04-044

THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF LIGHTING INSTALLATIONS: THE FIXTURE.

Sierra Garriga, Carlos (1)
(1) UPC

The objective of this communication is to describe the environmental impact of lighting installations. All human activity has an environmental impact on the environment, and to carry out this activity, light is needed. When natural light is not available (or even when it is available), artificial light is generated to continue developing these human activities. To provide that light it is necessary to generate and consume electrical energy, as well as to manufacture, transport, and store devices that are capable of providing that lighting. All these activities or processes cause environmental impacts, involve consumption of resources, emit substances into the environment and generate other environmental modifications during their life span. To try to evaluate the environmental impact of a product or a system, it is essential to analyze its life cycle. Thus, this communication will try to describe the life cycle of a lighting fixture, analyzing all the phases through which it passes.

Keywords: Lighting; fixture; luminaire; Life Cycle Analisys; LCA; enviromental impact.

LA HUELLA AMBIENTAL DE LAS INSTALACIONES DE ILUMINACIÓN: LA LUMINARIA.

El objetivo de esta comunicación es el de describir el impacto ambiental que representan las instalaciones de iluminación. Toda actividad humana tiene un impacto ambiental sobre el medio ambiente, y para llevar a cabo esa actividad, se precisa luz. Cuando no se dispone de luz natural (o incluso cuando se dispone de ella), se genera luz artificial para seguir desarrollando dichas actividades humanas. Para proveer esa luz es necesario generar y consumir energía eléctrica, a la vez que fabricar, transportar, almacenar dispositivos que sean capaces de proporcionar esa iluminación. Todas esas actividades o procesos provocan impactos medioambientales, suponen consumo de recursos, emiten sustancias al medio ambiente y generan otras modificaciones ambientales durante su periodo vital. Para tratar de evaluar el impacto ambiental de un producto o un sistema es básico analizar el ciclo de vida del mismo. Así pues, en esta comunicación se tratará de describir el ciclo de vida de una luminaria, analizando todas las fases por las que pasa.

Palabras claves: Iluminación; luminaria; Análisis de ciclo de vida; ACV; impacto Ambiental.

Correspondencia: Carlos Sierra Garriga carlos.sierra@upc.edu

©2021 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

1. Introducción

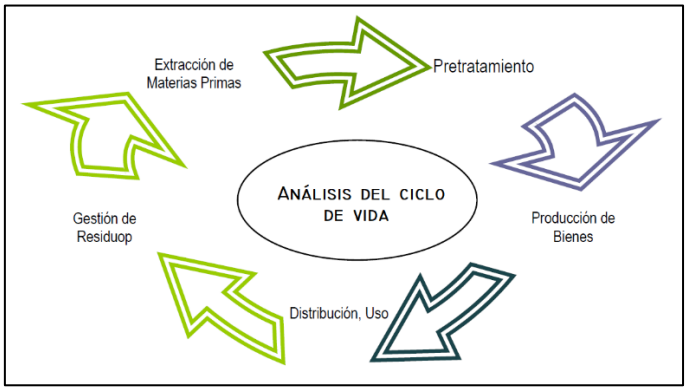
Toda actividad humana tiene un impacto ambiental sobre el medio ambiente, y para llevar a cabo esa actividad, se precisa luz. Cuando no se dispone de luz natural (o incluso cuando se dispone de ella), se genera luz artificial para seguir desarrollando dichas actividades. Para proveer esa luz es necesario generar y consumir energía eléctrica, a la vez que fabricar, transportar, almacenar dispositivos que sean capaces de proporcionar esa iluminación. Todas esas actividades o procesos provocan impactos medioambientales, suponen consumo de recursos, emiten sustancias al medio ambiente y generan otras modificaciones ambientales durante su periodo vital.

Los impactos medioambientales que se valoran habitualmente incluyen el cambio climático, la reducción de la capa de ozono, la generación de ozono en la troposfera, eutrofización, acidificación y otras muchas.

Para tratar de evaluar el impacto ambiental de un producto o un sistema es básico analizar el ciclo de vida del mismo.

