

UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**Diseño para la Sustentabilidad en Dispositivos Tecnológicos
para el Sector de Autotransporte**

TRABAJO ESCRITO

**Que para obtener el DIPLOMA de
ESPECIALIZACIÓN EN DESARROLLO SUSTENTABLE**

Presenta:

Alejandra Campoy Chayrez

1942
Director de Tesina:

Dr. Javier Esquer Peralta

HERMOSILLO, SONORA

FEBRERO, 2021

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

CARTA DE APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL JURADO



UNIVERSIDAD DE SONORA DIVISIÓN DE INGENIERÍA



COORDINACIÓN DE PROGRAMA DEL POSGRADO EN SUSTENTABILIDAD
ESPECIALIZACIÓN EN DESARROLLO SUSTENTABLE / MAESTRÍA EN SUSTENTABILIDAD

Hermosillo, Sonora, a 11 de febrero del 2021

Dr. Javier Esquer Peralta
Coordinador del Posgrado en Sustentabilidad
PRESENTE. -

Por este conducto, hago de su conocimiento que estoy de acuerdo que se realice el siguiente examen de posgrado:

Programa:	Maestría en Sustentabilidad:		Especialidad en Desarrollo Sustentable:	X
Alumno (a):	Alejandra Campoy Chayrez			
Expediente:	219230084			
Fecha:	26 de febrero del 2021			
Hora:	09:00 horas			
Edificio y Aula:	Plataforma Virtual Microsoft TEAMS			

Relación de Jurados:

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE:	Dr. Javier Esquer Peralta	
SECRETARIO:	M.S. David Slim Zepeda Quintana	
VOCAL:	Dr. Luis Eduardo Velázquez Contreras	
SUPLENTE:	Dr. Héctor Manuel Guzmán Grijalva	

ATENTAMENTE

MIEMBROS DEL JURADO

RESUMEN

La implementación de dispositivos electrónicos ha contribuido a alcanzar niveles de eficiencia sin precedentes en la operación de las compañías. Sin embargo, la cadena de suministro para un solo dispositivo involucra una red de proveedores que atraviesa el planeta, y el hecho de que las marcas de electrónicos no posean las instalaciones que fabrican sus dispositivos, no las exime de su responsabilidad por los impactos ambientales. Para esta tesina, se evaluó el impacto ambiental en el proceso de manufactura de un dispositivo electrónico que mide la eficiencia del consumo de combustible en unidades de transporte, utilizando como guía el manual de diseño para el ambiente de la UNEP (D4S) y como herramientas la rueda del ecodiseño y el software OpenLCA. Después del análisis, que va desde la recepción de los componentes hasta la disposición final, es visible el gran impacto ambiental causado por la utilización de materia prima virgen en la manufactura de los dispositivos, así como en la logística. Sin embargo, no fue posible determinar el impacto total del producto, ya que existen proveedores localizados en China y EEUU, lo que limita el análisis completo del ciclo de vida, es por ello que se busca optimizar la logística del dispositivo, su vida útil y disposición final. Este estudio es el inicio de un programa de mejora en el ciclo de vida de los productos que la empresa fabrica, y representa una primera etapa hacia el diseño de productos electrónicos más sustentables para la industria del autotransporte en México.

ABSTRACT

Electronic devices implementation has contributed to reaching unprecedented levels of efficiency in companies' operations. However, the supply chain for a single device involves hundreds of providers all around the globe, and the fact that most electronics brands do not have the facilities to manufacture their devices in-house does not exclude their responsibility for the environmental impacts. This thesis evaluates the environmental impact in the manufacturing process of an electronic device used to measure the efficiency of fuel consumption in the Mexican motor transport industry, using the UNEP Design for Sustainability Manual (D4S) as a guide, as well as the ecodesign wheel and OpenLCA software as tools, to find opportunities for improvement in the device life cycle. After the analysis, which goes from components reception to the final disposal, it is visible that the greatest impact on the environment is found in the use of raw material for the manufacture of the devices, as well as in the transportation stage. However, it was not possible to determine the total impact of the product, since the parts suppliers are in countries such as China and the US, which limits the complete life cycle analysis, that is why we seek to optimize the logistics of the device, its lifetime, and final disposal. This study is the beginning of a program to improve the life cycle of the products that the company manufactures and represents the first stage towards the design of more sustainable electronic products for the trucking industry in Mexico.

ÍNDICE

Índice de Contenido.

<u>Descripción</u>	<u>Página</u>
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVO GENERAL.....	2
III. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
IV. ANÁLISIS LITERARIO	3
V. METODOLOGÍA	11
VI. RESULTADOS.....	16
VII. DISCUSIÓN	43
VIII. CONCLUSIONES	45
IX. RECOMENDACIONES	46
X. REFERENCIAS.....	47
XI. ANEXOS	51

Índice de Tablas

<u>Tabla</u>	<u>Descripción</u>	<u>Página</u>
1	Tecnologías emergentes en la industria del autotransporte	4
2	Estrategias propuestas para la reducción del consumo de combustible y GEI	6
3	Componentes y materiales del FLE	21
4	Áreas de impacto ambiental	23
5	Áreas de impacto social	23
6	Enfoques para el diseño en base al producto actual	24
7	Flujos y cantidades consideradas en el EICV del dispositivo FLE	26
8	Posibles opciones de mejora en el rediseño de producto	35
9	Capacidad de piezas que pueden ser transportadas de acuerdo a la profundidad de la caja	37
10	Comparación de impacto entre el empaque actual y el rediseño	37
11	Comparación de impacto por transporte del empaque rediseñado	38

12	Comparación de impacto por transporte por un lote de 100 etiquetas	40
13	Análisis de viabilidad de la implementación de mejoras	41

Índice de Figuras

<u>Figura</u>	<u>Descripción</u>	<u>Página</u>
1	Emisiones de gases de efecto invernadero en México	5
2	Fases estrategia de la UNEP	11
3	Rueda estratégica de ecodiseño	14
4	Funcionamiento del dispositivo FLE	17
5	Circuito de instalación del FLE	18
6	Ciclo de vida del dispositivo FLE a partir de recepción de componentes	19
7	Dimensiones físicas del FLE	20
8	Construcción de la lámina del PCB	20
9	Dimensiones físicas de la etiqueta FLE	21
10	Cajas utilizadas para empaque y embalaje del FLE	22
11	Modelado 3D de embalaje actual utilizado para la distribución del FLE	22
12	Gráfica de impacto del FLE en el calentamiento global	27
13	Gráfica de impacto del FLE en la formación de ozono en la tropósfera, salud humana	28
14	Gráfica de impacto del FLE en la formación de ozono en la tropósfera, ecosistemas terrestres	28
15	Gráfica de impacto del FLE en el agotamiento de la capa de ozono	29
16	Gráfica de impacto del FLE en la toxicidad humana, en desarrollo de cáncer	29
17	Rueda del ecodiseño para el D4S (versión actual)	30
18	Comparativa del diseño actual con el rediseño propuesto	33
19	Modelado 3D de la propuesta de empaque con 30 dispositivos	36
20	Caja de cartón con profundidad variable	37
21	Gráfica comparativa del impacto de un envío con el empaque actual vs el rediseño de empaque	38
22	Gráfica comparativa del impacto del envío de un lote rediseñado de 30 piezas por vía aérea vs el mismo empaque enviado por vía terrestre.	39

23	Gráfica comparativa del impacto del transporte de 100 etiquetas desde 3 ubicaciones estratégicas	40
----	--	----

Índice de Anexos

<u>Anexo</u>	<u>Descripción</u>	<u>Página</u>
1	Rueda del ecodiseño	51

I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo está enfocado en determinar las áreas de oportunidad en el ciclo de vida de un dispositivo electrónico, el cual es capaz de recolectar datos de motor en el vehículo donde se encuentre instalado, y que fue creado para determinar la eficiencia en el consumo de combustible de unidades de carga y transporte para la industria del autotransporte en México.

En la primera parte se hace un análisis literario de la industria del autotransporte, su importancia para la economía en México, así como los problemas sociales y ambientales que ha traído consigo. Por otro lado, se describen programas que se han implementado para mitigar el impacto ambiental producido por esta industria, así como la tecnología que ha sido creada para medir los resultados de las soluciones propuestas a esta problemática.

Una vez determinados los alcances de la industria, se hace un análisis de la tecnología disponible y se toma como muestra un dispositivo electrónico para determinar su propio impacto ambiental. Tomando como metodología el manual de diseño para el ambiente de la UNEP (D4S), se analiza el ciclo de vida del dispositivo electrónico desde su manufactura, hasta la disposición final, se exponen los resultados de impacto en diversos aspectos ambientales y de salud humana, y se hacen propuestas de mejora en base a los resultados obtenidos.

Por último, se realiza una discusión sobre los alcances del ciclo de vida y la mejor forma de prolongar su vida útil y las implicaciones del reciclaje para el medio ambiente.

II. OBJETIVO GENERAL

Prevenir, eliminar y/o reducir potencialmente riesgos ambientales generados en el diseño y manufactura de dispositivos electrónicos para la gestión y monitoreo de flotas en la industria del autotransporte.

III. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Llevar a cabo un análisis de la literatura del estado del arte sobre aspectos que incluyan sustentabilidad en el diseño de dispositivos electrónicos, con énfasis en el sector de autotransporte, así como otros temas relacionados.
- Diagnosticar el impacto ambiental en el proceso de diseño y ensamble de dispositivos electrónicos de trazabilidad automotriz.
- Identificar oportunidades para la prevención de la contaminación en la producción, uso y disposición final de los dispositivos.
- Diseñar una herramienta para la toma de decisiones sobre el desarrollo de dispositivos electrónicos para la gestión y monitoreo de flotas desde un enfoque sustentable.

IV. ANÁLISIS LITERARIO

4.1 Tecnología e innovación sustentable en la industria del autotransporte

La industria del autotransporte es un sector que ha colaborado en gran medida para el avance y desarrollo de nuestra era (Ghosh, Ghosh y Roy, 2019). Con la llegada de la Primera Guerra Mundial las necesidades de transporte y comunicación se incrementaron, diversificando así los medios para el suministro de todo tipo de bienes y servicios (Cayón García y Muñoz Rubio, 2017). Se le considera una industria única, por abarcar todos los aspectos de la cadena de valor, desde la materia prima, pasando por el diseño y desarrollo, fabricación, ventas y servicio, y hasta su eliminación (Townsend y Calantone, 2014).

Sin embargo, debido al despunte del uso de transportes automotores durante la segunda mitad del siglo XX, el crecimiento de la industria automotriz ha ocasionado grandes problemas ambientales y sociales, como son el ruido, tráfico, accidentes viales, contaminación del aire y agua, calentamiento global y sobrexplotación de recursos naturales (Mayyas *et al.*, 2012). Los motores de combustión generan gases contaminantes entre los cuales se encuentran: el monóxido de carbono (CO), el dióxido de carbono (CO₂), los óxidos de nitrógeno (NO_x), los hidrocarburos sin quemar (HC), partículas suspendidas, el plomo (Pb) y en el caso de los motores Diesel, los óxidos de azufre (SO₂ y SO₃) (Rafael Morales y Hernández Guzmán, 2012). De estos gases, el dióxido de carbono (CO₂) es considerado como el gas de mayor impacto ambiental, ya que representa el 65% del total de gases de efecto invernadero a nivel global y contribuye en gran medida al cambio climático (IPCC, 2014).

Sin duda, existe una gran presión política, científica y social hacia la industria del autotransporte por su gran impacto en la sustentabilidad; es por ello que las compañías han tomado medidas utilizando la innovación como principal herramienta para brindar soluciones (Samuel, 2018). La industria trabaja en la actualización de sus esquemas operativos tradicionales, redefiniéndolos con la automatización y la toma de decisiones enfocadas en la información y datos en tiempo real (Ebrahimi, Baboli y Rother, 2019).

La digitalización de las industrias manufactureras y el camino hacia la competitividad y nuevas oportunidades de mercado toma forma en la implementación de la llamada industria 4.0 (Weking *et al.*, 2019). Este concepto se ha introducido en el sector automotriz y del

autotransporte como un nuevo tipo de organización más flexible y ágil, que permite a diferentes subsistemas tomar decisiones de forma autónoma, para tener así, equipos de trabajo que puedan organizarse por sí mismos (Ebrahimi, Baboli y Rother, 2019). Con ella y con la implementación de nuevas tecnologías, se tiene un gran potencial para construir nuevos procesos, organizaciones y conexiones (Saunila *et al.*, 2019). En la tabla 1 se mencionan algunas de las tecnologías que forman parte de esta revolución digital en la industria del autotransporte.

Tabla 1. Tecnologías emergentes en la industria del autotransporte

Vigentes	En proceso	Emergentes
<ul style="list-style-type: none"> • Identificadores por radiofrecuencia (RFID por sus siglas en inglés) • Sensores digitales • Redes • Procesadores • Big Data • Análisis de datos • Open Data • Conectividad en tiempo real (INCOMEX, 2019; Saunila <i>et al.</i> , 2019)	<ul style="list-style-type: none"> • Internet de las cosas (IoT por sus siglas en inglés) • Realidad aumentada • Realidad virtual, entre otros. (INCOMEX, 2019)	<ul style="list-style-type: none"> • Vehículos eléctricos • Conducción autónoma • Movilidad compartida (Lane, 2019)

Fuente: Elaboración propia

Estas tecnologías brindan grandes oportunidades a las empresas del sector del autotransporte para administrar la cadena de valor, los suministros y los procesos relacionados (Liao *et al.*, 2017). También permiten obtener un mayor control sobre los vehículos de carga al poder monitorear el sistema electrónico de motor para minimizar las emisiones de escape, maximizar el ahorro de combustible, medir los parámetros de rendimiento del vehículo, comunicación, navegación, entre otros (Naik *et al.*, 2018), y así establecer métricas y medir el impacto económico, ecológico y social (Jasiński, Meredith y Kirwan, 2016).

4.2 La industria del autotransporte en México y las medidas estratégicas y tecnológicas contra el cambio climático

En México, la industria de autotransporte es apreciada como una industria estratégica en el desarrollo económico y comercial, ya que por cada 100 pesos producidos, 87 se quedan en el país por conceptos de compras de insumos nacionales, pago de remuneraciones, ganancias e impuestos, entre otros, relacionados con esta industria (INEGI, 2019). Entre

2012 y 2017, el parque vehicular se incrementó en un 28%, llegando a ser una flota de 920 500 unidades, lo que representa el 56% del total de la carga que se mueve en el país; en 2018 el sector aportó el 3% de producto interno bruto, generando 2.3 millones de empleos formales (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2018).

Sin embargo, entre mayor sea el crecimiento e incremento en la flota vehicular de un país, mayor será la importancia de la adopción de estándares para ahorro del combustible que puedan regular su eficiencia en los nuevos vehículos de carga, así como la cantidad de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) por cada kilómetro recorrido (Gradilla Hernández, 2012). Como se muestra en la figura 1, las emisiones de CO₂ representan el 73% del total de GEI generados a nivel nacional, durante 2017 se produjeron 532 830 millones de toneladas de este gas, de las cuales el 29.2% provenían de la industria del autotransporte (INECC, 2017).

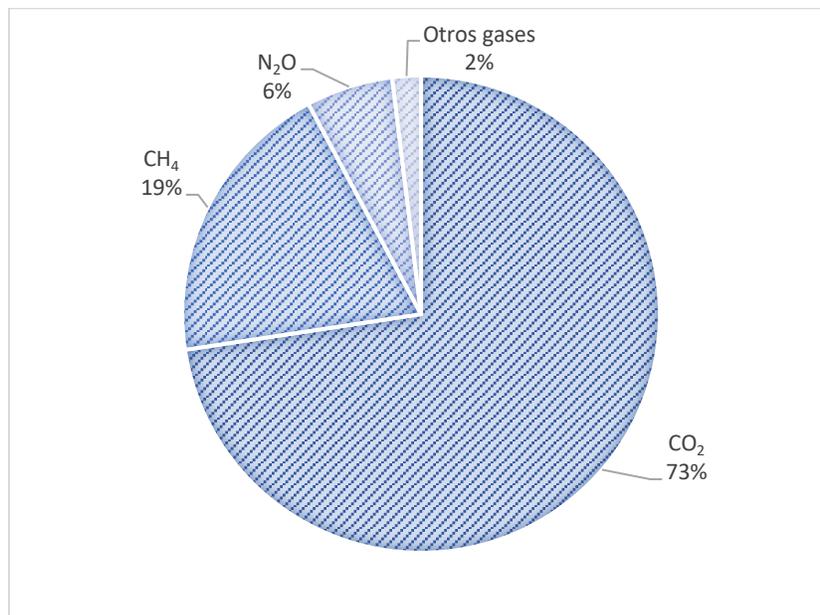


Figura 1. Emisiones de gases de efecto invernadero en México
Fuente: INECC (INECC, 2017)

Es así que el Gobierno de México, como parte de la evolución hacia la industria 4.0, y como respuesta a la presión globalizada sobre la reducción de GEI, publicó en el Diario Oficial de la Federación, la Norma Oficial Mexicana NOM-044-SEMARNAT-2017, la cual establece los límites máximos permisibles para emisiones de GEI y partículas provenientes del escape de los motores y vehículos automotores nuevos con peso bruto vehicular mayor a 3,857 kg

(Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2018), así como también se establece los límites de vida útil de los vehículos de carga por los años de funcionamiento y los kilómetros recorridos (*DOF - Diario Oficial de la Federación*, 2017). Esto ha llevado a las empresas dedicadas al autotransporte a renovar su flota vehicular para cumplir con la nueva normatividad, aumentando así las ventas de vehículos pesados y comerciales en un 144% en 2019 (Forbes, 2019).

