



**Universidad**  
Zaragoza

## Trabajo Fin de Grado

Análisis del impacto ambiental de los componentes plásticos en una luminaria estanca y rediseño de estos componentes para la reducción del impacto ambiental: Aplicación al modelo AragónFIT15

Autor/es

Acher Monllor Mendívil

Director/es

Carlos Javierre Lardiés

Escuela de Ingeniería y Arquitectura  
2022

## Resumen

Estudio del impacto ambiental de la luminaria OlevonFit 1500 de Zalux mediante un Análisis de Ciclo de Vida para analizar la influencia de los componentes plásticos. Posteriormente, en función de los resultados, se plantean escenarios alternativos en el diseño de los componentes plásticos de la luminaria de cara a la reducción de su impacto ambiental. Se realizan rediseño de estos componentes que incluyan: el uso de otros polímeros convencionales y materiales denominados "Ecológicos", unificación de materiales y optimización de piezas de plástico. También se abarca, el rediseño de componentes plásticos en otros materiales de menor impacto.

Comienza por una presentación de los conceptos relacionados con este proyecto para un adecuado entendimiento del resto del trabajo cuyo objetivo consiste en realizar un análisis de ciclo de vida de la Luminaria OLEVEONFIT 1500 de la empresa ZALUX para analizar la influencia de los componentes plásticos. En este apartado se pueden contemplar los distintos análisis realizados.

Se ha estudiado y desarrollado un estado del arte que recoge la información sobre materiales "ECO" de distinto origen biológico o fabricados con fuentes de carácter sostenible. Para posteriormente determinar las piezas de mayor impacto y plantear la sustitución de los distintos materiales que los componen por otros de menor impacto.

Una vez estimado el impacto en otros materiales se ha realizado el rediseño mediante el proceso de diseño simplificado propio de un ingeniero de diseño industrial. De esta forma se han podido estimar los pesos de las piezas alternativas aplicando los ajustes de diseño necesarios para cada material obteniendo unos resultados más precisos.

# 0 Índice

Resumen .....	2
0 Índice.....	3
1 Introducción.....	4
1.1 Objeto.....	4
1.2 Alcance .....	4
1.3 ZALUX S.A.....	5
1.4 Conceptos previos.....	6
2 Memoria.....	11
2.1 Objeto del ACV.....	11
2.2 Alcance del ACV .....	11
2.3 Normas y referencias.....	12
2.4 Inventario.....	12
2.5 Análisis de Ciclo de Vida .....	12
3 Análisis Ciclo de Vida OLEVEON FIT 1500 15 PW 44-840 ETDD+DMM PC .....	13
3.1 Inventario.....	13
3.2 Resultados generales .....	16
3.3 Resultados analizando materiales de la estructura mecánica, RECIPE mPt .....	22
3.4 Resultados analizando materiales de la estructura, kg. Co2 eq. ....	25
4 Escenarios alternativos.....	28
4.1 Escenario I – Uso de Polímeros convencionales.....	28
4.2 Escenario II – Uso de Materiales ECO .....	32
4.3 Escenario III – Estimación con materiales no polímeros.....	40
4.4 Escenario IV – Rediseño de las piezas en distintos materiales .....	43
5 Comparativa y resumen.....	51
6 Conclusiones.....	55
7 Índice de figuras.....	57
8 Índice de tablas.....	58
9 Bibliografía .....	59

# 1 Introducción

Este trabajo de Final de Grado surge a partir de una propuesta de prácticas con la empresa ZALUX con la cual se trabaja estrechamente durante los meses de abril a julio de 2022. El estudio nace de la creciente presión de los clientes a las empresas para desarrollar productos más sostenibles. El proyecto se desarrolla en colaboración con el grupo I+ de ingeniería mecánica avanzada sostenible que junto con aiTIIP, forman un grupo de investigación reconocido por la DGA que se dedica a la investigación sobre valoración de impacto ambiental. Actualmente, llevan trabajando con ZALUX S.A. desde hace más de 20 años en el desarrollo de luminarias y desde hace 12 en el diseño ecológico de luminarias.

## 1.1 Objeto

En este proyecto se realiza un estudio del impacto ambiental de la luminaria OleveonFit 1500 de Zalux mediante un Análisis de Ciclo de Vida para analizar la influencia de los componentes plásticos. Posteriormente, en función de los resultados, se plantean escenarios alternativos del diseño de los componentes plásticos con mayor impacto de la luminaria de cara a la reducción de su impacto ambiental. Se prevén realizar rediseño de estos componentes que incluyan: el uso de otros polímeros convencionales y materiales denominados "Ecológicos", unificación de materiales y optimización de piezas de plástico. El estudio incluirá el impacto ambiental relativo a la sustitución de materiales plásticos por otros alternativos.

Se comenzará realizando un inventario en el laboratorio del modelo de luminaria y la información suministrada por Zalux. Posteriormente se realizará un análisis de ciclo de vida (ACV) completo de todos los componentes del producto acordado mediante el software Ecotool. Se estudiarán las piezas de mayor impacto y se procederá al diseño de alternativas realizando un proceso iterativo de análisis mediante la herramienta anteriormente mencionada. Durante todo el proyecto se colaborará con Zalux. También se desarrollará un "estado del arte" sobre los diferentes temas que se relacionan con este trabajo: plásticos biobasados, reciclados, materiales no polímeros, etc.

## 1.2 Alcance

Durante el trabajo se realizan las siguientes tareas:

- Desensamblado e Inventario de la luminaria AragF 15 PW 44-840 ETDD + DMM PC
- Análisis del Ciclo de Vida de la luminaria con Ecotool
- Investigación sobre los polímeros de base biológica y determinar de su impacto ambiental
- Escenarios con otros plásticos
- Escenarios con otros plásticos de menor impacto "ECO"
- Escenarios de optimización piezas de plástico
- Escenario de rediseño de piezas con otros materiales no poliméricos
- Rediseño de componentes en otros materiales
- Conclusiones e informe final

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) se centra en las piezas mecánicas, y aquellas en las cuales, como diseñador industrial puedo tener influencia y capacidad de aplicar modificaciones. A este se le añade, por voluntad propia y con intención de aportar más calidad al trabajo, el desensamblado parcialmente en los componentes electrónicos genéricos para poder estimar el impacto ambiental más preciso en vez de estimarlo mediante el peso.

### 1.3 ZALUX S.A

Fundada en 1980 y perteneciente al Grupo TRILUX desde el año 2000. Es una empresa dedicada al desarrollo y fabricación de luminarias fiables con altos índices de protección para condiciones extremas. Exporta a muchos países y cuenta con más de 360 trabajadores. Los productos ZALUX son fabricados la localidad de Alhama de Aragón (Zaragoza) que dispone de 42.000 m<sup>2</sup> donde varias plantas producen todas sus luminarias. Su catálogo se divide en 3 grandes ramas:

Luminarias protegidas: Luminarias eficientes y de calidad específicas para aplicaciones industriales, con una amplia gama de opciones. LED, Fluorescencia T5 y T8

Luminarias ATEX: Luminarias LED antideflagrantes certificadas para su uso en zonas clasificadas según la directiva ATEX

Componentes, accesorios y piezas para completar las luminarias.

Los principios y objetivos de ZALUX son:

**Protección medioambiental:** Compromiso con la protección del Medio Ambiente para lo cual necesitan conocer todos los efectos que sus actividades producen en él. Identificar y evaluar los aspectos ambientales significativos a lo largo del ciclo de vida de sus productos, así como su impacto con el objetivo de minimizarlo.

**Economía circular:** Desarrollo de nuevas luminarias y soluciones que cumplen con los requisitos de la economía circular, principalmente con tecnología LED. Las ventajas técnicas, el ahorro energético y la durabilidad se combinan con una integración adecuada en el modelo europeo de economía circular.

**Responsabilidad Social Corporativa:** Valores sólidos y de la confianza en un trabajo de equipo en colaboración con clientes, socios, proveedores y todos los habitantes de la región. Invierten activamente en el futuro formando a los “expertos del mañana” y apoyando a los jóvenes profesionales.

Sus luminarias están avaladas por normas y directrices internacionales:

- Conformidad europea 2004/108/CE para la compatibilidad electromagnética, 2006/95/CE para la producción de luminarias y 2009/125/CE para el diseño ecológico o ecodiseño.
- Sello europeo ENEC: productos eléctricos que cumplen las normas europeas. Directiva de compatibilidad electromagnética (CEM) 2014/30/UE.
- Directiva RoHS 2011/65/CE sobre las restricciones de seis materiales peligrosos en la fabricación de equipos electrónicos y eléctricos.
- Reglamento (CE) 1907/2006 de la Unión Europea relativo al registro, evaluación, autorización y restricción de sustancias químicas (REACH).

- Directiva 2014/34/UE relativa a los equipos destinados a ser utilizados en atmósferas potencialmente explosivas (ATEX).

## Luminaria OLEVEONFIT 1500 PW 44-840 ETDD +DMM PC

También conocida como AragonFit, es una luminaria LED para locales húmedos con estanqueidad IP 66 para el uso en las aplicaciones con altas exigencias en lo referente a variabilidad, eficiencia, calidad de luz y técnica. La luminaria forma parte de un surtido de variantes de construcción idéntica y montajes compatibles. Estas variantes están disponibles con sistemas ópticas alternativas, light engines con flujos luminosos ajustables, así como con la opción de conexión a los sistemas de gestión de iluminación y de alumbrado de emergencia. (...).

### 1.3.1.1 Montaje

Utiliza la técnica de cierre sin clips para el montaje sencillo y según el grado de protección del difusor de recubrimiento y del cuerpo de luminaria después de la conexión. Se puede realizar montaje suspendido a través de unos accesorios opcionales y montaje en el techo a través de la abrazadera de fijación adjunta de acero inoxidable.

### 1.3.1.2 Parte mecánica

La forman un difusor fabricado en PC con prismas, fotométricamente eficiente y traslúcido, de distribución directa. Tiene un flujo luminoso de de 4100 lm, 25,00 W de potencia, color de luz color blanco neutro, temperatura del color (CCT) 4000 K, (...). Su vida útil nominal media a 25°C es de 70.000 h, vida útil nominal media a 30°C 50.000 h. Y el cuerpo de luminaria es de PC. Sus dimensiones generales: 1552 mm x 102 mm, altura de la luminaria 91 mm. Peso de 2,8 kg.

### 1.3.1.3 Electrónica

Transformador digital electrónico regulable (DALI). La luminaria cumple con los requisitos fundamentales de las directivas de la UE y de la ley sobre la seguridad de los productos y lleva el marcado CE. Luminaria máster LiveLink SwarmSens con sensor de alta frecuencia integrado para la detección de movimiento en combinación con un sensor de luminosidad para la detección de luz diurna y un módulo Bluetooth para la interconexión de hasta 4096 luminarias master y slave LiveLink SwarmSens en una red Mesh. Alternativamente, la puesta en funcionamiento se puede realizar a través de interruptores DIP y potenciómetros giratorios en el sensor o mediante la App *LiveLink SwarmSens* para smartphone. El alcance de la señal Bluetooth® alcanza 15 m. Sensor de alta frecuencia integrado en banda de frecuencia de 24 GHz para la detección de movimientos con velocidades de entre 1 y 25 km/h, ajustable en 10 niveles de entre 30 segundos y 60 minutos (...). Configuración de una función de enjambre de los grupos de luminarias existentes para una luz adelantada a través de la App.

## 1.4 Conceptos previos

### 1.4.1 Ecodiseño

El ecodiseño consiste en la incorporación de medidas preventivas durante el desarrollo y proyección de un producto o servicio para disminuir su impacto ambiental a lo largo de las fases de su ciclo de vida y facilitar su reutilización o reciclaje una vez finalizado este

ciclo. Con ello, el factor ambiental se incorpora al producto como respuesta a la situación actual del cambio climático y por otro lado aportando un valor añadido, produciendo ventajas competitivas y de marketing. El ecodiseño se basa en el principio de prevención actuando principalmente durante la etapa de diseño tratando de evitar desperdicio y derroche en todas las etapas del Ciclo de vida del producto.

Según la Agencia Federal Alemana del Medio Ambiente, el 80% de los impactos ambientales de los productos se determinan durante la fase de diseño de estos, por lo que trabajar durante la fase de diseño para minimizar los impactos ambientales de un producto durante toda su vida constituye una de las herramientas más eficaces y rentables para las empresas.

A continuación, se pueden ver las 10 reglas de oro del ecodiseño (Luttropp & Lagerstedt, 2006):

1. **Toxicidad:** Eliminar el uso de sustancias tóxicas o, en su defecto, mantenerlas en ciclos cerrados.
2. **Gestión interna:** Mejora de la gestión interna para minimizar el consumo de energía y recursos en la producción y el transporte.
3. **Estructura:** Aprovechas las posibilidades estructurales del producto y los materiales para minimizar la masa del producto sin comprometer su funcionalidad.
4. **Consumo en la vida útil:** Minimizar el consumo de energía y recursos durante la vida útil del producto.
5. **Servicio al cliente:** Promover sistemas de reparación y actualización.
6. **Productos de vida larga:** Favorecer la duración de la vida del producto.
7. **Materiales y acabado:** Invertir en materiales de calidad, tratamientos de acabado o arreglos estructurales para proteger a los productos de la suciedad, corrosión y desgaste.
8. **Identificación:** Facilitar la actualización, reparación y reciclado a través de manuales y etiquetado.
9. **Higiene material:** Facilitar la actualización, reparación y reciclado mediante el uso de un número bajo de materiales distintos. Procurando que estos sean sencillos, reciclados y no se mezclen.
10. **Uniones:** Utilizar el mínimo de elementos de unión y tener en cuenta los diferentes impactos ambientales del uso de tornillos, adhesivos, encajes, y bloqueos.

Estas 10 Reglas de Oro son genéricas y requieren de modificaciones o adaptaciones posteriores que las centren en el producto o la actividad a desarrollar.

La aplicación de prácticas de ecodiseño para la mejora de productos, servicios o procesos se puede hacer mediante la aplicación de las siguientes herramientas:

1. Realización del Análisis del Ciclo de Vida (ACV) del producto.
2. La aplicación de protocolos para obtener algún tipo de eco-etiqueta (EPD), etiqueta europea, huella medioambiental, etc.
3. La utilización de alguna norma o método de ecodiseño como la norma UNE-EN-ISO 14006:2011, para la integración de los aspectos ambientales en el diseño y desarrollo de los productos.
4. Innovaciones de producto, servicio o proceso con el fin específico de reducir el impacto medioambiental a lo largo del ciclo de vida del producto.

## 1.4.2 Bioplásticos

La Asociación europea de Bioplásticos, clasifica estos materiales en dos categorías:

1. Los denominados plásticos procedentes de biomasa
2. Polímeros biodegradables que cumplen con los criterios científicos recogidos en las normas de biodegradabilidad y compostabilidad que a nivel europeo son la EN 13432 Y EN 14995, ISO 17088 o ASTM D-6400

Otras fuentes clasifican de forma más específica los bioplásticos en 3 grupos (Remar, 2011):

1. Procedentes de recursos renovables: Bioplásticos cuyos monómeros proceden de la biomasa (almidón y celulosa), y aquellos cuyos monómeros son producidos mediante la fermentación de recursos renovables, aunque el proceso de polimerización posterior sea por vía química
2. Sintetizados por vía biotecnológica: Existen dos vías biotecnológicas para la producción de bioplásticos:
  - a. Obtención de los monómeros y polimerización posterior por vía química
  - b. Síntesis integral de los bioplásticos fundamentalmente por fermentación microbiana, la utilización de plantas genéticamente modificadas.
3. Sintéticos: proceden de la polimerización de monómeros obtenidos de fuentes fósiles. Por su estructura son biodegradables según la norma EN 13432.

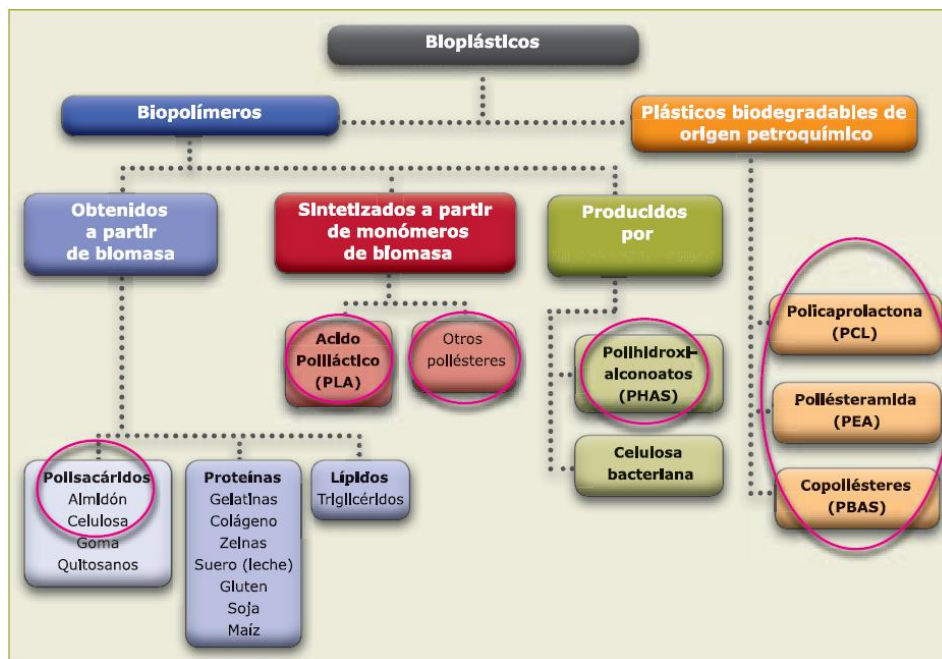


Ilustración 1: Clasificación de los bioplásticos según su procedencia

Por último, estos plásticos también se pueden clasificar dependiendo de su procedencia y degradabilidad, lo cual a nivel usuario genera mucha confusión y ambigüedad por lo que considero importante explicar brevemente, para la comprensión de cualquier lector de este trabajo, todos estos conceptos:

- **Biobasados:** son aquellos polímeros cuyas materias primas provienen total o parcialmente de fuentes renovables. Pueden, o no, ser biodegradables.



- **Biodegradables:** son todos aquellos plásticos que al final de su ciclo de vida se descomponen por la acción de bacterias en el medio ambiente sin dejar ningún residuo. Si estos biopolímeros se biodegradan cumpliendo con la norma EN 13432, son catalogados como compostables. Estos materiales pueden, o no, ser biobasados.
- **Biobasados y Biodegradables:** cumplen con ambas definiciones, se trata de una gama de bioplásticos biodegradables y biobasados, con un contenido renovable de hasta el 95%.

### 1.4.3 Plástico reciclado

Consiste en el reprocesado de materiales de residuo plástico para dar forma a nuevos productos. Mediante una gestión correcta, esto reduce la dependencia a los vertederos, conservación de los recursos y la protección del medio ambiente evitando polución y la emisión de gases invernadero. El reciclaje es necesario porque casi todo el plástico no es biodegradable y, por tanto, se acumula en el medio ambiente, donde puede causar daños. Existen varios tipos de reciclaje de plásticos:

- **Reciclaje mecánico:** Se realiza de dos formas principalmente, molido del plástico e inyectado; y molido mezclado con aditivos y el cual se transforma en granza. Esto puede causar la degradación de los polímeros y requiere que los residuos se clasifiquen por color y por tipo de polímero antes de ser reprocesados.
- **Reciclaje químico:** Se divide en los productos químicos que lo componían, que luego pueden volver a procesarse en plástico virgen o dedicarse para otros usos.
- **Valorización energética:** Los residuos de plástico también pueden incinerarse en lugar de otros combustibles fósiles para la recuperación de energía contenida.

### 1.4.4 Luminarias estancas

Consisten en sistemas de iluminación basados en 2 tecnologías diferentes: fluorescente y LED. En este proyecto me centraré únicamente en la tecnología LED que se emplea en la Luminaria Estanca estudiada OLEVEON FIT 1500. Funcionan con corriente continua (CC) lo que implica el uso de circuitos y Drivers para usar la red eléctrica de corriente alterna como fuente primaria de energía con Corriente Alterna estándar. Se necesitan disipadores para evitar altas temperaturas que pudieran dañar los propios diodos durante la etapa de uso, aunque con la tecnología actual es un problema menor.

