp/residential/r-savemoney/r-sm->

[rebatesandprograms/r-sm-rp-lowincomerefrigeratorexchangeprogram;jsessionid=NW0WcLxVQIWqXGQGhdBhcgYMSHj12s4F5yFWn2YhHzhFQGRcymQm!-422416622?\\_afLoop=88717622624179&\\_afWindowMode=0&\\_afWindowId=null#%40%3F\\_afWindowId%3Dnull%26\\_afLoop%3D88717622624179%26\\_afWindowMode%3D0%26\\_adf.ctrl-state%3Dcynm3n7ay\\_4](http://rebatesandprograms/r-sm-rp-lowincomerefrigeratorexchangeprogram;jsessionid=NW0WcLxVQIWqXGQGhdBhcgYMSHj12s4F5yFWn2YhHzhFQGRcymQm!-422416622?_afLoop=88717622624179&_afWindowMode=0&_afWindowId=null#%40%3F_afWindowId%3Dnull%26_afLoop%3D88717622624179%26_afWindowMode%3D0%26_adf.ctrl-state%3Dcynm3n7ay_4)

LGCC, 2012. Ley General de Cambio Climático. Diario Oficial de la Federación (DOF), 06 de junio de 2012, México. Disponible en: [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC\\_130718.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC_130718.pdf)

LGPGIR, 2003. Ley General para la Gestión Integral de los Residuos. Diario Oficial de la Federación (DOF), 08 de octubre de 2003, México. Disponible en: [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263\\_190118.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263_190118.pdf)

MMA, 2016. Ley Núm. 20.920 Marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje. Ministerio de Medio Ambiente de Chile (MMA). Congreso Nacional. 01 de Junio 2016. Chile. Disponible en: <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1090894>

NOM-028-ENER-2010. Eficiencia energética de lámparas para uso general. Límites y métodos de prueba. Diario Oficial de la Federación (DOF), 06 de diciembre de 2010, México. Disponible en: [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5169747&fecha=06/12/2010](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5169747&fecha=06/12/2010)

NOM-028-ENER-2017. Eficiencia energética de lámparas para uso general. Límites y métodos de prueba. Diario Oficial de la Federación (DOF), 09 de marzo de 2018, México. Disponible en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/308295/NOM\\_028\\_ENER\\_2017\\_DOF\\_09\\_marzo\\_2018.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/308295/NOM_028_ENER_2017_DOF_09_marzo_2018.pdf)

NOM-161-SEMARNAT-2011. Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo. Diario Oficial de la Federación (DOF), 01 de febrero de 2013, México. Disponible en: [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5286505&fecha=01/02/2013](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5286505&fecha=01/02/2013)

PROFEPA, 2016. Comunicado BP/210-16: Emite PROFEPA Recomendación a Estados y CDMX para Promover Correcta Disposición y Acopio de Televisores Analógicos. Procuraduría de Protección al Ambiente (PROFEPA). 17 de marzo 2016. Ciudad de México. Disponible en: [https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/v/8140/1/mx/emite\\_profepa\\_recomend](https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/v/8140/1/mx/emite_profepa_recomend)

[acion a estados y cdmx para promover correcta disposicion y acopio de t  
elevisores analogicos.html](#)

SCT, 2014. Programa de Trabajo para la Transición a la Televisión Digital Terrestre. Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT). 2014. México. Disponible en: <http://www.sct.gob.mx/fileadmin/TDT/marco-normativo/programa-de-trabajo-tdt.pdf>

SEDEMA, 2018. Directorio de Centros de Acopio de Residuos Urbanos en la Ciudad de México (CDMX) con Planes de Manejo de Residuos Autorizados. Secretaría de Medio Ambiente (SEDEMA) – Gobierno de la Ciudad de México. Disponible en: [http://data.sedema.cdmx.gob.mx/nadf24/images/infografias/planes\\_de\\_manejo\\_autorizados.pdf](http://data.sedema.cdmx.gob.mx/nadf24/images/infografias/planes_de_manejo_autorizados.pdf)

SEMARNAT, 2018. Planes de Manejo de Residuos de Manejo Especial Presentados para Conocimiento ante SEMARNAT. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Disponible en: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/planes-de-manejo-rme>

SENER, 2015. Estudio de Impacto del Proyecto PEE (Proyecto de Eficiencia en Iluminación y Electrodomésticos). Secretaría de Energía (SENER). Junio de 2015, México. Disponible en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/315527/1\\_PEE2.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/315527/1_PEE2.pdf)