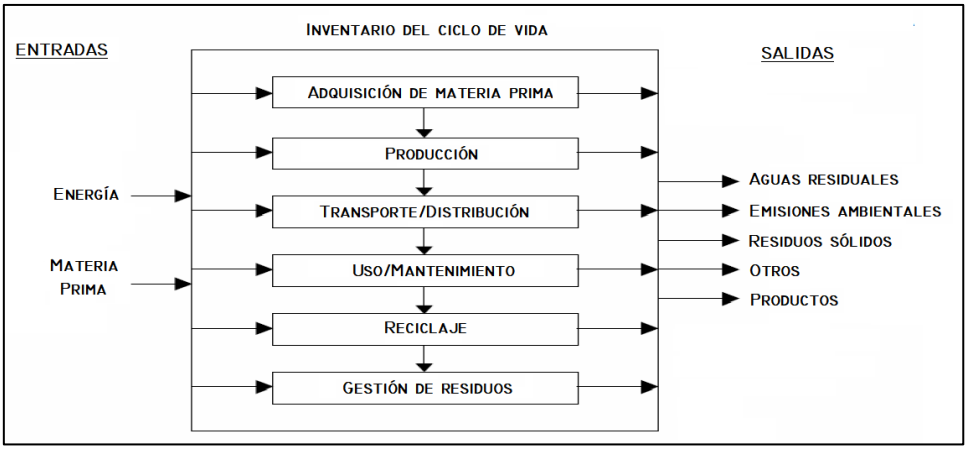
Un **análisis de ciclo de vida** (ACV) (Life Cycle Assessment (LCA) en inglés), también conocido como análisis de la cuna a la tumba, balance ambiental, balance ecológico o evaluación del ciclo de vida (ECV), es un marco metodológico para estimar y evaluar los impactos ambientales atribuibles al ciclo de vida de un producto. Es una herramienta de diseño que investiga y evalúa los impactos ambientales de un producto o servicio durante todas las etapas de su existencia: extracción, producción, distribución, uso y fin de vida (reutilización, reciclaje, valorización y eliminación/disposición de los residuos/desecho).

Figura 1:Análisis del ciclo de vida (ACV)



El ACV es, por tanto, una metodología empleada en el estudio del ciclo de vida de un producto y de su proceso de producción, con el fin de evaluar el impacto potencial sobre el ambiente de un producto, proceso o actividad a lo largo de todo su ciclo de vida mediante la cuantificación del uso de recursos ("entradas" como energía, materias primas, agua) y emisiones ambientales ("salidas" al aire, agua y suelo) asociados con el sistema que se está evaluando. Con el auge del ecodiseño, este enfoque ha ido integrando con más frecuencia diferentes criterios y parámetros de evaluación del impacto ambiental.

Figura 2: Inventario del Ciclo de vida



Los documentos marco para la realización de un análisis de ciclo de vida son las normas internacionales ISO 14040 (principios y marco de referencia para el ACV) e ISO 14044 (requisitos y directrices para el ACV), adoptadas en español por AENOR como UNE-EN ISO 14040 y UNE-EN ISO 14044.

El ACV es una metodología que se diferencia por el uso de métodos cuantitativos y por su particularidad de identificar los aspectos ambientales clave de un producto, proceso o servicio y cuantificar sus impactos ambientales potenciales a lo largo de su ciclo de vida, comenzando por la extracción de materias primas y la producción de energía utilizada para fabricar el producto, uso del mismo y disposición final.

2. Objetivo

El objetivo del presente estudio consiste en describir cual debería ser el proceso del análisis del ciclo de vida para un aparato de iluminación, aplicado al caso particular de una luminaria de alumbrado público, como parte de una instalación de iluminación urbana.

Para realizar un análisis completo, debería aplicarse la metodología ACV a toda la instalación de iluminación. Debería realizarse el ACV de todos los elementos que la componen, pero ello es complicado puesto que debe obtenerse información de todos los procesos por los que pasan cada uno de los componentes.

Para hacerlo un poco más sencillo, vamos a reducir esa instalación a una instalación de alumbrado exterior, como podría ser una calle cualquiera de nuestras ciudades.

Realizando un análisis de diferentes componentes, básicamente aparecerían los siguientes:

- Cuadro de mando
- Líneas eléctricas
- Soportes
- Cajas de conexión
- Luminarias

- Obra civil

Cada uno de estos sistemas que conforman la instalación debería descomponerse en componentes individuales, y a su vez, éstos descomponerlos en elementos básicos.