Las luminarias estancas están aisladas del entorno exterior e implica que han sido diseñadas para ser una luminaria fiable y que se adapta a las necesidades de los clientes en entornos exigentes. Por ejemplo: en plantas de producción donde hay presencia de agentes agresivos y/o zonas de máxima exigencia higiénica. Requieren bajo o nulo mantenimiento, ahorrando tiempo y dinero a los clientes.

Pueden trabajar a temperaturas de  $-30^{\circ}\text{C}$  a  $+40^{\circ}\text{C}$ , instaladas en interior o exterior pero antes de la elección del modelo de luminaria se debe tener en cuenta la presencia de agentes químicos agresivos que puedan afectar a su vida útil.

El grado de estanqueidad se determina con el código de grado de protección IP. Es un estándar internacional IEC 60529 "Degrees of Protection1" y se utiliza con mucha frecuencia en los datos técnicos de equipamiento eléctrico y/o electrónico.

El grado de resistencia mecánica a impactos nocivos se indica mediante el código IK y puede variar desde el 0 (mínima resistencia) hasta el 10 (máxima resistencia). Este código está regido por una norma internacional IEC 62262, de modo que permite hacer comparaciones entre distintos productos.

## 1.4.5 Herramientas

### 1.4.5.1 *Análisis Ciclo de Vida*

La realización de un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) permite evaluar, de manera sistemática, los aspectos e impactos ambientales de todas las fases de la vida de un producto, desde la extracción de la materia prima, hasta el fin de su vida útil, pasando por aspectos tan importantes como la producción y obtención de la energía y materias primas, los procesos de fabricación y el uso y distribución del producto en sí. Dicha evaluación se lleva a cabo mediante la identificación y cuantificación de la energía y materia necesarias, así como de las emisiones ambientales derivadas de todo su ciclo de vida. Las normas ISO 14040 y 14044 establecen directrices para la realización de un Análisis de Ciclo de Vida, conforme a 4 pasos fundamentales: Objetivos y Alcance, Inventario del Ciclo de Vida, Evaluación del Impacto e Interpretación de los resultados.

### 1.4.5.2 *Ecotool*

Herramienta complementaria al Análisis de Ciclo de Vida desarrollada por el Grupo i+ (Ingeniería mecánica avanzada sostenible) de la Universidad de Zaragoza que se utiliza desde hace 10 años en este tipo de estudios.

La herramienta es empleada por Zalux y calcula el impacto ambiental y la huella de carbono de un producto desde la elección de las materias primas hasta el fin de vida del producto. Está diseñada para analizar todo el desarrollo de las luminarias fabricadas por Zalux. Es una herramienta de uso sencillo, que integra aspectos como la funcionalidad del producto, su calidad, seguridad, estética y coste. Permite la caracterización ambiental de las diversas propuestas de diseño planteadas por el departamento de desarrollo, para elegir la más sostenible.

## 1.4.6 Normativa francesa

Como añadido al proyecto, se contempla la posibilidad de implementar esta normativa francesa (PSR, 2018), un documento de referencia que completa y explica el reglamento de Elaboración de Perfil Ambiental de Producto definido por el programa PEP ecopassport® (PEP-PCR ed.3-ES-2015 04 02). Define los requisitos adicionales aplicables a las luminarias. Cumplir con estos requisitos sería necesario para calificar el desempeño ambiental de estos productos de una manera objetiva y consistente.

Esta normativa establece las reglas específicas para las luminarias y define las especificaciones de producto que deben adoptar los fabricantes en el desarrollo de sus perfiles ambientales de producto (PEP), en particular con respecto a:

- La tecnología y su tipo de aplicación,
- La vida útil de referencia que se tiene en cuenta para el análisis del ciclo de vida (LCA) de los productos,
- Los escenarios de uso convencional que se adoptarán durante la etapa de uso del producto.

## 2 Memoria

### 2.1 Objeto del ACV

El objeto de este Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es calcular el impacto ambiental total y de cada pieza de la luminaria OLEVEON FIT 15 PW 44-840 ETDD+DMM PC10211376 también denominada como AragonFIT.

Se realiza como parte de un proyecto de Final de Grado en colaboración con el grupo I+ de ingeniería mecánica avanzada para la empresa ZALUX.

El resultado de este proyecto es determinar el impacto ambiental del producto en los métodos de cálculo RECIPE 2016 y kg. Co2 eq.

Este tiene unas dimensiones de 1552x91x102 mm y un peso de 2,8kg. Consiste en luminaria LED estanca para locales húmedos, tiene un IP 66 y un grado de resistencia al impacto IK8 para el uso en las aplicaciones con altas exigencias. Permite flujos luminosos ajustables, así como con la opción de conexión a los sistemas de gestión de iluminación y de alumbrado de emergencia. Flujo luminoso de las luminarias es de 4100 lm, y su potencia conectada es de 25,00 W Lleva un dispositivo integrado para la detección de movimiento en combinación con un sensor de luminosidad para la detección de luz diurna y un módulo Bluetooth para la interconexión de hasta 4096 luminarias en red.

En este ACV también se estudia la normativa francesa (PSR, 2018) y su aplicabilidad para este tipo de luminarias.

#### **Justificación:**

La entidad que solicita este Análisis del ciclo de Vida del producto OLEVEON FIT 15 PW 44-840 ETDD+DMM PC10211376 es la empresa de luminarias ZALUX S.A.

### 2.2 Alcance del ACV

En este ACV se estudia el impacto ambiental de los componentes de la luminaria considerando el proceso de fabricación de cada pieza, la producción del material y el fin de vida. El análisis se fijará principalmente en las piezas que componen la estructura mecánica, en las cuales el diseñador industrial puede influir más. Se consideran en el estudio, la chatarra y sobrantes de las piezas fabricadas en chapa.

A diferencia de otros ACV que de normal analizan los componentes electrónicos en su conjunto analizado a peso, en este proyecto se ha desensamblado diferenciando carcasa y elementos mecánicos del Driver y Sensor de los distintos circuitos con el objetivo de aportar más detalle y unos resultados más precisos. También se han incluido todos los cables, analizando qué cantidad de plástico y metal tienen.

La potencia y el consumo se compara con los valores teóricos y se estima su impacto de toda la vida útil del producto.

El packaging y elementos de ensamblado en el entorno de uso final, también forman parte de este análisis. Se aplican los mismos criterios que para las piezas mecánicas porque pertenecen a una de las fases del ciclo de vida del producto.

Por último, el impacto de todos los componentes y el conjunto de la luminaria son ponderados por hora; hora y lumen; y por hora, lumen y eficiencia de la luminaria.

## 2.3 Normas y referencias

### 2.3.1 Disposiciones legales y normas aplicadas

Para la realización del Análisis de Ciclo de Vida se aplican las siguientes normas:

- Las normas ISO 14040 y 14044
- La normativa francesa PSR-0014-ed1.0-EN-2018 07 18

### 2.3.2 Programas de cálculo

Para el cálculo del impacto se ha utilizado el software Ecotool con la base de datos Ecoinvent y materiales propios caracterizados.

## 2.4 Inventario

El inventario se realizó en uno de los laboratorios del departamento de mecánica de la universidad de Zaragoza. Desmontamos por fases cada pieza de la Luminaria suministrada por ZALUX. Con cada pieza se medía su peso, se determinaba el material, el proceso o procesos a los cuales se había sometido, se tomaba una fotografía y se clasificaba en una bolsa con las demás piezas de su conjunto.

Se buscó realizar un estudio minucioso: quitábamos todas las pegatinas, cada cable de distinto tipo era cortado y separado en sus distintos materiales, los componentes electrónicos fueron separados en conjuntos generales como complemento de calidad a este proyecto. De normal, se opta por estimar el impacto mediante el peso del componente comparándolo con algún elemento caracterizado en la herramienta Ecotool, obteniendo unos resultados poco precisos. Posteriormente veríamos que muchas de estas piezas se comparten entre muchas de las luminarias fabricadas por ZALUX, por ello, algunas imágenes o datos se han mantenido de otros modelos.

## 2.5 Análisis de Ciclo de Vida

El análisis se realizó con Ecotool, introduciendo cada pieza identificada en el Inventario respetando una estructura de descomposición del producto predeterminada. En este caso el driver y el sensor se añadieron desglosados para facilitar el análisis posteriormente. Una vez introducidos los datos de cada pieza y obtenido el impacto individual.

Finalmente se realizó un Excel para preparar los resultados del impacto de la luminaria + driver desglosado; luminaria + driver a peso con la opción 228 de Ecotool; luminaria + driver desglosado + Sensor; y luminaria + driver desglosado + Sensor aplicando la normativa francesa PSR-0014-ed1.0-EN-2018 07 18. También se representarán los datos de la parte mecánica desglosados en detalle para detectar las piezas con mayor impacto y poder actuar sobre ellas.

Los resultados del ACV realizados se utilizarán para:

- Evaluar y comparar el impacto dependiendo del caso.
- Conocer la importancia relativa del impacto ambiental de cada componente.
- Optimizar y plantear alternativas de piezas de la luminaria.
- Proponer nuevos materiales con los que producir el producto.

## 3 Análisis Ciclo de Vida OLEVEON FIT 1500 15 PW 44-840 ETDD+DMM PC

### 3.1 Inventario

#### 3.1.1 Luminaria

Tabla 1: Inventario Luminaria

Pieza	Descripción	Peso, gr.	Ecotool
Cartón	Cartón	280	P2 Packaging, CB mixed fibre, single wall
Manuales montaje + Info	Papel impreso	55,11	P2 Printed paper
Pegatinas	Papel impreso	0,281	P2 Printed paper
Bolsa accesorios	Bolsa de PP	1,837	P1, PP, Bag
Grapas manuales	Acero	0,042	<b>MAT:</b> M0 Steel, unalloyed steel <b>PRO:</b> M Wire drawing, steel
<b>Estructura mecánica</b>			
Carcasa PC (e=1,8mm)	PC	840	<b>MAT:</b> M1 PC Virgen <b>PRO:</b> P Injection moulding
Difusor PC (e=1,6mm)	PC	521	<b>MAT:</b> M1 PC Virgen <b>PRO:</b> P Injection moulding
Junta de Estanqueidad PU	PU	35,723	M1 PU, flexible foam
Bandeja LEDS 10x144x0,9	Chapa de Acero pintada y estampada	857	P0 Painted sheet and stamped
<b>Electrificación y piezas pequeñas</b>			
Tiras led	Electrónica	118,53	E Tira LED Nextrema 2 con fibra with prefixed eol
Cable blanco, realimentación y tierra	Cable PVC y Cobre 50%	21,88	E 1 gram of PVC wire with prefixed eol
Protección Dedos PC	PC	3,109	<b>MAT:</b> M1 PC Virgen <b>PRO:</b> P Injection moulding
Ficha Electrónica		8,7335	E Klemme 3pol with prefixed eol
SUJETACABLES MAQUINA BJB	PC	3,969	<b>MAT:</b> M1 PC Virgen <b>PRO:</b> P Injection moulding
Latiguillo OleveonF PA66	PA66	2	<b>MAT:</b> M1 PA 66 <b>PRO:</b> P Injection moulding
Chapa elevación Ficha	Plancha de acero pintada y estampada	17,116	P0 Painted sheet and stamped
Ojal cable tierra	Latón	0,281	<b>MAT:</b> M0 Brass <b>PRO:</b> M Copper, average metal working
Tornillos	Acero	3,51	P0 Steel for galvanized screws
Arquillo suspensión	Acero	3,8	P0 Stainless steel wire (arquillo)
Muelle fijación exterior	Inox	18,8	P0 steel, Stainless + Press for small parts
Tapón estanco PVC	PVC	4,346	<b>MAT:</b> M1 PVC <b>PRO:</b> P Injection moulding
Taco montaje	PA6	1,224	<b>MAT:</b> M1 PA 6 <b>PRO:</b> P Injection moulding

### 3.1.2 Ecotool y Excel

A continuación, se muestran una serie de imágenes extraídas del proyecto desarrollado con las herramientas Ecotool y Excel.

En Ecotool se introducen los elementos del inventario clasificados en subconjuntos más grandes. De cada elemento se obtiene el impacto en ReCiPe 2016 y kg. Co2 eq. del material, final de vida y procesos productivos.

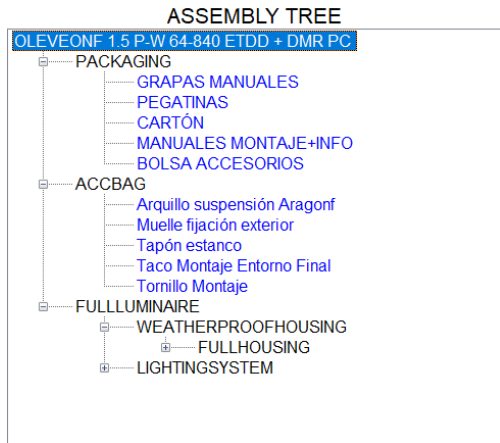


Ilustración 3: Árbol de descomposición del proyecto de Ecotool

<b>Weight (g/unit)</b>	<b>0,042</b>	<b>N° PARTS</b>	<b>4</b>
<b>MATERIAL</b>			
		M0 Steel, unalloyed steel	
ENVIRONMENTAL IMPACT / U (mPt)			<b>0,004089</b>
Kg eq CO2 / U			<b>0,000090</b>
<b>END OF LIFE</b>			
ENVIRONMENTAL IMPACT / U (mPt)			<b>-0,002694</b>
Kg eq CO2 / U			<b>-0,000073</b>
<b>PROCESSES PER UNIT</b>			
ENVIRONMENTAL IMPACT / U (mPt)			<b>0,004375</b>
Kg eq CO2 / U			<b>0,000057</b>
<b>TRANSPORTS PER UNIT</b>			
ENVIRONMENTAL IMPACT / U (mPt)			<b>0,000000</b>
Kg eq CO2 / U			<b>0,000000</b>

Ilustración 2: Obtención del impacto ambiental con Ecotool

Una vez obtenidos los datos se traspasaron a un Excel preprogramado con el cual representar el impacto de la luminaria como se mostrará posteriormente en este trabajo.

Nivel 1		Nivel 2		Nivel 3			Impacto		
Material	Proceso	Material	Proceso	Material	Proceso	Material	Proceso	Material	Proceso
IMPACTO AMBIENTAL (mPt)								2385,493	37,046
VD LABELLING								10,4067	0,2501
								6,0815	0,1343
								0,0251	-0,0003
								0,1503	0,0049
								0,1114	0,0008

Ilustración 5: Ejemplo del Excel para el cálculo del impacto ambiental

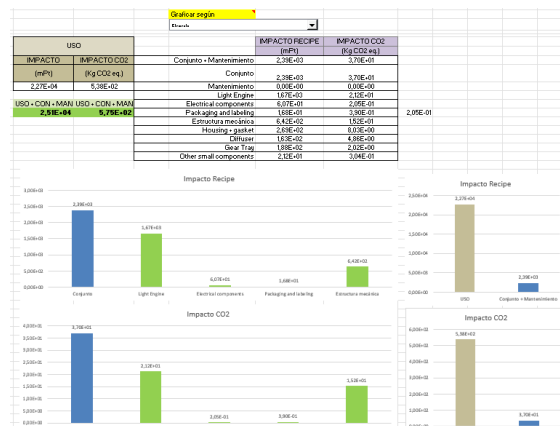


Ilustración 4: Ejemplo de representación de los resultados globales en Excel

### 3.1.3 Driver

Tabla 2: Inventario Driver

Pieza	Descripción	Peso gr.	Ecotool
Film	PET	3,985	<b>MAT:</b> M1 PET <b>PRO:</b> P Extrusion, plastic film
Chapa superior	Chapa de Acero pintada y estampada	53,154	P0 Painted sheet and stamped
Chapa inferior	Chapa de Acero pintada y estampada	29,658	P0 Painted sheet and stamped
Electrónica THT Driver	Electronica	74,491	E Electronic THT with fixed eol
Protector	PA 6	1,187	<b>MAT:</b> M1 PA 6 <b>PRO:</b> P Injection moulding
Pegatina	Papel impreso	0,048	P2 Printed paper
Tornillos Driver	Acero	0,39	P0 Steel for galvanized screws

### 3.1.4 Sensor

Tabla 3: Inventario Sensor

Pieza	Descripción	Peso gr.	Ecotool
Soporte Sensor	PA 66	20,455	<b>MAT:</b> M1 PA 6 <b>PRO:</b> P Injection moulding
Chapa Sensor	Chapa de Acero pintada y estampada	10,557	P0 Painted sheet and stamped
Arandela	Acero	0,123	P0 Steel for galvanized screws
Aislante		3,657	P1 glass fiber cover
Conexión M3Pol Ficha de conexión	Electrónica	1,218	E Klemme 3pol with prefixed eol
Tapa Sensor	PC	5,436	<b>MAT:</b> M1 PC Virgen <b>PRO:</b> P Injection moulding
Carcasa sensor	PC	15,818	<b>MAT:</b> M1 PC Virgen <b>PRO:</b> P Injection moulding
Electrónica THT	Electrónica	16,833	E Electronic THT with fixed eol
Electrónica tipo SMD	Electrónica	7,237	E Electronic SMD with fixed eol
Tornillos Sensor	Acero	6,382	P0 Steel for galvanized screws
Cableado	Cable PVC y Cobre 50%	60,776	E 1 gram of PVC wire with prefixed eol

*Aquellas piezas con que no especifica "MAT" (material) o "PRO" (proceso), es un material que no llevan proceso o que está incluido en la propia opción de Ecotool*

### 3.2 Resultados generales

#### 3.2.1 1) DRIVER ESTÁNDAR (4100 lm, 50.000 h, eficiencia de 164 lm/W)

Se presentan los resultados en mPt, en ReCiPe 2016 y en Kg CO<sub>2</sub> eq, de los elementos de todo el conjunto.

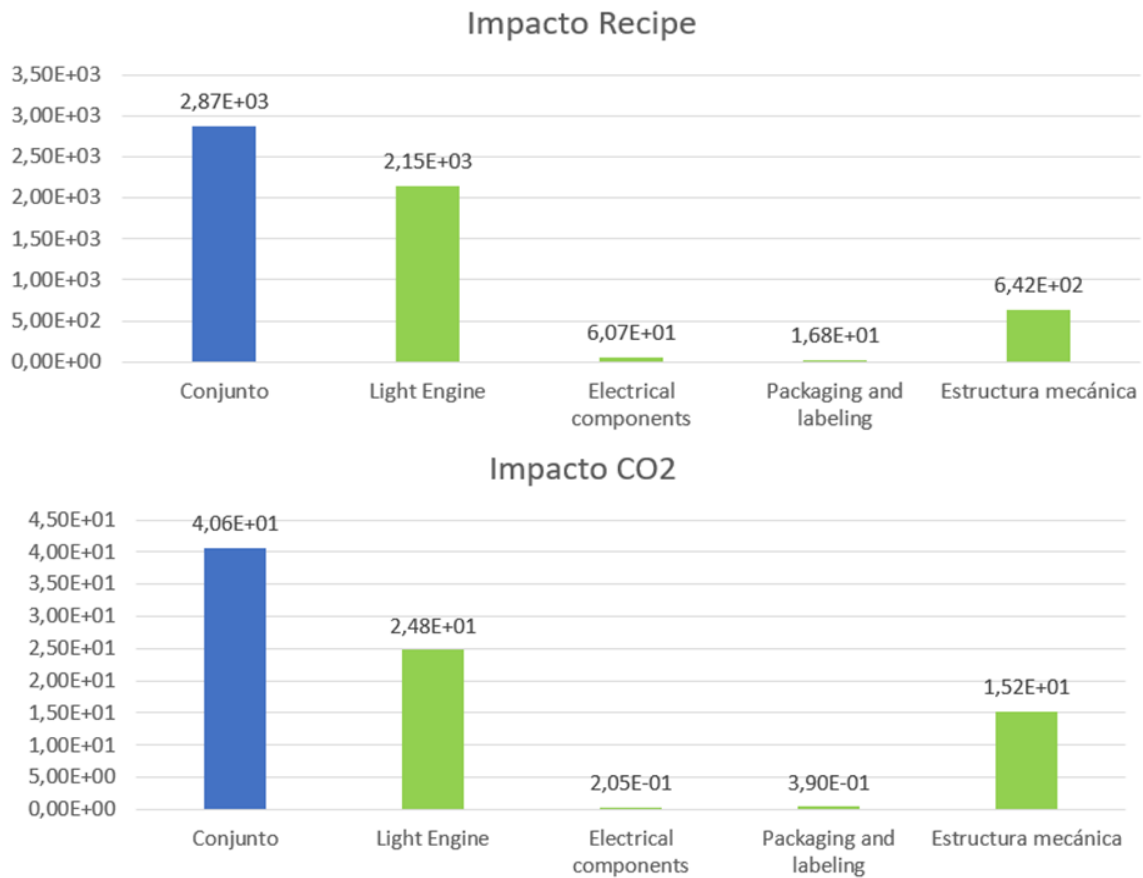


Ilustración 6: Impacto General, Driver estándar, RECIPE 2016 y Kg. CO<sub>2</sub> eq.