De la misma forma, desde 2017 se implementó el programa "Transporte Limpio" desglosado en la tabla 2, con el que se pretende reducir el impacto de la industria del autotransporte, utilizando la tecnología y eficiencia de los recursos (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2019). El programa, a pocos meses de su implementación, ya había evaluado 60 mil unidades, las cuales dejaron de emitir 2.1 millones de toneladas de CO₂ (T21, 2017).

Tabla 2. Estrategias propuestas para la reducción del consumo de combustible y GEI

Medidas estratégicas	Potencial de ahorro de combustible
Entrenamiento de operadores en conducción técnica-económica (eco-driving)	10-30%
Regulación de la velocidad máxima	5-15%
Reducir operación ralentí (idling)	Mínimo 5%
Selección y especificación vehicular	Variable, incluso hasta 30%
Mantenimiento	7-15%
Logística	Variable, al menos 10%
Control de combustible	Mínimo 5%

Fuente: Gobierno de México (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2019)

Tanto la NOM-044-SEMARNAT-2017, como el programa transporte limpio, pretenden garantizar una reducción efectiva de contaminantes, y contemplan la implementación de métodos de prueba y evaluación actualizados, así como especificaciones técnicas para el sistema de diagnóstico y monitoreo a bordo, a fin de representar de mejor manera las condiciones reales de manejo a las que los conductores someten a los vehículos pesados para mitigar el impacto ambiental (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2018). De igual forma, estas medidas impacta positivamente a la esfera social al mejorar el entorno de trabajo de los conductores y aumentar el nivel de seguridad vial, al permitirle al conductor una mayor concentración en el camino, reduciendo así los accidentes (Caban *et al.*, 2019).

4.3 Eco-driving y dispositivos electrónicos para monitoreo de flotas

Capacitar a los transportistas en el eco-driving o conducción técnica, ayuda a reducir los GEI producidos por malos hábitos de operación, se define como el tipo de conducción y de comportamiento que llevan al consumo mínimo de combustible, llantas y refacciones (Rafael Morales y Hernández Guzmán, 2012). En este tipo de conducción se busca seleccionar mejores rutas de transporte, evitar la conducción agresiva y a altas velocidades, así como el uso excesivo del aire acondicionado, el peso adicional en la carga, y dejar encendido el vehículo sin estar en movimiento, conocido como ralentí excesivo, cuya corrección puede contribuir a un ahorro de hasta 45% de combustible (Caban *et al.*, 2019).

La conducción técnica ha sido probada en diferentes clases de vehículos, con diferentes años, modelos de motores y en distintas carreteras, mostrando de manera consistente que se pueden lograr ahorros significativos en el consumo de combustible e incidir en la reducción de las emisiones contaminantes al medio ambiente (Rafael Morales y Hernández Guzmán, 2012). Otros factores que afectan el consumo de combustible son las fallas en el motor, la falta de mantenimiento de los neumáticos y una selección de aceite de motor inadecuado (Sivak y Schoettl, 2012).

Si se busca realizar un seguimiento efectivo y automatizado de la eficiencia de la conducción técnica y del vehículo a lo largo del tiempo, es necesario instalar dispositivos electrónicos en los vehículos de carga, los cuales recopilan la información proveniente de diversos sensores inalámbricos y de la alimentación de combustible del vehículo para estimar la eficiencia del consumo de combustible calculando millas por galón, son capaces de identificar desviaciones o irregularidades que se puedan mejorar para la eficiencia general del vehículo (Kranz y Borders, 2012). García, Coloman y Wang (2018) mencionan que, para medir la eficiencia de la conducción, es necesario recopilar los siguientes parámetros:

1. Posición del GPS (longitud y latitud) y distancia recorrida (km);
2. Tiempo de viaje (h)
3. Velocidad instantánea (km/h)
4. Consumo de combustible (L)
5. Número de paradas, rpm, aceleración y desaceleración (m/s^2).

Los dispositivos electrónicos se integran en ecosistemas de conexión cada vez más amplios y en constante cambio, de modo que es de vital importancia que las redes y las relaciones funcionales con otros dispositivos trabajen bajo contextos fijos y formas de organización estandarizadas (Kallinikos, Aaltonen y Marton, 2013). La conexión de los dispositivos electrónicos en los vehículos se lleva a cabo a través de redes CAN (Controller Area Network), el cual es un sistema de alta integridad para dispositivos inteligentes en red en el que pueden subsistir hasta 70 subsistemas electrónicos conectados a una unidad central de control del motor, donde cada uno puede enviar y recibir mensajes en tiempo real de manera remota (Naik *et al.*, 2018). Así mismo, para la correcta conexión, recolección y utilización de datos proveniente de estas tecnologías, Saunila (2019) describió siete propiedades necesarias en dispositivos tecnológicos de la siguiente manera:

- Programabilidad: los dispositivos deben tener la capacidad de aceptar nuevas reconfiguraciones o cambios de sus funciones
- Direccionalidad: capacidad de los dispositivos para responder mensajes individualmente
- Sensibilidad: permite a los dispositivos rastrear y reaccionar a los cambios en el entorno.
- Comunicabilidad: la capacidad de los dispositivos para enviar y recibir mensajes con otros dispositivos.
- Memorización: la capacidad de los dispositivos para registrar y almacenar la información que creó, detectó o comunicó.
- Trazabilidad: permite a los dispositivos reconocer, memorizar e integrar cronológicamente incidentes y totalidades a lo largo del tiempo.
- Asociabilidad: proporciona la capacidad para que los dispositivos sean reconocidos por otros dispositivos, lugares y personas.

De estas propiedades, se distinguen los dispositivos que proporcionan trazabilidad, ya que permiten recabar información sobre rutas, distribución e incidentes, que son utilizados para optimizar la logística y facilitar la toma de decisiones (Segura Tierradentro, 2014) y son considerados una parte esencial para cumplir con la calidad de la cadena de suministro en las organizaciones (Wattanakul *et al.*, 2018). Sin embargo, estos dispositivos no son libres de contaminantes y es importante determinar el impacto y los beneficios de su utilización (Cook y Jardim, 2017)

4.4 Ciclo de vida de los dispositivos electrónicos

Los beneficios de la automatización y la implementación de sistemas inteligentes han contribuido a alcanzar niveles de eficiencia sin precedentes en la operación de las compañías (Telenko y Benzoni, 2018). Los mismos fabricantes de productos de alta tecnología, a menudo han alcanzado altos estándares de eficiencia energética y de utilización de recursos durante la producción y operación de los dispositivos electrónicos (Dieterle, Schäfer y Viere, 2018). Sin embargo, la cadena de suministro para un solo dispositivo electrónico involucra a cientos de empresas proveedoras en una red que atraviesa el planeta, y el hecho de que la mayoría de las marcas de productos electrónicos no posean las instalaciones que fabrican sus dispositivos, no exime a las marcas de su responsabilidad por los impactos ambientales (Cook y Jardim, 2017).

Por otro lado, cada dispositivo tecnológico cuenta con cierta vida útil, después de la cual pierde su condición y rendimiento óptimo, lo cual ocasiona que sean descartados como desechos electrónicos (Awasthi *et al.*, 2019). El desmantelamiento y el reciclaje de los desechos electrónicos es particularmente importante, ya que estos contienen sustancias altamente tóxicas, así como valiosas materias primas (Otto *et al.*, 2018). Algunas técnicas de reciclaje, como la separación manual de metales de los cables eléctricos, la placa de circuito de trituración y combustión manual, pueden aumentar la posibilidad de emisiones de químicos que alteran el sistema endocrino, lo que representa un riesgo considerable en la salud humana y el medio ambiente (Zhang *et al.*, 2019).

La manufactura de dispositivos electrónicos, en el contexto del desarrollo sustentable, exige a las empresas a implementar mejoras de ingeniería en sus procesos e integrar aspectos económicos, ambientales y sociales a lo largo del ciclo de vida del producto (Lindow, Kaluza y Stark, 2018). A través de un análisis de ciclo de vida, se puede obtener información sobre las actividades involucradas en cada etapa del producto, las partes interesadas responsables y afectadas por estas actividades y los problemas que conllevan (Rahman, Ozcelebi y Lukkien, 2018).

El enfoque en el análisis de ciclo de vida contribuye significativamente al desarrollo de productos con el máximo aprovechamiento de los recursos y un reducido impacto ambiental, del mismo modo ayuda a clarificar otros ámbitos como el cambio tecnológico y la creciente demanda de productos (Ortegon, 2019). Además, ayuda a entender de donde

viene y a donde va lo que se consume, así como a convertir los problemas en una comprensión clara y estructurada de los conflictos existentes y sus posibles soluciones (Rahman, Ozcelebi y Lukkien, 2018).

Al extender la vida útil de un dispositivo electrónico, los impactos ambientales negativos creados en la fabricación y eliminación de ese dispositivo se extienden con el tiempo, lo que ayuda a reducir el impacto general del sector (Cook y Jardim, 2017). Por otro lado, esta acción incluso puede proporcionar a las empresas una ventaja competitiva y, por lo tanto, ayudar a asegurar el éxito de la empresa a largo plazo al contribuir al bienestar social, ecológico y económico (Lindow, Kaluza y Stark, 2018).

V. METODOLOGÍA

5.1 Tipo de estudio

El presente estudio sigue un enfoque cuantitativo, debido a que en principio es necesario analizar cada uno de los parámetros a utilizar durante el diseño y fabricación de un dispositivo electrónico.

5.2 Diseño Metodológico

El diseño utilizado en esta investigación es no experimental, esto debido a que para la fabricación de estos dispositivos electrónicos solo se requiere analizar el estado de las variables a medir en un momento dado. El diseño metodológico se basa en la estrategia propuesta por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, 2009), del libro Design for Sustainability (D4S) – A Step-by-Step Approach, para la elaboración de un solo producto y la cual incluye nueve fases, como se muestra en la Figura 2.



Figura 2: Fases estrategia de la UNEP
Fuente: Adaptado de UNEP (2009)

A continuación, se describen las nueve fases para la elaboración de un solo producto que componen dicha estrategia:

- Fase 1. Selección del Producto.
Debe existir evidencia de que el producto seleccionado pudiera presentar algún problema en el mercado, en relación a características ambientales y/o sociales que estén volviendo crítico el éxito o futuro de este, o bien que la competencia esté comercializando productos más sustentables.
- Fase 2. Expediente del Producto.
Se debe contar con un expediente del producto, en el cual se tenga toda la información posible del mismo, y en el cual se le pueda seguir añadiendo información a medida que avanza el proyecto. Las secciones que deberá abarcar el expediente son: el producto y su uso, diseño y fabricación, y productos de la competencia.
- Fase 3. Aspectos Ambiental y Social.
Para el producto y su mercado, es necesario desarrollar un sentido de los ámbitos prioritarios necesarios para enfrentar los problemas sociales y políticos de la localidad –los derechos humanos, la equidad, trabajo– y, por supuesto, la economía del producto y su mercado. Es muy importante ser sensible a las cuestiones emergentes, ya que se está rediseñando un producto que debe durar en el mercado por un buen periodo de tiempo.
- Fase 4. Identificación de Enfoques de Diseño.
Se requiere identificar una selección de enfoques de diseño que sean apropiados para mejorar el "medio ambiente y/o el perfil social" del producto, pero será importante identificar a aquellos que sean innecesarios. El Diseño para la Sustentabilidad requiere algo más que solo seguir una lista de enfoques de diseño, estos enfoques tienen que ser incrustado en una metodología de selección en la que se valore y evalúe cada método para determinar los posibles resultados de una forma activa.
- Fase 5. Perfil de Impacto.
Para la selección de una estrategia de diseño, es necesario comprender el perfil ambiental y social del producto, tener un panorama de cada etapa del ciclo de vida (extracción de materias primas, el procesamiento de los materiales; la producción, distribución, uso, disposición al final de su vida, cuestiones laborales y de derechos humanos) que contribuye a los impactos ambientales y sociales. La evaluación de

resultados del Análisis del Ciclo de Vida (ACV) por medio de la herramienta Open LCA generó una serie de datos, los cuales indican los impactos generados por cada una de las fases analizadas.

- Fase 6. Identificación de Oportunidades de Mejoras.
Con la información recabada se procede a identificar estrategias de D4S y respuestas de diseño que se ocupan de las fases del ciclo de vida y las características del producto que requieren atención. En esta etapa se utiliza la rueda del ecodiseño como herramienta de apoyo para medir el estado actual del producto en cada una de las etapas de su ciclo de vida, esto con el fin de identificar las probables mejoras a realizar.
- Fase 7. Opciones de Rediseño.
Los datos obtenidos en las etapas anteriores se convierten en el foco para las ideas creativas de rediseño. En este punto se analiza cada una de las ideas escritas en las fases anteriores para considerar si el rediseño del producto sería una opción viable
- Fase 8. Priorizar Ideas y Conceptos.
Para esta fase se cuenta con una serie de ideas con estimaciones de su valor social, de mercado, y de medio ambiente. Se deberá dar prioridad a cada una de las mejoras del producto que se tienen en lista, así como a las ideas de rediseño a implementar.
- Fase 9. Implementación.
Hasta la fase 8 se identificó un abanico de posibilidades para mejorar el producto y reducir su impacto global del ciclo de vida. Ahora se está en la posición de hacer un caso para llevar a cabo un proyecto completo.

Para el desarrollo de este estudio se llevaron a cabo las primeras ocho fases, excluyendo la número nueve que consiste en la implementación y elaboración del producto.

5.3 Alcance

Realizar un análisis sobre el diseño y ciclo de vida de dispositivos electrónicos en Grupo Tecnológico Didcom® y su impacto en el medio ambiente. El estudio se llevó a cabo de agosto 2019 a julio de 2020.

5.4 Preguntas de investigación

¿Cómo se puede prevenir, reducir y/o eliminar los impactos ambientales en el diseño y ciclo de vida de dispositivos electrónicos de Grupo Tecnológico Didcom®?

5.5 Objeto de estudio

El diseño y ciclo de vida de dispositivos electrónicos en Grupo Tecnológico Didcom®.

5.6 Selección del objeto de estudio o del lugar que ubica al objeto de estudio

La selección de este estudio fue por oportunidad, al ser Grupo Tecnológico Didcom® una empresa en crecimiento, con presencia internacional, se detectó la necesidad de establecer estándares para la sustentabilidad en sus productos y procesos con el apoyo de la Universidad de Sonora y su Posgrado en Sustentabilidad.

5.7 Instrumentos de recolección y manejo de datos

Como herramienta en esta fase se utilizó la Rueda del Ecodiseño, basándose en los criterios tomados del Módulo E del manual de la UNEP (2009) y de *Strategies for Ecodesign* (Zbicinski y Stavenuiter, 2006). Esta herramienta muestra todos los campos de interés en ecodiseño, agrupados en ocho estrategias cuidadosamente elegidos que están representados en los ocho ejes de la rueda. Las estrategias numeradas 1 al 7 se utilizan principalmente en el eco-rediseño. La estrategia indicada por el signo @ se refiere a los nuevos desarrollos conceptuales de productos. El enfoque principal fue en la estrategia 1 (Selección de materiales de bajo impacto), estrategia 2 (Reducción del uso de los materiales), estrategia 3 (Optimización de las técnicas de producción), estrategia 5 (Reducción del impacto durante su uso), estrategia 6 (Optimización de la vida útil inicial), estrategia 7 (Optimización al final de su vida útil), estrategia @ (Nuevo Concepto de Desarrollo). En la Figura 3, se ilustra un ejemplo de la rueda estratégica del ecodiseño.

