

Principios de **SOSTENIBILIDAD Y ECODISEÑO** *para una* **GESTIÓN EFICIENTE DEL CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO**

*Principles of sustainability and eco-design for
efficient management of the product life cycle*

GERARDO HERNÁNDEZ-NERIA*, ARTURO SANTAMARÍA-ORTEGA**, JOSUÉ DENISS ROJAS-ARAGÓN***

Fecha de recibido:
27 Diciembre 2023
Fecha de aceptado:
22 Abril 2024

*Universidad Autónoma de
Guadalajara, México
dis_ger27@hotmail.com

**Universidad Autónoma del
Estado de México, México
asantamariao@uaemex.mx

***Universidad Autónoma del
Estado de México, México
jdra@uaemex.mx

RESUMEN. Los principios de sostenibilidad condicionan el desarrollo de productos y la necesidad de controlar el impacto ambiental que se genera durante su ciclo de vida. Al implementar estrategias de ecodiseño se busca que las empresas garanticen la satisfacción de nuevas demandas sociales a través de decisiones concientizadas y de bajo impacto ambiental. Por lo que, es importante promover metodologías de ecodiseño y consideraciones de fabricación sostenible que garanticen el aprovechamiento de los recursos, así como eficiencia en los procesos que fomentan la ciclicidad objetual. El trabajo propone un modelo para la gestión sostenible del ciclo de vida del producto a través de cuatro etapas principales: diseño, fabricación, usabilidad y renovación. El aporte sugiere que al término de la vida útil de un producto se realice un análisis de las partes que lo componen y asegurar de manera específica su adecuada reintegración a un nuevo ciclo de vida. Para el análisis se define un sistema de control basado en consideraciones de ecodiseño y manufactura sostenible para la selección de distintos métodos, herramientas y conocimientos que facilita la implementación de estrategias y la toma de decisiones mediante la identificación de niveles óptimos de sostenibilidad y con el uso de una herramienta de evaluación de impacto que se podrá determinar la pertinencia de la eco-reintegración.

Palabras clave: ecodiseño, eco-reintegración, fabricación sostenible, gestión del ciclo de vida del producto, renovación.

ABSTRACT. The principles of sustainability determine the development of products and the need to control the environmental impact generated during their life cycle. By implementing eco-design strategies, companies are expected to guarantee the satisfaction of new social demands through conscious decisions with low environmental impact. Therefore, it is important to promote eco-design methodologies and sustainable manufacturing considerations that guarantee the use of resources, as well as efficiency in the processes that promote object simplicity. The work proposes a model for the sustainable management of the product life cycle through four main stages: design, manufacturing, usability and renewal. The contribution suggests that at the end of the useful life of a product, an analysis of the parts that compose it be carried out and specifically ensure its adequate reintegration into a new life cycle. For the analysis, a control system based on eco-design and sustainable manufacturing considerations is defined for the selection of different methods, tools and knowledge that facilitate the implementation of strategies and decision making through the identification of optimal levels of sustainability and with the use of an impact evaluation tool that can determine the relevance of eco-reintegration.

Key words: eco-design, eco-reintegration, sustainable manufacturing, product life cycle management, renewal.

Hoy en día, muchos de los problemas ambientales que enfrentan los países se derivan de la industrialización y la producción masiva de productos. Si bien, existe un compromiso social a nivel mundial para conservar los recursos naturales y diversas estrategias para preservar el medio ambiente a nivel global y local (García, 2016) (Herrera, 2021), es muy notorio el rezago por parte de las empresas e industrias a innovar en temas ambientales (Dominguez, V., 2021). Existen propuestas metodológicas para reducir el impacto ambiental en diferentes fases del ciclo de vida del producto (Huayapa, 2021), (Hernández-Zamora, 2021); sin embargo, pocos estudios consideran el impacto global del producto para alcanzar niveles aceptables de sostenibilidad.

Una de las razones por las que las industrias no consiguen resultados positivos en la reducción del impacto medioambiental, que genera su desarrollo de producto, es porque el uso de técnicas y herramientas de mejora suelen ser demasiado específicas y son orientadas a fases independientes en el desarrollo de un producto o servicio (González-Velandia, 2020). De tal forma, que dichas herramientas se enfocan en generar soluciones estratégicas para controlar el ciclo de vida en todas y cada una de sus etapas, entre ellas se enfocan en técnicas de análisis de conceptos, selección de materiales, análisis y selección de procesos productivos, eficiencia en el uso, recuperación y reciclaje, control de reducción de residuos, impacto ambiental, entre otras técnicas que ayudan a la toma de decisiones durante todo el ciclo.

PROCESOS DE FABRICACIÓN SOSTENIBLES

En las últimas décadas ha quedado claro que es necesario satisfacer las demandas de la sociedad, así como respetar los requerimientos de la naturaleza para que siga dando soporte

a las demandas de los individuos. Con estos objetivos en mente, se han realizado numerosos estudios para lograr un desarrollo sostenible en todos los aspectos, incluida la fabricación de productos.