Se presentan los resultados en mPt y en kg. Co2 eq. de los elementos de todo el conjunto y del uso.

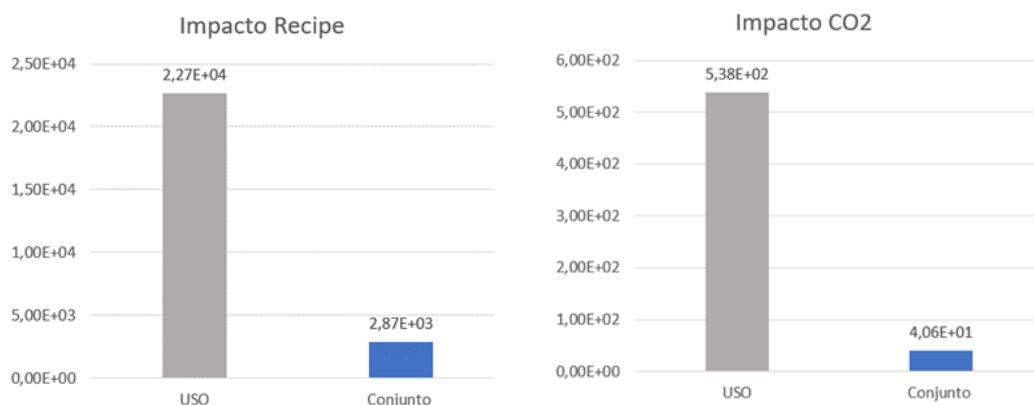


Ilustración 7: Impacto Uso y Conjunto



Se presentan los resultados en mPt, en ReCiPe 2016 y en Kg CO<sub>2</sub> eq, de los elementos de la estructura mecánica.

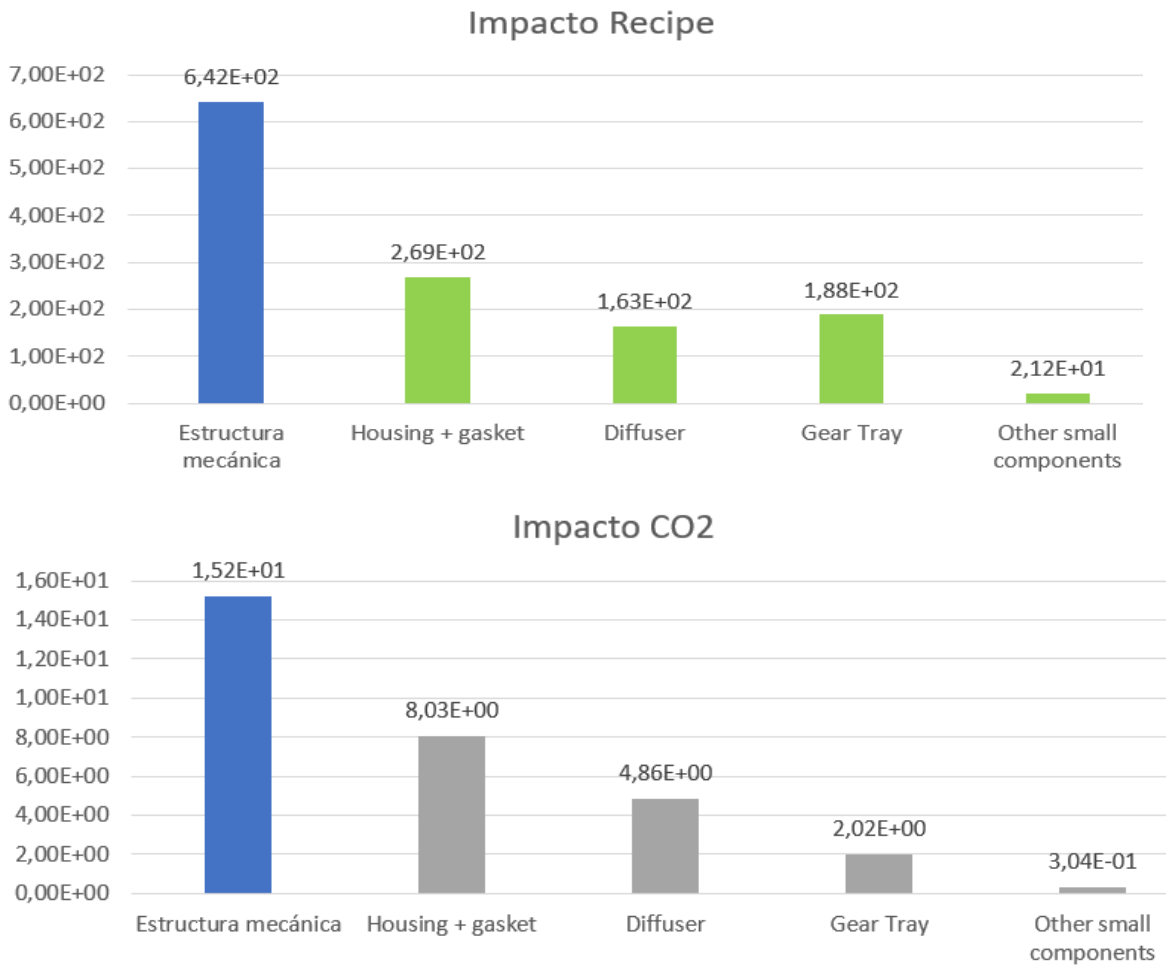


Ilustración 8: Impacto de los elementos de la estructura mecánica

Se presentan los resultados en mPt, en ReCiPe 2016, de los elementos de la estructura mecánica por hora con 50.000 horas de uso.

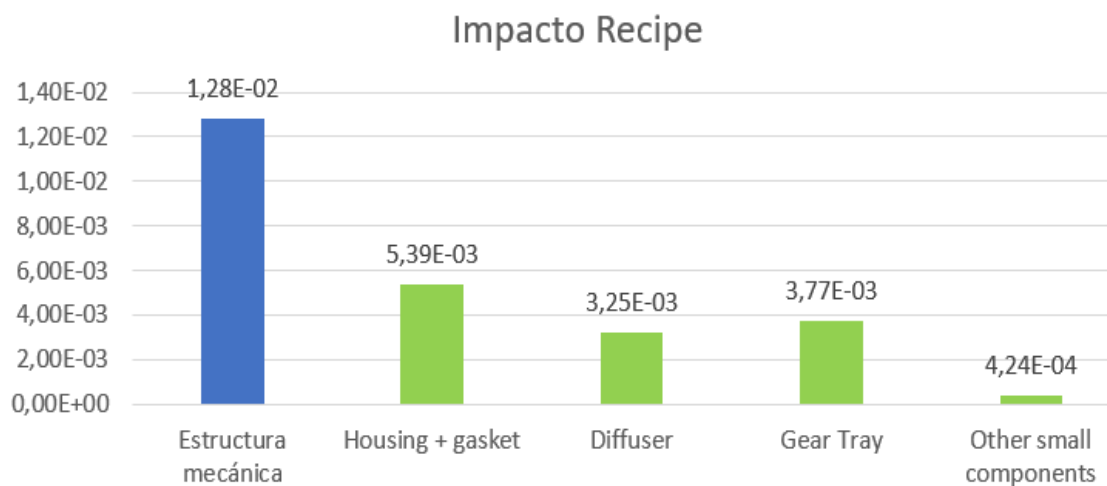
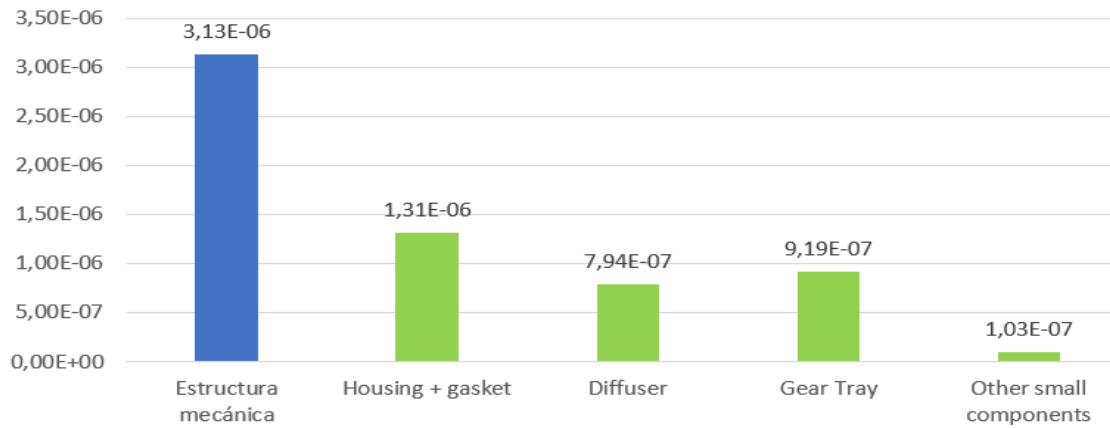


Ilustración 9: Impacto de los elementos de la estructura mecánica por hora

Se presentan los resultados en mPt, en ReCiPe 2016 y en Kg CO<sub>2</sub> eq, de los elementos de la estructura mecánica por hora y lumen con 50.000 horas de uso y 4100 lúmenes.

### Impacto por elemento/hora y lumen (mPt 2016/h·lm)



### Impacto por elemento/hora y lumen (kg. Co2 eq./h·lm)

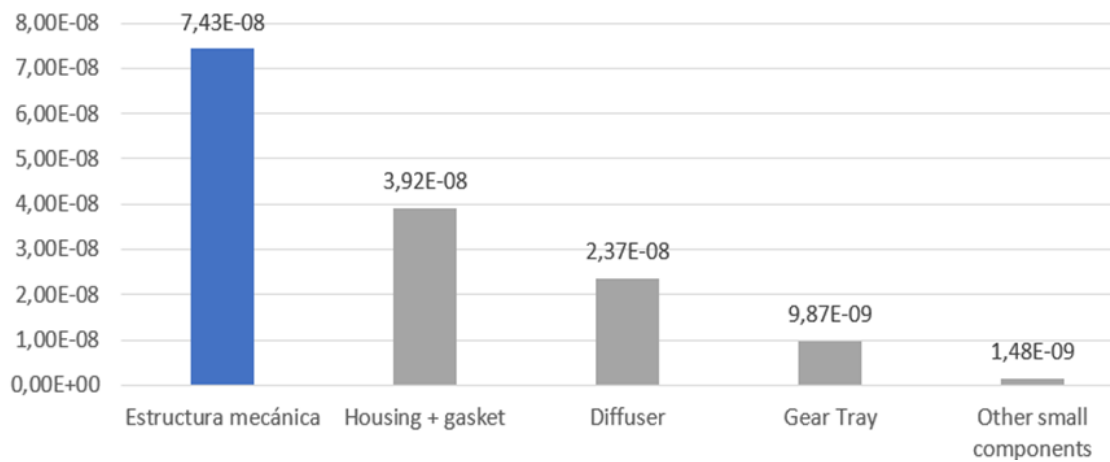


Ilustración 10: Impacto de los elementos de la estructura mecánica por hora y lumen

Se representan los resultados de **impacto total ponderado** por hora y lumen, considerando 50000 horas y 4100 lúmenes. Entendiendo como impacto total a la suma de impactos del conjunto, mantenimiento y uso.

Impacto Ponderado = **1,25E-04** mPt 2016/h·lm

Impacto Ponderado = **2,82E-06** Kg CO<sub>2</sub> eq./h·lm

### 3.2.2 2) DRIVER CALCULADO EN DETALLE (4100 lm, 50.000 h, 164 lm/W)

Tabla 4: Comparativa del impacto driver estándar-detalle

	IMPACTO RECIPE (mPt)	IMPACTO CO2 (Kg CO2 eq.)
DRIVER STANDAR	2150,30	24,76
DRIVER A DETALLE	1666,35	21,23

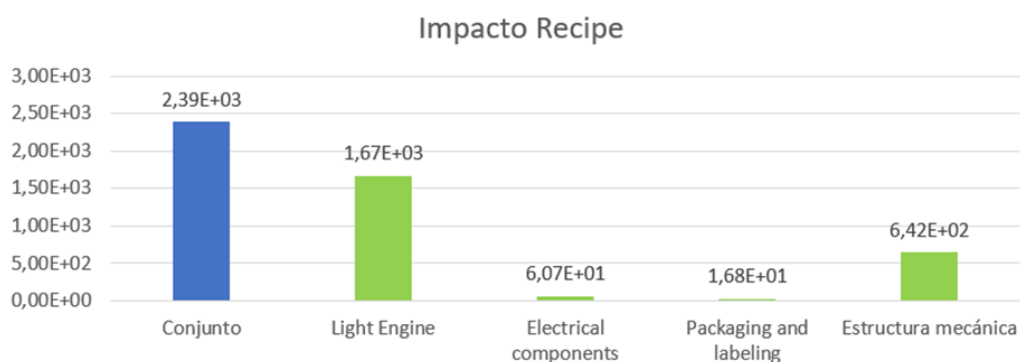


Ilustración 12: Impacto general con driver en detalle

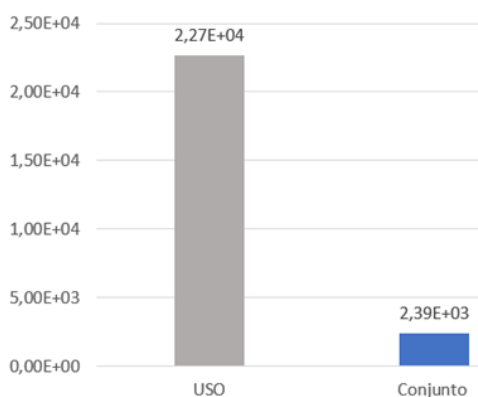


Ilustración 11: Impacto del uso con driver en detalle

	IMPACTO RECIPE (mPt)	IMPACTO CO2 (Kg CO2 eq.)
IMPACTO TOTAL PONDERADO (DRIVER ESTÁNDAR)	<b>1,25E-04</b>	<b>2,82E-06</b>
IMPACTO TOTAL PONDERADO (DRIVER A DETALLE)	<b>1,22E-04</b>	<b>2,81E-06</b>
CONJUNTO LUMINARIA (DRIVER ESTÁNDAR)	<b>2.87E+03</b>	<b>4.06E+01</b>
CONJUNTO LUMINARIA (DRIVER A DETALLE)	<b>2.39E+03</b>	<b>3.70E+01</b>

### 3.2.3 3) DRIVER CALCULADO EN DETALLE Y SENSOR

	IMPACTO RECIPE (mPt)	IMPACTO CO2 (Kg CO2 eq.)
DRIVER STANDAR	2150,30	24,76
DRIVER A DETALLE	1666,35	21,23
DRIVER A DETALLE Y SENSOR	2211,39	25,61

Impacto Recipe

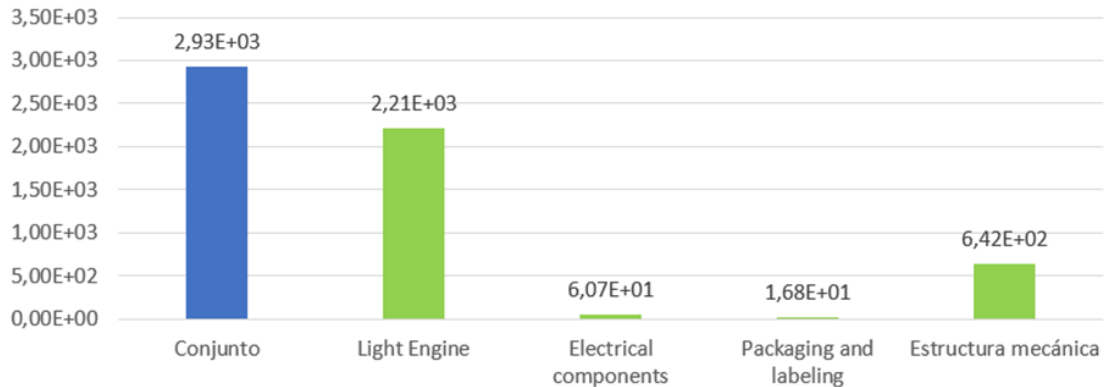


Ilustración 14: Impacto general con driver en detalle y sensor

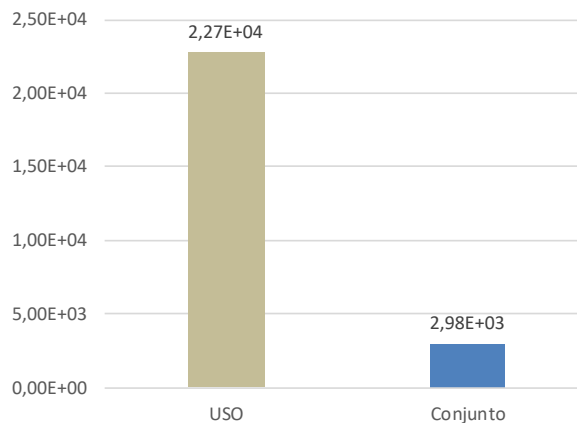
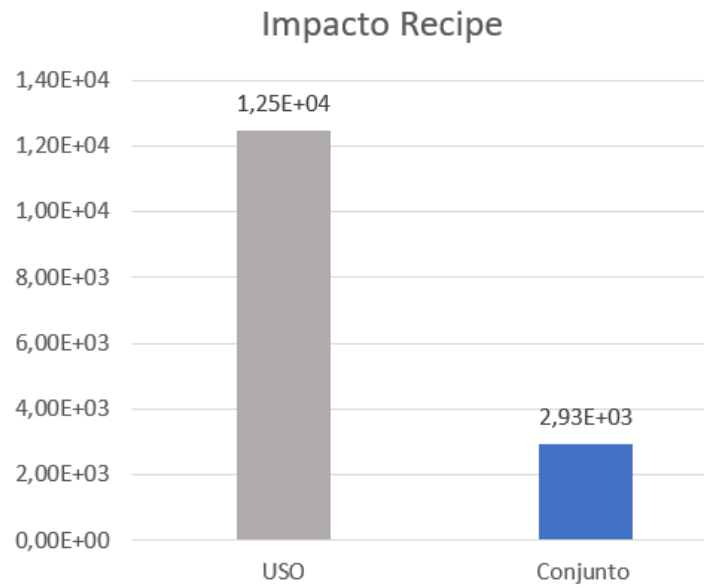


Ilustración 13: Impacto del uso con driver en detalle y sensor

	IMPACTO RECIPE (mPt)	IMPACTO CO2 (Kg CO2 eq.)
IMPACTO TOTAL PONDERADO (DRIVER ESTÁNDAR)	1,25E-04	2,82E-06
IMPACTO TOTAL PONDERADO (DRIVER A DETALLE)	1,22E-04	2,81E-06
IMPACTO TOTAL PONDERADO (DRIVER Y SENSOR A DETALLE)	1,25E-04	2,83E-06
CONJUNTO LUMINARIA (DRIVER ESTÁNDAR)	2.87E+03	4.06E+01
CONJUNTO LUMINARIA (DRIVER A DETALLE)	2.39E+03	3.70E+01
CONJUNTO LUMINARIA (DRIVER Y SENSOR A DETALLE)	2.93E+03	4.14E+01