3. Caso de estudio: ACV de una luminaria

Pongamos por ejemplo el caso de una luminaria LED de alumbrado urbano: ésta podría considerarse que está compuesta por los siguientes elementos:

- Carcasa
- Difusor
- Juntas
- Cableado
- Placa LED
  - PCB
  - Leds
  - Ópticas
- Tornillería

Figura 3: Luminaria ejemplo tipo de alumbrado urbano

En este artículo no se considera el driver, aunque el proceso descriptivo sería análogo al de la luminaria.

El ciclo de vida de la luminaria empieza por su proceso de fabricación: Deben primero obtenerse todas las materias primas, transformarse, almacenarse y transportarse hasta los diferentes centros de producción, para volver a ser tratados en diferentes etapas hasta llegar a ser una luminaria lista para ser instalada.

Una vez instalada, comienza su fase de uso, durante la cual producirá luz a base de consumir en energía eléctrica durante un periodo de unos 15 años, para al final convertirse en un residuo en la que parte del aparato será reciclado.

Analicemos a continuación las diferentes fases del ciclo de vida de una luminaria.

3.1 Fabricación

Como se ha comentado, la fabricación de una luminaria se divide en la fabricación y embalaje de todos sus componentes, desde la obtención de la materia prima hasta la fabricación de la pieza final.

La carcasa

Generalmente, la carcasa de una luminaria está realizada en fundición de aluminio inyectado. Así pues, el primer paso del ciclo de vida de la carcasa de la luminaria es la obtención del Aluminio.

El aluminio es un metal no ferroso, ligero, con bajo punto de fusión, blando y deformable, con alta conductividad eléctrica y térmica, de amplia utilización en la industria, producido por el hombre con minerales extraídos de la naturaleza.

Este metal forma parte de la corteza terrestre en una proporción aproximada al 8%, lo que lo convierte en el elemento químico más abundante después del oxígeno (47%) y el silicio (28%). No se presenta puro en la naturaleza, sino que aparece combinado fundamentalmente con el oxígeno, formando óxidos e hidróxidos, que a su vez se hallan mezclados con óxidos de otros metales y con sílice. El mineral del que se extrae el aluminio casi exclusivamente se llama **bauxita**.

La producción anual del metal se aproximó a los 64 millones de toneladas, siendo China el mayor productor, responsable de más de la mitad de la producción en el mundo.

Una vez obtenido el aluminio, es llevado en lingotes a los centros de producción, donde se inyecta y se obtiene la carcasa de la luminaria. La fundición a presión es un método de fabricación ampliamente utilizado para producir piezas de aluminio mediante la inyección a alta presión del metal fundido en moldes de acero reutilizables. Este proceso da como resultado la producción de piezas y componentes con geometrías complejas, con alta precisión, y permite la posibilidad de una producción a gran escala.

Figura 4: Pieza de una luminaria de aluminio inyectado

Una vez finalizada la pieza, se la puede someter a algún tratamiento superficial (anodizado) o a un proceso de pintado, de forma que resista mejor las agresiones ambientales.

Generalmente, la carcasa de una luminaria suele estar formada por varias piezas que se unen entre sí.

El vidrio difusor

El difusor que incorporan las luminarias, generalmente está realizado con vidrio templado, con un grosor de entre 3 y 6 mm.

Figura 5: Vidrio templado de una luminaria

El principal vitrificante del vidrio, y el encargado de que se forme la red vítrea es la sílice (SO_2). Este material procede principalmente de la arena silícea y tiene una temperatura de fusión que asciende a los 1800ºC. No obstante, se ha conseguido bajar este punto de fusión utilizando fundentes.

Para fabricar vidrio templado térmicamente, el vidrio flotado se calienta gradualmente hasta una temperatura de reblandecimiento de entre 575 y 635 °C para después enfriarlo muy rápidamente con aire. De esta manera se consigue que el vidrio quede expuesto en su superficie a tensiones de compresión y en el interior tensiones de tracción, confiriéndole mayor resistencia estructural y al impacto que el vidrio sin tratar, teniendo la ventaja adicional de que en caso de rotura se fragmenta en pequeños trozos menos lesivos (por lo cual se le considera uno de los tipos de vidrio de seguridad).

Todas las manufacturas, ya sean cortes de dimensiones, canteados o taladros deberán ser realizados previamente al templado. De realizarse posteriormente, se provocaría la rotura del vidrio.

