

03-029

LIFE CYCLE ANALYSIS HIGHLIGHTING THE INFLUENCE OF LOGISTICS IN REDUCING ENVIRONMENTAL IMPACT.

Puertas van Londen, Lucía Renate (1); de las Heras García de Vinuesa, Ana (1); Luque Sendra, Amalia (1)

(1) Universidad de Sevilla

This project starts with the collection of information on ecodesign, delving into the concept of sustainability and its relationship with the product manufacturing industry. Different methodologies are applied in the process to generate ideas, to evaluate alternatives and an impact analysis is carried out associating the methodology to the PLM system to create a database that allows us to carry out subsequent analyzes with less uncertainty. 200 units of the resulting design have been manufactured, making it easier to collect information during the process and thus know the impact caused during its production. After this, a comparison is made between the carbon footprint caused by two variants of the same product, knowing how logistics influence the total impact of the product. The simple decision of whether the product is sent complete or disassembled can make a significant change and cause a product that is not considered sustainable to reduce its footprint so that we can compare it to locally manufactured products. All these considerations that have been taken into account can be seen reflected when carrying out the Life Cycle Analysis, allowing us to quantify the environmental impacts of the design presented.

Keywords: Sustainability; Ecodesign; Environmental impact analysis; Life Cycle Analysis.

ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA REMARCANDO LA INFLUENCIA DE LA LOGÍSTICA EN LA REDUCCIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL.

El proyecto comienza desde la recopilación de información sobre el ecodiseño profundizando en el concepto de sostenibilidad y su relación con la industria fabricante de productos. Se aplican en el proceso diferentes metodologías para la generación de ideas, la evaluación de alternativas y se realiza un análisis de impactos asociando la metodología al sistema PLM para crear una base de datos que nos permita realizar posteriores análisis con menos incertidumbre. La fabricación de 200 unidades del diseño resultante hace más fácil la recopilación de información durante el proceso de fabricación y así conocer el impacto provocado durante su producción. Tras esto se realiza una comparación entre la huella de carbono provocada por dos variantes del mismo producto, conociendo cómo influye la logística en el impacto total. La simple decisión de si el producto se manda completo o desmontado puede provocar un cambio significativo y conseguir que un producto que no se considera sostenible reduzca su huella de manera que podamos compararlo a productos fabricados de manera local. Todas estas consideraciones que se han tenido en cuenta se pueden ver reflejadas en el Análisis del Ciclo de Vida que nos permite cuantificar los impactos ambientales del diseño presentado.

Palabras clave: Sostenibilidad; Ecodiseño; Análisis de impacto ambiental; Análisis de Ciclo de Vida.

Correspondencia: Lucía Renate Puertas van Londen. Correo: luciapuertas96@gmail.com



©2022 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

Es necesaria una nueva forma de pensar con implicaciones ambientales, económicas y sociales. Cada vez son más las empresas involucradas en los problemas ambientales ya que se están concienciando de que vivimos en un sistema de interacciones y que detrás de cada producto hay un ciclo de vida durante el cual se generan residuos y se generan emisiones que ponen en riesgo al sistema del que formamos parte (A. Murray, K. Skene, & K. Haynes, 2017).

Hay que remarcar que los conceptos “ecológico” y “sostenible” no son sinónimos. La sostenibilidad engloba a lo ambiental siendo una reflexión mucho más profunda, que incorpora cuestiones que ahondan en lo social y económico. “Ecológico” constituye una condición necesaria, pero no suficiente para ser “sostenible”, aunque frecuentemente y más ahora que la sostenibilidad se ha convertido en una variable estratégica de marketing, nos hayamos acostumbrado a que productos como un bajo consumo de energía se asocien directamente con el calificativo de “sostenible”.

A raíz del desarrollo industrial se ha ido separando el metabolismo social y el natural creándose sistemas independientes en coexistencia provocando el distanciamiento entre el capital natural y el social. Esta distancia entre los sistemas genera impactos provocados por el agotamiento y sobreexplotación de recursos naturales y humanos aumentando la contaminación atmosférica, acuática y terrestre, daño a la salud humana, cambios en la usabilidad del suelo, deforestación y destrucción de bosques y explotación de la energía no renovables (N. Bocken & S. Short, 2021; M. E. Peralta et al, 2016).