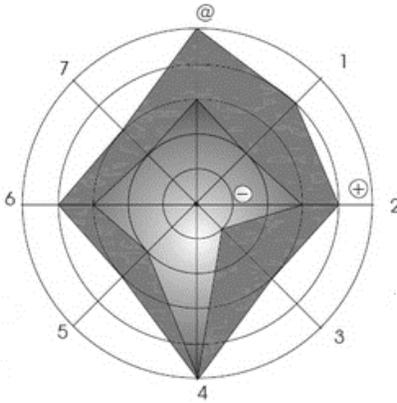


Figura 3. Rueda estratégica de ecodiseño
Fuente: Zbicinski (2006)

Para el manejo de datos se utilizó el software OpenLCA en su versión 1.10.2, que es una herramienta profesional de libre acceso para el cálculo de los impactos ambientales, sociales y económicos, asociados a un producto o servicio a lo largo de todo su ciclo de vida, con aplicación al ecodiseño. OpenLCA cuenta con un repositorio para datos de LCA en línea llamado OpenLCA Nexus, el cual combina datos ofrecidos por líderes mundiales como el Centro Común de Investigación de la Comisión Europea (base de datos ELCD). Estas bases de datos pueden ser filtradas por proveedor de datos, ubicación, categoría, precio y año de validez.

VI. RESULTADOS

6.1 Selección del producto

Grupo Tecnológico Didcom® es una empresa dedicada a brindar soluciones tecnológicas para el monitoreo y gestión de flotas vehiculares. Dentro de su amplia gama de soluciones, se cuenta con el producto denominado FLE (Didcom® Fuel Economy®), el cual es una herramienta para medir la eficiencia en la conducción técnica y el consumo de combustible.

Debido al directo efecto del consumo de combustible sobre la emisión de GEI, se seleccionó este producto ya que puede proporcionar indicadores sobre las emisiones de CO₂ de los vehículos de transporte donde se encuentre instalado. Así mismo, este dispositivo ayuda de manera indirecta a reducir los accidentes carreteros derivados de una mala conducción, reduciendo el impacto social que esto conlleva, contribuyendo así a mejorar la calidad de vida de las personas.

Otro factor determinante para la selección de este producto como objeto de estudio, es la falta de información sobre su ciclo de vida y disposición final. Cuando un cliente adquiere la tecnología, debe comprar los dispositivos que serán instalados en sus vehículos. Una vez instalados el periodo de vida aproximado es de tres años, después de los cuales el dispositivo comienza a presentar fallas que deben de ser reparadas. Por el momento no se cuenta con información sobre cuándo reemplazar el dispositivo ni cómo desecharlo correctamente.

6.2 Expediente del producto

El FLE es un dispositivo diseñado específicamente para notificar el rendimiento de combustible de manera continua durante la operación del vehículo. El dispositivo es capaz de monitorear el rendimiento del combustible por operador, facilitando así la información sobre la eficiencia de la conducción o eco-driving. Esto lo realiza por medio del análisis de los parámetros recolectados por el sistema de conexión CAN (Controller Area Network) como son los valores del odómetro, el tiempo ralentí, las Revoluciones Por Minuto (RPM), códigos de falla, nivel de combustible, entre otros. Estos parámetros influyen directamente en el resultado del rendimiento de combustible y en la salud de los dispositivos.

El FLE también se encuentra conectado a un equipo GPS del cual obtiene información constante. Cada dato que es procesado y enviado por el FLE a través del equipo de telemetría puede ser referenciado con el valor, ubicación y fecha en la que fue enviado (ver figura 4). Esto permite crear historiales de datos pertenecientes a cada vehículo, e incluso por conductor, haciendo posible realizar acciones que pueden disminuir el consumo de combustible, enfocándose directamente a la conducta de manejo y que permitan estandarizar la operación de la flota vehicular. Los datos recolectados se pueden visualizar a través de la plataforma web, por medio de la cual se muestran los reportes de operación.

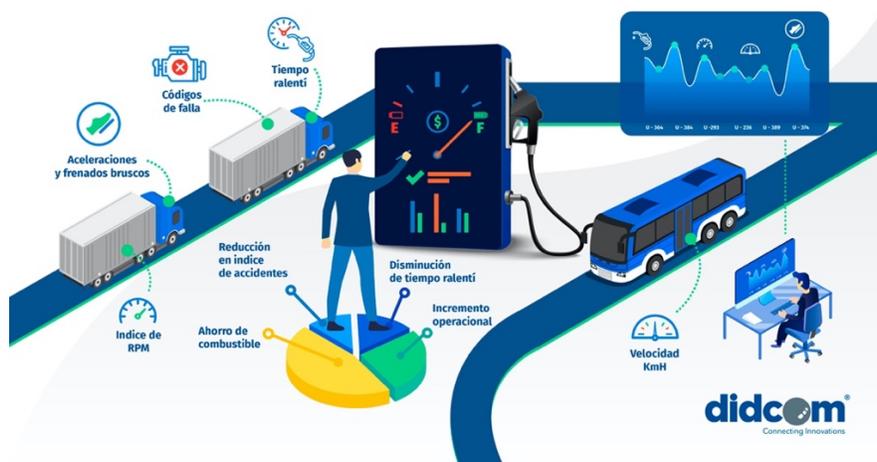


Figura 4. Funcionamiento del dispositivo FLE
Fuente: Didcom® (2019)

Competencia y diferenciador

El dispositivo FLE es ideal para el manejo de flotas que cuentan con varios conductores por vehículo. En el mercado existen varias soluciones que pueden brindar el servicio de forma similar, incluso el GPS por sí mismo puede dar información sobre rutas y hábitos de conducción. Sin embargo, el FLE es más flexible con el cambio de operador, permitiendo que la información de la conducción se asocie con el conductor en sí, para obtener reportes más confiables para la toma de decisiones.

Contratación e instalación

Como primer paso para la contratación del FLE, se realizan pruebas para que el cliente pueda comprobar si la solución que se le ofrece es la correcta o si se necesitan hacer adecuaciones. Para ello, se instalan dispositivos de prueba, llamados *demos*, en los vehículos del cliente por un periodo de entre dos y cinco meses. Para la instalación de los dispositivos, un empleado de Didcom® es enviado a las instalaciones de la flota vehicular;

se cuenta con empleados en las principales ciudades de México y se envía al que se encuentre más cercano al cliente.

Una vez comprobado que la solución es efectiva, se instalan los demás dispositivos necesarios para la flota. Si, por el contrario, la empresa decide no continuar con el servicio, los dispositivos se retiran de los vehículos y se envían a la matriz para utilizarse como *demos* en futuros proyectos.

Cuando una empresa de flotas contrata el servicio, además de cubrir el costo de los dispositivos e instalación, también debe pagar una licencia de uso mensual para poder utilizar la plataforma web, que es donde se visualizan los datos y se generan los reportes.

Operación

1. El módulo FLE se conecta a la red de datos de motor y obtiene datos del odómetro, combustible y rendimiento instantáneo (ver figura 5).
2. El conductor se registra al iniciar su viaje con un llavero o una tarjeta en el sistema de identificación integrado.
3. Los registros de rendimientos se actualizan de manera continua y se asignan al conductor firmado.
4. Se registra al conductor, rendimiento, hora, ubicación GPS y vehículo.
5. La información se envía en tiempo real a los servidores de Didcom®
6. El cliente final puede ver la información y reportes en línea en la plataforma web.

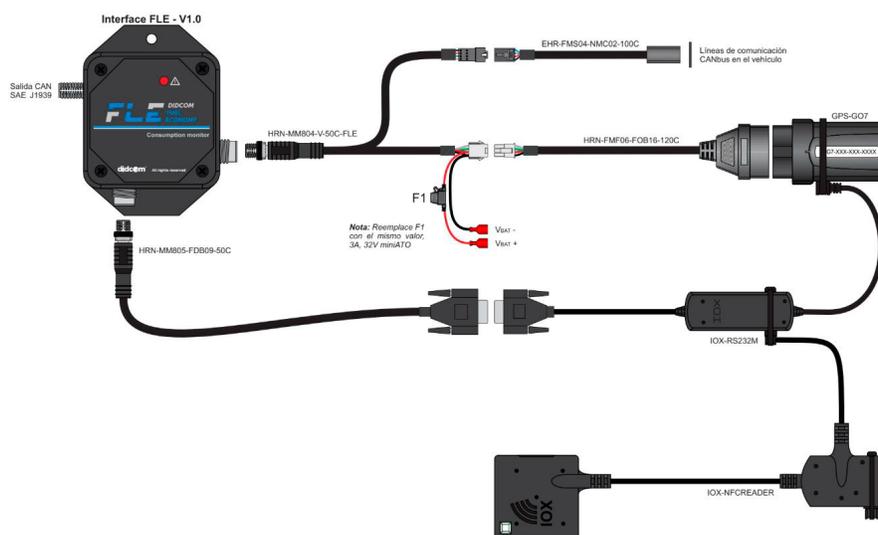


Figura 5. Circuito de instalación del FLE
Fuente: Didcom® (2019)

Manufactura y ensamble

Para reducir costos, la empresa ha limitado su producción a solo el ensamble y distribución del producto, teniendo que importar los componentes del dispositivo desde otros países como Estados Unidos y China (ver figura 6). Así mismo, se cuenta con un stock limitado de dispositivos FLE®. Por cada pedido realizado, se agrega entre el 5% y el 10% del total de piezas para mantener un stock reducido.

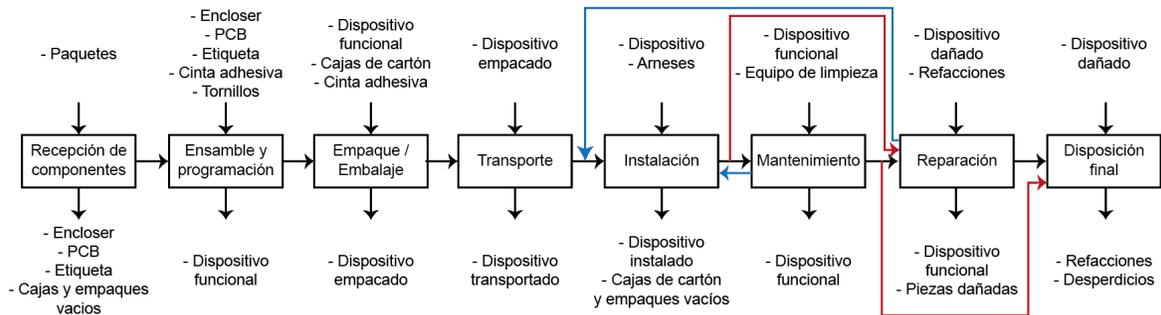


Figura 6. Ciclo de vida del dispositivo FLE a partir de recepción de componentes

Fuente: Elaboración Propia

El proceso de ensamble comienza después de recibido un pedido. Los componentes del dispositivo son solicitados a los proveedores y una vez recibidos, se ensamblan las partes. En caso de que algún componente presente daños, este es reparado por el personal a cargo, reduciendo así pérdidas.

Componentes e Inventario de materiales

a) Enclosure (Caja plástica)

- Material: Pellets de ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)
- Número CAS: 9003-56-9
- Dimensiones: 64.64 x 64.64 x 25.58 mm. / 58.97 g. (ver figura 7)
- País de origen: Estados Unidos

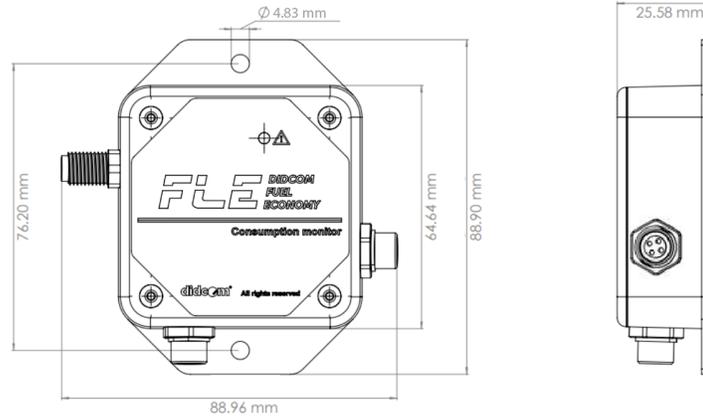


Figura 7. Dimensiones físicas del FLE
Fuente: Didcom® (2020)

b) Printed Circuit Board (PCB) FR4

El PCB consta de 4 diferentes capas de tres componentes principales: lámina de cobre, material pre impregnado (pre-preg) y el núcleo (ver figura 8).

		Láminas de cobre	
0.20 mm	pre-preg	L1	1/2 oz 0.02 mm
0.99 mm	Núcleo	L2	1 oz 0.04 mm
0.20 mm	pre-preg	L3	1 oz 0.04 mm
		L4	1/2 oz 0.02 mm

Figura 8. Construcción de la lámina del PCB
Fuente: South Bay Circuits (2020)

A continuación, se desglosa el material de cada capa:

- Lámina de cobre. 2 capas de 1/2 onza y dos capas de 1 onza. Se ubican entre cada componente como conductor
- Pre-preg. 2 capas de 0.2 mm de espesor cada una. Fibra de vidrio recubierto con resina. El pre-preg está en un estado parcialmente curado (etapa B) para permitir su manipulación y almacenamiento. El pre-preg es el material dieléctrico entre cada capa conductora.
- Núcleo, una capa de 0.99 mm de espesor
Construido de una capa de pre-preg revestida con lámina de cobre en ambos lados, completamente curada (etapa C).
- Dimensiones: 57.79 x 57.79 x 1.57 mm
- País de origen: Estados Unidos

c) Etiqueta

- Material de la etiqueta: PET (Polyethylene Terephthalate)
- Número CAS: 25038-59-9
- Dimensiones: 57.28 x 57.28 x 0.17 mm (ver figura 9)
- Adhesivo: cinta doble cara 3M9080, adhesivo acrílico con 0.13 mm de espesor
- País de origen: China



Figura 9. Dimensiones físicas de la etiqueta FLE

Fuente: Didcom® (2020)

En la tabla 3 se hace una síntesis de los componentes y materiales necesarios para el ensamble y manufactura del dispositivo FLE

Tabla 3. Componentes y materiales del FLE

	Caja plástica	PCB	Etiqueta
Materiales	Pellets de ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)	Lámina de cobre y material pre impregnado (pre-peg)	PET (Polyethylene Terephthalate)
Dimensiones	88.90 x 63.50 x 22.86 mm	57.79 x 57.79 x 1.57 mm	57.28 x 57.28 x 0.17 mm
Peso	58.97 g	25.11 g	0.51 g
País de origen	Estados Unidos	Estados Unidos	China

Fuente: Elaboración propia

Empaque/embalaje

Los dispositivos FLE se empaquetan individualmente en cajas de cartón corrugado con dimensiones 228.6 x 152.4 x 76.2 mm. Este empaque está libre de cinta, pegamentos e impresión. A su vez para el envío de los dispositivos se arman lotes en cajas de cartón corrugado con dimensiones 254.0x 254.0 x 154.4 mm (ver figura 10), que son selladas con cinta adhesiva y en la cual se pueden almacenar hasta 3 dispositivos como se muestra en la figura 11.

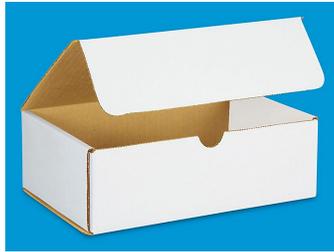


Figura 10. Cajas utilizadas para empaque y embalaje del FLE
Fuente: uline.mx (2020)

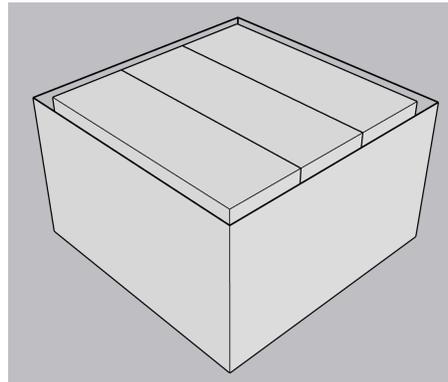


Figura 11. Modelado 3D de embalaje actual utilizado para la distribución del FLE
Fuente: elaboración propia

Transporte

Una vez completado el pedido, los dispositivos se envían por paquetería directamente a las instalaciones del cliente, usualmente por ESTAFETA o FEDEX. Para lotes pequeños el envío es por vía aérea, los envíos superiores a 5 kg se hacen por vía terrestre.

Mantenimiento y garantía

Los dispositivos tienen un periodo de garantía de 3 años contra defectos de fábrica y funcionamiento. Para el mantenimiento de los dispositivos en clientes de grandes flotas se tiene un empleado de Didcom® dentro de la empresa-cliente. Cuando son varios clientes en una misma zona, se asigna un empleado por área para cubrir la demanda.

El empleado se encarga de dar mantenimiento preventivo y correctivo a los dispositivos y determinar si el dispositivo debe ser reemplazado dependiendo del tipo de daño. El objetivo principal es poder reparar los dispositivos, siendo el último recurso el reemplazo o desecho.

Disposición final

Didcom® no cuenta con un programa para la disposición final para los dispositivos que ya no están en funcionamiento. La práctica habitual es que el dispositivo dañado sea enviado a la matriz en Hermosillo, Sonora. Ahí se intenta reparar para que sirva como material de pruebas internas, si el daño inutiliza la pieza, esta es almacenada en cajas de plástico indefinidamente.