El vidrio cuando es templado, adquiere unas propiedades importantes. La resistencia a la flexión del vidrio recocido al templarlo aumenta de 4 a 5 veces la resistencia de un vidrio normal. La resistencia al choque térmico (diferencia de temperatura entre una cara y otra de un paño que produce la rotura de éste) pasa de 60 °C a 240 °C.

Juntas de estanqueidad

Las juntas de estanqueidad tienen por objetivo garantizar la protección contra la entrada de cuerpos sólidos y líquidos en el interior de la luminaria.

Generalmente son juntas de silicona. La silicona es un polímero inorgánico sintéticos con base estructural de silicio, está constituido por una serie de átomos de silicio y oxígeno alternados. La silicona es inerte y estable a altas temperaturas, lo

que la hace útil en gran variedad de aplicaciones industriales, médicas y quirúrgicas. La característica esencial de los polímeros es la de presentar en su molécula, además del enlace silicio-carbono, el enlace silicio-oxígeno, el cual da origen a su nombre: siliconas.

Cables Eléctricos

Los cables eléctricos están formados por dos partes diferenciadas: Por un lado, el conductor, que es de Cobre o Aluminio, y por otro, la capa aislante, formada por un material plástico.

El cobre se obtiene de los minerales Calcopirita ($CuFeS_2$) y Bornita (Cu_2FeS_4), ambos se explotan en minas a cielo abierto debido a su proximidad a la superficie. El gran contenido de impurezas y la baja concentración del metal, entre el 1% al 12%, hace que la mayoría de las fases del tratamiento del mineral se basen en la eliminación de estas impurezas; principalmente sulfuros, carbonatos, hierro y silicatos. Chile es el principal productor de cobre, con un 17% de la producción.

Alrededor del 90% del cobre que se produce en el mundo proviene de los minerales de sulfuro. La extracción tiene cuatro etapas:

- Concentración por flotación
- Tostación
- Fusión de mata
- Afino

En la fabricación de los cables eléctricos se siguen de forma general los siguientes procesos:

- **Fundición**: Se vuelve a fundir el material en bruto en una cámara en la que se inyecta oxígeno a alta presión para elevar la temperatura. La mayor parte de impurezas arden aquí hasta desaparecer.

- **Elaboración de láminas:** El cobre fundido se canaliza hacia una máquina donde se llenan unos moldes en forma de plancha.

- **Enfriado y limpieza:** Las láminas se enfrían con agua y se llevan a un tanque donde serán sometidas a un baño electrolítico para eliminar impurezas. El resultado son unas piezas de metal de aspecto mucho más brillante y lustroso.

- **Fundición**: Las planchas de cobre limpio se reenvían a otra parte del taller para volverlas a fundir, esta vez sin impurezas.

- **Estirado:** Para crear el cable de cobre, el metal se deja enfriar parcialmente y se le va dando una forma alargada, mediante estiramiento mecánico, hasta que tenga el diámetro deseado.

- **Trefilado**: cosiste en reducir el tamaño del alambre de cobre, hasta obtener el diámetro final deseado.

- **Cableado**: los hilos de alambre se montan en una máquina trenzadora, que se encarga de agrupar los alambres.

- **Aislamiento**: se le aplica una capa de un material de aislamiento.

- **Cableado de fases**: es el agrupamiento de cables, para construir un cable multiconductor.

- **Pantalla**: se utiliza para evitar que la corriente eléctrica que pasa por el cable provoque ruidos e interferencias en el exterior.

- **Armadura**: sirve como protección mecánica para el cable conductor, ya sea golpes, tracción y roedores.

- **Cubierta exterior**: llevan una cubierta polimérica, para proteger el aislante y conductor ante la humedad y daños mecánicos.

- **Marcaje del cable**: se marca en el la cubierta o aislante, datos como: fabricante, denominación comercial, número de conductores, voltaje, calibre, entre otras características.

Placa Led

La placa led está compuesta por tres elementos: El PCB, los propios leds y las ópticas asociadas a éstos.