### 3.2.4 4) DRIVER CALCULADO EN DETALLE Y SENSOR CON NORMATIVA



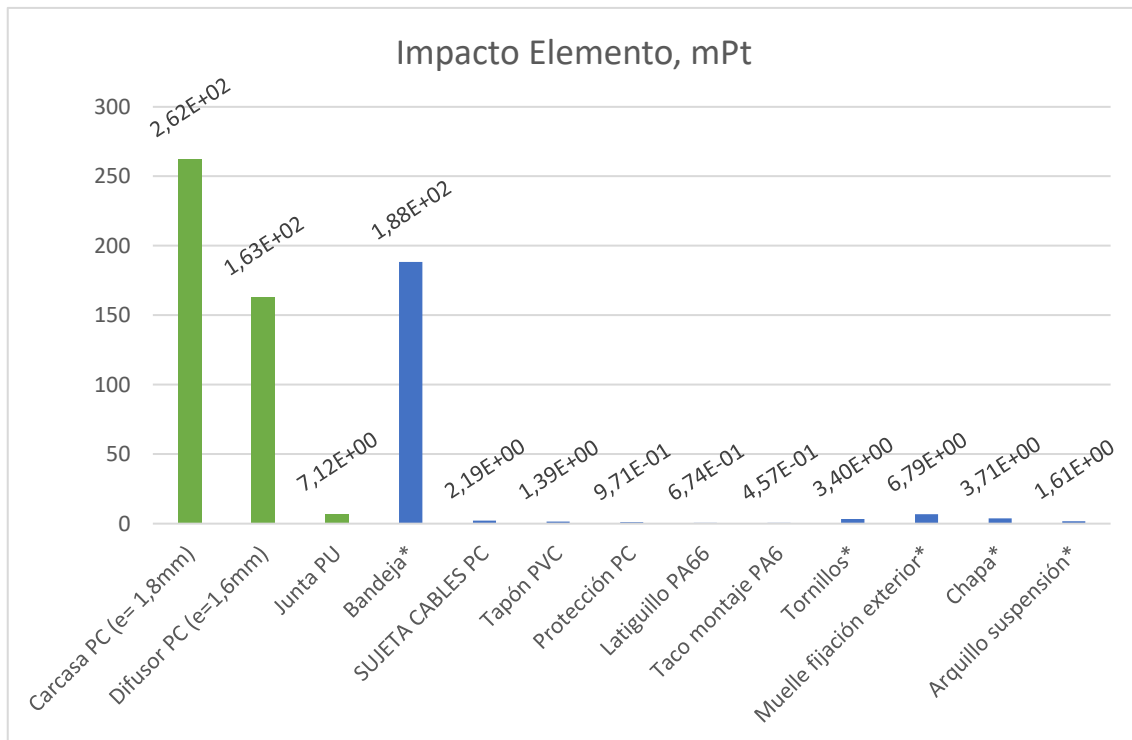
*Ilustración 15: Impacto general con driver en detalle y sensor aplicando la normativa francesa*

	IMPACTO RECIPE (mPt)	IMPACTO CO2 (Kg CO2 eq.)
IMPACTO TOTAL PONDERADO (DRIVER ESTÁNDAR)	<b>1,25E-04</b>	<b>2,82E-06</b>
IMPACTO TOTAL PONDERADO (DRIVER A DETALLE)	<b>1,22E-04</b>	<b>2,81E-06</b>
IMPACTO TOTAL PONDERADO (DRIVER Y SENSOR A DETALLE)	<b>1,25E-04</b>	<b>2,83E-06</b>
IMPACTO TOTAL PONDERADO (DRIVER Y SENSOR A DETALLE) NF	<b>0,753E-04</b>	<b>1.65E-06</b>
CONJUNTO LUMINARIA (DRIVER ESTÁNDAR)	<b>2.87E+03</b>	<b>4.06E+01</b>
CONJUNTO LUMINARIA (DRIVER A DETALLE)	<b>2.39E+03</b>	<b>3.70E+01</b>
CONJUNTO LUMINARIA (DRIVER Y SENSOR A DETALLE)	<b>2.93E+03</b>	<b>4.14E+01</b>

### 3.3 Resultados analizando materiales de la estructura mecánica, RECIPE mPt

#### 3.3.1 OLEVEONFIT 15 CON RECIPE 2016 ESTRUCTURA MECÁNICA

Se presentan los resultados en mPt, en ReCiPe 2016, de los elementos de toda la estructura mecánica. No se considera el uso del driver ni del sensor. El objetivo es determinar las piezas de plástico de mayor impacto excluyendo las demás partes que no corresponden al trabajo de final de grado.



“\*” materiales no plásticos

Ilustración 16: Impacto elementos de la estructura mecánica en ReCiPe 2016

Se va a comparar el impacto ambiental en récipe de los elementos de la luminaria, especialmente los plásticos, respecto al impacto de la estructura mecánica, de todos los componentes y de la luminaria en su conjunto incluyendo el fin de vida.

Tabla 5: Impacto de los elementos de la estructura mecánica respecto al conjunto en ReCiPe 2016

	Luminaria + uso	Luminaria	Estructura mecánica
<b>IMPACTO EN mPt</b>	25.100	2.390	642

*\*Uso sin aplicación de la normativa francesa.*

	Luminaria + uso	Luminaria	Estructura mecánica
<b>Carcasa PC (e= 1,8mm)</b>	1,04%	10,97%	40,85%
<b>Difusor PC (e=1,6)</b>	0,65%	6,81%	25,34%
<b>Junta PU</b>	0,03%	0,30%	1,11%
Bandeja	0,75%	7,88%	29,35%
<b>SUJETA CABLES PC</b>	0,01%	0,09%	0,34%
<b>Tapón PVC</b>	0,01%	0,06%	0,22%
<b>Protección PC</b>	<0,01	0,04%	0,15%
<b>Latiguillo PA66</b>	<0,01	0,03%	0,11%
<b>Taco montaje PA6</b>	<0,01	0,02%	0,07%
Tornillos	0,01%	0,14%	0,53%
Muelle fijación exterior	0,03%	0,28%	1,06%
Chapa	0,01%	0,16%	0,58%
Arquillo suspensión	0,01%	0,07%	0,25%
	2,56%	26,85%	100%

Se representa el impacto total (material + proceso + fin de vida) de los materiales utilizados en las piezas de la estructura mecánica:

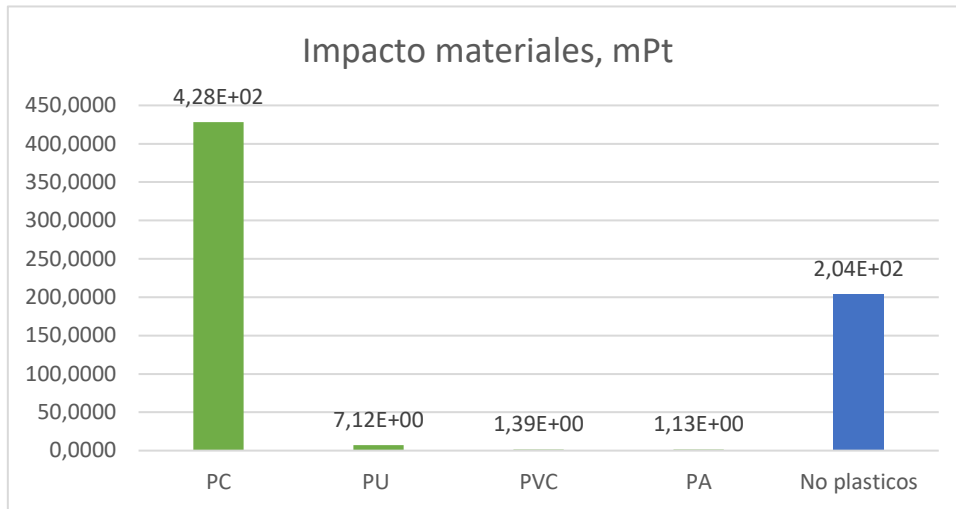


Ilustración 17: Impacto total de los materiales de la estructura mecánica en ReCiPe 2016

Datos obtenidos de Ecotool del Final de vida de los materiales que componen la estructura mecánica de la luminaria para estudiar alternativas

Tabla 6: Final de vida de los materiales de la Estructura mecánica

Final de Vida			
Material	Reciclado	Incineración	Vertedero
PC	0%	5%	95%
PU	0%	5%	95%
PVC	0%	5%	95%
PA	0%	5%	95%

A continuación, se representan los datos desglosados del impacto de las piezas de PC, que son las que mayor impacto tienen, en mPt.

Tabla 7: Desglose de las piezas de mayor impacto de la estructura mecánica

	Material	Final de vida	Proceso	TOTAL
Carcasa PC (e= 1,8mm)	212,930	15,906	33,428	262,264
Difusor PC (e=1.6mm)	132,066	9,865	20,733	162,665
SUJETA CABLES PC	1,006	0,075	1,106	2,187
Protección PC	0,788	0,059	0,124	0,971
			<b>TOTAL</b>	<b>428,087</b>



### 3.4 Resultados analizando materiales de la estructura, kg. Co2 eq.

#### 3.4.1 OLEVEONFIT 15 CON KG. CO2 EQ. ESTRUCTURA MECÁNICA

Se presentan los resultados en kg. Co2 eq., de los elementos de toda la estructura mecánica. No se considera el uso ni el drive ni el sensor. El objetivo es determinar las piezas de plástico de mayor impacto excluyendo las demás partes que no corresponden al trabajo de final de grado.

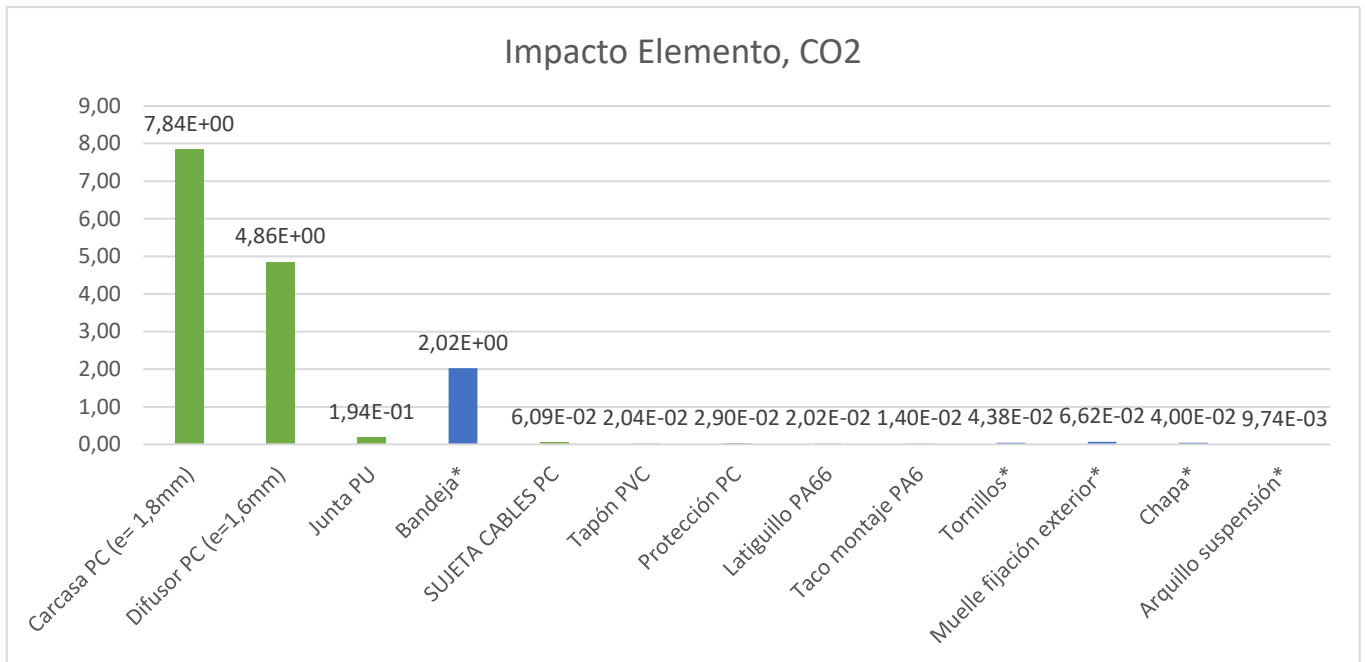


Ilustración 18: Impacto elementos de la estructura mecánica en Kg. Co2 eq.

“\*” materiales no plásticos

Se va a comparar el impacto ambiental en kg. Co2 eq., de los elementos de la luminaria, especialmente los plásticos, respecto al impacto de la estructura mecánica, de todos los componentes y de la luminaria en su conjunto incluyendo el fin de vida.

Tabla 8: Impacto de los elementos de la estructura mecánica respecto del conjunto en Kg. Co2 eq.

	Luminaria + uso	Luminaria	Estructura mecánica
<b>IMPACTO EN KG. CO2 eq.</b>	575	37,2	15,2

\*Uso sin aplicación de la normativa francesa.

	Luminaria + uso	Luminaria	Estructura mecánica
<b>Carcasa PC (e= 1,8mm)</b>	1,36%	21,08%	51,58%
<b>Difusor PC (e=1,6)</b>	0,85%	13,06%	31,97%
<b>Junta PU</b>	0,03%	0,52%	1,28%
Bandeja	0,35%	5,44%	13,31%
<b>SUJETA CABLES PC</b>	0,01%	0,16%	0,40%
<b>Tapón PVC</b>	0,00%	0,05%	0,13%
<b>Protección PC</b>	0,01%	0,08%	0,19%
<b>Latiguillo PA66</b>	0,00%	0,05%	0,13%
<b>Taco montaje PA6</b>	0,00%	0,04%	0,09%
Tornillos	0,01%	0,12%	0,29%
Muelle fijación exterior	0,01%	0,18%	0,44%
Chapa	0,01%	0,11%	0,26%
Arquillo suspensión	0,00%	0,03%	0,06%
	2,65%	40,92%	100%

Se representa el impacto total (material + proceso + fin de vida) de los materiales utilizados en las piezas de la estructura mecánica:

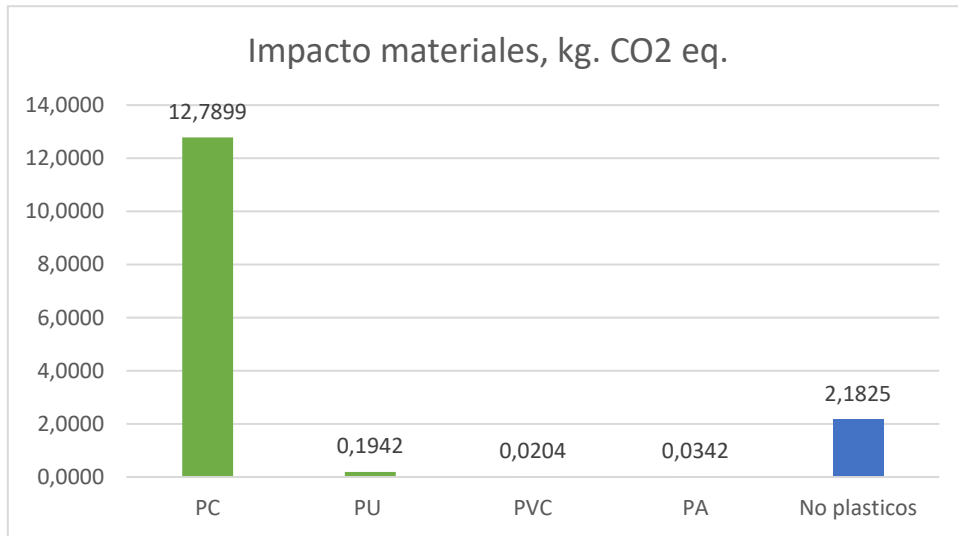


Ilustración 19: Impacto total de los materiales de la estructura mecánica en Kg. Co2 eq.

A continuación, se representan los datos desglosados del impacto de las piezas de PC, que son las que mayor impacto tienen, en kg. Co2 eq.

Tabla 9: Desglose del impacto de las piezas de mayor impacto en kg. Co2 eq.

	Material	Final de vida	Proceso	TOTAL
<b>Carcasa PC (e= 1,8mm)</b>	6,820	0,176	0,842	7,839
<b>Difusor PC (e=1.6mm)</b>	4,230	0,109	0,523	4,862
<b>SUJETA CABLES PC</b>	0,032	0,001	0,028	0,061
<b>Protección PC</b>	0,025	0,001	0,003	0,029
<b>TOTAL</b>				12,791

## 4 Escenarios alternativos

### 4.1 Escenario I – Uso de Polímeros convencionales

Uno de los escenarios que contemplo para la posible sustitución del Policarbonato en las piezas: carcasa y difusor; es con otros polímeros convencionales comúnmente usados en el mercado. Los aspectos que voy a estudiar principalmente de cada uno de los materiales alternativos son su resistencia al impacto, transmisión de luz, conductividad térmica y densidad.

La lista de materiales a plantear es: copolímero de estireno y acrilonitrilo (SAN), metacrilato (PMMA), ABS, poliéster reforzado con fibras, Tereftalato de Polietileno (PET). Estas propuestas parten del estudio de mercado realizado previamente, investigación y sugerencias del director del proyecto.

#### 4.1.1 Difusor de SAN o PMMA

Planteo el SAN y el PMMA como polímeros alternativos, por sus propiedades ópticas principalmente.

Tabla 10: Propiedades del PC, SAN y PMMA

	PC	SAN	PMMA	PET
<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1.2	1,07	1,18	1,33
<b>Dureza, Rockwell R</b>	119	112	69	112
<b>Módulo elástico (GPa)</b>	2,3	3,49	2,94	3,29
<b>Tensión de rotura (MPa)</b>	70	68,3	64,9	64,9
<b>Charpy Resistencia al Impacto (J/cm<sup>2</sup>)</b>	1.60	0.210	0.198	0,484
<b>Transmisión, Visible (%)</b>	89	89	92	89

Resultados del impacto del difusor fabricado en los distintos materiales conservando el mismo volumen de pieza. El consumo en PMMA se estima a partir de los datos del modelo Inferior de luminaria, la OLEVON FIT 1200 (difusor en PC, 3900lm; en PMMA, 4000lm).

Tabla 11: impacto del difusor fabricado en PC, PMMA, SAN y PET

DIFUSOR	Peso (g.)	Consumo uso (w)	IMPACTO RECIPE, mPt	IMPACTO Kg. Co2 eq.
PC	521	25	162,67	4,860
PMMA	512	24,404	164,9387	4,392
SAN	464	25	84,0831	2,537
PET	599,15	25	78,381	2,191

La potencia necesaria para obtener 4100 lúmenes utilizando en el difusor PMMA se estima a partir de los datos del modelo de tamaño inferior de luminaria, la OLEVON FIT 1200:

Tabla 12: Potencia necesaria para obtener 4100 lúmenes según el material

	Difusor PC (lm)	Difusor PMMA (lm)	Eficiencia energética PC (lm/w)	Eficiencia energética PMMA (lm/w)
OLEVEON FIT 1200	3900	4000	139	142
OLEVEON FIT 1500	4100	4205	164	168

Con estos datos sobre eficiencia energética se puede determinar la potencia necesaria para obtener 4100lm con la luminaria OLEVON FIT 1500:

Con difusor de **PC**: 25w

Con difusor de **PMMA**: 24,4w

A continuación, se muestra una tabla comparativa en RECIPE 2016 y kg. Co2 eq. que muestra lo que se reduce el impacto sustituyendo la pieza de PC del difusor por uno fabricado en cada uno de las alternativas planteadas y la misma geometría. El PET y SAN tienen o pueden tener una transparencia equivalente al PC según la base de datos MATWEB.

Tabla 13: Comparativa en RECIPE 2016 y kg. Co2 eq. de la reducción del impacto cambiando los materiales del difusor

	Porcentaje de Reducción RECIPE				Porcentaje de Reducción, kg. Co2 eq.			
	Luminaria + uso	Luminaria	Estructura mecánica	Pieza	Luminaria + uso	Luminaria	Estructura mecánica	Pieza
<b>PMMA</b>	2,147%	-0,095%	-0,353%	-1,39%	2,313%	1,081%	2,632%	9,640%
<b>PMMA<sup>1</sup></b>	-0,009%	-0,095%	-0,353%	-1,39%	0,081%	1,266%	3,082%	9,640%
<b>SAN</b>	0,313%	3,288%	12,241%	48,311%	0,404%	6,278%	15,283%	47,798%
<b>PET</b>	0,336%	3,527%	13,129%	51,816%	0,464%	7,213%	17,558%	54,915%

#### 4.1.2 Carcasa de ABS y Poliéster reforzado con fibras, Acrilonitrilo estireno acrilato, ASA y PET

Para la pieza de la carcasa, se deben tomar menos aspectos en cuenta en comparación con el difusor, puesto que las propiedades de transparencia son irrelevantes, pero debe soportar las mismas condiciones. Los siguientes materiales alternativos surgen de investigación previa, exploración del mercado y de los productos que produce TRILUX, y sugerencias del director del proyecto Para comenzar con el análisis debo comparar sus propiedades.

