

# Evaluación del impacto Ambiental de una luminaria residencial: un enfoque sistema-producto

Teth Azrael Cortes Aguilar

Departamento de Ingeniería Electrónica

Instituto Tecnológico Jose Mario Molina Pasquel y Henríquez

Zapopan, Mexico

teth.cortes@zapopan.tecmm.edu.mx

Adriana Tovar Arriaga

Departamento de Ingeniería en Sistemas Computacionales

Instituto Tecnológico Jose Mario Molina Pasquel y Henríquez

Zapopan, Mexico

adriana.tovar@zapopan.tecmm.edu.mx

**Resumen**— En el presente artículo se presenta el impacto ambiental de acuerdo al Eco indicador 95 de una luminaria residencial desde un enfoque sistema producto. En este trabajo se evalúa el impacto ambiental de los materiales utilizados en la luminaria, la energía consumida durante la etapa de producción, los materiales usados para la distribución y comercialización del producto, el consumo de energía durante la vida útil de la luminaria y el impacto en la etapa de desecho del producto. Para la evaluación del impacto ambiental de los materiales y procesos se utilizó el software Eco-it para el ciclo de vida simplificado CVS del producto. A partir de los resultados proponemos algunas estrategias de ecodiseño para reducir el impacto ambiental del sistema-producto.

**Palabras Clave**— Ecodiseño, Gestiona del ciclo de vida del producto, Lámpara led.

**Abstract**—This paper presents the environmental impact according to Eco indicator 95 of a residential luminaire from a product system approach. This work evaluates the environmental impact of the materials used in the luminaire, the energy consumed during the production stage, the materials used for the distribution and commercialization of the product, the energy consumption during the useful life of the luminaire and the impact at the product disposal stage. For the evaluation of the environmental impact of the materials and processes in the simplified CVS life cycle of the product, the Eco-it software was used. Based on the results, we propose some ecodesign strategies to reduce the environmental impact of the product-system.

**Keywords**—Ecodesign, Product life cycle management, LED lamp.

## I. INTRODUCCIÓN

En general, se acepta que las consideraciones ambientales que abarcan todo el ciclo de vida de un producto aportan una visión integral y proporcionan una mejor forma de reducir el impacto ambiental asociado a sistemas de producto-proceso [1]. El ecodiseño considera los aspectos del medioambiente

que se relacionan con un producto a lo largo de su ciclo de vida, a la vez que busca que las funciones propias del producto sean las más eficientes. Además de los beneficios que ofrece el ecodiseño con respecto a la disminución de impactos al medioambiente, otros resultados de esta práctica son la reducción de costos, obtención de funciones mejoradas en los productos y mayor presencia del producto en el mercado debido a una mayor aceptación de los clientes hacia productos amigables con el medio ambiente [2].

En la última década del siglo XX surge el diseño sustentable enfocado en el producto [3]. El diseño verde busca rediseñar el producto para reducir su impacto ambiental, como adoptar el uso de energías renovables. Por otro lado el ecodiseño al enfocarse en todo el ciclo de vida del producto logra un impacto ambiental más significativo que el diseño verde. Una de las estrategias del ecodiseño es incrementar el tiempo de vida de los productos, sin embargo este tiempo se puede ver acortado por factores que no son tecnológicos y que están relacionados con la obsolescencia psicológica del producto, es decir, cuando el usuario percibe que el producto deja de satisfacer un deseo, una necesidad, una tendencia o un estilo. El diseño emocionalmente durable es otra propuesta enfocada en el producto, que busca extender la relación usuario-producto mediante estrategias como la búsqueda de autenticidad del usuario mediante la personalización del producto, es decir que el producto muestre la afiliación del usuario a un grupo social o que el producto se asocie a un recuerdo del usuario. El ecodiseño no incide en el comportamiento del usuario respecto al consumo, uso y desecho de los productos, por esta razón surge el concepto de un diseño para un comportamiento sustentable que se basa en los principios, de diseñar para que el usuario desee y adopte fácilmente una conducta deseada o de diseñar para que el usuario no desee o le sea difícil adoptar una conducta contraria al cuidado del medio ambiente. Al inicio del siglo XXI se proponen nuevos métodos de diseño sustentable inspirados en los procesos de la naturaleza, así el diseño Cradle-to-Cradle propone que los desechos sean nutrientes biológicos para un ciclo abierto o nutrientes tecnológicos para un ciclo cerrado,

de tal forma que la sociedad pueda seguir produciendo y consumiendo en una economía que crece indefinidamente. Otro método, es el diseño biomimético que se inspira en la naturaleza y propone encontrar la solución a los problemas humanos en las soluciones que la naturaleza ya ha creado, se basa en la mimética de las formas, procesos y ecosistemas, donde los desechos son los recursos en un sistema cerrado de producción y consumo, de forma similar a la propuesta de Cradle-to-Cradle [3].

Sin embargo, los métodos anteriores surgen en sociedades industrializadas; alejadas de la realidad en la que vive la mayoría de la población humana, es decir, en condiciones de pobreza y acceso a productos y sistemas de producción poco sustentables y en muchos casos inviables económicamente. Por esta razón, surge la necesidad de hacer innovación en el diseño sustentable para la base de la pirámide socioeconómica, la cual busca dar soluciones a las necesidades básicas de acceso a servicios y productos, en condiciones de exclusión social, cultural y política, donde las empresas obtengan ganancias al mismo tiempo que brindan prosperidad a la sociedad, pero no se debe vincular el diseño para base de la pirámide como una estrategia para resolver los problemas de la pobreza y la desigualdad social.

La innovación en el diseño es crucial para reducir el impacto ambiental de los productos y sus procesos de producción, sin embargo no es suficiente, porque no modifican los modelos de negocios. Por el contrario la innovación basada en un diseño ecológico eficiente de sistemas producto-servicio si cambia el modelo de negocio al proponer una mezcla de productos tangibles y servicios intangibles que satisfagan las necesidades del cliente, donde el consumidor deja de ser el dueño del producto a uno en donde tiene acceso al producto y comparte su uso con otras personas cuando sus necesidades ya fueron cubiertas.