SENER, 2016a. Balance Nacional de Energía 2015. Secretaría de Energía (SENER), 2016, México. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/248570/Balance\\_Nacional\\_de\\_Energ\\_a\\_2015\\_2\\_.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/248570/Balance_Nacional_de_Energ_a_2015_2_.pdf)

SENER, 2016b. Prospectiva del Sector Eléctrico 2016-2030. Secretaría de Energía (SENER), 2016, México. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177626/Prospectiva\\_del\\_Sector\\_El\\_ctrico\\_2016-2030.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177626/Prospectiva_del_Sector_El_ctrico_2016-2030.pdf)

SENER, 2016c. Prospectiva de Gas L.P. 2016-2030. Secretaría de Energía (SENER), 2016, México. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177623/Prospectiva\\_de\\_Gas\\_L\\_P.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177623/Prospectiva_de_Gas_L_P.pdf)

SENER, 2016d. Prospectiva de Gas Natural 2016-2030. Secretaría de Energía (SENER), 2016, México. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177624/Prospectiva\\_de\\_Gas\\_Natural\\_2016-2030.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177624/Prospectiva_de_Gas_Natural_2016-2030.pdf)



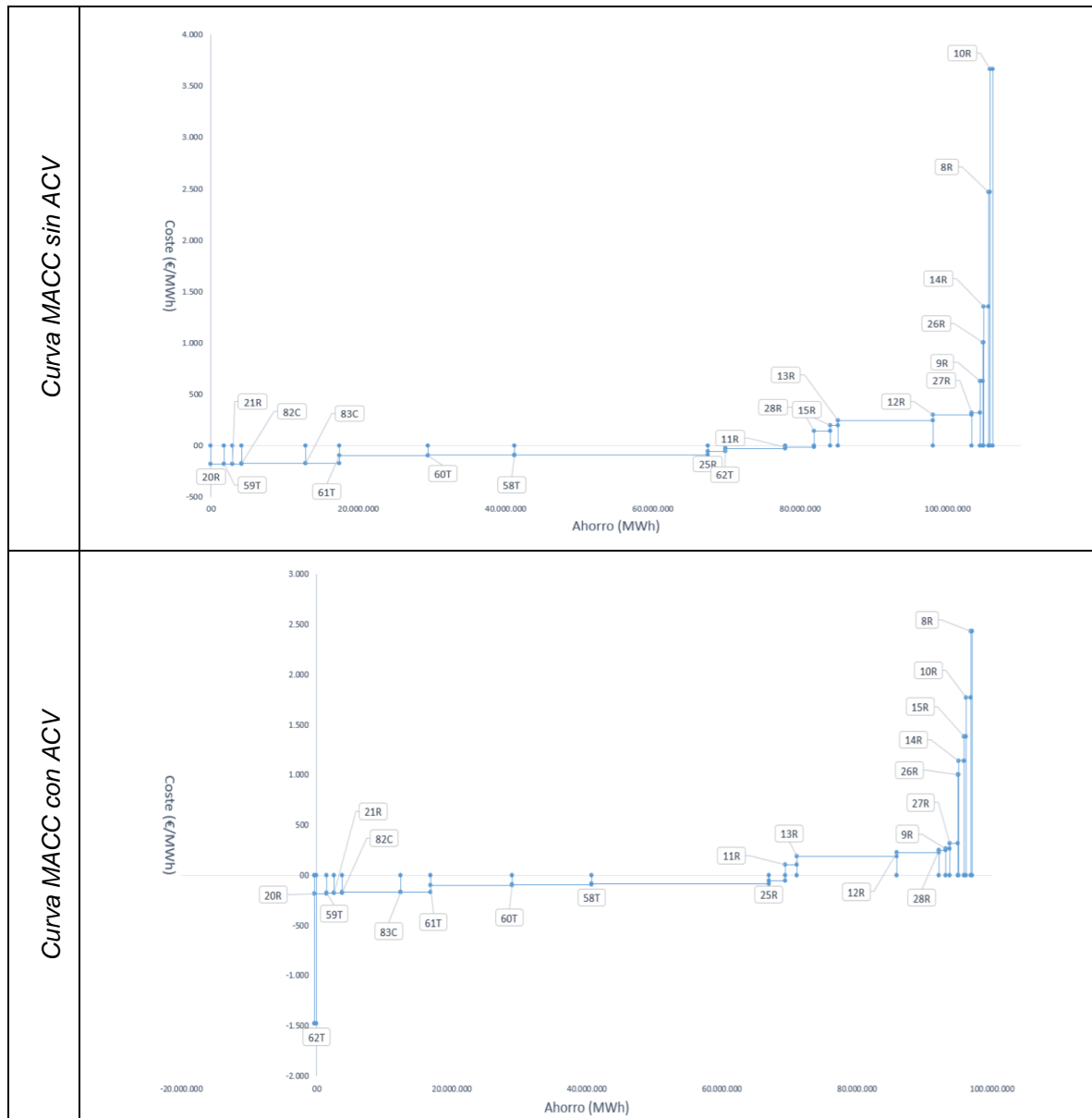
SENER, 2017. Informe de Avances y Resultados del Programa Sectorial de Energía 2013-2018. Secretaría de Energía (SENER). 2017. México. Disponible en: [https://transparencia.energia.gob.mx/rendicion\\_cuentas/archivos/Resultados2017\\_PROSENER.pdf](https://transparencia.energia.gob.mx/rendicion_cuentas/archivos/Resultados2017_PROSENER.pdf)