6.3 Aspectos ambiental y social

En las Tablas 4 y 5 se enumeran algunos aspectos ambientales y sociales que son considerados como un asunto de prioridad para el producto y el mercado a trabajar.

Tabla 4. Áreas de impacto ambiental

Área de Impacto	Impacto	Fuentes relacionadas al producto
Contaminación del aire	Calentamiento global o cambio climático, lluvia acida, deterioro de la capa de ozono	Materiales que emitan gases a altas temperaturas
Contaminación del suelo	En la salud de las personas, flora, fauna, afectaciones en la agricultura	Uso de químicos (metales pesados, gases tóxicos, etc.), sustancias radioactivas
Contaminación del agua	En la salud de las personas, flora, fauna, la vida acuática	Uso de químicos (metales pesados, gases tóxicos, etc.), sustancias radioactivas
Agotamiento de recursos	Pérdida de biodiversidad, escasez de recursos	Uso de materiales muy escasos, no reciclados o no reciclables
Otros	Visual	Poca degradabilidad de los materiales, basura electrónica en el paisaje

Fuente: UNEP (2009)

Tabla 5. Áreas de impacto social

Área de impacto	Consideraciones	Fuentes
Temas laborales	Seguridad e higiene, instalaciones adecuadas, mejoras en las condiciones de trabajo, estándares internacionales de trabajo	Recursos y materiales utilizados, proceso de fabricación, utilización de los productos finales
Gobierno y gestión	Control de los impactos sociales, responsabilidad de los involucrados, administración de riesgos, generación de documentos	Recursos y materiales utilizados, proceso de fabricación, utilización de los productos finales
Derechos humanos	Protección legal, educación, capacitación, libertad de expresión, discriminación, equidad de género	Recursos y materiales utilizados, proceso de fabricación, utilización de los productos finales

Fuente: UNEP (2009)

6.4 Identificación de enfoques de diseño

En la Tabla 6 se presenta una lista común de enfoques D4S, con la finalidad de recoger ideas acerca de las características del producto, así como encontrar las posibles áreas de mejora.

Tabla 6. Enfoques para el diseño en base al producto actual

Enfoque estratégico	Preguntas sobre el producto	D4S/Enfoques de mejora	Notas sobre afectaciones ambientales
A. Uso de materiales en el producto			
1. Selección de materiales de bajo impacto	¿Contiene el producto algún material tóxico para los humanos y/o ecosistema?	Todos los materiales pueden emitir gases tóxicos al ser expuestos a altas temperaturas	Puede causar efectos dañinos en la salud humana
	¿Hay materiales en el producto que puedan ser reciclados?	Si, los plásticos utilizados en la caja pueden ser fácilmente reciclados y los metales del PCB	Energía, desperdicios y emisiones producto del proceso de reciclaje
	¿Hay materiales reciclados incorporados en el producto?	No, hasta el momento no se han utilizado materiales reciclados	Explotación de recursos
2. Uso de materiales	¿Cuántos materiales diferentes son utilizados?	4 diferentes tipos de materiales entre plásticos, metal y resinas	Materiales no biodegradables
	¿Cómo son unidos los diferentes materiales?	Ensamblados y/o soldados	Emisión de gases por soldadura
3. Empaque y embalaje	¿Qué resuelve el empaque/embalaje? Seguridad, estándares, imagen	El empaque proporciona protección para el equipo y lo aísla del calor y contaminantes	Explotación de recursos y desechos de un solo uso (cajas de cartón)
B. Uso de recursos por y para el producto			
1. Producto y Fabricación	¿Cuáles son las entradas de recursos claves?	Plásticos, resinas y metales	Materiales no biodegradables
	¿Hay recuperación de recursos, fuentes de energía renovables ya utilizados en la fabricación del producto?	No se utilizan recursos o energías renovables en la manufactura de los dispositivos	Explotación de recursos
	¿Cuáles son los resultados clave de la contaminación y de los residuos? ¿Se puede reducir la contaminación y los residuos?	Al exponerse al calor, los materiales pueden emitir gases tóxicos. Los plásticos y los metales pueden ser reciclados	Basura y emisión de gases
2. Distribución y logística	¿Cómo se transportan los productos?	Por paquetería, en vía aérea o terrestre, se envían directamente a las instalaciones de los clientes	Emisiones de CO ₂
3. Impacto en el uso	¿Qué recursos requiere el producto para funcionar durante el uso?	Energía, la cual procede de los vehículos donde se instala	Emisiones de CO ₂
	¿Puede afectar el comportamiento del usuario la demanda de recursos del producto en uso?	El adecuado manejo de los dispositivos y el mantenimiento preventivo pueden aumentar el tiempo de vida del dispositivo	
C. Cuestiones sociales y éticas en la producción, distribución de uso			
1. Mejorar los beneficios sociales y económicos de la producción	¿Qué cuestiones sociales y éticas surgen de la producción, distribución y/o uso?	Salario justo, equidad de género, salud ocupacional	

D. Tiempo de vida del producto y recuperación al final de su vida			
1. Extender el tiempo de vida inicial del producto	¿Cuál es el promedio de vida de su producto? ¿Qué determina la vida útil del producto?	El promedio de vida es de 3 años sin fallas. Sin embargo, las fallas pueden ser reparadas y así alargar el periodo de vida	Basura electrónica
2. Sistemas al final de la vida	¿Qué tan fácil es producto de desmontar?	Es fácil separar los principales componentes del dispositivo	Explotación de recursos
	¿Qué tan fácil es el producto de reutilizar?	Difícil. Es más factible reacondicionar el dispositivo	Explotación de recursos
	¿Puede el producto ser re-manufacturados fácilmente?	Si, es una práctica habitual	Reducción de basura electrónica, así como la explotación de recursos e impacto ambiental por la producción
	¿Puede el producto ser recolectado al final de la vida para permitir la reutilización de componentes o reciclaje de materiales?	Si, los dispositivos no funcionales son recolectados y enviados por paquetería a la matriz para ser almacenados en las instalaciones	Reducción de basura electrónica, así como la explotación de recursos
E. Innovación y nuevas estrategias de producto			
1. Cumplir con las necesidades del usuario con diferentes productos o servicios	¿Es la "necesidad" del producto - el valor y la utilidad - bien entendido? ¿Cuál es el "servicio" que el producto ofrece?	El servicio de monitoreo de la conducción es muy importante para las empresas que manejan grandes flotas	Reducción de uso de combustibles fósiles y gases de efecto invernadero
2. Desarrollo de un producto híbrido	¿Podría un producto sustituir dos o más productos existentes?	Este producto podría unirse al sistema GPS	Explotación de recursos e impacto por producción
3. Aprovechar las nuevas oportunidades tecnológicas	¿Son las nuevas tecnologías o materiales disponibles los que podrían proporcionar la base para la innovación?	Si, ya que requiere de la innovación continua para incrementar la eficiencia y reducir el impacto ambiental	

6.5 Perfil de impacto del producto actual

Para determinar el perfil de impacto del producto actual, se analizó su ciclo de vida desde la etapa de ensamble hasta la instalación (ver figura 6), esto debido a que, en las etapas de mantenimiento y reparación, los flujos de entrada y salida son variables por lo que la precisión en el análisis se ve limitada. Como herramienta se utilizó el programa Open LCA en su versión 1.10 y la metodología para la Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida (EICV) fue ReCiPe Midpoint por su solidez científica y su fácil interpretación, además de estar consideradas dentro por la norma ISO 14040. Cabe resaltar que la nomenclatura presentada en las gráficas de los resultados es en idioma inglés ya que así se obtienen por default en el software Open LCA.

Se analizaron los impactos en materia de cambio climático, calentamiento global y su efecto en la salud humana y en los ecosistemas. Se considera como unidad funcional 1 dispositivo FLE. La Tabla 7 desglosa el inventario para el ciclo de vida de una unidad funcional y los lotes que se montan para su transporte.

Tabla 7. Flujos y cantidades consideradas en el EICV del dispositivo FLE

Proceso	Referencia cuantitativa	Flujo de entrada	Cantidad
Manufactura del PCB	PCB terminado	- Ácido acrílico - Bisfenol A - Epiclorhidrina - Fibra de vidrio - Lámina de cobre	0.147 g/pieza 0.467 g/pieza 2.58 g/pieza 0.189 g/pieza 18 g/pieza
Ensamble y programación	Dispositivos FLE funcionales	- PCB - Caja plástica (ABS) - Etiqueta (PET) - Caja de cartón corrugado	1 pz
Transporte	- Lote dispositivos FLE transportados	- 9 dispositivos FLE funcionales - Cajas de cartón - Transporte por vía aérea	2 874 g/lote 2 000 km / transporte
Instalación	- Dispositivos instalados	- Lote de dispositivos FLE transportados	1 lote

Para este estudio, se consideró la fibra de vidrio en presentación preparada para hilar, llamadas *rovings* de ensamble, al ser el más cercano a los *rovings* de aspersion que son utilizados en la manufactura del PCB, por este motivo pueden existir variaciones en las gráficas presentadas.

Calentamiento global

En la Figura 12 se puede observar que, al ser la vía aérea el método de envío más utilizado, éste representa el factor de mayor impacto con respecto al calentamiento global debido al CO₂ producido por esta actividad, el cual es equivalente a 11.684 kg CO₂ por una carga de 2.874 kg, la cual corresponde a un lote de 9 unidades funcionales, transportados por 2 000 km en promedio.

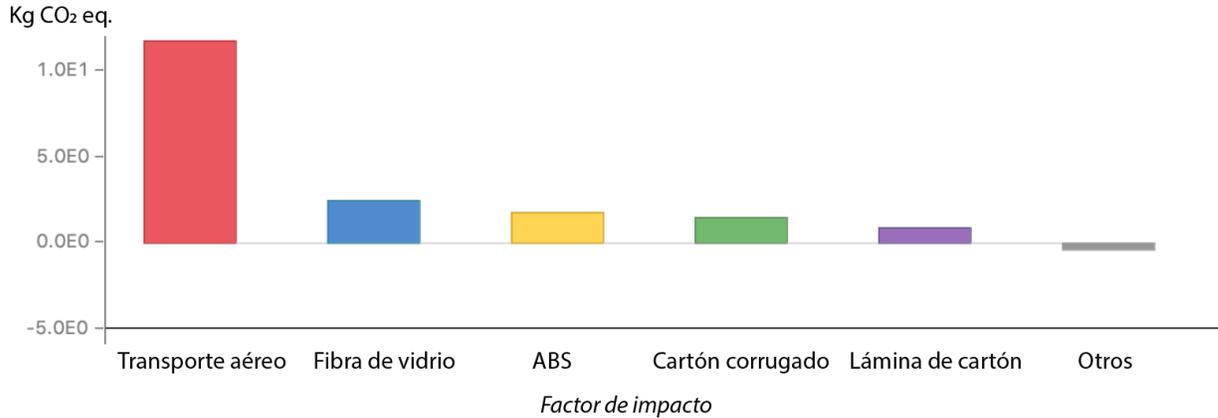


Figura 12: Gráfica de impacto del FLE en el calentamiento global
Fuente: Elaboración propia con OpenLCA

Formación de ozono, salud humana

En la Figura 13 se puede observar cómo la fibra de vidrio es el que tiene mayor impacto en la concentración de ozono en la tropósfera, por las emisiones de monóxido de nitrógeno que produce. El transporte vía aérea, contribuye con emisiones de etano, propano, butano, pentano y otros compuestos orgánicos volátiles distintos del metano. El PET contenido en la etiqueta arroja un negativo en la gráfica ya que el modelado de carbón cubre la producción, el transporte y la entrega del mismo.

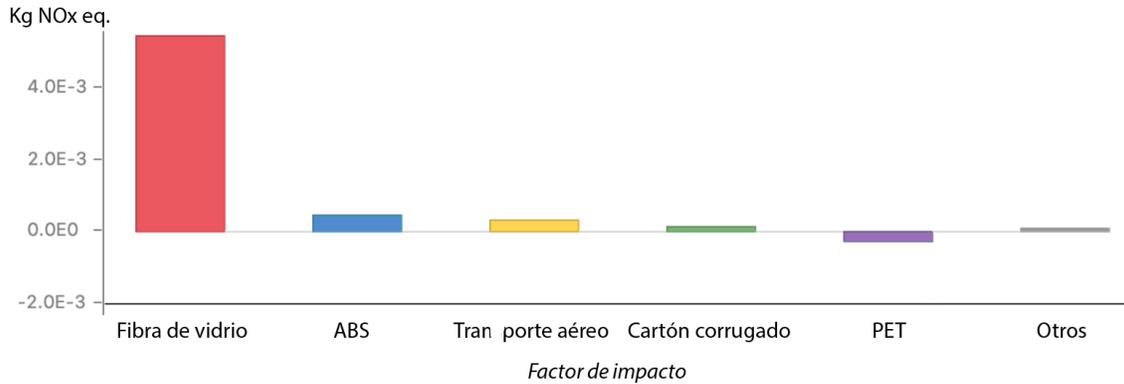


Figura 13: Gráfica de impacto del FLE en la formación de ozono en la tropósfera, salud humana
Fuente: Elaboración propia con OpenLCA

Formación de ozono, ecosistemas terrestres

En la Figura 14 se puede observar cómo las emisiones causantes de la formación de ozono son similares en la afectación a la salud humana y en los ecosistemas terrestres. Sin embargo, en este último tiene una mayor concentración, principalmente de ABS y de emisiones por el transporte de carga. En este caso se puede observar cómo el PET nuevamente aparece con valores negativos en la gráfica ya que se considera que su impacto es reabsorbido por el ambiente.

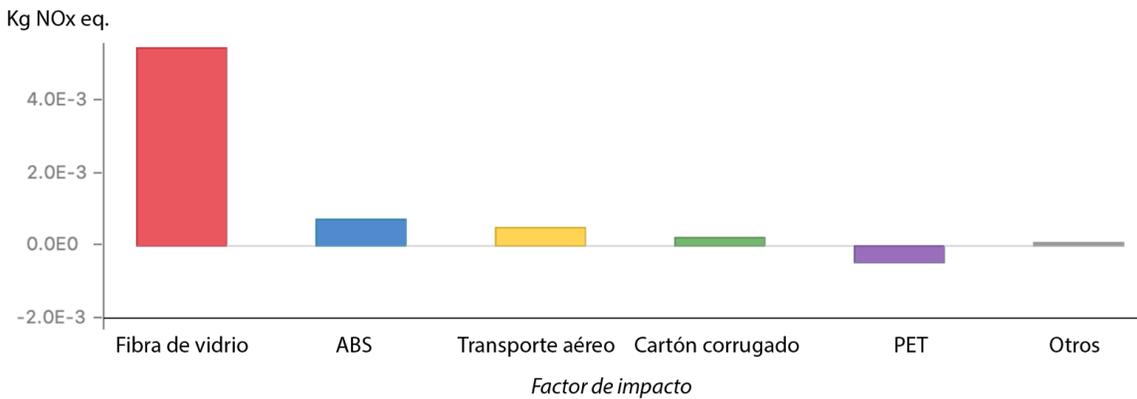


Figura 14: Gráfica de impacto del FLE en la formación de ozono en la tropósfera, ecosistemas terrestres
Fuente: Elaboración propia con OpenLCA

Agotamiento de la capa de ozono en la estratósfera

En la Figura 15 se puede observar cómo el utilizar la vía aérea como principal fuente de envío es el factor con mayor impacto en el agotamiento de la capa de ozono principalmente por las emisiones de óxido nitroso, N₂O.

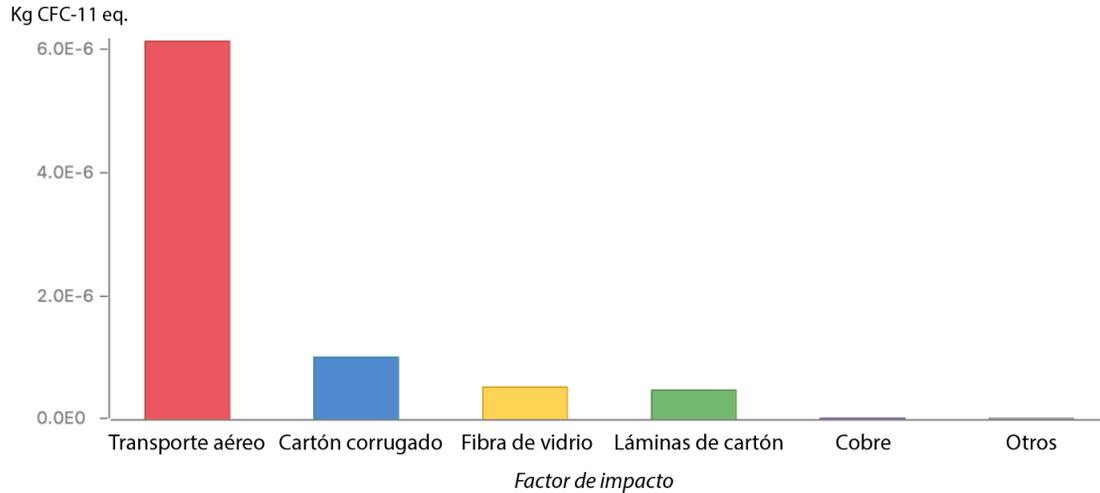


Figura 15: Gráfica de impacto del FLE en el agotamiento de la capa de ozono
Fuente: Elaboración propia con OpenLCA

Toxicidad humana

En la Figura 16 se puede observar cómo el cartón corrugado utilizado es el que perjudica en mayor medida la salud humana, debido a que genera emisiones de cromo, las cuales son nocivas para la salud humana. La fibra de vidrio utilizada en el PCB también se caracteriza por liberar cromo en su proceso productivo el cual afecta, no solo la salud humana, si no también al aire, agua y tierra en los ecosistemas que habitamos. Por otro lado, el transporte vía aérea se encuentra como el de menor impacto en cuanto a la emisión de tóxicos cancerígenos.