En este trabajo, presentamos la evaluación del impacto ambiental de una luminaria residencial desde un enfoque sistema-producto. Actualmente los productos de iluminación consumen una gran cantidad de recursos, alrededor del 15% de la electricidad y generan una cantidad considerable de emisiones tóxicas, cerca del 4.6% de las emisiones de gases invernadero [20]. Se utilizó el software ECO-it para medir el impacto de acuerdo al Eco indicador 95 considerando las etapas del Ciclo de Vida Simplificado CVS del producto. A diferencia del enfoque común de evaluar el impacto ambiental de un producto solo respecto a su consumo de energía, durante su vida útil. La principal contribución de este trabajo es mostrar el impacto ambiental también desde los materiales utilizados, la etapa de producción, la distribución, comercialización y desecho del producto. Finalmente a partir de los resultados de esta evaluación y bajo los principios del ecodiseño proponemos algunas estrategias para reducir el impacto ambiental para el objeto de evaluación.

El presente documento está estructurado de la siguiente forma: en la sección 1 se presenta una introducción al diseño de productos sustentable; en la sección 2 se hace una revisión de la innovación sustentable, el ecodiseño y los sistemas de iluminación residencial; en la sección 3 se describen los materiales de la luminaria residencial; en la sección 4 se describe la metodología de acuerdo del Ciclo de Vida Simplificado CVS del producto; en la sección 5 se muestran los resultados del impacto ambiental del producto y en la sección 6 se presentan las conclusiones.

## II. LA INNOVACIÓN SUSTENTABLE

### A. Innovación sustentable

La innovación sustentable es un tema de investigación académica que explora la relación entre el ecodiseño y modelos de negocio sustentable que crean valor para todas las partes interesadas o *stakeholders*, en contraposición al modelo tradicional que busca un beneficio exclusivamente para los clientes y los accionistas de la empresa [4]. Los modelos de negocio sustentables se basan en un conjunto de cuatro requisitos: 1. Una propuesta de valor que proporcione un valor ecológico y social medible a un valor económico. 2. Una cadena de suministro con proveedores que asumen la responsabilidad sobre sus procesos y productos. 3. Clientes motivados a un consumo, uso y desecho responsable de los productos y 4. un modelo financiero que promueva una distribución justa de los costos y beneficios ecológicos y sociales.

Las tecnologías disruptivas solo serán exitosas si vienen acompañadas de nuevos modelos de negocios; sin embargo, la innovación sustentable y el ecodiseño no implica únicamente el uso de nuevas tecnologías, sino una forma de reflexionar sobre la necesidad de lograr un crecimiento económico, al mismo tiempo que se logra reducir el impacto negativo en el medio ambiente y la sociedad; este concepto es particularmente relevante, si se consideran las tendencias del crecimiento poblacional en las ciudades, el crecimiento económico y la degradación del medio ambiente [5]. Para los países en desarrollo adoptar metodologías de ecodiseño abre nuevas posibilidades de emprendimiento basados en modelos de negocios sustentables.

La industria de equipos electrónicos es un sector en crecimiento y con una amplia presencia en la manufactura global, sin embargo también es una de las industrias que genera uno de los mayores impactos ambientales en todas las etapas del ciclo de vida del producto, desde la extracción de minerales, producción, uso, consumo de energía y hasta el desecho de los equipos. Una herramienta efectiva para prevenir el impacto ambiental de los equipos eléctricos y electrónicos es el ecodiseño [6]. Algunos beneficios de adoptar el ecodiseño son el cumplimiento de estándares y requerimientos legales que le permitan al fabricante acceder a mercados importantes, por ejemplo, en la comunidad europea existe la directiva de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos WEEE, la restricción de ciertas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos RoHS y la directiva sobre el uso de energía en productos EuP. Además, certificaciones ambientales como IPC Lead Free, EMAS, ISO 14001, ISO 14006, ISO 50001 y LEED son fortalezas que distinguen a los proveedores en las cadenas de suministro. Finalmente un producto sustentado en el ecodiseño es una propuesta de valor obligatoria para acceder al mercado de consumidores ecológicos y ambientalmente responsables que muestra una tendencia a la alza [7].

La innovación sustentable va de la mano del uso de herramientas del ecodiseño y de métodos creativos en grupos de trabajo colaborativo que generan nuevas ideas [8], sin embargo esta práctica es poco conocida por los fabricantes de equipos electrónicos. La innovación en productos y procesos de producción sustentables tienen un impacto positivo en las finanzas de los negocios como son la reducción de costos de operación, reducción del consumo de energía, cumplimiento de regulaciones medio-ambientales y el reciclaje de partes de

desecho durante la operación, por ejemplo, el reúso de empaques de productos electrónicos es un área de oportunidad para promover la participación de los consumidores en la reducción del impacto ambiental [9]. El Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible [10] le propone a las empresas siete prácticas para lograr la eco-eficiencia en sus operaciones: 1. reducción de la intensidad del material utilizado en la producción, 2. reducción de la intensidad de la energía utilizada en la producción, 3. reducción de la generación y dispersión de sustancias tóxicas, 4. favorecer el reciclaje, 5. maximizar el uso de recursos naturales renovables, 6. extender el tiempo de vida de los productos y 7. elevar la calidad del nivel de servicio.

**B. Ecodiseño**

La ingeniería tiene un rol significativo en la reducción de los riesgos asociados con el uso y generación de químicos tóxicos. Puede contribuir si el diseño de los productos, procesos y sistemas no incluyen químicos tóxicos en su producción, reparación, operación y mantenimiento. Además la ingeniería puede contribuir en comprender el destino y el transporte de estos químicos, de manera que se pueda eliminar o minimizar el daño que provocan en los ecosistemas y en la salud humana [11].