El informe WCED (1987) Our Common Future, más conocido como "el informe Brundtland", establece los valores y principios que aún enmarcan el debate sobre el desarrollo sostenible. Fue una respuesta positiva a las graves preocupaciones planteadas por autores como D.H. Meadows (1972) para el Club de Roma, afirmando que “La humanidad tiene la capacidad de hacer sostenible el desarrollo para asegurar el cumplimiento de las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”.

En general, el concepto “sostenible” es visto como un principio que abarca tres dimensiones simultáneamente: calidad ambiental, prosperidad económica y equidad social (J. Kirchherr, D. Reike & M. Hekkert, 2011). Mientras tanto, el informe WCED destaca particularmente el componente intergeneracional de estos tres objetivos de desarrollo sostenible argumentando que deben cumplirse “sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras” (WCED, 1987). Por lo tanto, debemos conocer cómo afectará estas tres dimensiones de nuestro producto en un futuro.

2. Objetivos

El objetivo principal de este documento es presentar un diseño basado en los pilares de la sostenibilidad mostrando de forma práctica los principios del ecodiseño. Aplicando en el proceso diferentes metodologías para la generación de ideas (B. Munari, 2016), otras para evaluación de alternativas y realizando un análisis de impactos mediante un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) asociando la metodología al sistema PLM (Product Life Management) para crear una base de datos que nos permita realizar posteriores análisis con menos incertidumbre (Ciroth et al, 2018).

Al final del proyecto se realiza un Análisis del Ciclo de Vida con la intención de comparar la huella de carbono provocada por dos variantes del mismo producto, con el fin de proponer mejoras y concienciar de todos los factores y sistemas que influyen en el impacto provocado (AECOC, 2017; Ihobe, 2009). La simple decisión de si el producto se envía montado o desmontado puede provocar un cambio significativo y conseguir que un producto que no se

considera sostenible reduzca su huella de manera que podamos compararlo a productos fabricados de manera local.

3. Metodología

Actualmente, el enfoque de ciclo de vida es un enfoque prioritario en el desarrollo de productos, marketing y en el marco de definición de políticas ambientales a nivel internacional y muy especialmente en el contexto europeo. La Unión Europea ha señalado el ACV como la mejor herramienta para evaluar el potencial impacto ambiental de los productos (B. Rivela, 2012). Con el objetivo de promover el empleo de la metodología de ACV, la Comisión Europea ha creado la "European Platform of Life Cycle Assessment", que apoya el desarrollo de un sistema internacional de datos de referencia de ciclo de vida, una base de datos europea de ACV y un directorio internacional de recursos de ACV, así como un foro de discusión (Ihobe S.A., 2009).

En este documento se usará la metodología de ACV limitando el análisis a la categoría de impacto de cambio climático así como la aplicación de los principios de ecodiseño para la generación de alternativas siguiendo la normativa UNE-EN ISO 14006:2020 e integrado dentro de las estrategias ambientales y de calidad referida en las series de normas ISO 14000 y 9000 a las que hace referencia la norma de ecodiseño.

Las empresas son conscientes cada vez más del impacto medioambiental de los productos en las etapas de diseño y producción, pero para tomar decisiones correctas en las etapas de producción y diseño se requiere gran cantidad de información del producto y datos de impacto (Ciroth et al, 2018). Por esto los sistemas de gestión de datos de productos (PDM) se han integrado en la gestión del ciclo de vida del producto (PLM) especialmente para el diseño de productos complejos que permite a las empresas encontrar datos correctos rápidamente, mejorar la productividad y colaborar entre equipos globales, así como para adaptarse legislaciones de productos (M. Huertas et al, 2015).

El ACV se trata de una metodología estandarizada y muy extendida en muchas empresas para detectar los impactos ambientales, pero de manera externa al PLM de la empresa. Proporciona información completa sobre los impactos ambientales de un producto. Sin embargo, la recopilación de datos para el inventario del ciclo de vida del producto puede resultar caro y lento a no ser que una gran parte de los datos requeridos están disponibles en el sistema PLM (R. Monaga et al, 2021).

Por tanto, aplicar el ACV a la cartera de productos nos permitirá mejorar la sostenibilidad de estos y recopilar toda la información obtenida en un sistema PLM nos permitirá conocer las relaciones que tienen los diferentes procesos entre sí y poco a poco ir alimentando la base de datos haciendo más fiables las conclusiones.