Los primeros intentos de desarrollar productos más eficientes que pudieran mejorar los procesos de manufactura y producción (Lefever & Wood, 1996), se desarrollaron con técnicas basadas en Ingeniería Inversa (Saiga, 2021) y Rediseño de Procesos (Hvam, L., 2017), que, como resultado, fueron tomadas en consideración para el desarrollo de metodologías enfocadas al diseño para ensamble (G. F. Dalglish, 2010). Sin embargo, estas metodologías no cumplieron con las expectativas que pedía la filosofía emergente de la sustentabilidad. Por ello, se introdujeron nuevos conceptos, como ecoeficiencia (Mestre, 2013) o eco-innovación (Barragan, 2012), que implican el compromiso de provocar el mínimo impacto en los recursos ambientales y optimizar los recursos materiales y energéticos (Ayres, 1997).

Esta situación sólo puede lograrse si las próximas generaciones de productos manufacturados se elabora bajo un enfoque de análisis múltiple del ciclo de vida y una preocupación por la perpetuidad del producto y los materiales (Jawahir, 2006). Por tanto, para Li *et al.* (2012), la aplicación de esta filosofía traerá grandes beneficios a diferentes áreas de la empresa sólo si el proceso de análisis se aplica con una combinación de herramientas desde diferentes puntos de vista durante todo ciclo de vida del producto.

Para dar respuesta a esta situación se introdujo la filosofía *Green Manufacturing* con la intención de integrar factores de cuidado y preservación del medio ambiente en todos los campos del proceso productivo (Handfield, 1997) (Sezen, 2013). Aunque esta filosofía inicialmente tiene el potencial de mejorar el ciclo de vida del producto, descuida los aspectos económicos y sociales necesarios para que un producto sea totalmente sostenible. Sin embargo, a medida que el *Green Manufacturing* se fue introduciendo gradualmente en el campo de las actividades manufactureras, se asignaron más responsabilidades a los que planifican la fabricación (Deif, 2011).

Para Ferrer (2022), es importante el mapeo y flujo de los procesos para lograr la fabricación sostenible, en donde se identifican dos temas principales que fortalecen este concepto. El primero es la fabricación sostenible de productos que incluye el uso de energías renovables, la eficiencia energética y la construcción ecológica (Liu, 2018). El segundo de estos dos temas es la fabricación sostenible de productos con la visión de ser ambiental y socialmente responsables en cada etapa de fabricación y desarrollo (Holgado, 2020).

Ecodiseño para la sostenibilidad

El crecimiento constante de la industrialización basado en la fabricación masiva de productos conlleva a la necesidad de fortalecer conocimientos y herramientas especializadas en el diseño con la finalidad de alcanzar una fabricación de productos concientizada y de soporte a los recursos existentes en la naturaleza, buscando incluir elementos de desarrollo sostenible durante todos los ciclos de vida del producto. A partir del uso de herramientas de análisis y fabricación digital asistida por computadora es posible identificar el nivel de los impactos que se generarían en el desarrollo de productos si no se toman decisiones oportunas y elecciones conscientes de una optimización de recursos (Erazo, V. A., 2022).

Las primeras acciones clave del diseño para el desarrollo sostenible consistieron en intentar crear herramientas para analizar cómo reducir el daño ambiental y el desarrollo de metodologías para realizar evaluaciones del impacto que un producto causa al medio ambiente a lo largo de su ciclo de vida (Keoleian, 1994). Actualmente existe un mayor interés por el cuidado ambiental y se define con el término diseño verde, el cual se enfoca en generar soluciones a partir de la selección de herramientas tecnológicas, el uso de materiales ecológicos, la optimización de recursos, la eficiencia energética y la eliminación amigable de los residuos (Ko, 2020).

Con el análisis de diferentes filosofías de diseño ecológico se determinó que los impactos ambientales que genera la creación de productos son inevitables y pueden ocurrir en cualquiera de las etapas del ciclo de vida del producto. Por lo tanto, es necesario considerar los impactos

ambientales que se generan en actividades referidas al diseño, el desarrollo y fabricación. A este enfoque se le ha denominado ecodiseño, o también conocido como Diseño para la Sostenibilidad (ISO/TR14062, 2002).

Las herramientas de ecodiseño están orientadas principalmente a las áreas responsables de la planeación, ingeniería y producción que se encargan de generar estrategias de innovación en el desarrollo de productos y promover el uso adecuado de los recursos durante los procesos de fabricación (Rossi, 2016). Esto se traduce en un menor impacto sobre el medio ambiente y garantiza que las nuevas generaciones de productos sean sostenibles (Donnelly, 2006). Además, los principios del ecodiseño deben tomarse como estrategia de análisis y validación de cada etapa o proceso por el que pasa el producto durante su ciclo de vida, con especial atención a las fases de diseño, fabricación y desecho. Los beneficios identificados son en términos de reducción de emisiones y residuos, crecimiento económico de la industria a través de la reducción de costos y optimización de recursos, y finalmente la responsabilidad social de la empresa (Sanye-Mengual, 2014).