El método de evaluación del ciclo de vida, fue una de las primeras herramientas desarrolladas para la evaluación de cargas ambientales de productos y procesos, permite a los ingenieros identificar y cuantificar tanto los impactos ambientales directos como indirectos, así como el consumo de energía y recursos. Por otro lado, la aplicación correcta de la evaluación del ciclo de vida de un producto requiere de una gran cantidad de información sobre el producto y su proceso, por este motivo, en años recientes algunos trabajos se han enfocado en realizar evaluaciones ambientales en etapas anteriores a las actividades de diseño, por otro lado el Eco Indicador 95 es uno de los métodos más usados por los diseñadores para la evaluación del ciclo de vida de un producto, usualmente se usa para evaluar el impacto ambiental de un sistema-producto que existe en el mercado y que se desea rediseñar o crear un nuevo producto similar a partir del anterior [12]. Algunas estrategias propuestas para el ecodiseño de sistemas-producto se muestran en Fig 1.

**C. Sistemas de iluminación residencial**

En el ecodiseño de sistemas de iluminación se debe analizar el funcionamiento de la luminaria y el tipo de lámpara que utiliza. El uso de lámparas LED logra un ahorro de energía de hasta el 50% y en sinergia con controles de iluminación, el ahorro puede alcanzar hasta el 93%. Las regulaciones europeas como la Reg. 874/2012 sobre el ecodiseño de sistemas de iluminación de productos extendidos, no solo considera la eficiencia de la lámpara, es decir, la cantidad de luz radiada entre la potencia consumida, también considera la durabilidad, mantenimiento, requerimientos de funcionalidad, números de ciclos antes de presentar una falla y compatibilidad con sistemas de ahorro de energía [14].



Fig. 1. Estrategias de ecodiseño Sistema-producto. Fuente: Elaboración Propia

En iluminación residencial las lámparas LED tienen una mejor eficiencia de 73 lm/W en comparación con los 22 lm/W de las lámparas de halógeno, Fig. 2, además el tiempo de vida de una lámpara LED puede ser hasta 25 veces el de una lámpara de halógeno, Fig. 3. Por otro lado, las emisiones indirectas de CO2 entre las lámparas de LED y halógeno son similares; las unidades de las emisiones indirectas de CO2 de la Fig. 4 en Mt CO2/Plmh representa las toneladas métricas de CO2 sobre Petalumenes-hora asociadas a la extracción de materiales y al proceso de manufactura de las lámparas respecto al ciclo de vida para casos de estudio entre 2009 y 2016 [14].

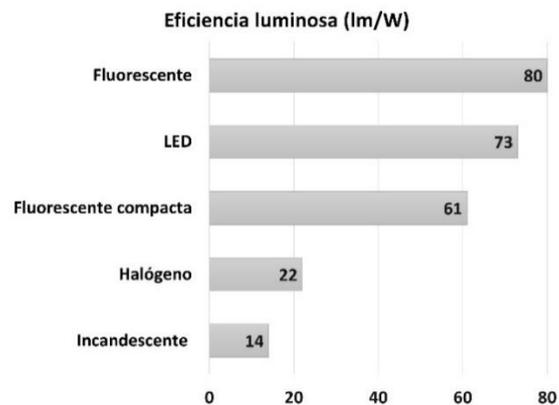


Fig. 2. Eficiencia en lámparas de iluminación residencial. Fuente: Elaboración Propia

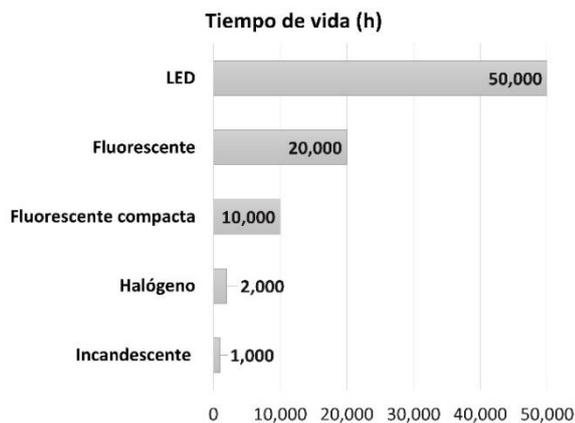


Fig. 3. Tiempo de vida de lámparas de iluminación residencial. Fuente: Elaboración Propia

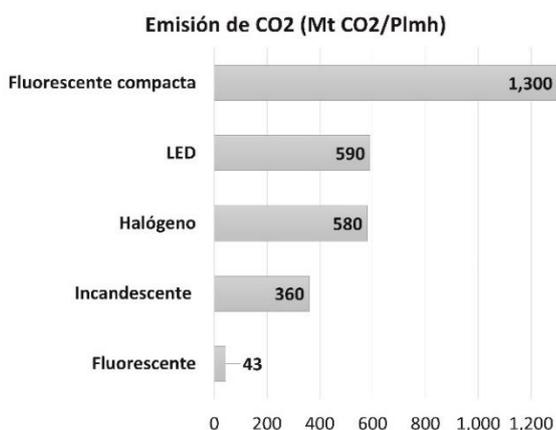


Fig. 4. Emisión indirecta de CO2 en lámparas de iluminación residencial. Fuente: Elaboración Propia

### III. MATERIALES

El producto evaluado en el presente artículo es una luminaria residencial para exterior modelo MX-JR008, fabricada en China y distribuida en México por la empresa MAXXIAMERICA S.A. de C.V. su precio es de 200 pesos mexicanos en puntos de venta al menudeo. El producto se distribuye en un empaque individual de cartón corrugado, incluye un empaque de cartón sulfatado para la lámpara de halógeno y una bolsa de polietileno. En Fig. 5 se muestra el diagrama en explosión de las partes de la luminaria, cabe señalar que la clavija es un componente que no incluye el proveedor, pero es necesaria para su funcionamiento y que el usuario debe adquirir por separado. La estaca E es un accesorio del producto que se puede usar para insertar la luminaria sobre la tierra o se puede desechar, en lugar de fijar la lámpara con taquete y tornillo sobre el piso o pared. En la tabla I se muestran los componentes de la luminaria.