<sup>1</sup> Sin considerar la transparencia

Tabla 14: Propiedades PC, ABS, ASA, SMC y PET

	PC	ABS	ASA	Poliéster reforzado FV	PET
<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1.2	1,07	1,07	1,86	1,33
<b>Dureza, Rockwell R</b>	119	108	101	(M)80	112
<b>Módulo elástico (GPa)</b>	2,3	2,3	2,13	13,1	3,29
<b>Tensión de rotura (MPa)</b>	70	45	45	53,7	49,2
<b>Charpy Resistencia al Impacto (J/cm<sup>2</sup>)</b>	1.60	1,87	1,83	2,93	0,484

A excepción del PET, todos los materiales alternativos mejoran la resistencia al impacto, lo cual podría significar una reducción del espesor de la pieza manteniendo el IK del producto. En comparación, el ASA es mejor al ABS por resistir mejor los productos químicos y los rayos UV y tener propiedades mecánicas muy similares. La principal desventaja del poliéster reforzado es que no se puede reciclar.

A continuación, muestro una tabla con el impacto de la carcasa en los distintos materiales, obtenido a través del software EcoTool. El ASA no está caracterizado en Ecoinvent de forma, que al ser una variación del ABS estimo el impacto a partir de los datos obtenidos con este.

Tabla 15: Impacto de la carcasa fabricada en distintos materiales

CARCASA	Peso	IMPACTO RECIPE	IMPACTO Kg. Co2 eq.
PC	840	262,26	7,84
ABS/ASA	749	151,446	4,337
Poliéster reforzado FV	1302	267,903	6,080
PET	931	123,186	3,440

En la tabla siguiente se pueden ver los porcentajes de reducción respecto de la pieza original de referencia.

Tabla 16: Porcentaje de reducción del impacto de la carcasa fabricada en distintos materiales

	Porcentaje de Reducción RECIPE			Porcentaje de Reducción, kg. Co2 eq.		
	Luminaria + uso	Luminaria	Estructura mecánica	Luminaria + uso	Luminaria	Estructura mecánica
PC	0%	0%	0%	0%	0%	0%
ABS/ASA	0,441%	4,637%	17,261%	0,609%	9,468%	23,047%
Poliéster reforzado FV	-0,022%	-0,236%	-0,879%	0,306%	4,758%	11,581%
PET	0,554%	5,819%	21,663%	0,765%	11,892%	28,949%

#### 4.1.2.1 *Comentarios sobre resultados:*

Hay que tener muy en cuenta que se ha valorado únicamente la sustitución del material y que no se ha considerado en esta sustitución el trabajar con la misma unidad funcional: habría que validar aspectos como el comportamiento al impacto, la procesabilidad, la validez de geometría/diseño de la pieza, costes, transparencia en difusores y otras características funcionales.

## 4.2 Escenario II – Uso de Materiales ECO

### 4.2.1 Materiales BIO – Estado del arte

#### 4.2.1.1 Introducción

El siguiente informe refleja los diferentes datos obtenidos de distintos artículos sobre el impacto ambiental de los polímeros considerados ecológicos con el objetivo de estudiar su posible implantación como alternativa a los polímeros convencionales para piezas de la luminaria OLEVEONFIT 1500.

#### 4.2.1.2 Discusión

Actualmente los polímeros biobasados son utilizados en productos de baja exigencia mecánica, en productos de consumo básicos, y como sustitutivo a los embalajes convencionales por su menor impacto ambiental, principalmente en la última fase de ciclo de vida. Por ejemplo, **Alvarez-Chável et al. (2012)** afirman que, en comparación con los plásticos convencionales derivados del petróleo, el uso de PLA y almidón termoplástico reduce significativamente las emisiones de dióxido de carbono, en el caso del primero, en un 50-70%. Del mismo modo, los biuretanos y el poli (trimetilentereftalato) (PTT) tienen respectivamente un 36% y un 44% menos de emisiones de gases de efecto invernadero que sus homólogos derivados del petróleo.

A un nivel más industrial, los bioplásticos se producen en cantidades tan pequeñas comparado con los petroplásticos, que la infraestructura para el reciclaje aún no se ha desarrollado. (...) Los polihidroxibutaratos (PHB) presentan algunas ventajas en términos de emisiones de carbono. Ya solo, el simple hecho de no utilizar el petróleo como materia prima es una clara ventaja. Sin embargo, el equipo agrícola y el equipo de procesamiento emiten dióxido de carbono. **Momani (2009)** en su artículo afirma que en una evaluación del ciclo de vida se descubrió que se emiten 2,6 kg de dióxido de carbono por cada kilogramo de PHB producido. El problema aparece cuando se estudia la sensibilidad de los resultados, variando mucho esta cifra de un estudio a otro. (...)

Las emisiones de carbono del PHB son inferiores a las del PP y el LDPE, pero ligeramente superiores a las del HDPE. En resumen, el PHB tiene unas emisiones totales de carbono inferiores a las de algunos de los petroplásticos que podría sustituir. (Momani, 2009)

Weiss et al. en *A Review of the Environmental Impacts of Biobased Materials. Journal of Industrial Ecology* (2012) reafirman lo anteriormente mencionado sobre la diferencia entre los resultados de los distintos estudios.

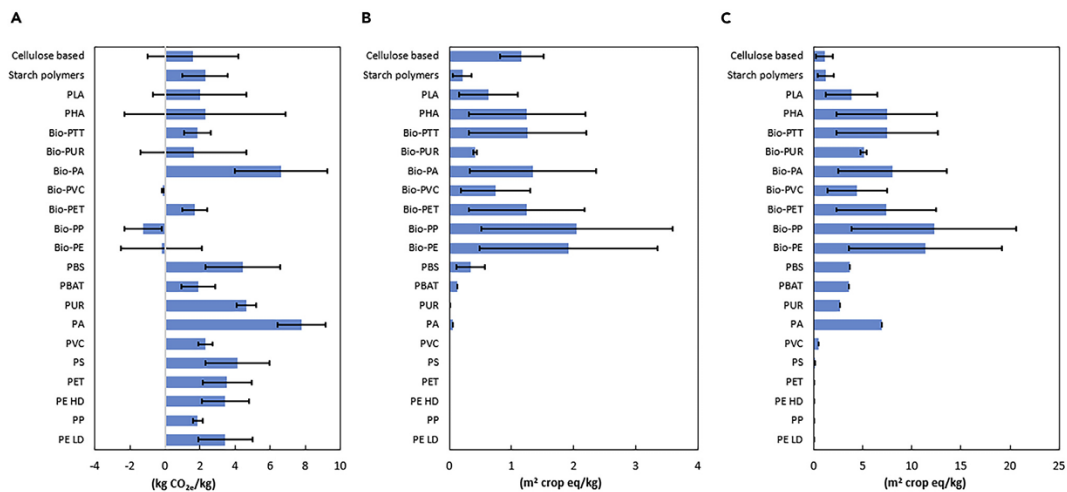
“Esto hace que no sea factible identificar grupos individuales de materiales de base biológica que sean ambientalmente superiores con respecto al uso de energía no renovable y el cambio climático.”

Algunos de los artículos estudiados no contemplan en el ACV los mismos aspectos que se analizan con el método RECIPE 2016. Otro aspecto a la hora de analizar el impacto de los bioplásticos son las diferencias en los factores de rendimiento de los distintos países y a los factores de conversión de las distintas materias primas. Las huellas pueden variar significativamente, por ejemplo, “la caña de azúcar necesaria para el bio-PET de etanol brasileño es de 5 kg de caña/kg de bio-PET, mientras que sólo es de 2,6 kg de caña/kg de bio-PET de etanol indio. Estas diferencias son el resultado de los distintos factores de



rendimiento y procesos de producción, así como de los productos incluidos en el análisis, que influyen en la magnitud de los impactos.” (Brizga et al., 2020)

En la siguiente tabla realizada con el software de ACV GaBi Education en el Trabajo de final de master de Kaipainen (2020), establece que en el mejor escenario, el bio-PP producido a partir de aceite de cocina usado, la huella de carbono total sería de sólo 0,22 kgCO<sub>2</sub>eq, un 73% menor que la del PP petroquímico y incluso afirma que el uso de agua podría reducirse en un 80%. Este escenario tan positivo incluye: un 16 % de ahorro al usar aceite de “canola” que presentaba la menor huella de carbono, el menor uso de tierra de las alternativas, el valor más bajo de la sensibilidad del estudio y la ruta de producción más optimizada.



**Figure 2. Global Warming Potential, Land Use, and Water Use for Plastic Production**

(A) Global warming potential.

(B) Land use.

(C) Water use.

Full bars show means and error bars show maximum and minimum levels. For more details on the calculations of maximum and minimum land and water use of bioplastics, see [Experimental Procedures](#).

#### Ilustración 20: Impacto Biomateriales obtenida de Kaipainen, 2020

Por otro lado, el ciclo de vida completo de los materiales de base biológica ofrece el potencial para disminuir los impactos ambientales. Sin embargo, la reducción del uso de la tierra y sus impactos en las emisiones de GEI, la eutrofización y el agotamiento del ozono estratosférico podrían ser más críticos. (Bringezu et al. 2012).

#### 4.2.1.3 Resultados

Los datos reflejados en la tabla a continuación representan la huella de carbono obtenida de los artículos estudiados de algunos de los polímeros biobasados respecto de su análogo petroquímico. He tomado los valores máximos de las desviaciones para evitar mediciones posteriores demasiado optimistas.

Tabla 17: Comparativa entre polímeros biobasados y su análogo fósil

Polímeros Biobasado	Impacto ambiental Biobasado Kg CO2/ Kg	Polímero derivado del petróleo	Impacto ambiental derivados del petróleo Kg CO2/ Kg	Porcentaje menor, %	Referencia
		PC	8,12		Ecotool
Biuretanos		PTT		56-64	Álvarez-Chávez et al., 2012
PHB	2,6	LDPE	3	13%	Momani, 2009
PLA	1,8	PP	3,4	47%	Momani, 2009
TPS	1,14	HDPE	2,5	54%	Momani, 2009
PP	1,8	UCO-based bio-PP	1,3	-38%	Kaipainen, 2020
BIO-PUR	4,7	PUR	5	6%	<a href="#">Bringezu et al. 2012</a>
BIO-PA	4.1	PA	9	53%	<a href="#">Bringezu et al. 2012</a>
BIO-PET	2,5	PET	5	50%	<a href="#">Bringezu et al. 2012</a>
BIO-PE	2,1	LDPE	4,9	57%	<a href="#">Bringezu et al. 2012</a>

#### 4.2.1.4 Conclusiones

Los datos anteriores son orientativos, se deben contrastar a través de una organización competente.

Los materiales de base biológica ahorran energía no renovable y permiten a la industria manufacturera sustituir parte de sus materias primas basadas en combustibles fósiles o minerales por otras renovables.(Weiss et al., 2012) Pero por otro lado pueden ejercer un mayor impacto ambiental que los polímeros convencionales en las categorías de eutrofización y agotamiento del ozono estratosférico.

Por último y de cara a futuros estudios, los análisis de ciclo de vida deben valorar los impactos relacionados con el uso de la tierra, los efectos sobre la biodiversidad y la materia orgánica y la erosión del suelo, así como los riesgos relacionados con el uso de cultivos y microorganismos modificados genéticamente.

Son materiales que plantean una alternativa interesante pero que actualmente se encuentra en una fase piloto en las aplicaciones industriales a gran escala. Se deben optimizar los procesos de producción y establecer unas pautas para su correcto análisis.

Spierling et al., (2018) obtienen una conclusión similar:

“En primer lugar, es evidente que la evaluación de la sostenibilidad de los bioplásticos basada en el análisis del ciclo de vida, ya sea de ciclo de vida, ya sea con un enfoque medioambiental, económico o social, muestra un gran ancho de banda en cuanto a métodos, indicadores y resultados. Sin embargo, basándose en la revisión de la literatura hasta el momento, **sólo es posible comparar una categoría de impacto (kg CO<sub>2</sub>/kg de polímero)** dentro del pilar medioambiental y esto sólo con restricciones. En segundo lugar, los resultados de la revisión indican un potencial de los bioplásticos en los tres pilares de la sostenibilidad. Para desarrollar estas ventajas de forma sostenible, hay que equilibrar los tres pilares de los tres pilares de la sostenibilidad y las necesidades específicas de las partes vulnerables que participan en los procesos de producción.”

## 4.2.2 Introducción a los materiales ECO

En este apartado se estudian las alternativas para la Carcasa y Difusor sustituyendo el Policarbonato virgen por cada uno de los siguientes materiales:

**Makrolon:** Policarbonato 100% de origen fósil, y según el proveedor, únicamente se han utilizado energías provenientes de fuentes renovables.

**RE SABIC:** Policarbonato basado en recursos renovables certificados suministrado por SABIC bajo el nombre LEXAN con menor huella de carbono en comparación con las alternativas

**RE COVESTRO:** Policarbonato de bajo impacto medioambiental gracias a la introducción de materias primas a partir de biorresiduos y residuos en masa y al uso de energías renovables en la producción del material. Es idéntico al Makrolon con las mismas propiedades físicas, mecánicas, térmicas, ópticas, ambientales y de procesado.

**DURABIO:** Polímero no renovable y de origen biológico (de hasta un 58%) perteneciente a la empresa Mitsubishi Chemical. Sus propiedades comparadas con el policarbonato: menor resistencia a la temperatura, menor resistencia al impacto desde múltiples ejes, y menor retraso de llama. En cambio, presenta mayor dureza superficial, resistencia a la radiación UV y mayor transparencia. Se trata de un polímero muy similar al PC y con propiedades del metacrilato (PMMA).

**PC de reciclado mecánico:** Este material no es suministrado por ningún proveedor, es una estimación calculada a través de la experiencia del departamento en el análisis de reciclado mecánico, de anteriores proyectos y trabajos.

### 4.2.2.1 *Compuesto de fibras naturales y plástico*

Consiste en un material compuesto formado por dos materiales principales y distintos. Uno hace de matriz, que mantiene unidos los diferentes componentes, uniéndolos y proporcionando la transferencia de carga entre ellos. Puede ser de un polímero termoestable o, más comúnmente, un polímero termoplástico. El otro componente es la fibra, esta puede ser de cualquier forma o tamaño y actúa como relleno y/o refuerzo del compuesto

El moldeo por inyección, con este material, permite hacer formas más complejas. El proceso es similar a la inyección con otros polímeros. Consiste en inyectar el material mezclado en un molde. La mezcla de madera y plástico llena el molde, se enfría y se expulsa en la preparación de la siguiente pieza a formar. Posteriormente, se puede mecanizar con otras herramientas.

Al realizar el refuerzo de matriz de plástico con materiales renovables se reduce del impacto ecológico, y también reduce el coste de los materiales. Sin embargo, el refuerzo de los plásticos con partículas y fibras influye en las propiedades del material (resistencia, durabilidad, aspecto, etc.), así como en su impacto ecológico (Corbière-Nicollier et al., 2001).

Para ampliar conceptos, consultar *Wood-Plastic Composites Performance and Environmental Impacts de Schwarzkopf & Burnard, 2016*

El principal problema de los materiales compuestos es que no se pueden reciclar.

También, parafraseando a Joshi et al., 2004, es probable que los compuestos reforzados con fibras naturales sean ambientalmente superiores a los compuestos reforzados con fibra de vidrio en la mayoría de las aplicaciones por las siguientes razones:

1. La producción de fibra natural tiene menor impacto ambiental en comparación con la producción de fibra de vidrio.
2. Tienen un mayor contenido de fibra para un rendimiento equivalente, lo que reduce la cantidad de polímeros base más contaminantes.
3. Al tener menor peso, mejora la eficiencia del combustible y se reducen las emisiones durante la fase de uso del componente, especialmente en aplicaciones automotrices.
4. En la incineración en el final de vida, las fibras naturales dan como resultado créditos de energía y carbono.

De todas formas, no se puede afirmar al 100% la superioridad respecto al impacto ambiental de estos compuestos, si los compuestos de fibra natural tienen una vida útil significativamente menor en comparación con los compuestos de fibra de vidrio, las ventajas anteriores se invalidan.

Este material no está caracterizado en Ecoinvent ni se han podido encontrar valores actualizados que permitan calcular su impacto. El valor se ha estimado en función del impacto del PC y el del material de refuerzo que, en este caso, si se puede encontrar en Ecoinvent. También se le ha sumado el proceso de la fabricación de la pieza como si fuera de poliéster reforzado.

\*

El impacto de los diferentes materiales ofertados se ha estimado a partir de la información aportada por los proveedores, el BIO-PET a partir investigaciones y artículos científicos. Ante la falta de datos sobre transparencia, se asume la misma que el PC virgen. El impacto del PC reforzado con fibra natural se ha estimado a partir del impacto del PC más el de la fibra de refuerzo con un porcentaje de relleno de los más habituales en el mercado.

### 4.2.3 Difusor en materiales ECO

Se representa los resultados del impacto en RECIPE 2016 y kg. Co2 eq del difusor fabricado en los diferentes materiales. En este análisis solo se tienen en cuenta los materiales que pueden ser transparentes, por ello se excluye el SMC y el PC de reciclado mecánico.

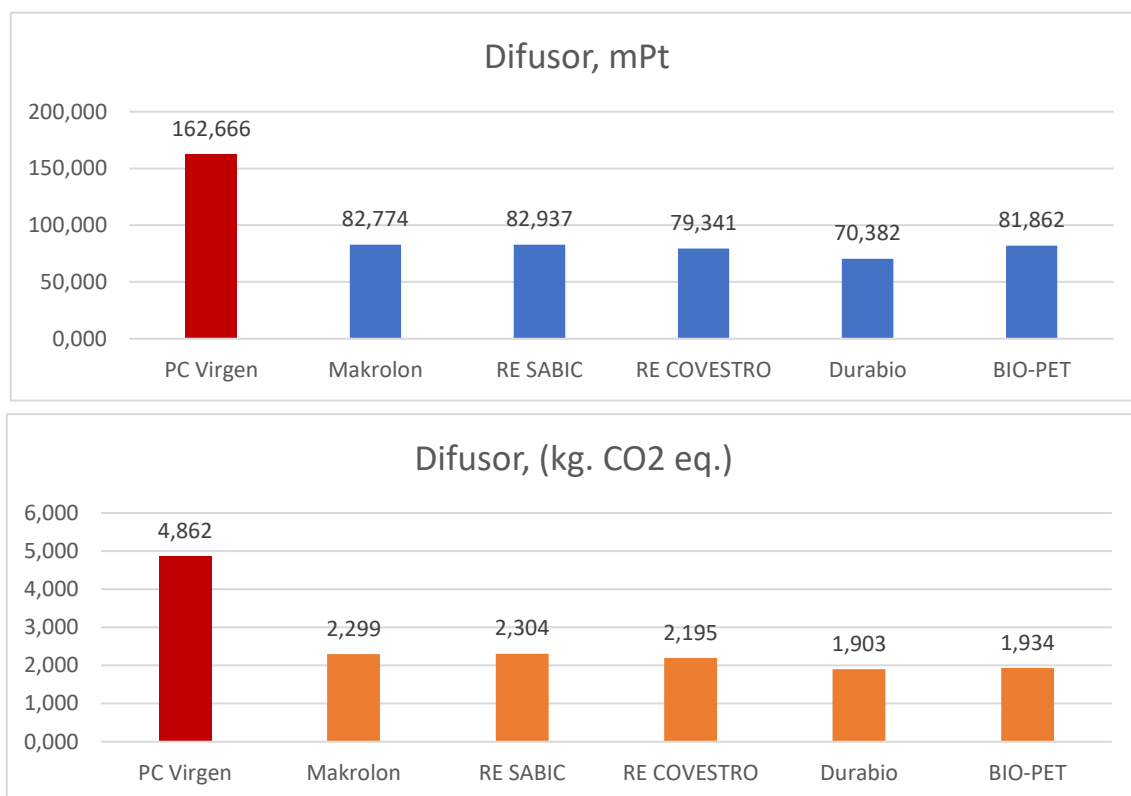


Ilustración 21: Impacto del difusor fabricando en materiales ECO

A continuación, muestro una tabla comparativa en RECIPE 2016 y kg. Co2 eq. que muestra lo que se reduce el impacto sustituyendo la pieza de PC del Difusor por uno fabricado en cada una de las alternativas planteadas y conservando la misma geometría y considerando que tiene la misma transparencia que el PC virgen.