Las herramientas generales de ACV permiten disponer al usuario de un mayor número de datos y no condicionan las hipótesis de partida, relacionadas con las simplificaciones abordadas en la etapa de diseño. Sin embargo, su empleo requiere un elevado nivel de conocimiento y comprensión de la metodología de ACV, con el fin de saber interpretar y utilizar correctamente los resultados obtenidos (M. Starostka-Patyk, 2015).

En cuanto al programa informático utilizado se ha elegido Simapro para el ACV. El software SimaPro ofrece la posibilidad de modelar fácilmente y analizar ciclos de vida complejos de forma sistemática, medir el impacto ambiental de los productos en todas las etapas del ciclo de vida e identificar los puntos críticos en todos los aspectos de la cadena de suministro, desde la extracción de materias primas hasta la fabricación, distribución, uso y eliminación.

Los primeros cálculos están relacionados con la fabricación del diseño, tras esto planteamos la comparación según el modo de transportarlo. Seguiremos la guía de cálculo de la HC del transporte de mercancías por carretera que recomienda AECOC (AECOC, 2017).

4. Caso de estudio

Se observa una nueva tendencia para el diseño de productos, que supone entregar al mercado productos con la mínima carga medioambiental posible durante todo el ciclo de vida, y también con posibilidad de reutilización una vez finalizado su ciclo. (EMF, 2021). En la etapa de diseño las decisiones conducen a la reducción del uso de materias primas, el uso de materiales amigables con el medio ambiente, reducción de residuos generados durante los procesos productivos, y diseñar los productos con características permitiendo su reutilización.

Estos son algunos de los principios que reúne aspectos que son considerados importantes sobre diseño sostenible (Basado en A. Velenturf, 2021; J. Konietzko et al 2020):

- Diseño con materiales de bajo impacto.
- Diseñar productos ligeros.
- Diseño para múltiples funciones.
- Eliminar el desperdicio de producción.
- Permitir e incentivar a los usuarios a consumir menos.
- Organizar el transporte urbano ligero.
- Localizar el suministro donde corresponda.
- Maximizar el uso de la capacidad de los productos.

4.1 Creación de alternativas: cuadro morfológico

Comenzamos con una metodología para la creación de alternativas: el cuadro morfológico. El análisis morfológico es un método combinatorio que se basa en la creación de una matriz (Tabla 1) destacando elementos básicos del producto que nos permitirá multiplicar las relaciones entre ellos. Obtenemos como resultado cuatro alternativas al combinar estos elementos como puede verse en la Figura 1.

Tabla 1: Cuadro morfológico.

	Listones	Plano
Conjunto rígido	Alternativa A	Alternativa B
Desmontable	Alternativa C	Alternativa D

Figura 1: Alternativas.

4.2 Método de evaluación multicriterio y toma de decisiones VTP



Alternativa A

Alternativa B

Alternativa C

Alternativa D

El método Valor Técnico Ponderado (VTP) es una técnica de decisión multicriterio que sigue el siguiente procedimiento:

- Selección y ponderación de criterios.
- Valoración de alternativas para cada criterio.
- Determinación del valor técnico ponderado para cada alternativa.
- Descripción de la alternativa seleccionada.

4.2.1 Selección y ponderación de criterios

Los criterios elegidos serán: el coste, ya que es un producto que debe tener un precio competitivo; la identificación con la marca, debe cumplir los principios esenciales de la marca; la vida útil, el producto debe ser versátil y fácil de reparar; fácil de instalar, ya que se entregará a un usuario genérico que no tiene por qué saber manejar ciertas herramientas; y debe seguir los principios de ecodiseño desarrollados anteriormente (Tabla 2).

Tabla 2: Criterios con el peso correspondiente.

Criterio	Peso
Coste	0,8
Fácil identificación de la marca	0,8
Vida útil	0,6
Fácil instalación	0,7
Principios de ecodiseño	1

4.2.2 Valoración de alternativas para cada criterio

Evaluamos cada alternativa con respecto al criterio. Se valora entre 1-5 siendo 1 cuando no cumple con el criterio y 5 cuando lo cumple completamente, de esta manera vamos completando los valores para cada alternativa obteniendo la Tabla 3.

Tabla 3: Evaluación de las alternativas.