El tiempo de vida del producto de acuerdo a la garantía del distribuidor es de 2 años. El producto utiliza una lámpara de halógeno de luz fría de 2,800K modelo MR16 con reflector que tiene un consumo de energía eléctrica de 35 W / 127 V / 60 Hz / 0.27 A. Según la información del fabricante su tiempo de vida es de 2,000 horas, no contiene mercurio y puede ser desechado como basura doméstica por que cumple con las normas CE para su comercialización en el mercado común de la Unión Europea y RoHS sobre restricciones de materiales

peligrosos en la fabricación de equipos eléctricos. La lámpara de halógeno que incluye el producto debe ser reemplazado por el usuario hasta 4 veces en el transcurso de los dos años del tiempo de vida de la luminaria. Suponiendo que se utiliza un promedio de 10 horas diarias, el cálculo del consumo eléctrico bimestral se muestra en (1).

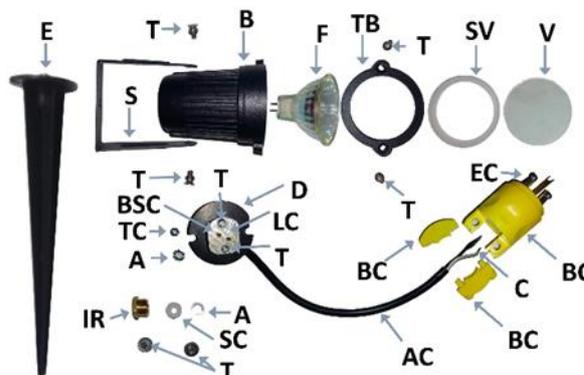


Fig. 5. Diagrama en explosión de las partes de la luminaria para exterior. Fuente: Elaboración Propia

TABLA I. COMPONENTES Y MATERIALES DE LA LUMINARIA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

| Id  | Descripción del material   |
|-----|--|
| V   | Ventana de vidrio común Sódico-Cálcico, material reciclable.   |
| SV  | Sello para ventana de silicona flexible, es un material NO reciclable.   |
| SC  | Sello para cable de silicona flexible, en un material NO reciclable.   |
| T   | Tornillos de acero galvanizado, de acero al carbón al 35% ANSI 1035 con recubrimiento de Zn, ASTM A153, material reciclable o de reúso.  |
| TB  | Tapa de la base de aluminio inyectado para ensamble a la base B de la luminaria.   |
| B   | Base de aluminio inyectado, material reciclable.   |
| F   | Lámpara de halógeno de estructura de vidrio común Sódico-Cálcico, filamento de tungsteno W, y gas de bromo Br encapsulado, para los cálculos del impacto ambiental en mPt se omite la presencia de W y Br.   |
| S   | Soporte de acero laminado en frío, acero al carbón 24% ASTM A283, material reciclable.   |
| E   | Estaca para insertar la lámpara en tierra, pieza de polipropileno de material reciclable.  |
| A   | Arandelas de acero galvanizado, acero al carbón al 35% ANSI 1035 con recubrimiento de Zn, ASTM A153, material reciclable o de reúso.   |
| IR  | Inserto roscado de bronce 88% Cu y 12% Sn para el cable en la base de la luminaria, material reciclable.   |
| D   | Disco de acero al carbón 24% ASTM A283 laminado en frío. Se une en el interior de la base.   |
| BSC | Base de contacto, pieza de cerámica dieléctrica (50% arcilla, 25% SiO3 y 25% feldespato) para soporte del contacto de la lámpara. La pieza está unida a un disco D y a una lámina de contacto LC. Consta de unos bornes de cobre en su interior unidos a un segmento de cable. |
| LC  | Lámina galvanizada de acero al carbón 24% y recubrimiento de Zn ASTM A153, unida por tornillos a la base de contacto BSC y al disco D.   |
| AC  | Aislante de cable de PVC. Usualmente de desecha en vertedero o se quema.   |
| C   | Cable conductor eléctrico de cobre, material reciclable.   |
| BC  | Material de PVC, consta de 3 partes que se ensamblan mediante tornillos.   |
| EC  | Espigas de cobre empotradas en la clavija. El cable eléctrico se fija mediante tornillo a 3 espigas.   |

$$\begin{aligned} \text{Consumo Electrico} &= (35 [W]) \left(10 \left[\frac{\text{horas}}{\text{dia}}\right]\right) \left(\frac{1 \text{ kWh}}{1000 W}\right) \left(\frac{60 \text{ dias}}{\text{Bimestre}}\right) \quad (1) \\ &= 21 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{Bimestre}}\right] \end{aligned}$$

El costo bimestral en pesos mexicanos MXP que se muestra en (2), corresponde al caso de un consumo básico en un hogar de 75kWh, donde la tarifa del proveedor de energía eléctrica CFE es de 0.799 MXP/kWh desde Marzo 2019.

$$\begin{aligned} \text{costo} &= \left(21 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{Bimestre}}\right]\right) \left(0.799 \frac{\text{MXP}}{\text{kWh}}\right) \quad (2) \\ &\approx \$ 18 \text{ MXP} \end{aligned}$$

Considerando los dos años del tiempo de vida de la luminaria, el consumo eléctrico total será de 252 kWh y el costo de la energía eléctrica sin considerar la inflación e incrementos adicionales, sería de \$216 MXP aproximadamente.

#### IV. METODOLOGIA

El análisis del sistema-producto para la luminaria de exterior de jardín se elaboró tomando en cuenta las etapas del Ciclo de Vida Simplificado CVS [2] de un producto, Fig. 8, la cual consta: 1. obtención de los materiales, 2. producción, 3. distribución y comercialización, 4. uso y 5. Fin de vida del producto. Se utilizó la versión 1.4 del software ECO-it [15], Fig. 6, que se basa en la metodología del Eco indicador 95 para el cálculo del impacto ambiental en milipuntos. Un 1 Pt = 1,000 mPt y un 1 Pt representa una centésima parte de la carga ambiental anual de un ciudadano europeo promedio.

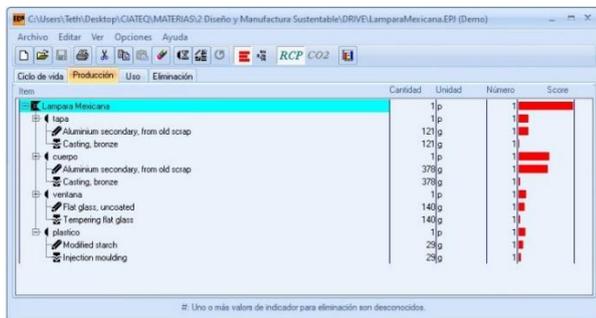


Fig. 6. Interfaz de usuario del software Eco-it. Fuente: PRé Consultants e Ihobe

En las tablas II, III y IV se resume el impacto ambiental por recursos materiales, por consumo de energía en procesos en la etapa de producción y en la etapa de distribución del ciclo de vida del producto, respectivamente.