WEC, 2010. Measures of Low-Income Households. Energy Efficiency Policies and Measures Database. Enerdata-World Energy Council (WEC). 2-19. Disponible en: <https://wec-policies.enerdata.net/Documents/cases-studies/Measures-for-low-income-households.pdf>

## Anexos

### Anexo i. Comparación del potencial de diferentes tecnologías con y sin inclusión del análisis de ciclo de vida (ACV) en España

Figura II.3. Curvas MACC (Curvas de Costo Marginal de Mitigación) de Potenciales y Costos de Reducción de Demanda de Energía en España con Diferentes Tecnologías involucrando Análisis de Ciclo de Vida (ACV)<sup>1</sup>



<sup>1</sup>Ver la tabla i.1 en la siguiente página para la descripción de los códigos de cada tecnología.

Fuente: Elaboración propia con información de “Análisis de Ciclo de Vida y Eficiencia Energética” (Bernaldo, 2017).

Cuadro i.1. Descripción de los códigos de cada tecnología de las Curvas MACC de la Figura i.1.

Clave	Sector	Descripción
58T	Transporte	Coche diésel más eficiente
59T	Transporte	Coche eléctrico más eficiente
60T	Transporte	Coche gasolina más eficiente
61T	Transporte	Coche híbrido no enchufable más eficiente
62T	Transporte	Coche híbrido enchufable
20R	Residencial	Iluminación fluorescente
21R	Residencial	Iluminación LED
82C	Comercial	Iluminación fluorescente
83C	Comercial	Iluminación LED
8R	Residencial	Caldera de biomasa
9R	Residencial	Micro-cogeneración
10R	Residencial	Calefacción urbana
11R	Residencial	Caldera de gas de condensación
12R	Residencial	Bomba de calor
13R	Residencial	Bomba de calor avanzada
14R	Residencial	Bomba de calor geotérmica
15R	Residencial	Caldera de gas de baja temperatura
25R	Residencial	Frigoríficos eficientes
26R	Residencial	Hornos eficientes
27R	Residencial	Lavadoras eficientes
28R	Residencial	Lavavajillas eficientes

*MACC: Curvas de Costo Marginal de Mitigación*

*Fuente: "Análisis de Ciclo de Vida y Eficiencia Energética" (Bernaldo, 2017).*

## Anexo ii. Lámparas Fluorescentes Compactas (LFCs) - Programas de Sustitución de Equipos Ineficientes

Cuadro ii.1. Lámparas Fluorescentes Compactas Entregadas como Parte de un Programa de Sustitución de Equipos Ineficientes del Gobierno Mexicano y Cuya Vida Útil se Espera Termine entre 2013 y 2022 por Entidad Federativa