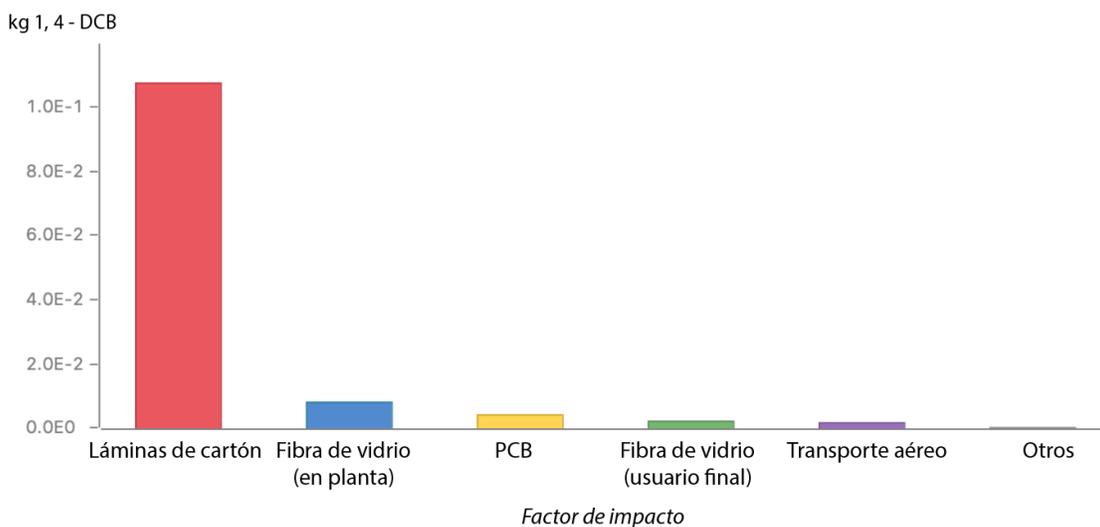


Figura 16: Gráfica de impacto del FLE en la toxicidad humana, en desarrollo de cáncer
Fuente: Elaboración propia con OpenLCA

6.6 Identificación de oportunidades de mejora

La Figura 17 ilustra la rueda del ecodiseño para el D4S con las siete estrategias que permiten visualizar cómo se encuentra el producto en la actualidad frente a cada una de las etapas del ciclo de vida.

Para la obtención de las puntuaciones en cada una de las estrategias se utilizó una adaptación del manual de la metodología de la UNEP (2009) contenida en el Módulo E “D4S Rules of Thumb”, el cual incluye una guía de elementos que se usaron como criterios a evaluar por estrategia y a los que se les dio una puntuación específica. Los resultados obtenidos por estrategia, al sumar cada una de las puntuaciones asignadas, van en una escala del 0 al 5. En esta escala, el cero (0) significa la puntuación más baja y el cinco (5) la más alta para el desempeño de cada estrategia según el nivel de cumplimiento de cada criterio aplicable.

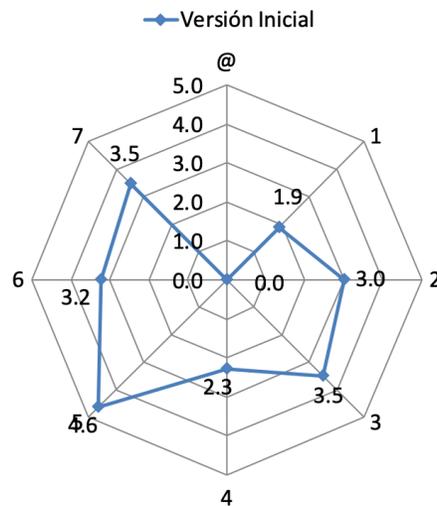


Figura 17. Rueda del ecodiseño para el D4S (versión actual)

Fuente: elaboración propia

A continuación, se describe el estado actual del producto para cada una de las estrategias de la rueda del ecodiseño:

1. Selección de materiales de bajo impacto

Puntaje: 1.9 de 5.0

Los materiales que componen el FLE se caracterizan por ser ligeros, durables, de fácil transporte y reciclables; son de origen virgen ya que se cree que puede afectar

el desempeño y seguridad en el uso del dispositivo. Por otro lado, los materiales y componentes provienen del extranjero en lotes pequeños, aumentando su impacto ambiental debido al transporte.

2. Reducción de uso de materiales

Puntaje: 3.0 de 5.0

El producto está hecho con materiales sólidos y ligeros, con las dimensiones necesarias para brindar un óptimo funcionamiento. El dispositivo en sí no puede ser reducido en su presentación, pero los componentes para conectarlo a los vehículos se envían por separado para ser instalados por un profesional de la compañía.

3. Optimización de las técnicas de producción

Puntaje: 3.5 de 5.0

El proceso en la matriz se ha reducido solo al ensamble de los componentes del dispositivo, es por ello que existen pocos o nulos desperdicios en la fase de manufactura. Además, los componentes no son expuestos a acabados extras como pintura, y la soldadura se limita a piezas que presenten alguna clase de daño generado durante el transporte, evitando así la exposición a sustancias perjudiciales para la salud de los trabajadores. Sin embargo, la empresa no cuenta con fuentes de energías renovables ni programas de eficiencia energética para la producción.

4. Optimización del sistema de distribución

Puntaje: 2.3 de 5.0

Para la distribución, el dispositivo es empacado individualmente en cajas de cartón que no requiere de adhesivos extras. La caja no cuenta con etiquetas o impresiones y es fácilmente reutilizable, aunque no es una práctica habitual. Los lotes también son en cajas de cartón, pero se utiliza una cinta adhesiva para sellarlo y poder ser enviados. Los lotes no se envían en grandes cantidades debido a que se manufacturan solo las piezas necesarias. Además, al ser la vía aérea el principal medio de transporte, y al encontrarse los proveedores de los componentes en el extranjero, es difícil reducir el impacto del transporte y distribución.

5. Reducción del impacto durante el uso

Puntaje: 4.6 de 5.0

La energía necesaria para el funcionamiento de los dispositivos es realmente poca y proviene del impulso eléctrico provocado por el frenado de los vehículos. No requiere baterías ni alguna otra fuente de alimentación externa. A temperatura ambiente no daña la salud de operadores y técnicos. Además, cuenta con retardante de fuego para que en caso de una sobrecarga no se inicie un incendio.

6. Optimización de la vida útil

Puntaje: 3.2 de 5.0

El dispositivo cuenta con un diseño atractivo y moderno, es escalable ya que se le pueden agregar características a nivel software para ofrecer mejoras al producto, y también posee un diseño modular que lo hace sencillo de mantener, reparar y reemplazar. Es un dispositivo que difícilmente será obsoleto a corto o mediano plazo debido a la calidad de sus materiales, pero el mantenimiento debe de ser realizado por personal autorizado para prolongar su vida útil, razón por la cual no incluye instrucciones sobre el desmantelamiento o reparación de los componentes ni sus partes.

7. Optimización del fin de vida del sistema

Puntaje: 3.5 de 5.0

Al ser revisado solo por técnicos especializados, se reduce la cantidad de defectos provocados por mal manejo. Cuando el dispositivo llega al final de su vida útil, puede ser separado en sus principales componentes y determinar si alguno de estos funciona como material de prueba o refacción. Sin embargo, las piezas no utilizadas no cuentan con una fase de reciclaje, ni existe un plan de disposición final para ellas.

6.7 Opciones de Rediseño

En la fase anterior se ha analizado el estado actual del producto a rediseñar para cada una de las 7 estrategias, esto con el fin de plasmar las oportunidades de mejora según las estrategias incluidas en la rueda del ecodiseño. En la Figura 18 se ilustra la rueda del ecodiseño para el D4S, en la cual se hace un comparativo del producto actual y sus áreas de oportunidad para obtener el producto rediseñado.

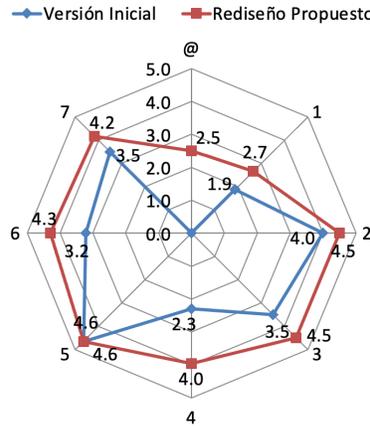


Figura 18. Comparativa del diseño actual con el rediseño propuesto
Fuente: elaboración propia

A continuación, se describe para cada una de las estrategias de la rueda del ecodiseño las oportunidades de mejora que se sugieren para el ecodiseño del producto, con la finalidad de que éste sea más sustentable.

1. Selección de materiales de bajo impacto

Anterior: 1.9 Propuesto: 2.7

Se propone utilizar materiales reciclados como el cartón reciclado en la etapa de empaque y embalaje, ya que en esta etapa no se corren riesgos por la naturaleza o procedencia de los materiales. Así mismo, se propone acordar con los clientes que los empaques sean enviados a plantas de reciclaje locales, en el caso de que el cliente no cuente con un programa de reciclaje interno.

Por otro lado, se necesitan proveedores del área local o que la región de producción sea lo más cercana a la matriz, siendo recomendable México o Estados Unidos para minimizar el impacto ambiental por transportación.

2. Reducción de uso de materiales

Anterior: 4.0 Propuesto: 4.5

En la actualidad los empaques individuales se empaquetan como un "kit" donde se incluye el equipo FLE y los accesorios que se necesitan para instalarlo, todo en una misma caja. Es posible transportar el producto en componentes y accesorios sueltos, que se puedan ensamblar posteriormente por un empleado autorizado.

3. Optimización de las técnicas de producción

Anterior: 3.5 Propuesto: 4.5

Es necesario implementar fuentes de energías renovables para las instalaciones de la matriz y el proceso de ensamble de los dispositivos, siendo la energía solar la más viable debido a las condiciones climáticas favorables de la zona geográfica de la empresa.

Otra área de oportunidad es obtener certificaciones internacionales de producción y bienestar para los trabajadores, que le permitan a la empresa garantizar el bienestar social de sus empleados y clientes.

4. Optimización del sistema de distribución

Anterior: 2.3 Propuesto: 4.0

Es posible optimizar las dimensiones del empaque al crear paquetes separados de objetos que contienen la misma proporción para optimizar el espacio y reducir el impacto durante el transporte. También es necesario utilizar la vía terrestre como principal medio de envío, así como contratar paqueterías locales para la entrega y distribución de los equipos al cliente final.

5. Reducción del impacto durante el uso

Anterior: 4.6 Propuesto: 4.6

El equipo goza de un buen desempeño durante su vida útil y un bajo impacto ambiental, utiliza poca energía y no necesita repuestos que generen desperdicios.

6. Optimización de la vida útil

Anterior: 3.2 Propuesto: 4.3

El mantenimiento es realizado por personal autorizado de Didcom®. Sin embargo, esto representa gastos en transportación y tiempo muerto en el que dispositivo no funciona correctamente. Mejorar el diseño para que sea sencillo de dar mantenimiento y de reparar, con instrucciones claras y manuales, puede representar un ahorro en la capacitación y se reducen las pérdidas por un mal manejo del dispositivo por personas no calificadas.

7. Optimización del fin de vida del sistema

Anterior: 3.5 Propuesto: 4.2

Una vez descartada la posibilidad de reacondicionar el equipo y que sus piezas funcionales sean extraídas para utilizarse de refacción o material de prueba, el material sobrante deberá ser llevado a un centro de reciclaje local especializado en basura electrónica, para que pueda ser correctamente procesado.

En la Tabla 8 se resumen las áreas de oportunidad identificadas en base al análisis de impacto del producto actual y a las 7 estrategias consideradas dentro de la rueda del ecodiseño para el rediseño del producto.

Tabla 8. Posibles opciones de mejora en el rediseño de producto

Número	Mejora	Descripción
1	Reciclaje	Después de que el equipo sea catalogado como "no funcional", llevarlo a un centro de reciclaje localizado en la misma ciudad.
2	Optimización de empaque	Optimizar las dimensiones del empaque, así como enviar lotes más grandes.
3	Transporte	Utilizar la vía terrestre como principal forma de envío y distribución
4	Eficiencia energética y energías renovables	Implementar fuentes de energía renovables en el sistema de producción y manufactura de los dispositivos electrónicos, así como implementar un sistema de gestión de energía
5	Proveedores locales y/o nacionales	Buscar proveedores locales o cercanos a la región donde se ubican las instalaciones de ensamble de los dispositivos
6	Plataforma Web para el monitoreo de emisiones como valor agregado	Al ser el FLE un dispositivo para el monitoreo de rendimiento de combustible, es posible calcular las emisiones de gases producidos por los vehículos donde se encuentra instalado

6.8 Priorizar ideas y conceptos

A continuación, se detallan las propuestas de mejora para su posterior priorización.

Reciclaje

El técnico encargado de dar mantenimiento y reparación a los dispositivos, también deberá ser el responsable de determinar si el producto puede ser reacondicionado al final de su vida útil. En caso de que sea posible, deberá enviarlo a la matriz para que sea reparado y su periodo de vida sea alargado entre 2 y 3 años más. Si, por otro lado, el dispositivo no tiene reparación, se deberá enviar a una recicladora de material eléctrico local.

Así mismo, los dispositivos que se determinen como no funcionales en la matriz, deberán enviarse a la recicladora de material eléctrico más cercana, en la ciudad de Hermosillo, Sonora.

Optimización de empaque

Para optimizar el empaque y envío de los dispositivos, se propone armar lotes de 30 piezas para su envío (ver Figura 19), de esta manera se optimiza el espacio y se reduce el impacto ambiental debido al transporte de lotes pequeños. Esta propuesta se alinea a las necesidades de la empresa, ya que esta tiene como objetivo vender los dispositivos solo a flotas con más de 30 unidades.

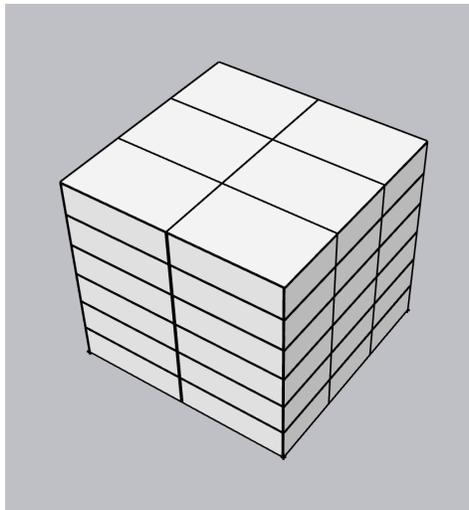


Figura 19: Modelado 3D de la propuesta de empaque con 30 dispositivos
Fuente: Elaboración propia con SketchUp

Para el envío del lote, se propone utilizar cajas de cartón con profundidad variable (Figura 20). Estas cajas con dimensiones de 46 x 46 cm de base y una profundidad entre los 25 y los 46 cm, permiten reducir los costos de envío por sobredimensionar el empaque, además se ajusta a lotes de entre 18 y 36 piezas como se puede observar en la tabla 9.



Figura 20: Caja de cartón con profundidad variable

Fuente: uline.mx

Tabla 9. Capacidad de piezas que pueden ser transportadas de acuerdo a la profundidad de la caja

Profundidad (cm)	21	29	36	43
Capacidad máxima de piezas por lote	18	24	30	36

Si se compara el impacto ambiental al enviar 30 dispositivos, la primera opción con el empaque actual de tres piezas por caja, y el empaque en una caja más grande con 30 piezas, ambos enviados por vía aérea, se puede observar cómo el impacto ambiental se ve considerablemente reducido como se muestra en la Tabla 10, debido a que el peso del envío es menor porque se utiliza menos cartón corrugado para el empaque.