TABLA II. IMPACTO AMBIENTAL POR RECURSOS MATERIALES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

| Material                | Impacto por emisiones tóxicas  |
|-------------------------|--|
| <b>Polietileno PE</b>   | El aditivo bisfenol-A es una disruptor endocrino que afecta al sistema hormonal, es utilizado en la fabricación de muchos productos plásticos que se lixivian mientras el plástico envejece. En la descomposición del PP y PE se producen gases de hidrocarburos como el metano. |
| <b>Polipropileno PP</b> | El cloruro de vinilo es un carcinógeno humano, que se puede generar en el proceso de moldeo y quema de residuo [16].   |

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| <b>Silicona</b>               | Polímero sintético de baja toxicidad y de baja reactividad química con estabilidad térmica entre -100°C y 250°C.  |
| <b>Cartón</b>                 | Emisión de dioxinas derivadas del uso de compuestos con cloro y emisión de contaminantes de hidróxido de sodio NaOH y sulfatos SO <sub>4.2</sub> que se usan para tratamientos de astillas de madera en la producción de papel.   |
| <b>Porcelana eléctrica</b>    | Compuesto de arcilla, dióxido de silicio y feldespato. Emisión de sustancias volátiles durante el secado, y generación de polvo. En la producción se generan aguas residuales con presencia de sólidos en suspensión, metales pesados y compuestos de bromo.  |
| <b>Vidrio</b>                 | El vidrio Sódico-Cálcico está elaborado a partir de materias primas no tóxicas como el carbonato de sodio, la caliza y la dolomita. Sus contaminantes volátiles como CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , Na, Cl y F provienen de la descomposición de estos materiales y sus impurezas.   |
| <b>Cobre</b>                  | Suelos ácidos por desechos de pirita.   |
| <b>Cinc</b>                   | Contaminación en fuentes de agua por Ácido sulfúrico H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> y cianuro. Emisión atmosférica de dióxido de azufre SO <sub>2</sub> , óxidos de Nitrógeno NO <sub>x</sub> monóxido de carbono CO y compuestos orgánicos volátiles no metálicos. Emisión de partículas de 10µm de metales pesados Cr, Pb y Cd. |
| <b>Aluminio</b>               |   |
| <b>Bronce</b>                 |   |
| <b>Acero</b>                  |   |
| <b>Lámina galvanizada</b>     | Proviene del proceso de desengrase alcalino NaOH, ácidos HCL H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> y de productos de limpieza. También se generan humos de la reacción de sal de Flux con el Cinc en el proceso de galvanizado.  |
| <b>Pintura electrostática</b> | Baja emisión de compuestos orgánicos volátiles.   |

TABLA III. IMPACTO POR PROCESOS EN LA ETAPA DE PRODUCCIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

| Producción piezas                                     | peso                | Impacto ambiental |
|---|---------------------|-------------------|
| Corte esmerilado de la pieza V                        | 4 g                 | 0.111 mPt         |
| Prensado en frío de piezas S, D, LC y A               | 6 g                 | 1.048 mPt         |
| Fabricación pieza F por inyección de vidrio           | 25 g                | 14 mPt            |
| Fabricación de pieza E por inyección de PP            | 3 g                 | 1.5 mPt           |
| Fabricación de piezas B y TB por inyección de Al      | 60 g                | 8.7 mPt           |
| Aplicación de pintura electrostática en piezas B y TB | 9.5 mm <sup>2</sup> | 0.0048 mPt        |
| Aplicación de pintura electrostática en piezas S y D  | 500 mm <sup>2</sup> | 0.5 mPt           |
| Maquinado Inserto roscado de bronce IR                | 10 g                | 17 mPt            |
| Maquinado de piezas T y TC                            | 11 g                | 7.1 mPt           |
| Galvanizado de piezas T y TC                          | 100 mm <sup>2</sup> | 0.00079 mPt       |
| Moldeado de sellos de silicona SV y CV                | 7 g                 | 3.1 mPt           |
| Moldeado de BSC en cerámica eléctrica                 | 1.5 g               | 0.24 Pt           |

TABLA IV. IMPACTO EN LA ETAPA DE DISTRIBUCIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

| Empaque             | peso    | Impacto ambiental |
|---------------------|---------|-------------------|
| Caja                | 200 g   | 7.8 mPt           |
| Bolsa               | 5 g     | 1.8 mPt           |
| Etiqueta            | 1 g     | 0.38 mPt          |
| Contenedor marítimo | 2300 kg | 14 mPt            |
| Caja maestra        | 0.5 kg  | 69 mPt            |

En la etapa de uso del producto, la mayor carga ambiental es de 18,000 mPt y se debe a la emisión de gases invernadero asociada al consumo de energía eléctrica en los dos años del tiempo de vida de la lámpara de halógeno. En el software Eco-it se seleccionó la opción *Use → Energy → Non renewable electricity → Electricity, oil 101 mpt kWh*, debido a que en México el 62% de la energía se obtiene por la quema de petróleo de acuerdo a información de la SENER. En la etapa de fin de vida del producto el impacto ambiental es de 34 mPt.

## V. RESULTADOS

De acuerdo a la evaluación del ciclo de vida simplificado CVS [2], en fig. 7 se muestra el impacto ambiental en mPt por piezas en la etapa de producción. La pieza con el puntaje más alto es el inserto roscado IR de bronce con 17 mPt, seguido por la lámpara de halógeno F y de las piezas de la base B y tapa de la base TB de aluminio que conforman el cuerpo de la luminaria. El empaque individual de cartón de la luminaria también genera un impacto ambiental significativo de 7.8 mPt. Cabe señalar que el inserto de bronce no es una pieza esencial para el funcionamiento de la luminaria y se puede fabricar en otro material que tenga un menor impacto ambiental.