- **La PCB (Printed Circuit Board)**

  La PCB o tarjeta de circuito impreso es un tipo de PCB que se compone de una delgada capa dieléctrica térmicamente conductora, así como una capa protegida eléctricamente y una capa de revestimiento de cobre que se superpone entre la base de metal y la lámina de cobre. La lámina de cobre adopta el diseño de circuito ideal, mientras que la base de metal permite que el calor se difunda con la ayuda de la colocación dieléctrica entre las capas.

  El proceso de fabricación se inicia con **la laminación del material**, consistente en adherir la capa de cobre mediante la aplicación de temperatura y presión (del orden de 200ºC y 25 atmósferas).

  A continuación, **se realizan las perforaciones** (tanto de agujeros, vías, etc.) en la placa. Estas perforaciones pueden realizarse bien mediante una fresa CNC o mediante corte por láser.

  Una vez perforada la placa se realiza un proceso de **deposición sin electricidad**.

  Por otro lado, mediante impresoras de alta precisión **se generan unas láminas transparentes**, o films, que contienen el diseño del circuito que queremos fabricar.

  Posteriormente a ésta **se le aplica una capa fotosensible**. Sobre esta, se coloca el film transparente anterior.

  A continuación, **se transfiere el diseño a la placa por isolación**. Para ello se expone a una potente luz ultravioleta, que endurece la capa fotosensible

únicamente en las zonas donde el film es transparente.

Seguidamente la placa **se sumerge en una serie de baños químicos** que eliminar los restos de la capa fotosensible y el cobre de las zonas que queremos eliminar, dejando únicamente las zonas correspondientes con los circuitos.

A continuación, **se aplica la laca de protección** o Soldermask.

Seguidamente **la placa pasa por una nueva serie de baños**, tras los cuales las partes expuestas de cobre finalizan cubiertas por una fina capa de estaño que facilitará el soldado posterior de componentes y, además, protege el cobre.

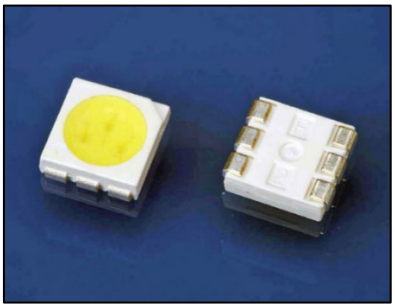
La placa pasa a continuación a una impresora de tinta, donde **se imprime la silkscreen** con los textos, anotaciones.

Por último, las placas **se recortan con su forma definitiva** en una máquina CNC. Normalmente las PCB se fabrican en placas más grandes, que contienen varios diseños. Este proceso también divide la placa global en las distintas PCB individuales.

- **LED**

Un led es un diodo emisor de luz. Como diodo, está formado por dos capas de materiales, unidas entre sí, que son una base de cristal de silicio, con la adicción en pequeñas cantidades de elementos raros, tales como el Aluminio (Al), Galio (Ga), Indio (In), Arsénico (As), Fósforo (P), Nitrógeno (N).

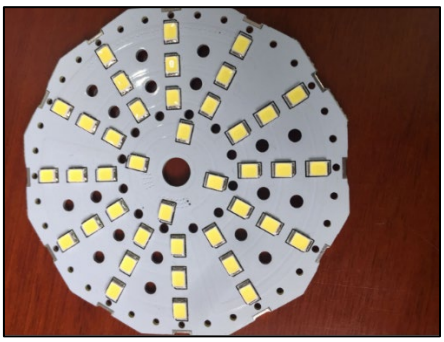
Figura 6:Led



El fabricante de chips LED produce chips semiconductores que vienen en obleas. Esta oblea está formada por varias capas en las que se mezclan los elementos que determinarán las especificaciones lumínicas del led. Esto se hace con una presión y temperatura controlada. Empleando principalmente robótica, aplica los circuitos (cableado) adecuados y corta la oblea en chips. Estos chips se prueban para determinar las propiedades de color y luz (de forma robótica) y en este punto se clasifican y separan físicamente en contenedores. Luego, los chips se montan en una placa de circuito (encapsulado). También se agrega película fluorescente. Después de una preparación adicional, se cortan en placas de circuito individuales.

Una vez obtenido el chip led, este se monta soldado a la placa PCB.