Estado	Programas de Promoción del FIDE						PLS I	PLS II	Ahórrate una Luz
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2022
Aguascalientes	0	123	678	457	164 836	269	2 946 720	120 316	254 985
Baja California	0	350	763	0	0	0	1 810 800	226 032	405 370
Baja California Sur	0	0	0	0	0	0	1 630 892	118 700	401 000
Campeche	0	8 120	0	0	0	160	1 454 568	522 032	218 840
Chiapas	84	5 000	0	0	5	411	1 333 000	146 184	2 937 570
Chihuahua	20	0	19 364	192	1 422	1 394	1 183 352	287 556	806 915
Ciudad de México	31 378	1 622	50 052	0	109 460	2 949	884 060	1 243 372	-
Coahuila	94	1 539	21 283	14,777	510	186	1 139 660	558 796	702 000
Colima	0	30	0	0	28	84	1 093 132	281 608	76 315
Durango	8 041	0	6 179	0	365	0	876 936	172 036	585 280
Estado de México	86 350	24 416	27 103	44,356	0	76	750 900	2 099 056	3 092 575
Guanajuato	14	1 110	9 358	87	258	0	717 600	1 101 352	1 573 730
Guerrero	0	0	0	0	121	81	709 900	842 608	1 859 200
Hidalgo	0	423	28	0	0	0	632 472	410 156	1 645 770
Jalisco	0	680	11 993	0	7 149	386	566 548	2 396 008	1 371 300
Michoacán	0	9	204	0	1 332	123	536 824	1 582 112	2 321 745
Morelos	2 621	509	1 964	0	57 556	263	480 780	870 276	1 267 690
Nayarit	0	0	3 480	0	0	0	472 360	219 736	625 070
Nuevo León	0	10	15 620	0	0	0	366 100	2 049 144	1,451,865
Oaxaca	0	12	3 920	0	1 538	0	357 796	246 724	3,790,925
Puebla	264 454	302 547	1 722	931	1 500	0	339 984	1 116 492	2,817,110
Querétaro	65	0	1 500	836	696	0	329 848	343 696	610,255
Quintana Roo	0	0	21 969	0	0	0	321 488	392,900	274,120

Cuadro ii.1. Lámparas Fluorescentes Compactas Entregadas como Parte de un Programa de Sustitución de Equipos Ineficientes del Gobierno Mexicano y Cuya Vida Útil se Espera Termine entre 2013 y 2022 por Entidad Federativa

Estado	Programas de Promoción del FIDE						PLS I	PLS II	Ahórrate una Luz
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2022
San Luis Potosí	87	9	1 080	0	958	854	305 088	1 528 232	765 805
Sinaloa	1 190	9	84	0	0	0	299 588	466 588	555 710
Sonora	3 865	9	7 223	0	0	0	293 824	554 740	953 795
Tabasco	0	9	12 000	0	86	40	284 488	268 908	801 560
Tamaulipas	0	15	26 905	0	0	0	182 756	201 112	508 690
Tlaxcala	0	1 000	0	7	0	0	177 040	226 700	1 088 895
Veracruz	720	25 240	55 146	0	24	0	176 000	729 788	4 148 702
Yucatán	67	3	996	0	0	0	144 180	1 458 160	924 070
Zacatecas	175	15	0	15	295	0	101 316	118 880	962 590
<i>Total</i>	<i>399 225</i>	<i>372 809</i>	<i>300 614</i>	<i>61 658</i>	<i>348 139</i>	<i>7 276</i>	<i>22 900 000</i>	<i>22 900 000</i>	<i>39 799 447</i>

PLS: Programa Luz Sustentable.

Fuente: "Estudio de Centros de Acopio Especializados en la Destrucción de LFCA" (FIDE, 2015) y con información del Programa Ahórrate Una Luz (FIDE, 2018).

## Anexo iii. Centros de Acopio y Destrucción del Programa Eco-crédito Empresarial

Cuadro iii.1. Número de Centros de Acopio y Destrucción (CAyD) y Número de Equipos Sustituídos por el Programa Eco-crédito Empresarial por Entidad Federativa a septiembre de 2018

Entidad Federativa	Número de equipos sustituidos	Número de CAyD por Entidad
Aguascalientes	1 150	1
Baja California	1 727	4
Baja California Sur	233	1
Campeche	257	0
Chiapas	365	1
Chihuahua	1 635	2
Ciudad de México	632	0
Coahuila	1 353	4
Colima	1 211	0
Durango	1 142	1
Estado de México	1 063	0
Guanajuato	1 957	1
Guerrero	1 333	1
Hidalgo	306	0
Jalisco	9 778	1
Michoacán	2 101	3
Morelos	1 087	1
Nayarit	2 153	1
Nuevo León	971	1
Oaxaca	809	1
Puebla	1 035	1
Querétaro	829	1
Quintana Roo	507	1
San Luis Potosí	1 291	3
Sinaloa	2 157	3
Sonora	1 821	2

Cuadro iii.1. Número de Centros de Acopio y Destrucción (CAyD) y Número de Equipos Sustituídos por el Programa Eco-crédito Empresarial por Entidad Federativa a septiembre de 2018

Entidad Federativa	Número de equipos sustituidos	Número de CAyD por Entidad
Tabasco	418	1
Tamaulipas	685	0
Tlaxcala	186	0
Veracruz	1 624	1
Yucatán	856	1
Zacatecas	773	0
<i>Total</i>	43 445	38

*Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por la SENER y la lista de CAyD publicada por FIDE (FIDE, 2018b).*