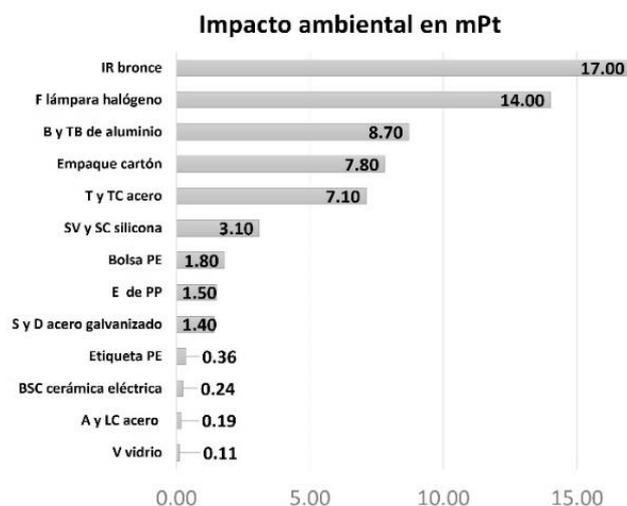


Fig. 7 Puntuación por piezas de producción. Fuente: Elaboración Propia

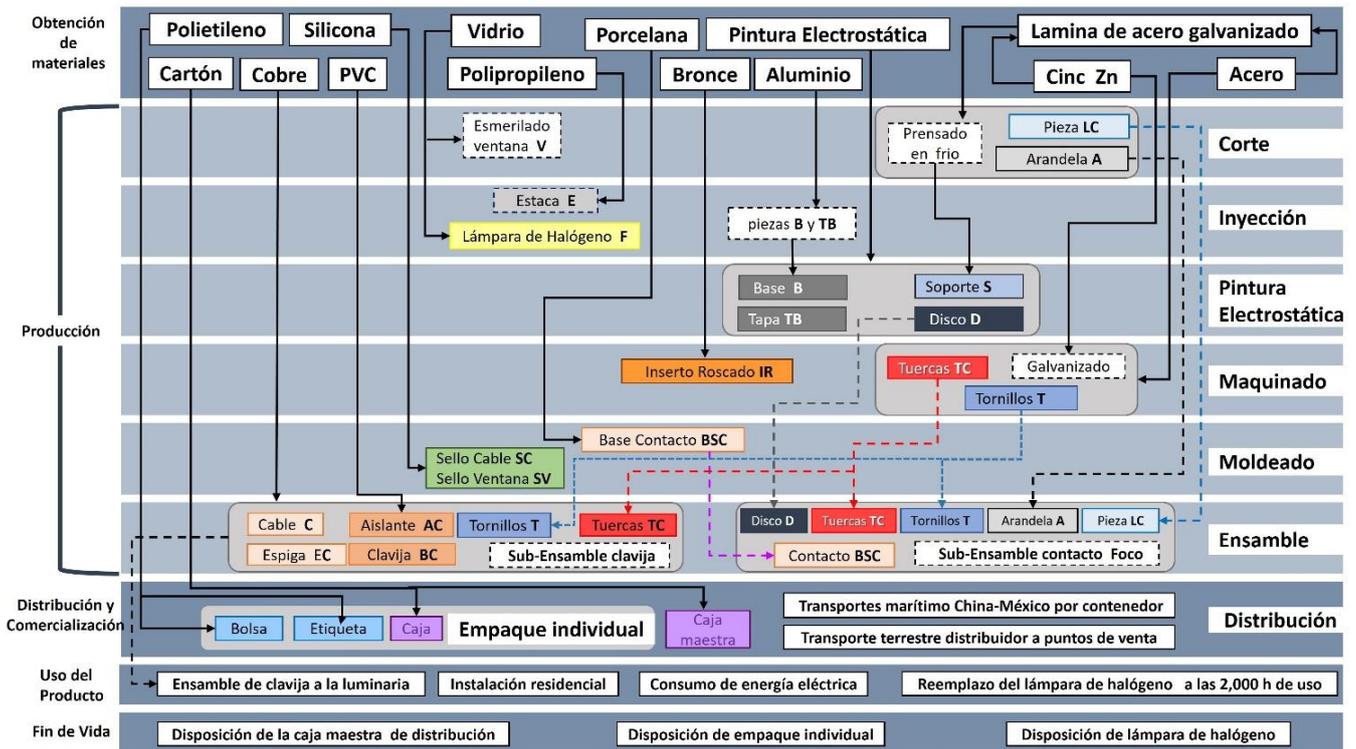
En la tabla V se muestra una comparación entre tres posibles casos de uso del producto. El caso 1 considera el consumo de energía eléctrica de 252 kWh durante dos años en la opción de generación de energía eléctrica por quema de combustóleo. El caso 2 corresponde al uso de la lámpara para un consumo de 21 kWh durante un bimestre; bajo el mismo criterio de consumo de energía eléctrica de fuentes no renovables, descrito en el caso 1. Se observa favorablemente que el puntaje más alto corresponde al uso del producto por encima de su producción y eliminación.

TABLA V. COMPARATIVA DE LA PUNTUACIÓN PARA DOS POSIBLES CASOS RESPECTO AL USO DE LA LÁMPARA DE HALÓGENO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

|                      | CASO 1<br>Uso 2 años | CASO 2<br>Uso 1 bimestre |
|----------------------|----------------------|--------------------------|
| <b>Ciclo de vida</b> | 18,000 mPt           | 2,300 mPt                |
| <b>Producción</b>    | 130 mPt              | 130 mPt                  |
| <b>Uso</b>           | 18,000 mPt           | 2,100 mPt                |
| <b>Eliminación</b>   | 34 mPt               | 34 mPt                   |