Criterio	Peso (Pi)	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Alternativa D
Coste	0,8	4	2	4	5
Identificación marca	0,8	5	3	5	3
Vida útil	0,6	4	4	5	2
Fácil instalación	0,7	4	2	4	2
Ecodiseño	1	3	1	5	2

4.2.3 Determinación del valor técnico ponderado para cada alternativa

Siguiendo la fórmula siguiente obtenemos el valor técnico ponderado de cada alternativa. Aplicamos la fórmula para obtener los resultados de la Tabla 4.

$$VTP = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \times G_{ji}}{G_{max} \times \sum_{i=1}^n P_i} \quad [1]$$

P_i: Peso del criterio i.

G_{ji}: Puntuación de la alternativa i para el criterio j.

G_{max}: Puntuación máxima de la alternativa i para el criterio j.

Tabla 4: Valor técnico ponderado de cada alternativa.

Criterio	Peso (Pi)	Alternativa A		Alternativa B		Alternativa C		Alternativa D	
		g _{Ai}	P _i x g _{Ai}	g _{Bi}	P _i x g _{Bi}	g _{Ci}	P _i x g _{Ci}	g _{Di}	P _i x g _{Di}
Coste	0,8	4	3,2	2	1,6	4	3,2	5	4
Identificación marca	0,8	5	4	3	2,4	5	4	3	2,4
Vida útil	0,6	4	2,4	4	2,4	5	3	2	1,2
Fácil instalación	0,7	4	2,8	2	1,4	4	2,8	2	1,4

Ecodiseño	1	3	3	1	1	5	5	2	2
SUMA	3,9	20	15,4	12	8,8	23	18	14	11
VTP		0,79		0,45		0,92		0,56	

4.2.4 Descripción de la alternativa seleccionada.

Según los resultados del Valor Técnico Ponderado la alternativa C es la que cumple en mayor medida los criterios elegidos en un principio.

Esta alternativa está dentro del rango de precio buscado y cumple con el canon de la marca. Para alargar la vida del producto se deja independiente la comunicación en un cartel para que puedan cambiarlo cada vez que haya una promoción. Éste cartel está hecho de cartón para que sea reciclable y se cuelga mediante cuerdas 100% naturales.

Esta alternativa era una de las que se enviaba desmontada, de esta forma ocupa menos espacio en el transporte y facilitando que pueda llevarse en el coche si fuese necesario. Se facilita su reparación ya que sólo habría que mandar la parte dañada al carpintero y no el mueble completo. Además no es necesaria ninguna herramienta para el montaje.

Las instrucciones de montaje y desmontaje se imprimen en la caja para evitar que se pierdan y no gastar papel. Además se pueden escanear el código QR de la caja para tener más información por si se quieren ver videos explicativos o la historia de mueble. Esta información volcada en la nube puede actualizarse cada vez que sea necesario utilizando siempre el mismo código.

5. Resultados

Una vez definido el diseño se realiza el cálculo de las emisiones de CO₂ para comparar el impacto que generaría el mueble si no se enviase desmontado. Para ello se realiza el ACV de la fabricación de 200 muebles siguiendo la UNE-EN ISO 14040:2006 ayudándonos del software SimaPro. Para el cálculo del impacto generado durante el transporte seguiremos la guía que recomienda AECOC.

Simapro es un software para realizar ACV, se aplica para estudiar y analizar el impacto ambiental de los ensamblajes para luego, rediseñar o modificar el diseño de los productos y mejorar el desempeño ambiental del producto en su ciclo de vida (C. Zaofen et al 2010). Al ser un diseño propio tenemos a mano información sobre el material utilizado, pesos y maquinaria necesaria para poder fabricarlo. En nuestro caso se realiza el ACV una vez fabricado para que el resultado final sea lo más realista posible.

Tras introducir en SimaPro los datos necesarios obtenemos como resultado los kg de CO₂ equivalentes que produce la fabricación de 200 unidades (Tabla 5). Es el mismo valor para las dos variantes en estudio ya que el producto es el mismo. Para conocer el impacto generado por el transporte de estas variantes del mismo diseño aplicamos la metodología que propone AECOC.

Aplicamos la metodología en la modalidad de origen-destino siendo esta modalidad una simplificación del procedimiento en el que no se necesita disponer de información de la ruta recorrida por el vehículo. Únicamente se precisa conocer el origen, destino y peso del envío sobre los que se quiere realizar el cálculo de huella (AECOC, 2017).

En los camiones de líneas regulares se pueden cargar normalmente unos 34 pallets europeos que no sean remontables por razones de peso o fragilidad o un máximo de 68 pallets remontables, dependiendo de la altura de dichos pallets, con un máximo de 24.000 kg.