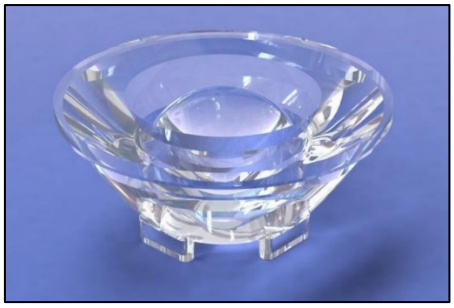
Figura 7: PCB Led



- **Óptica LED**

  La óptica led es la responsable de modificar la distribución de flujo luminoso en función de las necesidades del espacio a iluminar. Pueden ser lentes o bien reflectores, en función de la aplicación. En lentes, el material más común es el PMMA (Polimetilmetacrilato), un material acrílico que se obtiene de la polimerización del metacrilato de metilo y la presentación más frecuente que se encuentra en la industria del plástico es en gránulos o en placas. Los gránulos son para el proceso de inyección o extrusión y las placas para termoformado o para mecanizado.

Figura 8: Óptica para led



- **Tornillería**

  La tornillería con la que se fijan los diferentes elementos de la luminaria suele ser de acero inoxidable. Los aceros inoxidables están hechos de algunos de los elementos básicos que se encuentran en la tierra: mineral de hierro, cromo, silicio, níquel, carbono, nitrógeno y manganeso. Las propiedades de la aleación final se adaptan variando las cantidades de estos elementos.

  La fabricación del acero inoxidable implica una serie de procesos:

  - **Fundición:** Primero, se funden las materias primas en un horno eléctrico y se someten aproximadamente a 12 horas de calor intenso.

  - **Recocido y tratamientos térmicos:** el metal es recocido a través de un

tratamiento térmico donde primero se calienta el metal y luego se enfría en condiciones extremas controladas con el fin de aliviar las tensiones internas y ablandar el metal.

- **Desincrustación:** El recocido o tratamiento térmico puede desarrollar un precipitado, conocido como incrustación. Estas incrustaciones pueden ser eliminadas a través de diferentes métodos, como el decapado (baño con ácido nítrico-fluorhídrico), electrolimpieza (aplicación de corriente eléctrica usando ácido fosfórico y un cátodo), entre otros.

- **Corte:** Las operaciones de corte en el proceso de fabricación son esenciales para obtener la forma y el tamaño deseado del producto final.

- **Acabado y refinamiento:** El acabado de la superficie, el paso final en la fabricación de acero inoxidable, es crítico para obtener la superficie suave y reflectiva por cual el metal es popular.

Se suelen emplear dos métodos: Forjado en frío y Mecanizado.

Hasta aquí sería el proceso de fabricación de los diferentes componentes que forman una luminaria. A partir de aquí se llevaría a cabo el proceso de montaje de la misma y su correspondiente embalaje y protección.

Al impacto ambiental ocasionado por todos los procesos de fabricación descritos anteriormente, no debemos olvidar que a lo largo de todo este proceso de producción se llevan a cabo también transportes y almacenamientos que inciden sobre el mismo y que deben ser tenidos en cuenta para evaluar el ACV del producto.

3.2 Vida útil

Una vez la luminaria ha sido instalada, comienza a dar el servicio para el cual ha sido diseñada y fabricada, transformar energía eléctrica en luz. La generación de electricidad en España (2020) y las emisiones en CO_2 equivalente vienen descritas en los siguientes gráficos (Fuente: Red Eléctrica Española):