EN FIG. 9 SE MUESTRA LA GRÁFICA DE PUNTUACIÓN DEL CASO 2 PARA PRODUCCIÓN, USO Y ELIMINACIÓN DE LA LUMINARIA. SE OBSERVA QUE EL IMPACTO AMBIENTAL EN LA ETAPA DE ELIMINACIÓN DEL PRODUCTO ES MENOR QUE LA ETAPA DE PRODUCCIÓN, A RAZÓN DE QUE LA MAYORÍA DE LAS PIEZAS METÁLICAS PUEDEN SER RECICLADAS O REUTILIZADAS, CON LA EXCEPCIÓN DE LA LÁMPARA DE HALÓGENO QUE SE DESECHA EN VERTEDERO Y PRODUCE 14 mPt DE IMPACTO AMBIENTAL. CON BASE EN EL ANÁLISIS ANTERIOR SE PROPONEN LAS SIGUIENTES MEJORAS AL SISTEMA-PRODUCTO DE ACUERDO A LAS ETAPAS DEL CVS DE LA FIG.8

Fig. 8. Ciclo de vida simplificado CVS del sistema-producto.  
Fuente: Elaboración Propia



**D. Propuestas de mejoras al CVS del sistema-producto.**

En la etapa de *obtención de materiales*, se sugiere evitar el uso de materiales tóxicos como el cloruro de vinil [17] que terminan su ciclo de vida en vertederos o incineradores. Por comparación de indicadores ambientales es preferible el uso de metales, plásticos y cartón reciclados sobre materiales nuevos.

En la etapa de *producción*, se sugiere evitar el consumo de energía asociado al maquinado de piezas no esenciales para el funcionamiento del producto como el inserto roscado de bronce IR. Reemplazar piezas galvanizadas por acero inoxidable para elevar el tiempo de vida del producto, además el acero inoxidable no se degrada durante el proceso de reciclaje [18].

En la etapa *distribución y comercialización* del producto, se sugiere preferir un proveedor local del producto para evitar el uso del transporte marítimo y reducir las emisiones de gases invernadero [19]. Y usar material reciclado para el empaque individual y sustituir la caja maestra por pallet reutilizables para la distribución del producto hacia los puntos de venta.

En la etapa de *uso del producto*, se sugiere reemplazar la lámpara de Halógeno por una lámpara LED del mismo estándar MR16 para elevar el tiempo de vida del producto y reducir el consumo de energía [19-20], Fig.10. Incluir un interruptor electrónico por intensidad de luz solar para evitar su uso del producto en horas diurnas. Evitar accesorios para la instalación del producto que pueden ser desechados sin usarse, como es el caso de la pieza E de polietileno y de la bolsa de Polipropileno.

En la etapa de *fin de vida*, se sugiere promover el reciclaje de la luminaria cuando termine su ciclo de vida a través de un incentivo económico en los puntos de venta.

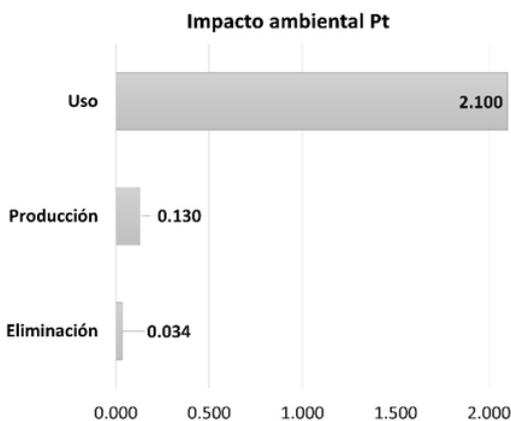


Fig. 9. Gráfica puntuación de Producción 130 mPt, Eliminación 34mPt y Uso 2,100 mPt para un consumo de 21 kWh durante 1 bimestre de energía eléctrica generada por la quema de combustóleo. Fuente: Elaboración Propia



Fig. 10. Estándar MR16 para lámpara de halógeno y lámpara LED: Fuente: Philips

En la Fig 11. se muestra un perfil ecológico comparativo entre el producto actual y las propuestas de mejora. El perfil ecológico es una herramienta comparativa donde se evalúan subjetivamente en una escala de 0 a 10 las cinco etapas del ciclo de vida del producto más las mejoras en su función a causa de los beneficios que aporta el ecodiseño como son: la reducción de desechos tóxicos y gases invernaderos, reducción del impacto ambiental por el uso de materiales reciclados y la reutilización de piezas, mejoras al proceso y costos de producción por la eliminación de piezas y operaciones no esenciales. Cabe resaltar que la sustitución de la lámpara de halógeno por una lámpara LED en el mismo estándar MR16 eleva significativamente el tiempo de vida del producto, reduce el consumo de energía en la etapa de uso del producto y los costos asociados que debe pagar el usuario.

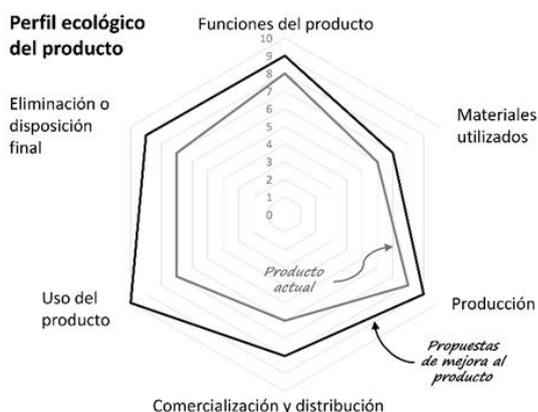


Fig. 11. Comparación del perfil ecológico del producto actual contra las propuestas de mejora al producto. Fuente: Elaboración Propia

## VI. CONCLUSIONES

El mayor impacto ambiental del sistema producto de la luminaria se debe a su uso con 18,000 mPt respecto a 130 mPt de producción y 34 mPt de eliminación, para un consumo de energía eléctrica de 252 kWh de fuentes de energía no renovables durante el tiempo de vida del producto de dos años. En consecuencia la propuesta de mejora de sustituir la lámpara de halógeno por una lámpara LED del mismo estándar MR16 es la primera estrategia de ecodiseño para reducir el impacto ambiental de la luminaria, por que propone reducir el consumo de energía y elevar el tiempo de vida del producto.

Sustituir la lámpara LED por una lámpara de Halógeno puede incrementar el precio de venta del producto, pero se incrementa su tiempo de vida, además se reduce el consumo de energía eléctrica y su costo para el consumidor final, durante la etapa de uso.