A continuación se detallan los datos necesarios para aplicar la metodología.

Datos para la versión ensamblada:

- Volumen: 1200 x 460 x 1900 (mm).
- Unidades por pallet: 2 unidades.
- Peso: El mueble completo pesa 30kg.
- Camiones necesarios: Sería necesario mandar 200 pallets no remontables, por tanto 6 camiones.
- Carga útil: Camión al 26,4%.

Datos para la versión desmontada:

- Volumen: 3 cajas de dimensiones 478x1200x130 (mm); 428x1200x145 (mm); 440x1160x58 (mm).
- Peso producto: Caja 1=12kg ; Caja 2=12kg; Caja 3=6kg.
- Camiones necesarios: Las cajas son de triple grosor por tanto soportan bien el peso, por tanto los pallets pueden remontarse hasta llegar a la altura límite del camión. Se envía cada pallet de cajas 1 y 2 con un pallet de cajas 3 encima pudiendo transportar todo en un solo camión.
- Peso camión: 30kg x 200 unidades = 6.000 kg.
- Carga útil: Considerando el 100% que el camión lleve 7.500kg, en este caso estaría al 80%.

Información sobre ruta:

- Información sobre los consumos: Se conoce el consumo medio de diésel del camión para este tipo de ruta (cifrado en 27 litros a los 100 km), así como el consumo medio del camión en vacío (igual a 22 litros a los 100 km).
- Información sobre viajes en vacío: Las distancias recorridas en vacío por este tipo de vehículos pueden cifrarse en un 15% adicional con respecto a los kilómetros que el vehículo efectúa en carga.
- Información sobre tiempos durante el recorrido: Se considera una velocidad media a lo largo de la ruta de 85 km/h.
- Equivalencia: por cada litro de combustible quemado un motor diésel genera unos 2,65 kg de CO₂ eq.

En este caso conocemos los consumos de combustible del camión, pero carecemos de información sobre la ruta efectuada en el transporte del envío. Por lo tanto, emplearemos el método de los consumos, a través de la metodología por origen-destino. A continuación aplicamos las fórmulas según la guía de AECOC (2017).

Opción montado:

$$\text{Consumo} = \frac{\frac{27\text{Ldiesel}}{100\text{km}} + 15\% \times \frac{22\text{Ldiesel}}{100\text{km}}}{100 \times 26,4\% \times 7,5\text{t}} = 0,0015 \text{ L diesel/tkm} \quad [2]$$

$$\text{Combustible} = 0,0015 \frac{\text{Ldiesel}}{\text{tkm}} \times 7,5\text{t} \times 2690 \text{ km} = 30,26 \text{ Ldiesel} \quad [3]$$

$$\text{Emisiones GEI} = 2,65 \frac{\text{kg CO2 eq.}}{\text{Ldiesel}} \times 30,26 \text{ Ldiesel} = 80,19 \text{ kg CO2 eq.} \quad [4]$$

Opción desmontado

$$\text{Consumo} = \frac{\frac{27\text{Ldiesel}}{100\text{km}} + 15\% \times \frac{22\text{Ldiesel}}{100\text{km}}}{100 \times 80\% \times 7,5\text{t}} = 0,0005 \text{ L diesel/tkm} \quad [5]$$

$$\text{Combustible} = 0,0005 \frac{\text{Ldiesel}}{\text{tkm}} \times 7,5\text{t} \times 2690 \text{ km} = 10,1 \text{ Ldiesel} \quad [6]$$

$$\text{Emisiones GEI} = 2,65 \frac{\text{kg CO2 eq.}}{\text{Ldiesel}} \times 10,1 \text{ Ldiesel} = 26,77 \text{ kg CO2 eq.} \quad [7]$$