Tabla 10. Comparación de impacto entre el empaque actual y el rediseño

Indicador	Empaque actual	Rediseño	Unidad
Calentamiento global	5.68421e+1	4.77800e+1	kg CO ₂ eq
Toxicidad humana, cáncer	3.78893e-1	1.79686e-1	kg 1,4-DCB
Formación de ozono, salud humana	1.95622e-2	1.64128e-2	kg NO _x eq
Formación de ozono, ecosistemas terrestres	2.08284e-2	1.75174e-2	kg NO _x eq
Agotamiento de la capa de ozono en la estratósfera	2.65022e-5	2.20451e-5	kg CFC11 eq

Por otro lado, al reducirse la cantidad de cartón corrugado necesario para el transporte, también se reduce el impacto en la salud humana en enfermedades como el cáncer, que es donde el cartón corrugado tenía un mayor impacto como se muestra en la figura 21.

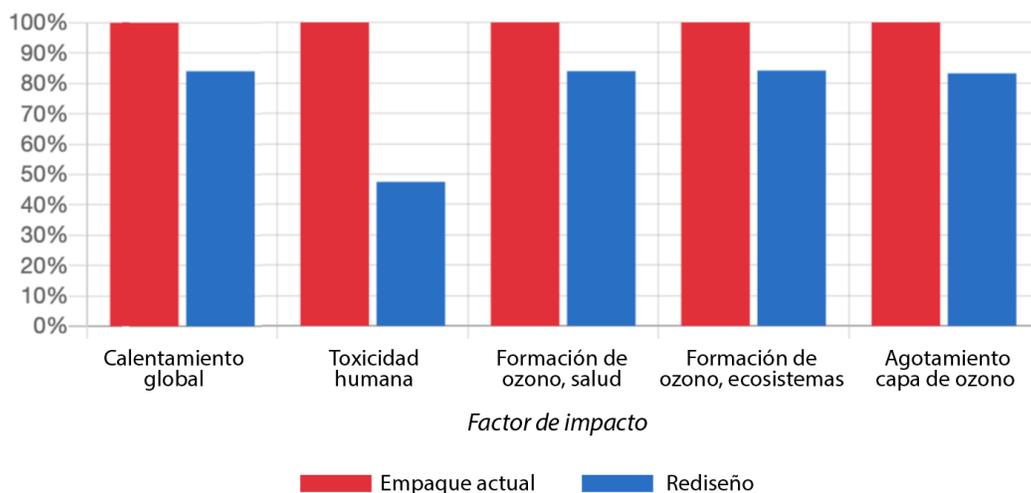


Figura 21: Gráfica comparativa del impacto de un envío con el empaque actual vs el rediseño de empaque
Fuente: Elaboración propia con Open LCA

Transporte

Una vez reemplazado el empaque de los dispositivos por lotes de 30, se propone utilizar la vía terrestre como principal forma de envío para reducir el impacto en el calentamiento global, la degradación de la capa de ozono y la formación de ozono en la tropósfera. Como se puede observar en la Tabla 11, en el caso de la toxicidad humana, no hay una variación significativa debido a que la principal fuente impacto en este aspecto es el cartón corrugado utilizado para el empaque, el cual es utilizado en la misma cantidad en los dos modelos de observación (ver Figura 22).

Tabla 11. Comparación de impacto por transporte del empaque rediseñado

Indicador	Transporte terrestre	Transporte aéreo	Unidad
Calentamiento global	1.09436e+1	4.77800e+1	kg CO ₂ eq
Toxicidad humana, cáncer	1.69290e-1	1.79686e-1	kg 1,4-DCB
Formación de ozono, salud humana	1.50166e-3	1.64128e-2	kg NO _x eq
Formación de ozono, ecosistemas terrestres	2.10437e-3	1.75174e-2	kg NO _x eq
Agotamiento de la capa de ozono en la estratósfera	4.26928e-6	2.20451e-5	kg CFC11 eq

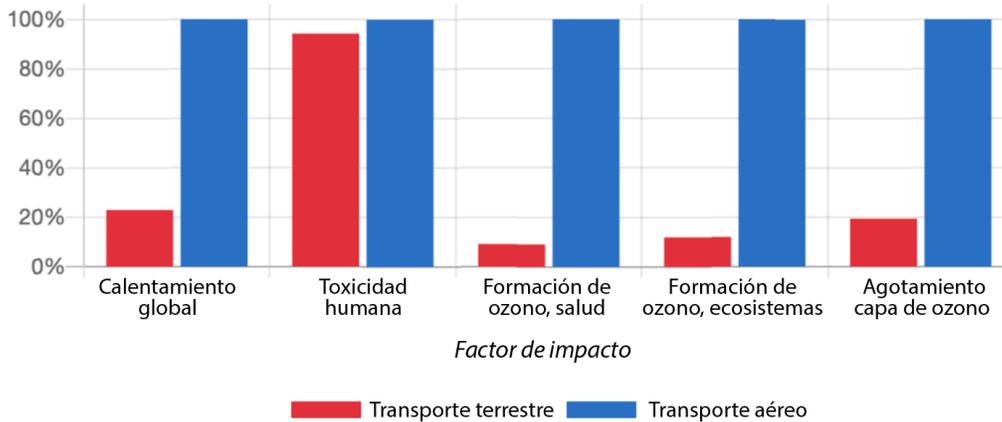


Figura 22: Gráfica comparativa del impacto del envío de un lote rediseñado de 30 piezas por vía aérea vs el mismo empaque enviado por vía terrestre.
Fuente: Elaboración propia con OpenLCA

Energía

Para efficientizar el proceso de ensamble y manufactura, es recomendable implementar un Sistema de Gestión Energética. Se sugiere se utilice como base el ISO 50001, ya que este cuenta con un programa específico relativo a la energía consumida en un proceso. En México, implementar mejoras de eficiencia energética a demostrado alcanzar ahorros del 10% al 40% en el consumo energético en las compañías (Díaz, 2015).

Por otro lado, para reducir el impacto ambiental a nivel operación, una opción es implementar fuentes de energía renovables en la planta Matriz. De acuerdo con datos de la revista manufactura en México, generar 1 kilowatt hora (KWh) con energía termosolar cuesta entre 0.35 y 0.45 pesos mexicanos; con gas natural, 0.80 a 1; mientras que, con combustóleo, 1.10 a 1.20 (2017). Cabe destacar que la matriz se encuentra ubicada en el desierto de Sonora, México, lugar donde el cielo está despejado, mayormente despejado o parcialmente nublado el 89% del año, razón por la cual es altamente recomendable la instalación de celdas fotovoltaicas.

Proveedores locales y/o nacionales

Para analizar el impacto derivado de contar con proveedores extranjeros, se utilizó como objeto de estudio el envío de las etiquetas, ya que actualmente éstas provienen de China. Se comparó el envío hacia la ciudad de Hermosillo, Sonora, México, de un lote de 100 etiquetas por vía aérea desde tres puntos estratégicos:

1. Shanghái, China 11 330 km
2. California (Centro), Estados Unidos 1 500 km
3. Guadalajara, Jalisco, México 1 360 km

Según los datos obtenidos con la herramienta OpenLCA, al haber una diferencia de casi 10 mil kilómetros en el transporte desde China, se muestran incrementos de hasta el 80% en emisiones comparado con envíos desde California o Jalisco (Tabla 12).

Tabla 12. Comparación de impacto por transporte por un lote de 100 etiquetas

Indicador	Shanghái, China	California, EUA	Jalisco, MX	Unidad
Calentamiento global	1.55900e+0	2.60839e-1	2.43379e-1	kg CO2 eq
Toxicidad humana, cancer	5.67425e-4	2.00251e-4	1.95312e-4	kg 1,4-DCB
Formación de ozono, salud humana	6.45058e-4	1.16899e-4	1.09795e-4	kg NOx eq
Formación de ozono, ecosistemas terrestres	6.92057e-4	1.44605e-4	1.37242e-4	kg NOx eq
Agotamiento de la capa de ozono en la estratósfera	7.03397e-7	8.85965e-8	8.03275e-8	kg CFC11 eq

Como se aprecia en la Figura 23, las emisiones que contribuyen al calentamiento global y la formación de ozono pueden ser reducidas más del 80% al utilizar proveedores localizados a menos de 1 500 km de distancia de la matriz. Así mismo, la toxicidad humana se ve reducida hasta un 65% al utilizar proveedores regionales.

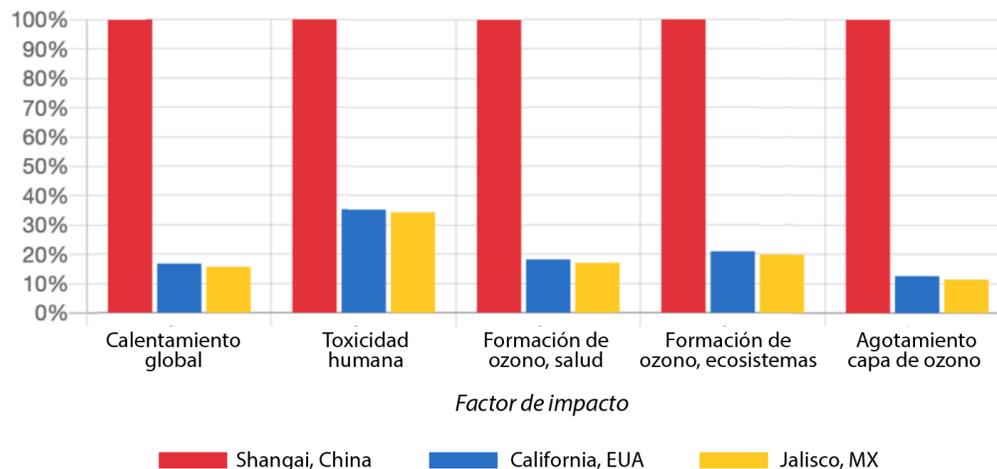


Figura 23: Gráfica comparativa del impacto del transporte de 100 etiquetas desde 3 ubicaciones estratégicas

Fuente: Elaboración propia con Open LCA

Plataforma Web para el monitoreo de emisiones

El FLE es un dispositivo electrónico que interpreta múltiples variables sobre el consumo de combustible en las unidades de transporte. Con estos datos, es posible no solo calcular la eficiencia del consumo de combustible, si no también la cantidad de emisiones que contribuyen a problemas como el calentamiento global y la degradación de la capa de ozono. Es por ello que se propone desarrollar una plataforma donde, con el uso de esta herramienta, se pueda llevar un control sobre las emisiones y su impacto ambiental y que esto contribuya a que las empresas de la industria del autotransporte puedan elaborar reportes de impacto ambiental y detectar las unidades con baja eficiencia.

Una vez definidas las propuestas de mejora, es importante valorarlas en cuanto la viabilidad económica y técnica para la empresa, el tiempo que tomará su implementación, así como evaluar su nivel de impacto ambiental. En la Tabla 13 se hace una valoración de viabilidad de las propuestas y el tiempo necesario para implementarlas con los siguientes criterios de evaluación, cuyo puntaje se suma para poder determinar la prioridad de ejecución:

Tabla 13. Análisis de viabilidad de la implementación de mejoras

No.	Mejora	Viabilidad Técnica	Impacto ambiental positivo	Viabilidad económica	Tiempo	Total	Prioridad
1	Reciclaje. Después de que el equipo sea catalogado como "no funcional", llevarlo a un centro de reciclaje localizado en la misma ciudad	3	3	3	3	12	1
2	Optimización de empaque. Optimizar las dimensiones del empaque, así como enviar lotes más grandes.	3	3	3	2	11	2
3	Transporte. Utilizar la vía terrestre como principal forma de envío y distribución	2	3	3	2	10	3
4	Eficiencia energética y energías renovables. Implementar fuentes de energía renovables en el sistema de producción y manufactura, así como un sistema de gestión de energía	2	3	2	1	8	5
5	Proveedores locales y/o nacionales. Buscar proveedores cercanos a la región donde se ubican las instalaciones de ensamble de los dispositivos	2	3	2	2	9	4
6	Plataforma Web para el monitoreo de emisiones como valor agregado.	2	1	2	1	6	6
CRITERIOS DE EVALUACIÓN							
Viabilidad técnica		Impacto ambiental positivo		Viabilidad económica		Tiempo	
3 = Complejidad técnica Baja 2 = Complejidad técnica Media 1 = Complejidad técnica Alta		3 = Impacto positivo Alto 2 = Impacto positivo Medio 1 = Impacto positivo Bajo		3 = Inversión Baja 2 = Inversión Media 1 = Inversión Alta		3 = Implementación Rápida 2 = Implementación Regular 1 = Implementación Lenta	

Se concluyó que las propuestas de reciclaje (1) y optimización del empaque (2) son las más viables de implementar a corto plazo, ya que no representan un cambio complejo a nivel técnico y tiene grandes beneficios en la reducción del impacto ambiental, así como en el área económica de la empresa al reducir costos. La propuesta 3, transporte vía terrestre, implica cambios en la logística y puede significar retrasos en la operación o alguna otra contradicción a nivel técnico-operacional, por lo cual se debe ser cuidadoso en su implementación. La propuesta 5 que representa la búsqueda de proveedores regionales implica un cambio en los costos de manufactura y la calidad del dispositivo por lo cual se determina que el cambio puede ser más tardado. La propuesta 4, que corresponde a la eficiencia energética, representa grandes cambios a nivel organización con una inversión también alta, pero también a largo plazo representa una reducción en costos e impacto ambiental, por lo que se considera una inversión a largo plazo. Por último, la propuesta 6, que corresponde a crear una plataforma para el monitoreo de emisiones, es la que directamente tiene menor impacto ambiental, y representa un esfuerzo a nivel técnico y económico de la empresa, aunque también abre oportunidades de nuevos mercados y puede traer un beneficio económico alto a largo plazo.

VII. DISCUSIÓN

A lo largo de este estudio se analizó el ciclo de vida de un dispositivo electrónico desde la recepción de componentes, hasta su disposición final. Siendo esta última etapa la de mayor énfasis. En este sentido, si el dispositivo dañado puede ser reacondicionado, se puede prolongar su vida útil por lo menos un año más. Sin embargo, la empresa solo considera estos dispositivos como objetos de prueba, sin contemplar la posibilidad de ser puestos en venta. Acorde a la Ley Federal del Consumidor (2013), es posible poner estos artículos a la venta siempre y cuando sea a un precio menor al precio regular y con un etiquetado que aclare la condición del producto, por lo que podría ser una opción viable para aumentar la rentabilidad de la empresa y reducir su impacto ambiental producto de la extracción de materiales vírgenes y el transporte de componentes.

Por otro lado, si el dispositivo ya no puede ser recuperado, lo indicado sería enviarlo a un centro de reciclaje de electrónicos en el área local o regional. Empero, en estos centros de reciclaje solo se extraen los metales, quedando las resinas y algunos plásticos como desecho. En el caso específico de la caja plástica del dispositivo, la cual está hecha principalmente de un polímero denominado ABS, se han encontrado estudios sobre su dificultad de reciclaje debido a la coloración a la que es expuesto el plástico, y al proceso para que sea retardante a llamas (Residuos Profesional, 2019); ambos aspectos aplicables al dispositivo de estudio. Es importante señalar que ya existen procesos y maquinaria para el reciclaje de este tipo de plásticos y se encuentran en desarrollo otros más para eficientizar este proceso (Sliz, 2019). La cuestión sería realizar una búsqueda de recicladoras que cuenten con la tecnología adecuada para realizar este proceso, eliminando así la necesidad de un cambio en el diseño de la caja plástica, ya que el color negro en dispositivos electrónicos resulta especialmente atractivo para el público, a comparación de las opciones en blanco o gris, los cuales tienden a decolorarse y son percibidos como tecnología vieja u obsoleta, provocando que las personas quieran cambiarlos por solo un efecto visual.

La utilización de equipo electrónico para la medición de emisiones producida por el sector del autotransporte contribuye a alinear a Didcom® con los objetivos 9 y 12 de desarrollo sostenible establecidos en la agenda 2030 (ONU, s. f.), los cuales consisten en construir una industria más sustentable, alentando a las empresas a que incorporen información sobre la sustentabilidad en su ciclo de presentación de informes y adopten la innovación.

Así mismo, para Didcom® la implementación de las mejoras presentadas en este estudio representa reducir la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización.

Otro factor de cambio hacia la sustentabilidad es la utilización de proveedores locales y/o regionales en la manufactura. Las etiquetas del dispositivo provienen desde China, país que se ha distinguido en los últimos años por fabricar grandes volúmenes de producción, de una manera rápida y a costo bajo (Zhao, 2017). Sin embargo, con la pandemia por el COVID-19 los precios de los fletes de transporte desde China se duplicaron y muchos pedidos fueron cancelados debido al paro de operaciones en las fabricas de ese país (Forbes, 2020). Si, además, se considera el factor de impacto ambiental, el resultado de un flete de etiquetas desde China aumenta hasta en un 80% las emisiones de gases que contribuyen al cambio climático y al efecto invernadero, en comparación con un proveedor localizado en México o incluso en Estados Unidos. Bajo este panorama actual, obtener partes de proveedores regionales trae a la empresa beneficios ecológicos al reducir la huella de carbono por el transporte de partes, sociales al reducir los riesgos a la salud producto de la contaminación en exceso, y económicos al darle mayor rentabilidad y seguridad.