Tabla 18: Porcentaje que se reduce de impacto sustituyendo el PC del Difusor por un material ECO

	Porcentaje de Reducción RECIPE				Porcentaje de Reducción, kg. Co2 eq.			
	Luminaria + uso	Luminaria	Estructura mecánica	Pieza	Luminaria + uso	Luminaria	Estructura mecánica	Pieza
Makrolon	0,32%	3,34%	12,44%	49,11%	0,45%	6,93%	16,86%	52,71%
RE SABIC	0,32%	3,34%	12,42%	49,01%	0,44%	6,91%	16,83%	52,61%
RE COVESTRO	0,33%	3,49%	12,98%	51,22%	0,46%	7,21%	17,55%	54,86%
DURABIO	0,37%	3,86%	14,37%	56,73%	0,51%	8,00%	19,47%	60,86%
BIO-PET	0,32%	3,38%	12,59%	49,67%	0,51%	7,91%	19,26%	60,21%

#### 4.2.4 Carcasa en materiales ECO

Se representa los resultados del impacto en RECIPE 2016 y kg. Co2 eq de la Carcasa fabricada en los diferentes materiales y conservando la misma geometría que la luminaria de referencia.

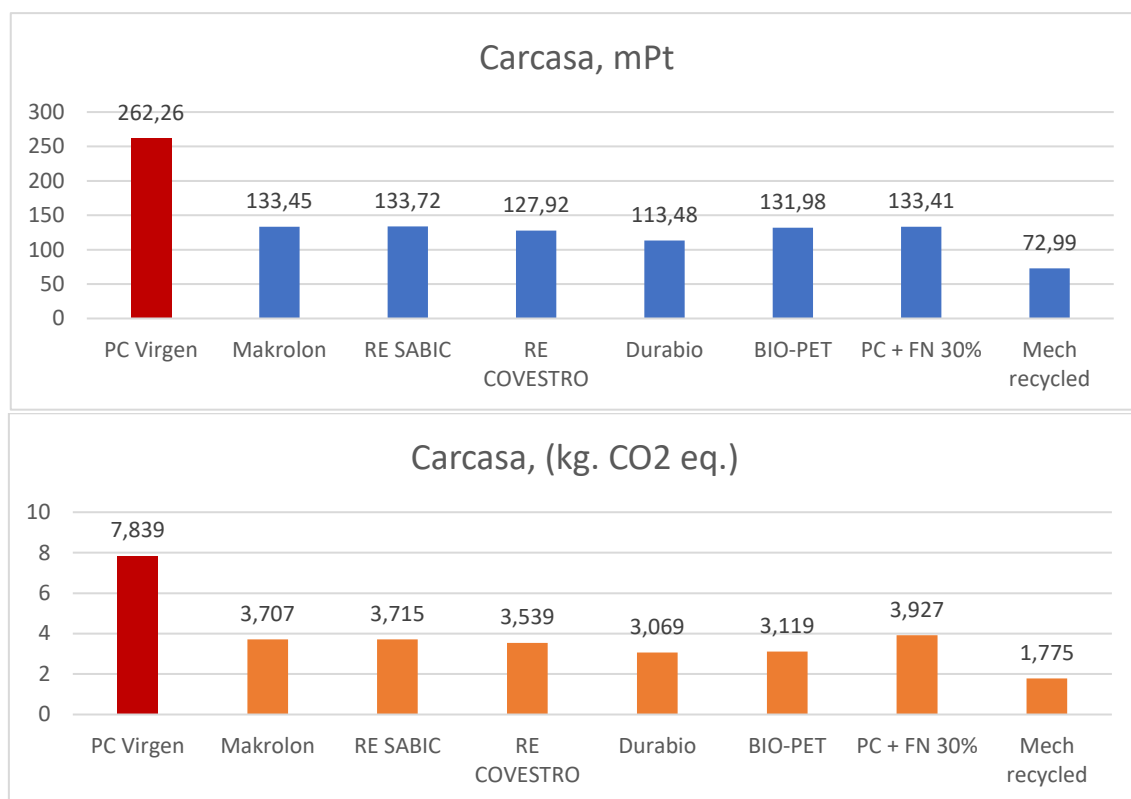


Ilustración 22: Impacto Carcasa en materiales ECO

A continuación, se muestra una tabla comparativa en RECIPE y kg. Co2 eq. que muestra lo que se reduce el impacto sustituyendo la pieza de PC de la carcasa por una fabricada en cada una de las alternativas planteadas y conservando la misma geometría.

Tabla 19: Porcentaje que se reduce de impacto sustituyendo el PC de la carcasa por un material ECO

	Porcentaje de Reducción RECIPE				Porcentaje de Reducción, kg. Co2 eq.			
	Luminaria + uso	Luminaria	Estructura mecánica	Pieza	Luminaria + uso	Luminaria	Estructura mecánica	Pieza
Makrolon	0,51%	5,39%	20,06%	49,11%	0,72%	11,17%	27,19%	52,71%
RE SABIC	0,51%	5,38%	20,02%	49,01%	0,72%	11,15%	27,13%	52,61%
RE COVESTRO	0,54%	5,62%	20,93%	51,22%	0,75%	11,62%	28,29%	54,86%
DURABIO	0,59%	6,23%	23,18%	56,73%	0,83%	12,89%	31,39%	60,86%
BIO-PET	0,52%	5,45%	20,29%	49,67%	0,82%	12,76%	31,06%	60,21%
PC + FN 30%	0,51%	5,39%	20,07%	49,13%	0,68%	10,58%	25,74%	49,91%
Mech recycled	0,75%	7,92%	29,48%	72,17%	1,05%	16,39%	39,90%	77,36%

#### 4.2.4.1 Comentarios sobre los datos:

Los datos de impacto ambiental de estos materiales ECO, en la mayoría de casos, se obtienen de fabricante que son parte interesada por lo que la calidad de los mismos está por contrastar. Se pueden considerar datos de buena calidad correspondientes al reciclado mecánico.

### 4.3 Escenario III – Estimación con materiales no polímeros

#### 4.3.1 Carcasa y otras piezas opacas

##### 4.3.1.1 Metales

A la hora de sustituir el PC en piezas como la carcasa, contemplo las alternativas que más se ajustan a las necesidades del producto, por ello debo elegir otros materiales ligeros y que se comporten adecuadamente frente a las condiciones en entorno de uso y del fabricante. La primera idea consiste en sustituir el plástico por un metal como puede ser el aluminio, titanio o acero. Aunque alguno de los materiales no es ligero, si sus propiedades son tales que permiten crear la pieza con un espesor muy pequeño, podría llegar a ser menos pesada que fabricada en otros materiales y conservando las mismas propiedades. También contemplo la chapa de acero pintada y estampada porque es un material con el que ZALUX ya trabaja en la propia luminaria en piezas como la bandeja que soporta los LED.

El aluminio que planteo para la fabricación de la carcasa es la aleación EN-47100, la misma que se puede encontrar en la luminaria «ZALEDA EVOL G2» de ZALUX, también comercializado con el nombre NEXTREMA por TRILUX. El acero, al no conocer la aleación exacta que utiliza la empresa planteo un acero genérico.

En la siguiente tabla se comparan las propiedades físicas, mecánicas y térmicas del PC con Aluminio y el titanio.

Tabla 20: Propiedades PC, Aluminio, Titanio y Acero

	Policarbonato <sup>2</sup>	Aleación Aluminio EN-47100 <sup>3</sup>	Titanio <sup>4</sup>	Acero <sup>5</sup>
<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1,2	2,6	4,52	7,84
<b>Dureza, Brinell</b>	145	80	700	250
<b>Tensión de rotura (MPa)</b>	65	270	487	996
<b>Módulo de Young (GPa)</b>	2,3	73	106	204
<b>Charpy Resistencia al impacto (J/cm<sup>2</sup>)</b>	1,6	7,91	95,7	56,3

Es evidente que, en cuestión de propiedades, tanto el aluminio como el titanio superan e incluso mejoran las características del producto. La desventaja del titanio es que es

<sup>2</sup> (SANMETAL, S.A. - Division Termoplásticos, s. f.)

<sup>3</sup> (EN AC-47100 (47100-F, AlSi12Cu1(Fe)) Cast Aluminum, s. f.)

<sup>4</sup> (Titanio - Resistencia - Dureza - Elasticidad - Estructura cristalina, 2021)

<sup>5</sup> («Dureza Brinell», 2021)



especialmente caro en comparación con las otras alternativas por lo que queda descartado del siguiente análisis.

Para estimar el impacto de las piezas fabricadas en estos materiales alternativos necesito primero calcular el peso de la pieza resultante. Mediante el peso de la carcasa de Aluminio del modelo ZALEDA EVOL G2 estimo el espesor de la carcasa fabricada en metal que es de 2,6mm aproximadamente.

En la tabla siguiente muestro el peso y el impacto ambiental en RECIPE 2016 y kg. Co2 eq. resultante con la pieza fabricada en los distintos materiales alternativos.

Tabla 21: Impacto en ReCiPe 2016 y kg. Co2 eq. de la carcasa fabricada de Al, y Acero

	<b>Peso</b>	<b>IMPACTO RECIPE</b>	<b>IMPACTO Kg. Co2 eq.</b>
PC	521	162,67	4,86
Aluminio EN-47100	2621,31	527,21	10,21
Aluminio reciclado	2621,31	411,73	5,62
Acero	7600,28	1006,46	29,67
Acero inoxidable	7502,86	3479,27	49,20

Porcentaje de reducción del impacto respecto a la pieza de referencia en RECIPE 2016 y en kg. Co2 eq.

Tabla 22: Porcentaje de reducción del impacto respecto a la carcasa de referencia en RECIPE 2016 y en kg. Co2 eq. en Al y Acero

	<b>Porcentaje de Reducción RECIPE</b>			<b>Porcentaje de Reducción, kg. Co2 eq.</b>		
	<b>Luminaria + uso</b>	<b>Luminaria</b>	<b>Estructura mecánica</b>	<b>Luminaria + uso</b>	<b>Luminaria</b>	<b>Estructura mecánica</b>
<b>Aluminio EN-47100</b>	-1,45%	-15,25%	-56,78%	-0,93%	-14,47%	-35,23%
<b>Aluminio reciclado</b>	-0,99%	-10,42%	-38,79%	-0,13%	-2,06%	-5,00%
<b>Acero</b>	-3,36%	-35,31%	-131,43%	-4,31%	-67,04%	-163,20%
<b>Acero inoxidable</b>	-13,21%	-138,77%	-516,60%	-7,71%	-119,85%	-291,73%

Como se puede ver, estas alternativas no suponen una mejora desde el punto de vista de impacto ambiental respecto del producto de referencia, y si se fabrica en aluminio el impacto es únicamente un 1,45% superior. Incluso se pueden realizar modificaciones y eliminar nervados y elementos de disipación del calor gracias al avance de la tecnología LED que ya no genera tanto calor, de forma que el impacto se puede ver reducido.

Posteriormente realizo otro escenario planteando el diseño de esta pieza en aluminio como material alternativo con el objetivo de explorar la hipótesis planteada en el párrafo anterior.

## 4.3.2 Difusor y otras piezas transparentes

### 4.3.2.1 Cristal o vidrio

Planteamos el vidrio por ser un material transparente, inorgánico y duro, se puede producir de manera artificial y generalmente se usa para hacer ventanas, botellas, lentes ópticas y una gran variedad de productos. Existen diferentes tipos y se pueden clasificar: para construcción, reflectantes, aislantes, inteligentes... De ellos los más destacados para el difusor de la luminaria de referencia son el vidrio templado y el vidrio estándar.

Para poder comprobar la viabilidad del material frente al PC debo comparar de sus propiedades mecánicas, las más relevantes para la luminaria OLEVEON FIT 1500. El vidrio está excluido de esta tabla por no haber encontrado información fiable sobre sus propiedades y tampoco estar caracterizado en Ecotool ni Ecoinvent.

Tabla 23: Propiedades PC y Vidrio

	Policarbonato, PC	Vidrio estándar
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	1,2	2,61
Dureza	(R)119	(Brinell) 1550
Tensión de rotura (MPa)	65	80
Módulo de Young (GPa)	2,3	64
Charpy Resistencia al impacto (J/cm <sup>2</sup> )	1,6	
Transmisión, visible (%)	89	95,1
Fuente		<a href="#">MATWEB</a>

Previamente, mediante el estudio de mercado he averiguado que los difusores de vidrio tienen generalmente 5 mm de espesor y utilizan vidrio templado con un IK8, idéntico al de la pieza fabricada en PC. Para calcular el volumen de material, lo calculo proporcional al espesor del difusor de referencia.

Tabla 24: Volumen estimado del difusor en vidrio

	Volumen estimado (cm <sup>3</sup> )	Peso estimado (g)
Vidrio	1356,75	3391,927

A continuación, muestro los datos de impacto en RECIFE y kg. Co2 eq. del impacto de la pieza fabricada en vidrio obtenido con Ecotool, el impacto total de la luminaria con difusor de vidrio, el impacto del uso con la nueva potencia necesaria para obtener 4100lúmenes y el porcentaje de reducción total respecto a la luminaria con la pieza de referencia.

Uso		Elemento	
IMPACTO RECIFE	IMPACTO Kg. Co2 eq.	IMPACTO RECIFE	IMPACTO Kg. Co2 eq.
2,12E+04	5,03E+02	169,175751	3,507253

## 4.4 Escenario IV – Rediseño de las piezas en distintos materiales

Se ha decidido realizar este escenario en relación al anterior utilizándolo como estimación previa para poder calcular a continuación de forma más precisa y aplicando criterios de Diseño industrial, el impacto de la luminaria y de los materiales alternativos. Para ello se debe realizar un pequeño proceso de diseño para evaluar los aspectos más relevantes de la luminaria con los siguientes objetivos:

- Conservar las mismas funciones y especificaciones de la luminaria OLEVEON FIT 1500
- Analizar todas las partes del producto y definir una función primera (y secundaria en caso de haberlas).
- Analizar y estudiar productos análogos del mercado en los mismos materiales
- Considerar el entorno de uso y al usuario
- Conservar todos los componentes del producto de referencia y respetar su tamaño y posición fundamental.
- Todos los conceptos deben ser viables para la producción en las fábricas de ZALUX.
- Hacer el producto más competitivo a nivel comercial y en los mercados emergentes.

### 4.4.1 Planificación

Tabla 25: Planificación rediseño de la Carcasa y el Difusor

Fase	Descripción	Comentario
1	Análisis de todos los aspectos del producto	Únicamente voy a estudiar aquellos relacionados con este escenario y la forma del producto.
2	Definición, clasificación de los conceptos	
3	Desarrollo de los conceptos elegido, procesos, materiales	Para más precisión, el volumen de cada pieza se calculará mediante herramientas CAD
4	Comparativa y resumen	Cálculo del impacto en EcoTool

## 4.4.2 Fase I - Análisis

### 4.4.2.1 Análisis funcional

La **función principal** del producto es:

Proporcionar una iluminación que proporcione un flujo luminoso artificial de 4.100 lúmenes durante una vida útil de referencia de 50.000 horas.

Las funciones secundarias por K (coef. De importancia de la función del 1 a 5), uno o varios criterios de valoración, nivel de valoración, Flexibilidad admisible y la clase de flexibilidad (del 0 al 3, posibilidad de negociarse):

Tabla 26: Funciones de la luminaria

Nº	Función
1	Regular la intensidad de la luz.
2	Detectar la cantidad de luz del entorno exterior.
3	Detectar presencia humana para encenderse
4	Fácil montaje con el sistema cierre suspendido sin clips
5	Funcionar sin mantenimiento o como el mínimo posible
6	Facilitar su reparación
7	Interconexión entre luminarias, "función enjambre"
8	Libertad de colocación
9	Evitar vandalismo
10	Resistencia mínima de un IK8
11	Debe funcionar automáticamente

### 4.4.2.2 Análisis formal OLEVEON FIT 1500

La forma externa de la luminaria se puede dividir en dos partes:

La forma de carcasa se compone de dos prismas superpuestos alargados. El inferior menos alto, pero más ancho y largo para poder encajar el difusor de forma estanca, y el sistema de cierre sin clips consiste en una serie de salientes en forma de cuña de ángulo gradual y una parte plana para apoyar el difusor. La parte superior presenta dos ranuras para encajar los Muelles de fijación exterior y un agujero en uno de los laterales para poder conectar a la red eléctrica la luminaria. En la parte interior se puede observar una ranura para introducir una junta de estanqueidad y una serie de salientes y nervios para poder atornillas los distintos elementos.

El difusor tiene una forma curva como achatada y un reborde lateral que recorre todo el perímetro que utiliza para encajarse en la carcasa sin clips. El bode superior termina en cuña para poder clavarse bien en la junta de estanqueidad y cerrar el contacto con el exterior.

### 4.4.2.3 Análisis de Usuario

Para este producto existen varios usuarios diferenciados, de los cuales, únicamente me voy a centrar en los relacionados con la vida útil del producto.

El primero es el usuario comprador, que no es directamente el beneficiario. Está interesado en iluminar alguna de sus propiedades o fábricas para permitir unas buenas

condiciones de trabajo. Por otro lado, y en concreto es este proyecto, el usuario busca alternativas de luminarias que sigan la actual tendencia de productos eco que tienen menor impacto. Esta luminaria le tiene que aportar la sensación a primera vista de ser un producto eficiente y fabricado en materiales ecológicos. A la vez debe cumplir los estándares y requisitos del cliente y las normativas vigentes.

El usuario beneficiario es aquel que necesita la luz que emite la luminaria para desarrollar correctamente sus tareas. Esto implica que no debe deslumbrar al mirarla directamente, y generar una luz difusa para suavizar las sombras. Este usuario no participa en la elección del producto, y mientras tenga buenas condiciones de trabajo, permanece ignorante a otros temas relacionados con la luminaria.

El usuario que se dedica a la instalación y mantenimiento de la luminaria. Es un trabajador que desarrolla su actividad en altura en términos generales, por lo que la instalación de la luminaria debe ser lo más sencilla y rápida posible. Al igual que el mantenimiento, debe facilitarse para la intercambiabilidad de los componentes y poder limpiar la luminaria con los productos más básicos.

Finalmente está el contra usuario, que es aquel que por diversión o el motivo que sea va a emplear el producto de manera negativa. Tratando de golpearlo y romperlo con objetos duros o proyectiles como piedras y en los peores casos, colgándose del producto. Su actividad genera un impacto negativo económico a todos los usuarios mencionados.

#### 4.4.2.4 Análisis de Entorno

El entorno donde va a desarrollar su vida útil son entornos exigentes como, por ejemplo: parkings, locales húmedos o en la industria alimenticia donde las condiciones de higiene están muy controladas, zonas exteriores cubiertas, así como de áreas con atmósferas adversas y con químicos. Principalmente el montaje se realiza en techos y paredes. También se puede colocar en áreas con una planificación luminotécnica exigente, por ejemplo, las escaleras. Los espacios públicos pueden dar lugar a vandalismo de todo tipo.

#### 4.4.2.5 Análisis formal de mercado

En el moodboard adjunto a los anexos y que aquí se puede ver en miniatura se ven representadas múltiples luminarias con la carcasa fabricada en aluminio y otras con el difusor de vidrio. En este estudio se estudian principalmente las luminarias de uso industrial y de interior.



Desde el aspecto formal:

Las luminarias de carcasa en aluminio son formas con geometrías muy básicas de prisma sin ningún tipo de adorno o ornamento. La superficie es lisa en algunos casos pintadas en colores neutros y otras mantienen la textura del material. También se pueden apreciar dos tipos de construcción de luminarias. Unas fabricadas con un perfil de aluminio y otras mediante inyección de metal. Las luminarias construidas con un perfil incorporan dos piezas que actúan como tapas.

Ilustración 23: Moodboard Luminarias

Los difusores de vidrio tienen la superficie en contacto con el exterior para evitar que la suciedad se retenga. En la parte interior, en algunos casos presenta cierta textura que ayuda en la difusión de la luz. La curvatura del difusor es muy variable y responde a factores fotométricos

#### 4.4.2.5.1 Requisitos de producción

Los distintos materiales implican también requisitos de diseño específicos que se deben tener en cuenta para asegurar la viabilidad de la producción.