Figura 9: Fuentes de energía del sistema energético nacional

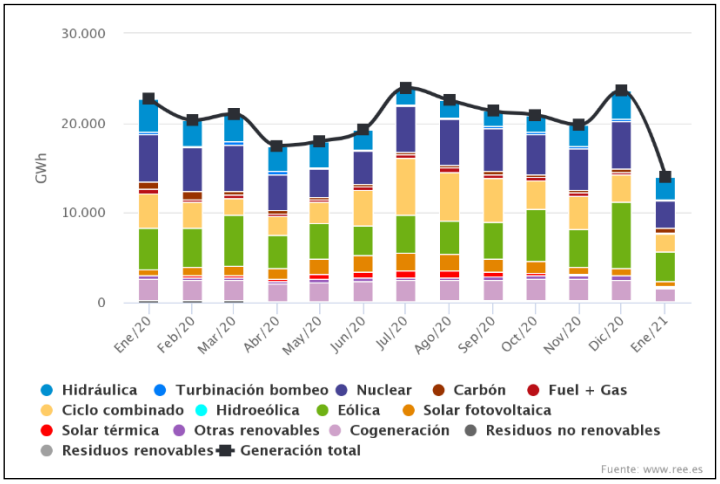
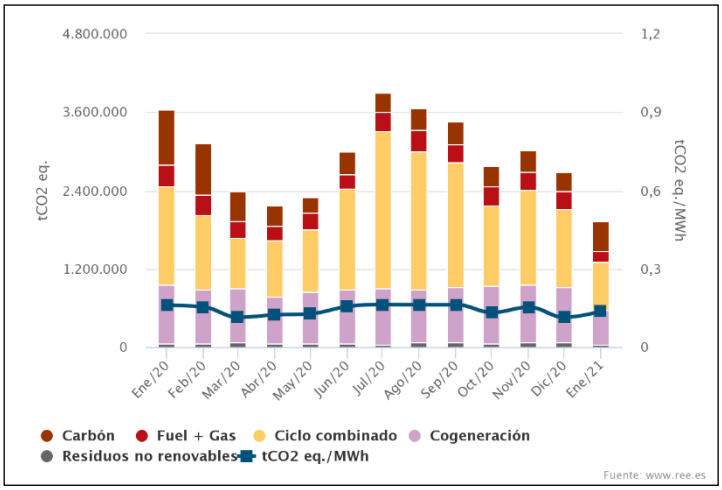


Figura 10: Emisiones y factor de emisión de CO2 equivalente del Sistema energético nacional

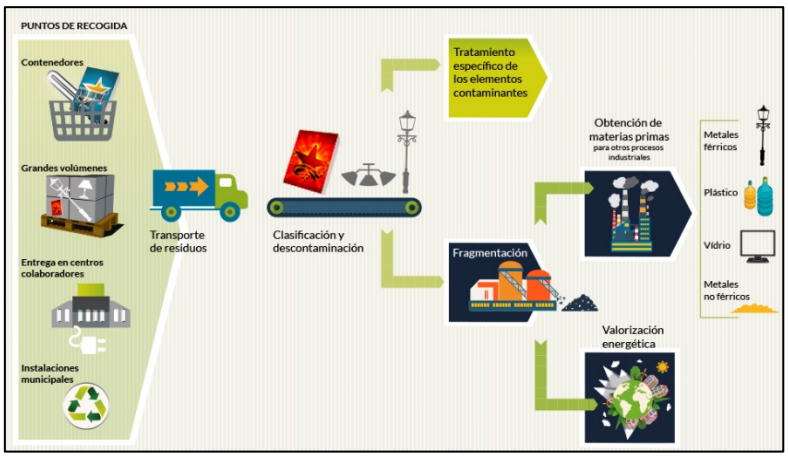


De aquí se puede deducir cual es el consumo total de una luminaria a lo largo de toda su vida y cuál es el impacto ambiental asociado.

3.3 Retiro y reutilización

Cuando se ha llegado al final de la vida útil del aparato, este debe ser eliminado o reutilizado. El proceso que se sigue es el siguiente (Fuente: ECOLUM)

Figura 11: Sistema de reciclaje de luminarias



A lo largo de toda esta fase se llevan a cabo almacenaje, transporte y procesamiento de los diferentes componentes de la luminaria, algunos de los cuales serán reaprovechados (economía circular) y otros serán tratados o procesados de forma que el impacto ambiental sea mínimo.

4. Análisis del impacto ambiental

Como se ha podido observar, a lo largo de toda la vida útil de una luminaria se produce un impacto ambiental, ya sea por procesos de fabricación, transporte, consumo o bien como residuo. Comienza desde el mismo momento en que se extraen las materias primas para fabricar una luminaria. Desde ese mismo momento se producen emisiones ambientales, residuos, tanto sólidos como líquidos que van a parar al medio ambiente.

Hoy por hoy, cuando se habla de impacto ambiental de una luminaria, se suele asociar únicamente a la fase de vida útil, relacionada casi exclusivamente con el consumo energético y el ahorro que proporciona cuando se emplea la tecnología led.

En este artículo se ha tratado de describir alguno (y bastante por encima) de los procesos por los que pasa una luminaria, para tratar de mentalizar sobre los aspectos ambientales a la hora de valorar una luminaria.