VIII. CONCLUSIONES

Después de realizado el estudio, se puede concluir que la metodología del manual de la UNEP de diseño para el ambiente fue una herramienta útil para crear un plan de acción en la empresa y poder enfocar esfuerzos para mejorar la sustentabilidad del dispositivo y de la compañía en un mediano plazo.

Así mismo, este tipo de estudios contribuyen a tener mayor claridad sobre el impacto ambiental y social resultado del ensamble y manufactura de dispositivos electrónicos, de los cuales existe poca documentación y son de vital importancia, tanto en la industria del autotransporte, como en la industria de tecnologías para la información y comunicación.

Por último, la implementación de las propuestas presentadas contribuye no solo a prevenir, eliminar y/o reducir potencialmente riesgos ambientales generados en el diseño y manufactura de dispositivos electrónicos, si no a crear un cambio en su ciclo de vida y en la rentabilidad de la empresa.

IX. RECOMENDACIONES

Para continuar con este estudio, se recomienda evaluar el nivel de impacto ambiental producido por las unidades de carga, antes y después de instalado el dispositivo. Para esto se sugiere tomar 30 vehículos como muestra, lo que equivale a un lote de dispositivos electrónicos instalados, y monitorear los indicadores de cambio durante un periodo de un año, para posteriormente llevar a cabo la comparativa entre el nivel de reducción de emisiones de los vehículos de carga, y el nivel de impacto en la manufactura y ciclo de vida del FLE, de esta forma se puede valorar si existe una reducción significativa en el impacto ambiental, en cuanto tiempo es absorbido este impacto, y si es realmente viable implementar esta tecnología para el control de emisiones.

X. REFERENCIAS

- Awasthi, A. K. *et al.* (2019) “Environmentally sound system for E-waste: Biotechnological perspectives”, *Current Research in Biotechnology*. Elsevier BV, 1, pp. 58–64. doi: 10.1016/j.crbiot.2019.10.002.
- Caban, J. *et al.* (2019) “About eco-driving, genesis, challenges and benefits, application possibilities”, *Transportation Research Procedia*. Elsevier B.V., 40, pp. 1281–1288. doi: 10.1016/j.trpro.2019.07.178.
- Cayón García, F. y Muñoz Rubio, M. (2017) *Los transportes y las comunicaciones durante la guerra civil*. Disponible en: http://www.usc.es/estaticos/congresos/histec05/a2_cayon_munoz.pdf.
- Congreso de la Unión (2013) *LEY FEDERAL DE PROTECCION AL CONSUMIDOR Capítulo I Disposiciones Generales*.
- Cook, G. y Jardim, E. (2017) “Guide to greener electronics +”, *Greenpeace*, (October), pp. 1–60.
- Díaz, D. (2015) *Óptimo manejo de energía, el secreto del ahorro, Manufactura*. Disponible en: <https://manufactura.mx/energia/2015/06/09/optimo-manejo-de-energi769a-el-secreto-del-ahorro> (Consultado: el 26 de octubre de 2020).
- Díaz, V. (2017) “¿Cómo integrar energías limpias en planta?”, *Manufactura*. Disponible en: <https://manufactura.mx/industria/2017/11/14/como-integrar-energias-limpias-en-planta> (Consultado: el 26 de octubre de 2020).
- Dieterle, M., Schäfer, P. y Viere, T. (2018) “Life Cycle Gaps: Interpreting LCA Results with a Circular Economy Mindset”, *Procedia CIRP*. The Author(s), 69(May), pp. 764–768. doi: 10.1016/j.procir.2017.11.058.
- DOF - *Diario Oficial de la Federación* (2017). Disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5513626&fecha=19/02/2018 (Consultado: el 5 de febrero de 2020).
- Ebrahimi, M., Baboli, A. y Rother, E. (2019) “The evolution of world class manufacturing toward Industry 4.0: A case study in the automotive industry”, *IFAC-PapersOnLine*. Elsevier Ltd, 52(10), pp. 188–194. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.10.021>.
- Forbes (2019) “Nueva norma de Semarnat incrementa la venta de vehículos pesados • Forbes México”, *Forbes México*. Disponible en: <https://www.forbes.com.mx/la-nom-044-de-semarnat-incrementa-la-venta-de-vehiculos-pesados/> (Consultado: el 6 de febrero de 2020).
- Forbes (2020) *México prevé sustituir 20 % de insumos chinos con productos locales este año • Forbes México, Forbes*. Disponible en: <https://www.forbes.com.mx/mexico-preve-sustituir-20-de-insumos-chinos-con-productos-locales-este-ano/> (Consultado: el 6 de noviembre de 2020).
- García, M., Coloma, J. F. y Wang, Y. (2018) “Eco-Driving in Small Cities. Driving Performance in Relation to Driver’s Profile”, *Transportation Research Procedia*. Elsevier B.V., 33, pp. 267–274. doi: 10.1016/j.trpro.2018.10.102.
- Ghosh, M., Ghosh, A. y Roy, A. (2019) “Renewable and Sustainable Materials in Automotive Industry”, en *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*. Elsevier. doi: 10.1016/b978-0-12-803581-8.11461-4.
- Gradilla Hernández, L. A. (2012) “Transporte de carga en México: transición hacia un sistema sustentable”, *Intituto Mexicano del Transporte*, (383), pp. 8–58.

- INCOMEX (2019) *Logística 4.0, evolución de la logística del autotransporte*. Disponible en: <https://incomex.org.mx/index.php/2019/02/11/logistica-4-0-evolucion-de-la-logistica-del-autotransporte/> (Consultado: el 20 de enero de 2020).
- INECC (2017) *Datos Abiertos de México - Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGyCEI)*, INECC. Disponible en: <https://datos.gob.mx/busca/dataset/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero-inegycei> (Consultado: el 22 de enero de 2020).
- INEGI (2019) *Conociendo la Industria del Autotransporte de carga*.
- IPCC (2014) *AR5 Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*, IPCC. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/> (Consultado: el 23 de enero de 2020).
- Jasiński, D., Meredith, J. y Kirwan, K. (2016) "A comprehensive framework for automotive sustainability assessment", *Journal of Cleaner Production*, 135, pp. 1034–1044. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.07.027.
- Kallinikos, J., Aaltonen, A. y Marton, A. (2013) "THE AMBIVALENT ONTOLOGY OF DIGITAL ARTIFACTS", *MIS Quarterly*, 37(2), pp. 357–370. doi: 10.25300/MISQ/2013/37.2.02.
- Kranz, M. J. y Borders, D. (2012) "METHODS AND SYSTEMS FOR MONITORING OF MOTOR VEHICLE FUEL EFFICIENCY". United States of America.
- Lane, B. W. (2019) "Revisiting 'An unpopular essay on transportation:' The outcomes of old myths and the implications of new technologies for the sustainability of transport", *Journal of Transport Geography*. Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2019.102535.
- Liao, Y. *et al.* (2017) "Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal", *International Journal of Production Research*. Taylor and Francis Ltd., 55(12), pp. 3609–3629. doi: 10.1080/00207543.2017.1308576.
- Lindow, K., Kaluza, A. y Stark, R. (2018) "Study on sustainability developments in industrial practice", *Procedia Manufacturing*. Elsevier B.V., 21, pp. 345–352. doi: 10.1016/j.promfg.2018.02.130.
- Mayyas, A. *et al.* (2012) "Design for sustainability in automotive industry: A comprehensive review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 1845–1862. doi: 10.1016/j.rser.2012.01.012.
- Naik, P. *et al.* (2018) "An automotive diagnostics, fuel efficiency and emission monitoring system using CAN", en *2017 International Conference on Big Data, IoT and Data Science, BID 2017*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 14–17. doi: 10.1109/BID.2017.8336566.
- ONU (sin fecha) *Infraestructura – Desarrollo Sostenible*. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/infrastructure/> (Consultado: el 18 de febrero de 2021).
- Ortegon, K. (2019) "Life cycle engineering in an industrial engineering undergraduate program, from the classroom to the real life of students", *Procedia CIRP*. Elsevier B.V., 80, pp. 613–618. doi: 10.1016/j.procir.2019.01.011.
- Otto, S. *et al.* (2018) "The economy of E-waste collection at the individual level: A practice oriented approach of categorizing determinants of E-waste collection into behavioral costs and motivation", *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 204(2018), pp. 33–40. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.08.293.
- Rafael Morales, M. Y. y Hernández Guzmán, A. (2012) "Manual De Conducción Técnica de Vehículos Automotores Diesel", *SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES*, (360).

- Rahman, L. F., Ozcelebi, T. y Lukkien, J. (2018) "Understanding IoT Systems: A Life Cycle Approach", *Procedia Computer Science*. Elsevier B.V., 130, pp. 1057–1062. doi: 10.1016/j.procs.2018.04.148.
- Residuos Profesional (2019) *Proyecto para el reciclaje de plásticos ABS y HIPS procedentes de residuos electrónicos*, www.residuosprofesional.com. Disponible en: <https://www.residuosprofesional.com/plast2bcleaned-reciclaje-abs-hips/>.
- Samuel, C. (2018) *Sustainability in the Automotive Industry*, ERA Environmental Management Solutions. Disponible en: <https://www.era-environmental.com/blog/sustainability-in-the-automotive-industry> (Consultado: el 9 de enero de 2020).
- Saunila, M. et al. (2019) "Smart technologies and corporate sustainability: The mediation effect of corporate sustainability strategy", *Computers in Industry*. Elsevier B.V., 108, pp. 178–185. doi: 10.1016/j.compind.2019.03.003.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2018) *El autotransporte de carga, industria estratégica para el crecimiento del país*, Gobierno de México. Disponible en: <https://www.gob.mx/sct/prensa/el-autotransporte-de-carga-industria-estrategica-para-el-crecimiento-del-pais-gre> (Consultado: el 20 de enero de 2020).
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2018) *Publica SEMARNAT Norma que regula emisiones contaminantes de vehículos pesados nuevos que utilizan diesel como combustible*.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2019) *Programa "Transporte Limpio" | Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales | Gobierno | gob.mx*, Gobierno de México. Disponible en: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/programa-transporte-limpio-190236> (Consultado: el 17 de enero de 2020).
- Segura Tierradentro, E. M. (2014) *SYSTEMS ANALYSIS INVENTORY TRACEABILITY AND ITS IMPACT ON SUPPLY CHAIN*. Universidad Militar Nueva Granada.
- Sivak, M. y Schoettl, B. (2012) *ECO-DRIVING: STRATEGIC, TACTICAL, AND OPERATIONAL DECISIONS OF THE DRIVER THAT IMPROVE VEHICLE FUEL ECONOMY*, University of Michigan.
- Sliz, S. (2019) *El reciclaje de RAEE y su problema: el plástico negro, interempresas*. Disponible en: <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/246624-El-reciclaje-de-RAEE-y-su-problema-el-PLASTICO-NEGRO.html> (Consultado: el 6 de noviembre de 2020).
- T21 (2017) *Programa de Transporte Limpio alcanza 375 empresas adheridas*. Disponible en: <http://t21.com.mx/terrestre/2017/11/30/programa-transporte-limpio-alcanza-375-empresas-adheridas> (Consultado: el 5 de febrero de 2020).
- Telenko, C. y Benzoni, N. (2018) "Life Cycle Tradeoffs in a Feedback Device for Reducing Water Consumption", *Procedia CIRP*. The Author(s), 69(May), pp. 615–620. doi: 10.1016/j.procir.2017.11.053.
- Townsend, J. D. y Calantone, R. J. (2014) "Evolution and transformation of innovation in the global automotive industry", *Journal of Product Innovation Management*, 31(1), pp. 4–7. doi: 10.1111/jpim.12075.
- UNEP (2009) *Design for Sustainability - A Step-by-Step Approach*.
- Wattanukul, S. et al. (2018) *Improving Risk Management By Using Smart Containers for Real-Time Traceability*.
- Weking, J. et al. (2019) "Leveraging industry 4.0 – A business model pattern framework", *International Journal of Production Economics*, (September). doi: 10.1016/j.ijpe.2019.107588.

Zbicinski, I. y Stavenuiter, J. (2006) *Product Design and Life Cycle Assessment*.

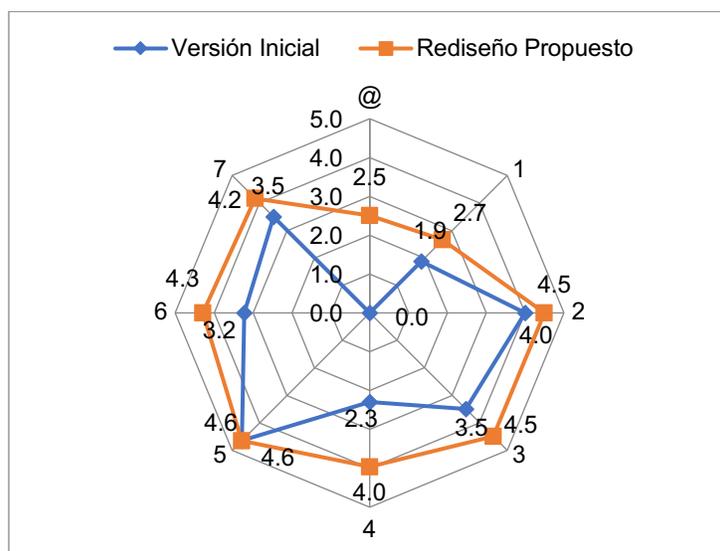
Zhang, B. *et al.* (2019) "Human exposure to phthalate esters associated with e-waste dismantling: Exposure levels, sources, and risk assessment", *Environment International*. Elsevier, 124(October 2018), pp. 1–9. doi: 10.1016/j.envint.2018.12.035.

Zhao, T. (2017) *Ventajas de importar de China – Procurement China Service, prochinaservice.com*. Disponible en: <http://prochinaservice.com/ventajas-de-importar-de-china/> (Consultado: el 6 de noviembre de 2020).

XI. ANEXOS

Anexo 1. Rueda del ecodiseño

A continuación, se muestran los resultados del estudio de la rueda del ecodiseño de forma detallada



		Versión Inicial	Rediseño Propuesto
@> Desarrollo de nuevos conceptos	@	0.0	2.5
1> Selección de materiales de bajo impacto	1	1.9	2.7
2> Reducción del uso de materiales	2	4.0	4.5
3> Optimización de técnicas de producción	3	3.5	4.5
4> Optimización del sistema de distribución	4	2.3	4.0
5> Reducción del impacto durante el uso	5	4.6	4.6
6> Optimización de la vida útil inicial	6	3.2	4.3
7> Optimización del sistema al final de su vida útil	7	3.5	4.2

Criterio de evaluación

- "0" si la oración se aplica pero no se cumple.
- "0.5" si la oración se aplica y se cumple parcialmente.
- "1" si la frase se aplica y se cumple totalmente.
- "n" si la oración no se aplica.

Prod. A	Prod. B	
6	8.5	Número de elementos que se aplican
16	16	Suma de valores de los elementos que se aplican
1.9	2.7	Puntuación basada en 5 para este criterio

1> SELECCIÓN DE MATERIALES DE BAJO IMPACTO

a> Materiales más limpios

0.5	0.5	1_ No utilice materiales o aditivos prohibidos por su toxicidad. Estos incluyen PCB (bifenilos policlorados), PCT (terfenilos policlorados), plomo (en PVC, electrónica, colorantes y baterías), cadmio (en colorantes y baterías) y mercurio (en termómetros, interruptores, tubos fluorescentes).
0.5	0.5	2_ Evite los materiales y aditivos que agotan la capa de ozono como el cloro, flúor, bromo, bromuro de metilo, halones y aerosoles, espumas, refrigerantes y solventes que contienen CFC.
n	n	3_ Evite el uso de hidrocarburos que causan smog durante el verano.
n	n	4_ Encuentrar alternativas para técnicas de tratamiento de superficies como galvanización en caliente, galvanizado electrolítico y cromado electrolítico.
0.5	0.5	5_ Buscar alternativas para metales no ferrosos como cobre, zinc, latón, cromo y níquel debido a las emisiones nocivas que se producen durante su producción.

b> Materiales renovables

0	0	6_ Buscar alternativas para materiales agotables.
---	---	---

c> Materiales de menor contenido energético

1	1	7_ Evite materiales que consuman mucha energía como el aluminio en productos con una vida útil corta.
n	n	8_ Evite las materias primas producidas en agricultura intensiva.

d> Materiales reciclados

0	0.5	9_ Utilice materiales reciclados siempre que sea posible, para aumentar la demanda del mercado de materiales reciclados.
0	0	10_ Utilice metales secundarios como el aluminio y el cobre secundarios en lugar de sus equivalentes vírgenes (primarios).
0	0.5	11_ Utilice plásticos reciclados para las partes internas de los productos que tienen solo una función de soporte y no requieren una alta calidad mecánica, higiénica o de tolerancia.
n	n	12_ Cuando la higiene es importante (como en las tazas de café y algunos envases) se puede aplicar un laminado cuyo centro es de plástico reciclado, cubierto o rodeado de plástico virgen.
0	0.5	13_ Utilice las características únicas (como variaciones de color y textura) de los materiales reciclados en el proceso de diseño.

e> Materiales reciclables

1	1	14_ Seleccione un solo tipo de material para el producto en su conjunto y para los distintos subconjuntos.
1	1	15_ Cuando esto no sea posible, seleccione materiales compatibles entre sí.
0	0	16_ Evite materiales que sean difíciles de separar como materiales compuestos, laminados, masillas, retardadores de fuego y refuerzos de fibra de vidrio.
1	1	17_ Utilice preferentemente materiales reciclables para los que ya existe un mercado.
0.5	0.5	18_ Evite el uso de elementos contaminantes como pegatinas que interfieren con el reciclaje.

f> Materiales con impacto social positivo, es decir, generando ingresos locales

0	0.5	19_ Hacer uso de materiales suministrados por productores locales.
0	0.5	20_ Estimular arreglos para el reciclaje de materiales por parte de empresas locales que puedan sustituir (parte de) las materias primas de la empresa.