A continuación dejo una tabla resumen de los requisitos de producción para inyección de la carcasa en aluminio y estampado de chapa: (*El moldeo por inyección de metal*, s. f.)

Tabla 28: Recomendaciones para la fabricación de piezas de chapa

Recomendaciones para fabricación de piezas de chapa:	
Espesor (e)	0,5 a 6 mm
Ancho mínimo de pliegue	4*espesor del material + radio de doblado
Radio del pliegue	$R_{interior} \geq e$
Distancia a borde	1,5e - 2e
Distancia a pliegue	1,5e
Diametro mínimo	2
Separación entre agujeros	2e-3e
Referencia	(Cuesta et al., 2000)

ATRIBUTO	TÍPICO	MÁXIMO	MÍNIMO
Espesor de pared	3-9 mm	25 mm	0,3 mm
Variación de espesor	x 1,5	x 5	-
Dimensión máxima	-	150 mm	-
Dimensión mínima	-	-	0,2 mm
Peso	5-20 g	120 g	0,05 g
Diámetro de agujeros	5-10 mm	-	0,2 mm
Rugosidad superficial	8 $\mu$ m	4 $\mu$ m	20 $\mu$ m
Tolerancia general	+/- 0,5%	+/- 0,3%	-
Radios	0,3 mm	-	0,1 mm
Angulo de desmoldeo	1°	-	0,5°
Densidad	98,5 %	100 %	97 %
Complejidad geométrica	media / alta	muy alta	-
Producción anual	3000.000	millones	5.000

Tabla 27: Recomendaciones para la fabricación de piezas inyectadas

#### 4.4.3 Fase II & III – Definición y selección de conceptos

Para la exploración de conceptos, me he basado principalmente en la exploración mediante bocetos e ilustraciones atendiendo los requisitos de los procesos de fabricados y todo lo estudiado en la fase anterior.

En el caso de sustituir la carcasa de PC virgen por PC reciclado, aparece el problema de que el PC reciclado no tiene la misma calidad por lo cual, se complica la producción de las geometrías complejas que componen la luminaria como por ejemplo: Los salientes que sujetan el difusor a la luminaria sin tornillos. Por ello, para facilitar el diseño y evitar problemas de desmoldeo incluyo en el montaje de todas las alternativas clips para poder sujetar las dos partes de la luminaria

Para la luminaria con carcasa en aluminio me he basado en los diseños de los modelos ZALEDA y NEXTREMA de ZALUX Y TRILUX, los cuales he explorado formalmente buscando un equilibrio entre los requerimientos del producto y calidad visual de diseño industrial.

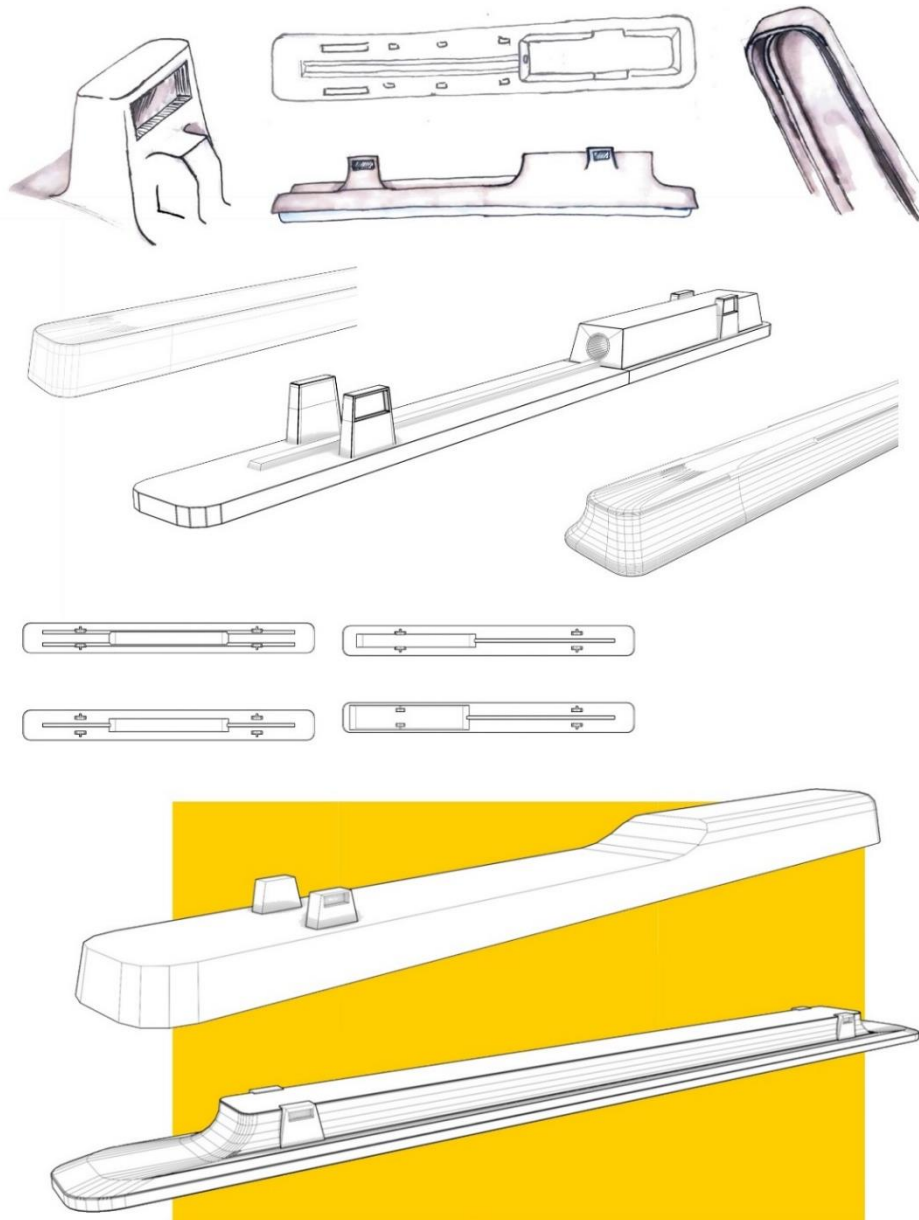


Ilustración 24: Exploración formal luminarias

#### 4.4.3.1 Difusor de vidrio

Consiste en un difusor de 5mm de espesor fabricado en Vidrio que ha sido modelado a partir de un modelo 3D de la luminaria de referencia para mantener y asegurar que tenga la misma geometría que la versión en Policarbonato manteniendo así la modularidad y la compatibilidad entre las alternativas de la luminaria. A continuación, se pueden observar unas imágenes obtenidas de Solidworks del difusor completo y su sección.



Ilustración 25: Difusor de Vidrio

Porcentaje de reducción del impacto respecto a la pieza de referencia en RECIPE 2016 y en kg. Co2 eq. considerando la misma transparencia que el PC.

Tabla 29: Impacto del difusor fabricado en vidrio

DIFUSOR	Peso (g.)	IMPACTO RECIPE	IMPACTO Kg. Co2 eq.
Vidrio	2924,86	145,880317	3,024305

Tabla 30: Porcentaje de reducción del impacto del difusor en vidrio respecto al de referencia

	Porcentaje de Reducción RECIPE				Porcentaje de Reducción, kg. Co2 eq.			
	Luminaria + uso	Luminaria	Estructura mecánica	Pieza	Luminaria + uso	Luminaria	Estructura mecánica	Pieza
Vidrio	0,07%	0,70%	2,62%	10,32%	0,32%	4,96%	12,08%	37,77%



#### 4.4.3.2 Carcasa de Aluminio inyectado

Se plantea el diseño de una carcasa en aluminio inyectado semejante a la de los modelos Nextrema, adaptando el diseño al modelo Aragonfit 1500. Para estimar el impacto de las piezas fabricadas en estos materiales alternativos se necesitó primero calcular el peso de la pieza resultante realizando un modelado en SOLIDWORKS inspirado en otros modelos de luminarias fabricadas en Aluminio. El espesor de la carcasa fabricada en metal inyectado que voy a usar es de 2,6mm. A continuación, se muestra una imagen del modelo obtenido en 3D.

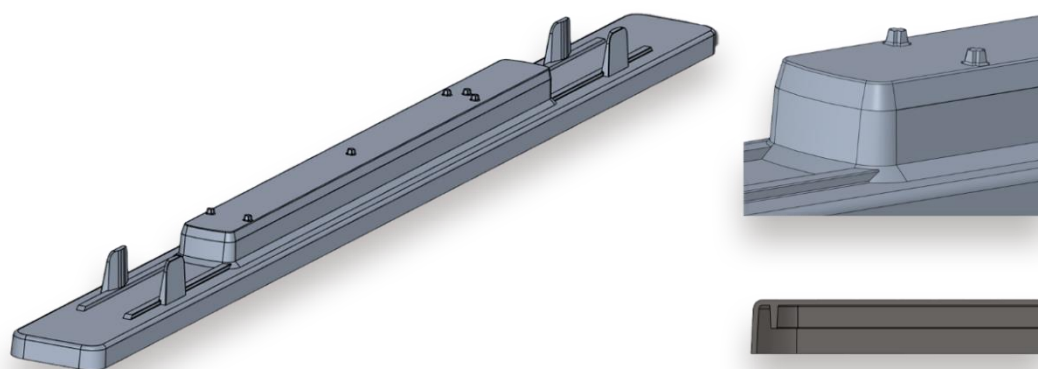


Ilustración 26: Carcasa en inyección de aluminio

En la tabla siguiente se muestra el peso y el impacto ambiental en RECIPE 2016 y kg. Co2 eq. resultante con la pieza fabricada en los distintos materiales alternativos.

Tabla 31: Peso e impacto de la carcasa fabricada en Aluminio y aluminio reciclado

CARCASA	Peso (g.)	IMPACTO RECIPE	IMPACTO Kg. Co2 eq.
PC	840	262,26	7,84
Aluminio EN-47100	2621	527,21	10,21
Aluminio reciclado	2621	411,73	5,62

Porcentaje de reducción del impacto respecto a la pieza de referencia en RECIPE 2016 y en kg. Co2 eq.

	Porcentaje de Reducción RECIPE				Porcentaje de Reducción, kg. Co2 eq.			
	Luminaria + uso	Luminaria	Estructura mecánica	Pieza	Luminaria + uso	Luminaria	Estructura mecánica	Pieza
Aluminio EN-47100	-1,06%	-11,09%	-41,27%	-101%	-0,41%	-6,42%	-15,62%	-30%
Aluminio reciclado	-0,60%	-6,25%	-23,28%	-56,99%	0,39%	6,00%	14,60%	28,31%

#### 4.4.3.3 Carcasa de chapa

El diseño de este concepto viene principalmente condicionado por los requisitos de fabricación. Está pensado para fabricarse mediante chapa de aluminio o acero. Se pretende asemejar a la geometría de la luminaria original, pero con una serie de adaptaciones debido a las limitaciones del proceso: se le ha añadido una chapa soldada que actúa de soporte para poder atornillar y asegurar los componentes de la luminaria. El espesor de la chapa es de 1 mm, aunque podría ser menor. Los materiales que se van a

estudiar son: Chapa de aluminio y Chapa de Acero. Este es el modelo 3D utilizado para estimar el peso de esta alternativa de carcasa.

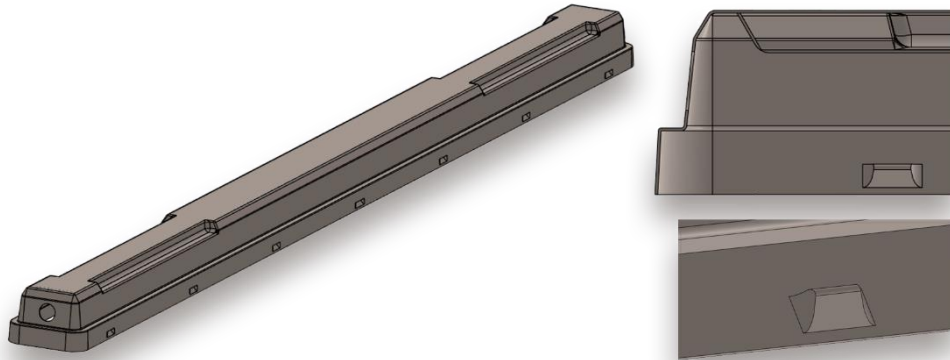


Ilustración 27: Carcasa en Chapa de aluminio

En la tabla siguiente muestra el peso y el impacto ambiental en RECIPE 2016 y kg. Co2 eq. resultante con la pieza fabricada en los distintos materiales planteados.

CARCASA	Peso (g.)	IMPACTO RECIPE	IMPACTO Kg. Co2 eq.
Chapa de Aluminio	1339,87	238,01	4,39
Chapa de Aluminio RE	1339,87	125,73	2,06
Chapa de Acero Pintada	4581,12	1188,82	14,07

Porcentaje de reducción del impacto respecto a la pieza de referencia en RECIPE 2016 y en kg. Co2 eq.

	Porcentaje de Reducción RECIPE				Porcentaje de Reducción, kg. Co2 eq.			
	Luminaria + uso	Luminaria	Estructura mecánica	Pieza	Luminaria + uso	Luminaria	Estructura mecánica	Pieza
Chapa de Aluminio	0,10%	1,01%	3,78%	9,25%	0,60%	9,33%	22,71%	44,03%
Chapa de Aluminio RE	0,54%	5,71%	21,27%	52,06%	1,00%	15,61%	38,01%	73,69%
Chapa de Acero Pintada	-3,69%	-38,77%	-144,32%	-353%	-1,08%	-16,85%	-41,01%	-79%

## 5 Comparativa y resumen

Tras haberse estudiado los distintos escenarios planteados, se hace una recopilación de los resultados obtenidos. En la siguiente tabla, se pueden contemplar la mejor combinación de materiales de cada escenario por separado. También se han incluido la mejor combinación de materiales de todos los estudiados.

Tabla 32: Opción de mínimo impacto de los distintos escenarios

	Opción de mínimo impacto con:				
	ORIGINAL	OPCIÓN DE MÍNIMO IMPACTO <sup>6</sup>	PLÁSTICOS CONVENCIONALES	MATERIALES ECO	SIN PLÁSTICOS
<b>Difusor</b>	PC	PC	PMMA*	DURABIO*	Vidrio*
<b>Carcasa</b>	PC	Mech recycled	ASA*	Mech recycled*	Chapa de Aluminio Re*

Se representa el peso de las distintas combinaciones de materiales en gramos.

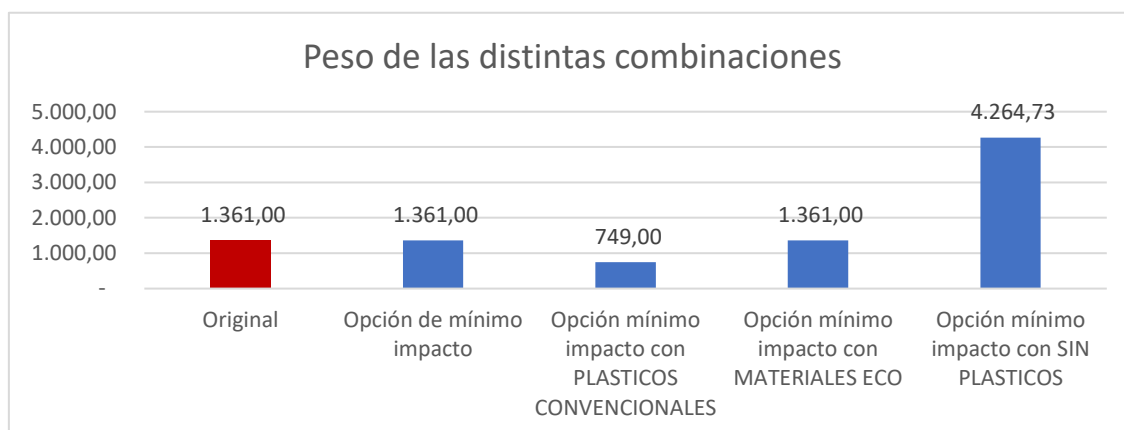


Ilustración 28: Peso de la luminaria con las distintas combinaciones

Se ha considerado la potencia que supondría cada alternativa en función de la transparencia del difusor para obtener los los 4100 lumenes que emite la OLEVEON FIT dependiendo de la transparencia del material con el que se fabrica el difusor.

<sup>6</sup> Manteniendo una unidad funcional similar

Se representa el impacto de la carcasa más el difusor de todas las combinaciones solo.

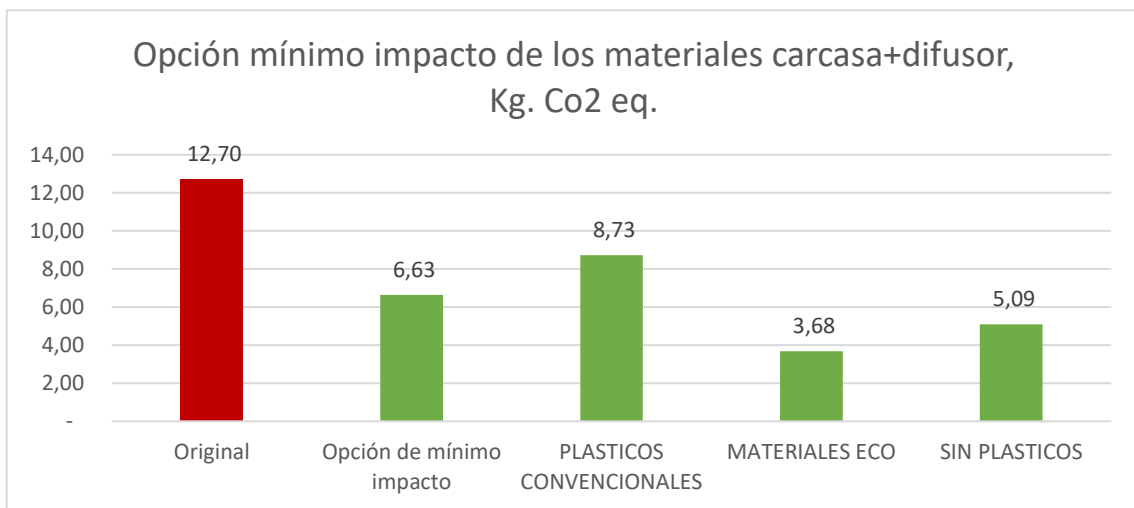
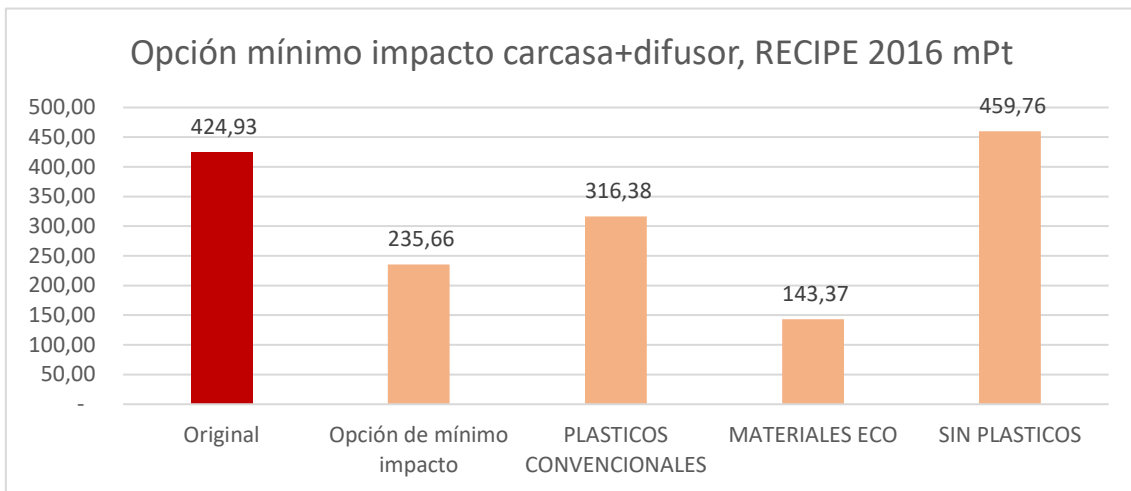


Ilustración 29: Impacto de la carcasa más el difusor de las combinaciones

Se muestra el impacto de la luminaria total + uso considerando la diferencia de transparencia entre el PC y el PMMA en los escenarios correspondientes:

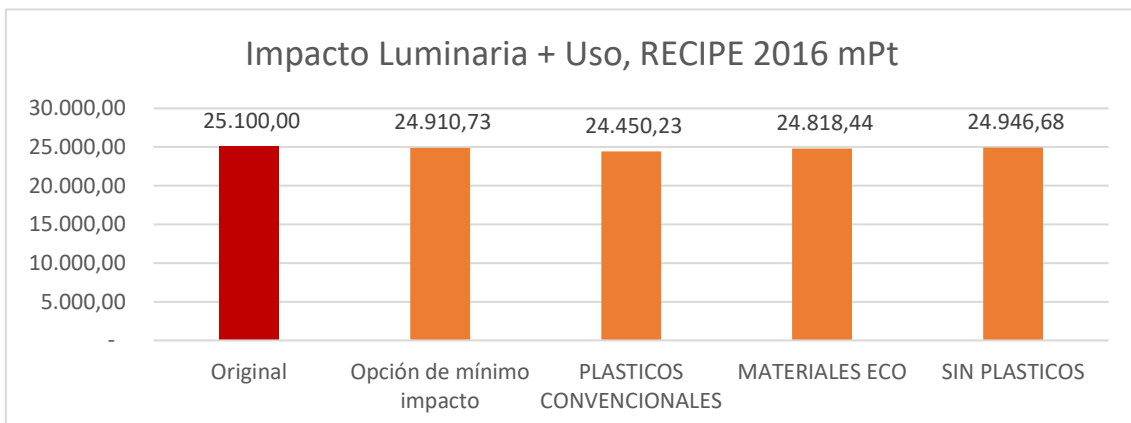
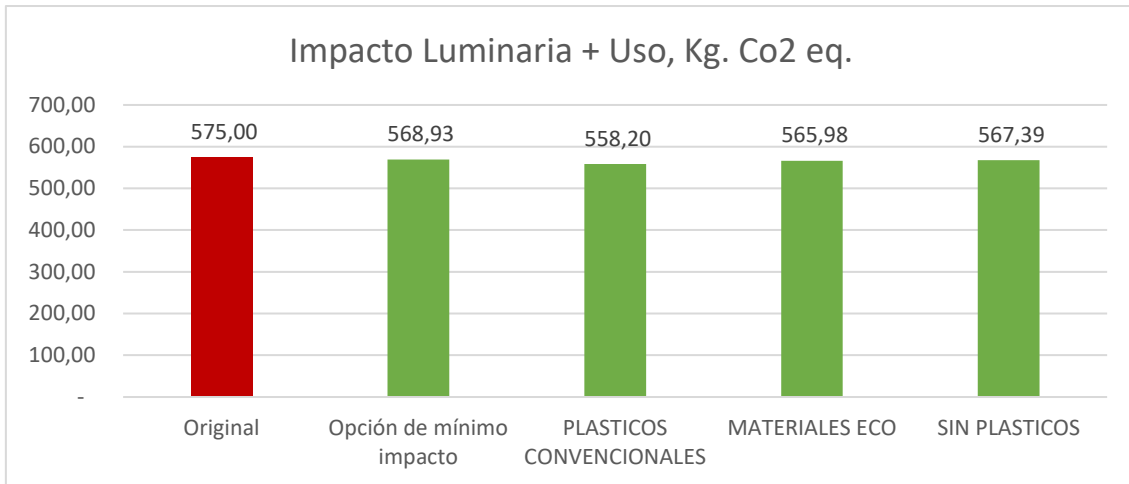


Ilustración 30: Impacto de la luminaria total + Uso considerando la transparencia



Impacto y porcentaje de reducción ponderado por luminaria + uso, conjunto de la luminaria, la parte mecánica y los materiales de referencia, en RECIPE:

Tabla 33: Impacto y porcentaje de reducción en ReCiPe 2016 de las distintas combinaciones

	Impacto Total, mPt			Porcentaje de Reducción RECIPE			
	Luminaria + uso	Luminaria	Estructura mecánica	Luminaria + uso	Luminaria	Estructura mecánica	Piezas
Original	2,51E+04	2,39E+03	6,42E+02				
<b>Opción de mínimo impacto</b>	2,49E+04	2,20E+03	4,53E+02	<b>0,75%</b>	7,92%	29,48%	44,54%
<b>Opción mínimo impacto con PLASTICOS CONVENCIONALES</b>	2,45E+04	2,28E+03	5,33E+02	<b>2,589%</b>	4,542%	16,908%	25,545%
<b>Opción mínimo impacto con MATERIALES ECO</b>	2,48E+04	2,11E+03	3,60E+02	<b>1,12%</b>	11,78%	43,86%	66,26%
<b>Opción mínimo impacto SIN POLIMEROS</b>	2,49E+04	2,24E+03	4,89E+02	<b>0,611%</b>	6,415%	23,881%	36,081%

Impacto y porcentaje de reducción ponderado por luminaria + uso, conjunto de la luminaria, la parte mecánica y los materiales de referencia, en kg.Co2 eq.:

Tabla 34: Impacto y porcentaje de reducción en Kg. Co2 eq. de las distintas combinaciones

	Impacto Total, kg. Co2 eq.			Porcentaje de Reducción, kg. Co2 eq.			
	Luminaria + uso	Luminaria	Estructura mecánica	Luminaria + uso	Luminaria	Estructura mecánica	Piezas
Original	5,75E+02	3,70E+01	1,52E+01				
<b>Opción de mínimo impacto</b>	5,69E+02	3,09E+01	9,13E+00	1,06%	16,40%	39,91%	47,76%
<b>Opción mínimo impacto con PLASTICOS CONVENCIONALES</b>	5,58E+02	3,30E+01	1,12E+00	2,92%	10,74%	26,14%	31,28%
<b>Opción mínimo impacto con MATERIALES ECO</b>	5,66E+02	2,80E+01	6,18E+00	1,57%	24,39%	59,36%	71,04%
<b>Opción mínimo impacto SIN POLIMEROS</b>	5,67E+02	2,94E+01	7,59E+01	1,32%	20,58%	50,10%	59,95%

## 6 Conclusiones

Respecto de la luminaria y los escenarios estudiados se pueden obtener las siguientes conclusiones:

Dentro de los aspectos generales de la luminaria, el trabajo se ha centrado principalmente en los componentes plásticos, los cuales representan un 68.22% del impacto de la estructura mecánica. De ellos, la carcasa y difusor son los más representativos y son el 1,69% del impacto total de la luminaria considerando también el uso. El resto de los componentes suponen aproximadamente un 2% de impacto ambiental y se van a depreciar en el resto de las conclusiones.

Partiendo de este primer análisis y estudiados los escenarios alternativos, se pueden obtener las siguientes conclusiones:

La sustitución del PC por otros plásticos convencionales muestra que genera mejoras muy pequeñas en el impacto ambiental total de la luminaria, por debajo del 1% incluyendo la etapa de uso. El principal problema, es que no se garantiza la misma unidad funcional y, por tanto, tampoco las mismas características funcionales de la luminaria.

La sustitución por plásticos "ECO", también obtiene unas mejoras muy pequeñas en el impacto ambiental total de la luminaria, por debajo del 1% si incluimos la etapa de uso. La mayor mejora se obtiene con la utilización de PC reciclado mecánico en la carcasa. En el caso del difusor no se podría utilizar por la pérdida de transparencia que supone el reciclado del material.

Considerando la fabricación del difusor en vidrio podría suponer una ligera mejora en el impacto ambiental de la luminaria, y para confirmarlo habría que hacer un estudio sobre el diseño del difusor en vidrio más exhaustivo y las características del material exacto. Esto nos permitiría confirmar los valores de impacto ambiental utilizados. En caso de utilizar este material, supondría un notable aumento de peso de la luminaria con los inconvenientes funcionales y de transporte que esto podría traer, así como de la variación de la funcionalidad de la luminaria.

De los escenarios analizados de la carcasa fabricada en metal, únicamente la opción de carcasa en chapa en aluminio podría plantear ventajas desde el punto de vista de impacto ambiental y podría ser valorado en más detalle desde otros puntos de vista: viabilidad técnica, económica, etc.

Como se puede contemplar en los resultados, existen diferencias entre el impacto en ReCiPe 2016 y kg. Co2 eq., esto es porque se trata de dos metodologías de evaluación del impacto ambiental distintas. La diferencia entre las dos es que ReCiPe 2016, contempla más indicadores de impacto como el impacto sobre la salud humana, sobre el ecosistema y los recursos disponibles. ReCiPe 2016 está más actualizado y se puede considerar más exacto que kg. Co2 eq.

Este proyecto de final de carrera se debe tomar más como un punto de partida o como modelo de Ecodiseño en la elección de los materiales. Ya que los datos de impacto ambiental de estos materiales ECO, en la mayoría de los casos, se obtienen del fabricante, que son parte interesada, por lo que la calidad de estos está por contrastar. Se pueden considerar datos de buena calidad correspondientes al reciclado mecánico. Un ejemplo

es el PC Makrolon, un plástico convencional de origen fósil equivalente al PC virgen pero fabricado, en teoría, con medios más sostenibles.

Como se puede ver representado en los resultados, es más importante el uso coherente de los materiales que el propio impacto del material. Por ejemplo, teniendo en cuenta la transparencia teórica del PMMA para el difusor, el impacto del conjunto más el uso del ciclo de vida de la luminaria, se reduce considerablemente en comparación a la luminaria de referencia porque necesita menos potencia para emitir los mismos lumens. El problema es la unidad funcional, no se mantiene, haciendo el producto más frágil por lo que no se puede afirmar que el producto fuese el mismo. Habría que validar aspectos como el comportamiento a impacto, la procesabilidad, la validez de geometría/diseño de la pieza, costes, transparencia en difusores, y otras características funcionales.

Este proyecto es extrapolable a la mayoría de luminarias estancas que se fabrican actualmente y viendo este estudio en perspectiva, no se puede “demonizar” o excluir al plástico como un potencial material por la creencia popular de que son malos simplemente. Como se demuestra en este proyecto, de todos los materiales estudiados, es el que menos impacta y una gestión responsable y circular del mismo puede suponer una mejora notable desde el punto de vista ambiental. Su principal ventaja es que los plásticos en general, por su ligereza, facilitan un uso eficiente de los recursos energéticos durante su fabricación, transporte y posterior aplicación. Y al final de su vida útil pueden reciclarse o valorizarse energéticamente.

Por supuesto, hay que diferenciar los productos de media-larga duración de los de corta o de usar y tirar porque en esos casos, los materiales eco y los no poliméricos pueden suponer una gran diferencia positiva en comparación con los materiales actualmente usados.

En este tipo de productos, la clave para un menor impacto ambiental es la eficiencia de la luminaria y la gestión de la energía mediante sensores de luz y movimiento, evitando el desperdicio de energía en entornos y situaciones que no necesitan de esa luz.



## 7 Índice de figuras

Ilustración 1: Clasificación de los bioplásticos según su procedencia.....	8
Ilustración 2: Obtención del impacto ambiental con Ecotool.....	14
Ilustración 3: Árbol de descomposición del proyecto de Ecotool.....	14
Ilustración 4: Ejemplo de representación de los resultados globales en Excel.....	14
Ilustración 5: Ejemplo del Excel para el cálculo del impacto ambiental.....	14
Ilustración 6: Impacto General, Driver estándar, RECIPE 2016 y Kg. CO2 eq.....	16
Ilustración 7: Impacto Uso y Conjunto.....	16
Ilustración 8: Impacto de los elementos de la estructura mecánica.....	17
Ilustración 9: Impacto de los elementos de la estructura mecánica por hora.....	17
Ilustración 10: Impacto de los elementos de la estructura mecánica por hora y lumen.....	18
Ilustración 11: Impacto del uso con driver en detalle.....	19
Ilustración 12: Impacto general con driver en detalle.....	19
Ilustración 13: Impacto del uso con driver en detalle y sensor.....	20
Ilustración 14: Impacto general con driver en detalle y sensor.....	20
Ilustración 15: Impacto general con driver en detalle y sensor aplicando la normativa francesa.....	21
Ilustración 16: Impacto elementos de la estructura mecánica en ReCiPe 2016.....	22
Ilustración 17: Impacto total de los materiales de la estructura mecánica en ReCiPe 2016.....	24
Ilustración 18: Impacto elementos de la estructura mecánica en Kg. Co2 eq.....	25
Ilustración 19: Impacto total de los materiales de la estructura mecánica en Kg. Co2 eq.....	27
Ilustración 20: Impacto Biomateriales obtenida de Kaipainen, 2020.....	33
Ilustración 21: Impacto del difusor fabricando en materiales ECO.....	38
Ilustración 22: Impacto Carcasa en materiales ECO.....	39
Ilustración 23: Moodboard Luminarias.....	45
Ilustración 24: Exploración formal luminarias.....	47
Ilustración 25: Difusor de Vidrio.....	48
Ilustración 26: Carcasa en inyección de aluminio.....	49
Ilustración 27: Carcasa en Chapa de aluminio.....	50
Ilustración 28: Peso de la luminaria con las distintas combinaciones.....	51
Ilustración 29: Impacto de la carcasa más el difusor de las combinaciones.....	52
Ilustración 30: Impacto de la luminaria total + Uso considerando la transparencia.....	52

## 8 Índice de tablas

Tabla 1: Inventario Luminaria .....	13
Tabla 2: Inventario Driver .....	15
Tabla 3: Inventario Sensor .....	15
Tabla 4: Comparativa del impacto driver estándar-detalle .....	19
Tabla 5: Impacto de los elementos de la estructura mecánica respecto al conjunto en ReCiPe 2016 .....	23
Tabla 6: Final de vida de los materiales de la Estructura mecánica .....	24
Tabla 7: Desglose de las piezas de mayor impacto de la estructura mecánica .....	24
Tabla 8: Impacto de los elementos de la estructura mecánica respecto del conjunto en Kg. Co2 eq. ....	26
Tabla 9: Desglose del impacto de las piezas de mayor impacto en kg. Co2 eq.....	27
Tabla 10: Propiedades del PC, SAN y PMMA.....	28
Tabla 11: impacto del difusor fabricado en PC, PMMA, SAN y PET .....	28
Tabla 12: Potencia necesaria para obtener 4100 lúmenes según el material .....	29
Tabla 13: Comparativa en RECIPE 2016 y kg. Co2 eq. de la reducción del impacto cambiando los materiales del difusor .....	29
Tabla 14: Propiedades PC, ABS, ASA, SMC y PET .....	30
Tabla 15: Impacto de la carcasa fabricada en distintos materiales .....	30
Tabla 16: Porcentaje de reducción del impacto de la carcasa fabricada en distintos materiales ..	30
Tabla 17: Comparativa entre polímeros biobasados y su análogo fósil .....	34
Tabla 18: Porcentaje que se reduce de impacto sustituyendo el PC del Difusor por un material ECO.....	38
Tabla 19: Porcentaje que se reduce de impacto sustituyendo el PC de la carcasa por un material ECO.....	39
Tabla 20: Propiedades PC, Aluminio, Titanio y Acero .....	40
Tabla 21: Impacto en ReCiPe 2016 y kg. Co2 eq. de la carcasa fabricada de Al, y Acero .....	41
Tabla 22: Porcentaje de reducción del impacto respecto a la carcasa de referencia en RECIPE 2016 y en kg. Co2 eq. en Al y Acero .....	41
Tabla 23: Propiedades PC y Vidrio .....	42
Tabla 24: Volumen estimado del difusor en vidrio .....	42
Tabla 25: Planificación rediseño de la Carcasa y el Difusor .....	43
Tabla 26: Funciones de la luminaria .....	44
Tabla 28: Recomendaciones para la fabricación de piezas de chapa .....	46
Tabla 27: Recomendaciones para la fabricación de piezas inyectadas .....	46
Tabla 29: Impacto del difusor fabricado en vidrio.....	48
Tabla 30: Porcentaje de reducción del impacto del difusor en vidrio respecto al de referencia...	48
Tabla 31: Peso e impacto de la carcasa fabricada en Aluminio y aluminio reciclado .....	49
Tabla 32: Opción de mínimo impacto de los distintos escenarios .....	51
Tabla 33: Impacto y porcentaje de reducción en ReCiPe 2016 de las distintas combinaciones...	53
Tabla 34: Impacto y porcentaje de reducción en Kg. Co2 eq. de las distintas combinaciones .....	54

## 9 Bibliografía

1. Brizga, J., Hubacek, K., & Feng, K. (2020). The Unintended Side Effects of Bioplastics: Carbon, Land, and Water Footprints. *One Earth*, 3(1), 45-53. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.06.016>
2. Corbière-Nicollier, T., Gfeller Laban, B., Lundquist, L., Leterrier, Y., Månson, J.-A. E., & Jolliet, O. (2001). Life cycle assessment of biofibres replacing glass fibres as reinforcement in plastics. *Resources, Conservation and Recycling*, 33(4), 267-287. [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(01\)00089-1](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(01)00089-1)
3. Cuesta, E., Rico, J. C., & Sabino Mateos. (2000). *Conformado de Chapa por plegado*.
4. Dureza Brinell. (2021). En *Wikipedia, la enciclopedia libre*. [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Dureza\\_Brinell&oldid=139155499](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Dureza_Brinell&oldid=139155499)
5. *El moldeo por inyección de metal*. (s. f.). Interempresas. Recuperado 19 de junio de 2022, de <https://www.interempresas.net/Deformacion-y-chapa/Articulos/39195-El-moldeo-por-inyeccion-de-metal.html>
6. *EN AC-47100 (47100-F, AlSi12Cu1(Fe)) Cast Aluminum: MakeltFrom.com*. (s. f.). Recuperado 16 de junio de 2022, de <https://www.makeitfrom.com/material-properties/EN-AC-47100-47100-F-AlSi12Cu1Fe-Cast-Aluminum>
7. Joshi, S. V., Drzal, L. T., Mohanty, A. K., & Arora, S. (2004). Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites? *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 35(3), 371-376. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2003.09.016>
8. Kaipainen, I. (2020). CARBON FOOTPRINT OF BIO-BASED POLYPROPYLENE VIA HYDROTREATMENT AND STEAM CRACKING. 92.
9. Luttrupp, C., & Lagerstedt, J. (2006). EcoDesign and The Ten Golden Rules: Generic advice for merging environmental aspects into product development. *Journal of Cleaner Production*, 14(15), 1396-1408. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.11.022>
10. Momani, B. L. (2009). Assessment of the Impacts of Bioplastics: Energy Usage, Fossil Fuel Usage, Pollution, Health Effects, Effects on the Food Supply, and Economic Effects Compared to Petroleum Based Plastics. 59.
11. PSR. (2018). PEP ecopassport® PROGRAM PSR SPECIFIC RULES FOR LUMINAIRES.
12. Remar, R. E. y M. (2011). *Bioplásticos* (Septiembre 2011). Red Remar. [www.redremar.com](http://www.redremar.com)
13. SANMETAL, S.A. - *Division Termoplásticos: Policarbonato - PC*. (s. f.). Recuperado 15 de junio de 2022, de <https://www.sanmetal.es/productos/termoplasticos/policarbonato-pc/16>
14. Schwarzkopf, M. J., & Burnard, M. D. (2016). Wood-Plastic Composites—Performance and Environmental Impacts. En A. Kutnar & S. S. Muthu (Eds.), *Environmental Impacts of Traditional and Innovative Forest-based Bioproducts* (pp. 19-43). Springer Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-0655-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-10-0655-5_2)
15. Spierling, S., Knüpfner, E., Behnsen, H., Mudersbach, M., Krieg, H., Springer, S., Albrecht, S., Herrmann, C., & Endres, H.-J. (2018). Bio-based plastics—A review of environmental, social and economic impact assessments. *Journal of Cleaner Production*, 185, 476-491. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.014>
16. *Titanio—Resistencia—Dureza—Elasticidad—Estructura cristalina*. (2021, julio 23). Material Properties. <https://material-properties.org/es/titanio-resistencia-dureza-elasticidad-estructura-cristalina/>
17. Weiss, M., Haufe, J., Carus, M., Brandão, M., Bringezu, S., Hermann, B., & Patel, M. K. (2012). A Review of the Environmental Impacts of Biobased Materials. *Journal of Industrial Ecology*, 16(s1), S169-S181. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00468.x>
18. ZALEDA EVOL G2. (s. f.). ZALUX. Recuperado 16 de junio de 2022, de <https://www.zalux.com/zaleda-evol-g2/>