No obstante, para valorar de una forma efectiva el impacto ambiental de una luminaria, deberíamos considerar todo, absolutamente todo el ciclo de vida de la misma, calculando lo más objetiva y exhaustivamente posible cual es el impacto ambiental a lo largo de todas las etapas por las que pasa, considerando todos y cada uno de los componentes que la forman, así como los procesos de transformación, transportes y usos a los que se destina.

Hagamos esto con todos los componentes de la instalación, y si se tienen en cuenta todos esos impactos, podrá calcularse cuál es la huella ambiental que dejamos con la iluminación.

Con el uso de la herramienta del Análisis del ciclo de vida, pueden definirse y simularse escenarios con los que minimizar el impacto ambiental de nuestros productos. Hagamos uso de ellos y las generaciones futuras nos lo agradecerán.

5. Metodología

La metodología a aplicar debe estructurarse en varias fases:

- En primer lugar, se realiza un estudio de las diferentes metodologías que existen en la actualidad para realizar ACV de productos. Para seleccionar método, categorías de impacto, perspectiva, software y BBDD.
- Posteriormente se realizará un estudio detallado de la luminaria objeto de estudio. Dicho análisis consistirá en investigar los distintos componentes del producto seleccionados. Se definirá el parámetro de referencia para la comparación entre los distintos dispositivos. se definen las etapas de estudio a lo largo del CV de la luminaria. Se generarán los diferentes inventarios tanto de los diferentes componentes como de los procesos y transportes que intervienen.
- A continuación, se realizará el propio ACV de la luminaria definida.
- Conocidos dichos ACV, se realizará una comparativa entre ellos.
- Finalmente se analizarán los resultados de los ACV realizados para poder sacar conclusiones y posibles líneas de investigación futuras.

Una primera fase de recogida de información, en la que puedan obtenerse todos los datos necesarios para poder evaluar el ciclo de vida de la luminaria por parte de los diferentes proveedores y agentes que intervienen en los diferentes procesos es de suma importancia para poder realizar el estudio. Obviamente será imposible conseguir el 100% de información necesaria, por lo que habrá que recurrir a BBDD y simulaciones, de forma que se pueda llegar a una fiabilidad importante.

6. Conclusiones

El trabajo propuesto pretende dimensionar la huella ambiental de un aparato de iluminación, definiendo y trabajando su ciclo de vida. De esta manera, podrá evaluarse en que fases del ACV el impacto ambiental es mayor y que debería debe corregirse para poder minimizar ese impacto.

Por otro lado, este estudio solo hará referencia a una luminaria, pero no costaría mucho trabajo hacerlo extensivo a toda una instalación de alumbrado urbano, y ver de esta manera cual es el coste ambiental de la iluminación de nuestras ciudades, y que medidas correctoras podemos establecer para minimizar ese impacto.

7. Bibliografía

Informes técnicos

- Assaf, L., Dutt, G., Tanides, C. - Impacto ambiental de los sistemas de iluminación – 2020

- Cova, Walter J. D. - EFICIENCIA ENERGÉTICA: ILUMINACIÓN – IMPACTO AMBIENTAL - GPS: Grupo Proyectos y Servicios - Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional La Rioja – 2015

- HERRANZ DORREMOEHEA, C. - El impacto ambiental de la iluminación nocturna artificial - Gorosti, 2002

- Evaluación del ciclo de vida de lámparas.Una comparación de lámparas incandescentes, fluorescentes compactas y lámparas LED. Osram 2015

- Enriquez, S. - Tesina: ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL DE FUENTES DE LUZ DURANTE: SU PRODUCCIÓN, TIEMPO DE VIDA Y DESECHO - UPC 2012

Medios electrónicos

- IDAE - Inventario, consumo de energía y potencial de ahorro del alumbrado exterior municipal en España (2017) - IDAE Alumbrado exterior 2017 v.2 https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/ [Acceso el 12/01/2021]

- Sistema Español de Inventario de Emisiones - Metodologías de estimación de emisiones - FABRICACIÓN DE ALUMINIO (EMISIONES DE PROCESO) – 2019. https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/040301-fabric-aluminio_tcm30-502319.pdf

- Análisis del Ciclo de Vida (ACV) - LIFE04 ENV/GR/110 - 2019 – CEE. http://www.ecoil.tuc.gr/LCA-2_SP.pdf