Prod. A	Prod. B
4	4.5
5	5
4.0	4.5

Número de elementos que se aplican

Suma de valores de los elementos que se aplican

Puntuación basada en 5 para este criterio

2> REDUCCIÓN DEL USO DE MATERIALES

a> Reducción de peso

1	1	21_ Apunte a la rigidez a través de técnicas de construcción como nervaduras de refuerzo en lugar de "sobredimensionar" el producto.
1	1	22_ Trate de expresar calidad a través de un buen diseño en lugar de sobredimensionar el producto.

b> Reducción del volumen (de transporte)

1	1	23_ Apunte a reducir la cantidad de espacio requerido para el transporte y almacenamiento disminuyendo el tamaño y el volumen total del producto.
0.5	0.5	24_ Hacer el producto plegable y / o apto para encajar.
0.5	1	25_ Considere transportar el producto en componentes sueltos que se puedan anidar, dejando el ensamblaje final a un tercero o incluso al usuario final.

Prod. A	Prod. B
10.5	13.5
15	15
3.5	4.5

Número de elementos que se aplican

Suma de valores de los elementos que se aplican

Puntuación basada en 5 para este criterio

3> OPTIMIZACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE PRODUCCIÓN

a> Técnicas de producción alternativas

1	1	26_ Elija preferiblemente técnicas de producción limpias que requieran menos sustancias auxiliares o aditivos nocivos (por ejemplo, reemplace los CFC en el proceso de desengrase y los agentes blanqueadores clorados).
0.5	0.5	27_ Seleccione técnicas de producción que generen bajas emisiones, como doblar en lugar de soldar, unir en lugar de soldar.
1	1	28_ Elija procesos que hagan el uso más eficiente de los materiales, como el recubrimiento en polvo en lugar de la pintura en aerosol.

b> Menos pasos de producción

1	1	29_ Combinar funciones constituyentes en un componente para que se requieran menos procesos de producción.
---	---	--

1	1	30_ Utilice preferiblemente materiales que no requieran tratamiento adicional de la superficie.
---	---	---

c> Producción de energía más baja / más limpia

0	1	31_ Motivar al departamento de producción y proveedores para que sus procesos productivos sean más eficientes energéticamente.
0	1	32_ Anímelos a hacer uso de fuentes de energía renovables como la energía eólica, hidráulica y solar. Cuando sea posible, reduzca el uso de combustibles fósiles y reduzca el impacto ambiental, por ejemplo, eligiendo carbón con bajo contenido de azufre o gas natural.

d> Menos desperdicio de producción

1	1	33_ Diseñar el producto para minimizar el desperdicio de material, especialmente en procesos como aserrado, torneado, fresado, prensado y punzonado.
1	1	34_ Motivar al departamento de producción y proveedores para reducir el desperdicio y el porcentaje de rechazos durante la producción.
0.5	0.5	35_ Reciclar residuos de producción dentro de la empresa.

e> Menos consumibles / producción más limpia

1	1	36_ Reduzca los consumibles de producción necesarios, por ejemplo, diseñando el producto de modo que durante el corte los residuos se restrinjan a áreas específicas y se reduzca la limpieza.
0	0.5	37_ Consulte con el departamento de producción y los proveedores si se puede aumentar la eficiencia con la que se utilizan los materiales operativos durante la producción, por ejemplo, mediante un buen mantenimiento, sistemas de producción cerrados y reciclaje interno.

f> Seguridad y limpieza del lugar de trabajo

1	1	38_ Elija tecnologías de producción que requieran menos sustancias nocivas y generen menos emisiones tóxicas.
1	1	39_ Utilizar técnicas de producción que generen menos residuos y organizar sistemas eficientes de reutilización y reciclaje en la empresa para los residuos restantes.
0.5	1	40_ Implementar sistemas para las condiciones de trabajo, salud y seguridad en la empresa como SA8000.

Prod. A	Prod. B
5.5	9.5
12	12
2.3	4.0

Número de elementos que se aplican

Suma de valores de los elementos que se aplican

Puntuación basada en 5 para este criterio

4> OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

a> Embalaje menos / más limpio / reutilizable

1	1	41_ Si todo o parte del empaque sirve para darle al producto un cierto atractivo, use un diseño atractivo pero delgado para lograr el mismo efecto.
n	n	42_ Para el transporte y el embalaje a granel, considere el embalaje reutilizable en combinación con un sistema de depósito o devolución monetario.
1	1	43_ Utilice materiales adecuados para el tipo de embalaje; por ejemplo, evite el uso de PVC y aluminio en embalajes no retornables.

1	1	44_ Utilice volúmenes y pesos mínimos de embalaje.
0	1	45_ Asegúrese de que el embalaje sea apropiado para el volumen reducido, la capacidad de plegado y el anidamiento de los productos; consulte la estrategia 2b.

b> Modo de transporte energéticamente eficiente

0	0.5	46_ Motivar al departamento comercial para evitar formas de transporte nocivas para el medio ambiente.
0	0.5	47_ El transporte en barco portacontenedores o tren es preferible al transporte en camión.
0	0.5	48_ Se debe evitar el transporte aéreo siempre que sea posible.

c> Logística energéticamente eficiente

0	0.5	49_ Motivar al departamento de ventas a trabajar preferentemente con proveedores locales para evitar el transporte de larga distancia.
1	1	50_ Motivar al departamento de ventas a introducir formas eficientes de distribución, por ejemplo, la distribución simultánea de grandes cantidades de diferentes productos.
0.5	1	51_ Utilice embalajes de transporte estandarizados y embalajes a granel (Europallets y dimensiones del módulo de embalaje estándar).

d> Involucrar a proveedores locales (economías distribuidas)

0.5	1	52_ Explorar opciones para contratar más transporte / distribución local.
0.5	0.5	53_ Formar consorcios logísticos con empresas compañeras de la comunidad para subcontratar conjuntamente la distribución y el transporte de forma eficiente e involucrando a los distribuidores locales.

Prod. A	Prod. B
13	13
14	14
4.6	4.6

Número de elementos que se aplican

Suma de valores de los elementos que se aplican

Puntuación basada en 5 para este criterio

5> REDUCCIÓN DEL IMPACTO DURANTE EL USO

a> Bajo consumo energético

1	1	54_ Utilice los componentes de menor consumo energético disponibles en el mercado.
1	1	55_ Utilice un modo de apagado predeterminado.
1	1	56_ Asegúrese de que el usuario pueda apagar los relojes, las funciones de espera y dispositivos similares.
1	1	57_ Si se usa energía para mover el producto, haga que el producto sea lo más liviano posible.
n	n	58_ Si se utiliza energía para calentar sustancias, asegúrese de que el componente correspondiente esté bien aislado.

b> Fuente de energía limpia

1	1	59_ Elija la fuente de energía menos dañina.
n	n	60_ No fomente el uso de baterías no recargables - por ejemplo, una radio portátil se puede suministrar con un cargador de batería, fomentando el uso de baterías recargables;
1	1	61_ Fomentar el uso de energías limpias como las fuentes de energía con bajo contenido de azufre (gas natural y carbón con bajo contenido de azufre), fermentación, energía eólica,

		energía hidráulica y energía solar. Un ejemplo es un calentador solar que no requiere energía para calentar agua durante el verano.
--	--	---

c> Se necesitan menos consumibles

1	1	62_ Diseñe el producto para minimizar el uso de materiales auxiliares; por ejemplo, use un filtro permanente en las cafeteras en lugar de filtros de papel y use la forma correcta de filtro para garantizar un uso óptimo del café.
n	n	63_ Minimice las fugas de máquinas que utilizan grandes volúmenes de consumibles, por ejemplo, instalando un detector de fugas.
n	n	64_ Estudiar la viabilidad de reutilizar consumibles –reutilizando agua en el caso de un lavavajillas.

d> Consumibles más limpios

n	n	65_ Diseñe el producto para utilizar los consumibles más limpios disponibles.
1	1	66_ Asegúrese de que el uso del producto no genere desechos ocultos pero dañinos, por ejemplo, instalando filtros adecuados.

e> Reducir el desperdicio de energía y otros consumibles

1	1	67_ El uso indebido del producto en su conjunto debe evitarse mediante instrucciones claras y un diseño adecuado.
1	1	68_ Diseñe el producto de manera que el usuario no pueda desperdiciar materiales auxiliares; por ejemplo, una entrada de llenado debe ser lo suficientemente grande para evitar derrames.
n	n	69_ Utilice marcas de calibración en el producto para que el usuario sepa exactamente cuánto material auxiliar, como detergente en polvo, debe utilizar.
1	1	70_ Establezca el estado predeterminado que sea más deseable desde un punto de vista medioambiental; por ejemplo, "no se proporciona taza mediante dispensador de bebidas" o "copias a doble cara".

f> Apoyo a la salud, valor social añadido

1	1	71_ Asegúrese de que el producto tenga un impacto nulo o mínimo en la salud del usuario evitando el uso de sustancias tóxicas, niveles bajos de radiación, etc.
1	1	72_ Diseñar el producto de acuerdo con las necesidades y posibilidades socioeconómicas de los grupos de usuarios.
0	0	73_ Evaluar las oportunidades para diseñar productos para grupos de bajos ingresos.

Prod.	Prod.
A	B
9	12
14	14
3.2	4.3

Número de elementos que se aplican

Suma de valores de los elementos que se aplican

Puntuación basada en 5 para este criterio

6> OPTIMIZACIÓN DE LA VIDA ÚTIL INICIAL

a> Fiabilidad y durabilidad

1	1	74_ Desarrolle un diseño sólido y evite los eslabones débiles. Para este propósito, se han desarrollado métodos especiales como el modo de falla y el análisis de efectos.
---	---	--

b> Mantenimiento y reparación más fáciles

1	1	75_ Diseñe el producto de tal manera que necesite poco mantenimiento.
0	0	76_ Indique en el producto cómo debe abrirse para limpiarlo o repararlo; por ejemplo, dónde aplicar palanca con un destornillador para abrir conexiones a presión.
0	1	77_ Indique en el propio producto qué partes deben limpiarse o mantenerse de una manera específica, por ejemplo, mediante puntos de lubricación codificados por colores.
0	1	78_ Indique en el producto qué piezas o subconjuntos deben inspeccionarse con frecuencia debido al rápido desgaste.
0.5	1	79_ Haga que la ubicación del desgaste en el producto sea detectable para que la reparación o el reemplazo se puedan realizar a tiempo.
0.5	1	80_ Ubique las piezas que se desgastan relativamente rápido unas cerca de otras y al alcance de la mano para que las piezas de repuesto sean fáciles de desmontar para su reparación o sustitución.

c> Estructura de producto modular

1	1	81_ Diseñe el producto en módulos de modo que el producto pueda actualizarse agregando nuevos módulos o funciones en una fecha posterior, por ejemplo, conectando unidades de memoria más grandes en computadoras.
1	1	82_ Diseñar el producto en módulos de modo que se puedan renovar los módulos obsoletos técnica o estéticamente. Por ejemplo, haga muebles con cubiertas reemplazables que se puedan quitar, limpiar y eventualmente renovar.

d> Diseño clásico

1	1	83_ Diseñar la apariencia del producto para que no pierda interés rápidamente, asegurando así que la vida estética del producto no sea más corta que su vida técnica.
---	---	---

e> Fuerte relación producto-usuario

1	1	84_ Diseñar el producto para que cumpla con creces los requisitos (posiblemente ocultos) del usuario durante mucho tiempo.
n	n	85_ Asegúrese de que el mantenimiento y reparación del producto se convierta en un placer y no en un deber.
1	1	86_ Darle al producto un valor agregado en términos de diseño y funcionalidad para que el usuario sea reacio a reemplazarlo.

f> Involucrar a los sistemas locales de mantenimiento y servicio

0.5	0.5	87_ Diseñar el producto teniendo en cuenta las posibilidades de las empresas locales de servicio y mantenimiento.
0.5	0.5	88_ Desarrollar conjuntamente nuevos centros innovadores de servicio y reparación en la región que puedan participar tanto en el mantenimiento de los nuevos productos como en los existentes.

Prod. A	Prod. B
10.5	12.5
15	15
3.5	4.2

Número de elementos que se aplican
Suma de valores de los elementos que se aplican
Puntuación basada en 5 para este criterio

7> OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE FINAL DE VIDA ÚTIL

a> Reutilización del producto

1	1	89_ Dar al producto un diseño clásico que lo haga estéticamente agradable y atractivo para un segundo usuario.
1	1	90_ Asegúrese de que la construcción sea sólida para que no quede obsoleta prematuramente en el sentido técnico.

b> Remanufactura / reacondicionamiento

1	1	91_ Diseño para el desmantelamiento (desde el producto hasta los subconjuntos) para garantizar una fácil accesibilidad del producto para la inspección, limpieza, reparación y reemplazo de subconjuntos o piezas vulnerables o sensibles a la innovación.
1	1	92_ El producto debe tener una estructura de diseño jerárquica y modular; A continuación, cada uno de los módulos puede desmontarse y reconstruirse de la forma más adecuada.
1	1	93_ Utilice uniones desmontables como uniones a presión, roscadas o de bayoneta en lugar de uniones soldadas, pegadas o soldadas.
1	1	94_ Utilice juntas normalizadas para que el producto pueda desmontarse con algunas herramientas universales; por ejemplo, utilice un tipo y tamaño de tornillo.
1	1	95_ Coloque las juntas de forma que el responsable del desmontaje del producto no tenga que darle la vuelta ni moverlo.
0.5	0.5	96_ Indique en el producto cómo debe abrirse de forma no destructiva; por ejemplo, indique dónde y cómo aplicar palanca con un destornillador para abrir conexiones a presión.
1	1	97_ Ubique las piezas que se desgastan con relativa rapidez cerca unas de otras, de modo que se puedan reemplazar fácilmente.
0	0	98_ Indique en el producto qué partes deben limpiarse o mantenerse de una manera específica, por ejemplo, utilizando puntos de lubricación codificados por colores.

c> Reciclaje de materiales

0	0	99_ Dar prioridad al reciclaje primario sobre el reciclaje secundario y terciario.
1	1	100_ Diseño para desmontaje (desde subconjuntos hasta piezas).
1	1	101_ Intente utilizar materiales reciclables para los que ya existe un mercado.
n	n	102_ Si se deben utilizar materiales tóxicos en el producto, deben concentrarse en áreas adyacentes para que puedan desprenderse fácilmente.

d> Incineración más segura

n	n	103_ Cuanto más materiales tóxicos hay en un producto, más tiene que pagar la parte responsable por su incineración. Por lo tanto, los elementos tóxicos deben concentrarse y separarse fácilmente para que puedan eliminarse, pagarse y tratarse como un flujo de desechos separado.
---	---	---

e> Teniendo en cuenta los sistemas de reciclaje de recolección locales (informales)

0	1	104_ Evaluar las posibilidades de las actividades de reciclaje formales o informales existentes en la comunidad para participar en la devolución y el reciclaje del producto.
0	1	105_ Desarrollar y / o apoyar de manera conjunta nuevos y eficientes sistemas de recolección y reciclaje en la región.

Prod. A	Prod. B
0	0.5
1	1
0.0	2.5

Número de elementos que se aplican

Suma de valores de los elementos que se aplican

Puntuación basada en 5 para este criterio

@> REVISIÓN DEL DISEÑO DEL PRODUCTO

a> Rediseño del producto

0	0.5	106 Rediseño completo del producto
---	-----	------------------------------------