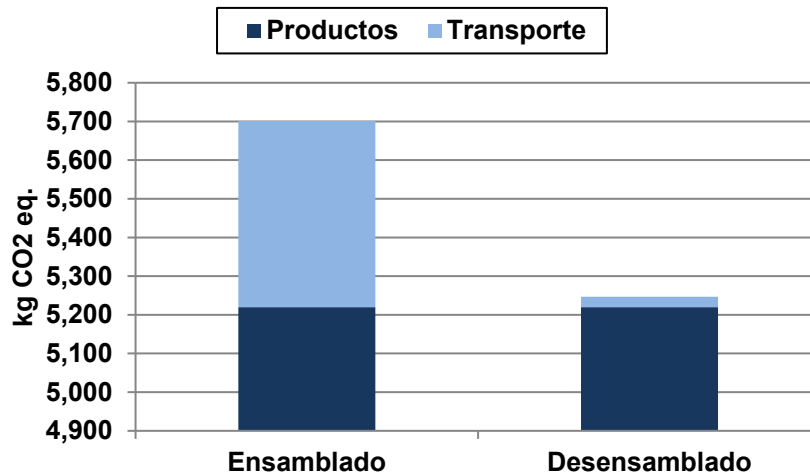
Este resultado deberá multiplicarse por los camiones necesarios. En el caso de que fuese montado serían 6 camiones, por tanto se obtiene un resultado de 481,14 CO2 eq. y en el caso de que fuese completamente desmontado solo se necesitaría un camión, por tanto el resultado es de 26,77 kg CO2 eq. (Tabla 5).

Tabla 5: Emisiones de CO2 de cada versión.

(kg CO2 eq.)	Ensamblado	Desensamblado
Transporte	481,14	26,77
Productos (200 uds)	5.220	5.220
Total	5.701,14	5.246,77

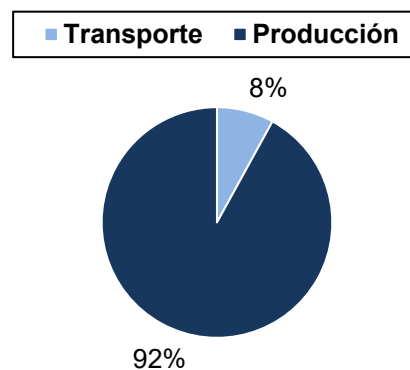
En la Figura 2 se comparan las dos versiones, enviándose el producto ensamblado y desensamblado. Cada columna representa una versión y cada color representa el impacto que se genera durante la fabricación de los 200 muebles, que es el mismo valor en las dos versiones, y el impacto que se genera en el transporte, donde puede verse una gran diferencia.

Figura 2: Gráfica representativa de las emisiones de CO2 de cada versión.



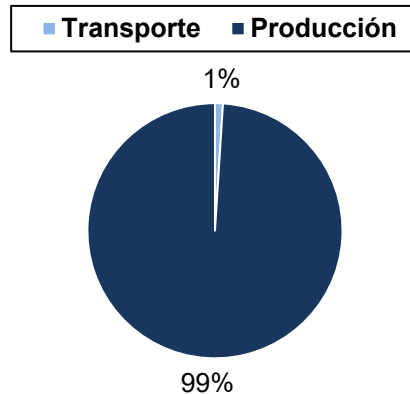
En la Figura 3 se muestra qué porcentaje dentro del impacto total se ha generado por el transporte y qué porcentaje por la producción de los muebles para la versión que se envían los muebles montados.

Figura 3: Porcentaje de impacto del transporte y la producción para la versión ensamblada.



En la Figura 4 se muestra qué porcentaje dentro del impacto total generado está relacionado por la fabricación de los 200 muebles y cuánto por el transporte para la versión en la que se envían desmontado. El transporte sería solo un 1% por tanto con esta versión se ha reducido tanto el impacto generado en el transporte que deja de ser relevante si se quiere mejorar la sostenibilidad del pedido. Si se vuelven a fabricar los muebles y buscamos reducir aún más el impacto debemos centrarnos en el fin de vida del mueble para estudiar cómo contrarrestar este impacto generado ya que el diseño no puede hacerse más sostenible sin arriesgar los factores impuestos en el briefing.

Figura 4: Porcentaje de impacto del transporte y la producción para la versión desmontada.



6. Conclusiones

Como resultado se ha obtenido un proyecto sostenible orientado a una estrategia de producción teniendo en cuenta el cuidado de la sociedad y el medio ambiente al utilizar diferentes técnicas y procedimientos para posteriormente unificar los resultados desarrollando un marco de trabajo para el diseño sostenible de productos industriales facilitando la interpretación de los resultados y la sistematización del proceso para futuros proyectos.

En este proyecto se ha remarcado la influencia que tiene la logística para poder reducir el impacto de nuestros productos. El resultado ha sido la reducción del impacto en un 8% y conseguir que el transporte de la mercancía no influya sobre el impacto generado, llegando a igualar el impacto al de una producción realizada en el mismo país que la entrega. El siguiente paso sería estudiar la compensación del impacto generado para que una vez termine el ciclo de vida del producto la suma del impacto producido sea lo más cercano a cero.