Otras estrategias de mejora del sistema-producto son la sustitución de piezas maquinadas, como el inserto roscado de bronce IR, que no son esenciales para el funcionamiento de la lámpara, pero cuya operación demanda un consumo elevado de energía. También es recomendable dejar de producir accesorios de plástico para la instalación del producto que pueden ser desechados sin usarse, esta estrategia además de reducir la carga ambiental tendría un impacto en los costos de producción, empaque y transporte. Además, la fabricación de la luminaria por parte de un proveedor local cercano a los puntos de venta puede reducir la emisión de gases invernadero asociados al transporte.

La estrategia de sustitución de piezas de acero galvanizado por acero inoxidable, puede elevar el costo unitario de la luminaria, sin embargo, mejoraría la percepción del cliente respecto a la calidad y durabilidad del producto. Por otro lado el uso de materiales reciclados en los materiales de la luminaria y su empaque contribuyen en la reducción de costos, así como en su huella ecológica respecto al uso de materiales nuevos.

Se debe evitar el uso de materiales tóxicos, como el cloruro de vinilo porque al finalizar el ciclo de vida del producto, algunas piezas, son desechadas en vertederos o son incineradas para recuperar materiales valiosos, como el cobre, desafortunadamente esta práctica es común en México debido a las condiciones de pobreza de algunos sectores de la sociedad.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo del posgrado en Manufactura Avanzada de la unidad Jalisco de CIATEQ, a la unidad académica Zapopan del Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, y al Tecnológico Nacional de México.

## REFERENCIAS

- [1] B. Bras, "Incorporating environmental issues in product design and realization". *Industry and environment*, vol. 20, pp. 1-19, 1997.
- [2] F. J. González-Madariaga, y L. A. Rosa-Sierra. "Evaluación de ecodiseño: Herramienta del diseñador para la mejora ambiental". *Revista Rúbricas de la Universidad Iberoamericana Puebla*, vol. 6, no. 10, pp. 55-61, 2016.
- [3] F. Ceschin, y I. Gaziulusoy, "Design for Sustainability: An Evolutionary Review". *DRS 2016 Future Focused Thinking*. Brighton, UK: Design Research Society, pp 1-24, 2016
- [4] F. Lüdeke-Freund. "Sustainable business models for eco-design and innovation. The challenges of eco-innovation: from eco-ideation toward sustainable business models". *Paris: EcoSD Annual Workshop*, pp. 57-67, 2015.
- [5] M. Bala-Swamy, "Design for Sustainability: Current Trends in Sustainable Product Design and Development". *National Conference on Marketing and Sustainable Development*. India: AIMS International, pp. 43-61, 2017.
- [6] I. Gurauskienė, y V. Varzinskas, "Eco-design methodology for electrical and electronic equipment industry". *Environmental research, engineering and management*, vol. 3, no. 37, pp. 43-51, 2006.
- [7] S. Lein, (2018, Agosto 20). Why Sustainable Branding Matters. [Online]. Disponible: [www.forbes.com](http://www.forbes.com)
- [8] B. Tyl, et al. "Stimulate creative ideas generation for eco-innovation: an experimentation to compare eco-design and creativity tools". *Proceedings of IDMME- Virtual Concept*, Bordeaux France. pp. 1-6, 2010.
- [9] Y. Fernando, y R. U. Chein. "An empirical analysis of eco-design of electronic products on operational performance: does environmental performance play role as a mediator?". *Int. J. Business Innovation and Research*, vol. 14 no. 2, pp. 188-205, 2017
- [10] WBCSD (2006, Agosto 24). Eco-efficiency Learning Module. [Online]. Disponible: <https://docs.wbcsd.org/2006/08/EfficiencyLearningModule.pdf>
- [10] J. Mihelcic, y J. Zimmerman, *Ingeniería ambiental: Fundamentos Sustentabilidad diseño*. Mexico: Alfaomega, 2011.
- [11] M. Fagnoli, y F. Kimura. "Sustainable Design of Modern Industrial Products. Proceeding of LCE". *Louvain Belgica: CIRP Life Cycle Engineering Conference*, pp. 189-194, 2006.
- [12] N. Suppen, y B. Van Hoof. (2005) *Conceptos básicos del Análisis de Ciclo de Vida y su aplicación en el Ecodiseño*. Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable. [Online]. Disponible: [www.lcamexico.com](http://www.lcamexico.com)

- [13] C. Pastor, et al. "Environmental assessment to support ecodesign: from products to systems". Luxemburgo: JCR de la Unión Europea. 2016. doi:10.2788/165319
- [14] L. Tähkämö, et. al. (2017) "Reducing carbon dioxide emissions by global transition to LED lighting in residential buildings". Proceedings of the 9th International conference on Energy Efficiency in Domestic Appliances and Lighting, pp. 1183-1191. doi:10.2760/11353
- [15] PRé Consultants. (2010). Guia Eco-it 1.3. Holanda. [Online]. Disponible: [www.pre.nl](http://www.pre.nl)
- [16] ATSDR. (2006). Resumen de salud pública: Cloruro de vinilo. [Online]. Disponible: [www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs20.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs20.pdf)
- [17] BSSA. (2017). Environmental aspects of stainless steel. [Online]. Disponible: [www.bssa.org.uk/sectors.php?id=99](http://www.bssa.org.uk/sectors.php?id=99)
- [18] C. Bravo, y I. Buschell, (2019). El transporte marítimo contamina miles de veces más que el terrestre. [Online]. Disponible: [www.eldiario.es](http://www.eldiario.es)
- [19] S. Yim, et al. "Design of a two-stage driver for LED MR16 retrofit lamps compatible with electronic transformers". Journal of semiconductor technology and science, vol. 16, no. 1, pp. 1-10, 2016.
- [20] S. Daizhong, et. al. "An integrated approach for Eco-Design and its applications in LED Lighting product development". Sustainability, vol 13, 488, pp. 1-13, 2021. [Online]. Disponible: [doi.org/10.3390/su13020488](https://doi.org/10.3390/su13020488)