Tras haber analizado el impacto que genera el diseño propuesto podemos asegurar que si queremos reducir el impacto de los productos diseñados no nos podemos centrar sólo en los materiales usados, tenemos que diseñar de forma global, teniendo en cuenta de dónde proceden los materiales, cómo podemos sacarle mayor rendimiento para reducir los desechos, diseñar para reducir el espacio en su transporte y tener en mente desde un principio el fin de vida del producto.

7. Referencias

- AECOC. (2017). *Guía de cálculo de la huella de carbono del transporte de mercancías por carretera*. País Vasco: RAL.
- Bocken N. & Short S. (2021). *Unsustainable business models: Recognising and resolving institutionalised social and environmental harm*. Journal of Cleaner Production. Vol 312. 10.1016/j.jclepro.2021.127828.
- Ciroth A., Theret J.P., Fliegner M., Srocka M., Bläsigg V. & Duyan Ö. (2018). *Integrating Life Cycle Assessment tools and information with Product Life Cycle Management / Product Data Management*. TU Berlin. <https://depositonce.tu-berlin.de/handle/11303/5014?mode=full>.
- EMF, Ellen MacArthur Foundation. (2021). <https://ellenmacarthurfoundation.org/>
- Huertas M., Peralta M.E., Marcos M., Aguayo F., Córdoba A., González-Regalado E. (2015). *Sustainable PLM architecture for engineering projects*. Granada: 19th International Congress on Project Management and Engineering.

- Ihobe S.A. (2009). *Análisis de ciclo de vida y huella de carbono: dos maneras de medir el impacto ambiental de un producto*. País Vasco: Sociedad Pública de Gestión Ambiental.
- Kirchherr J., Reike D., Hekkert M. (2017). *Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions*. Resources, Conservation and Recycling. Vol 127. Páginas 221-232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>.
- Konietzko J., Bocken N., Hultink E.J.. (2020). *Circular Ecosystem Innovation: An Initial Set Of Principles*. Journal of Cleaner Production. 10.1016/j.jclepro.2019.119942.
- Meadows, D. H., Meadows, D. L. & Randers, J. (1972). *The Limits to Growth: A Report to the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*. London: Earth Island.
- Monaga Reina R., de las Heras A., Luque Sendra A. y Lama-Ruiz J.R. (2021). *Mejora de la gestión de la sostenibilidad a través de la estructura de Product Lifecycle Management (PLM). Buenas prácticas y caso de estudio*. Dyna. Vol. 96. Páginas 373-378. <https://doi.org/10.6036/9915>.
- Munari B. (2016). *Cómo nacen los objetos*. Barcelona. GG_Diseño.
- Murray, A., Skene, K. & Haynes, K. (2017). *The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context*. J Bus Ethics 140. Páginas 369–380 <https://doi.org/10.1007/s10551-015-2693-2>.
- Peralta Álvarez M.E., Marcos Bárcena M. & Aguayo González F. (2016). *A Review of Sustainable Machining Engineering: Optimization Process Through Triple Bottom Line*. Journal of Manufacturing Science and Engineering. Vol.138-10. <https://doi.org/10.1115/1.4034277>.
- Rivela Carballal B. (2012) *Propuesta metodológica de aplicación sectorial de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para la evaluación ambiental de la edificación en España*. Universidad de Santiago de Compostela.
- Starostka-Patyk M. (2015). *New products design decision making support by SimaPro software on the base of defective products management*. Procedia Computer Science. Vol 65, Páginas 1066-1074. 10.1016/j.procs.2015.09.051.
- UNE-EN ISO 14040:2006, Gestión ambiental — Análisis del ciclo de vida — Principios y marco de referencia.
- Velenturf A., Purnell P. (2021), *Principles for a sustainable circular economy*, Sustainable Production and Consumption. Vol 27. Páginas 1437-1457. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.02.018>.
- WCED (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*.
- Zaofen C., Zhongquan I., Ke J. (2010). *Research on life cycle assessment and design methods of mechanical products based on Simapro software*. International Conference on Advanced Technology of Design and Manufacture. Páginas 104-110. 10.1049/cp.2010.1269.

**Comunicación alineada con los
Objetivos de Desarrollo Sostenible**