Gestión del ciclo de vida del producto

Durante el ciclo de vida del producto intervienen diversos procesos y herramientas que en la actualidad ayudan a desempeñar una gestión eficiente que a través del uso de la tecnología y desde un enfoque de la industria 4.0 se considera ideal para el aprovechamiento de los recursos en cada etapa de desarrollo desde el diseño, fabricación, uso y hasta la disposición final (Salimbeni, 2021). En todo proceso existen entradas y salidas de materiales, consumo de recursos, uso de energía y generación de residuos que deben ser considerados y evaluados para comprender el impacto que genera el producto en su ciclo de vida (Vadoudi, 2014), por lo tanto, el evaluar en cada etapa el impacto del producto durante el ciclo de vida ayudará a definir el nivel de sostenibilidad del producto (Ding, 2014).

La metodología de Gestión del Ciclo de Vida del Producto (PLM) ayuda a estructurar los parámetros, actividades y recursos que intervienen de manera sistémica durante el desarrollo del

producto, asimismo, brinda herramientas para identificar oportunidades de mejora continua y limitaciones entre cada etapa que detienen el flujo de los procesos. Además, como estipula Moeller (2001), donde el PLM es un modelo de proceso de negocio que se deriva del modelo de producción en serie. Así, con la gestión del ciclo de vida del producto se pueden controlar todas las actividades necesarias para el desarrollo y la fabricación, y se puede mejorar la funcionalidad del producto con estrategias específicas enfocadas a optimizar los recursos y procesos de cada etapa del desarrollo del producto. En relación con esta visión, Jayal (2010) explicó que es necesario lograr múltiples ciclos de vida para lograr la perpetuidad en productos y materiales.

Un análisis detallado de la situación muestra que con una visión holística de todas las actividades de la empresa es posible lograr una mejor gestión del producto a lo largo de su ciclo de vida, y simultáneamente, obtener beneficios para una empresa (Stark, 2019). Por otro lado, Gullede (2013) consideró que PLM es un enfoque estratégico para la implementación de procesos dentro de una empresa porque PLM avalará la supervisión del desarrollo de productos, además de garantizar una visión general en la relación con los clientes, proveedores y todas las partes interesadas.

Una estrategia de gestión del ciclo de vida se centra en analizar todas las fases necesarias para desarrollar un producto compartiendo información clara, confiable y relevante, y todo lo que se debe considerar en el ciclo de vida del producto desde la cuna hasta la tumba (Borsato, 2014). La gestión del ciclo de vida debe necesariamente desarrollarse más y optimizar todos los recursos mediante un enfoque *cradle-to-cradle* (McDonough, 2010). Es importante establecer que en todas las fases del ciclo de vida del producto se deben tener presentes las herramientas que sean relevantes para cumplir con los propósitos de sustentabilidad, si estas consideraciones se toman en cuenta desde el inicio, el impacto en el desarrollo de productos pueden generar mayores beneficios en su ciclo de vida (Borsato, 2014).

METODOLOGÍA: CICLO DE VIDA SOSTENIBLE DEL PRODUCTO

En el desarrollo de productos es necesario integrar métodos, herramientas y conocimientos especializados para lograr procesos eficientes dentro de cada etapa del ciclo de vida, siendo los esfuerzos combinados y el trabajo en conjunto los que propician la optimización de recursos para la fabricación del producto. Para Almeida (2020), la economía circular fomenta el uso de estrategias para lograr un desarrollo sostenible en el ciclo de vida del producto, por lo que, las actividades de cada proceso deben realizarse a su máximo potencial y, al mismo tiempo, es necesario garantizar la interrelación con otras etapas.

En este sentido, la propuesta se enfoca en la premisa que: “sí el ciclo de vida del producto es sostenible, entonces el producto será sostenible”. Por lo tanto, se define que para reducir los niveles de impacto en las etapas del ciclo de vida es necesario controlar el desarrollo de los procesos mediante la implementación de herramientas del enfoque de ecodiseño y fabricación sostenible.

Este trabajo propone que para que el ciclo de vida de un producto sea sostenible, este debe estar considerando una estructura de cuatro fases: el diseño, la fabricación, la usabilidad y la renovación. En donde cada una de las etapas deberá considerar la implementación de estrategias de ecodiseño y manufactura sostenible para que un producto cumpla con el propósito de su creación cíclica. La propuesta consiste en la consideración de procesos y actividades ideales para el desarrollo del producto, desde su concepción hasta su reintegración a un nuevo ciclo de vida. Además, su objetivo es integrar tareas para gestionar el proceso de diseño y la fabricación para aprovechar todos los elementos o partes que estructuran un producto.

A continuación, se presenta el siguiente modelo de gestión sostenible del ciclo de vida del producto en el cual se definen las etapas y fases, así como el flujo de la colaboración entre cada elemento para tener procesos eficientes. Para ello, se proponen actividades específicas para lograr la eficiencia en los procesos, así

como optimizar los elementos del producto al final de su vida útil. En la figura 1 se muestran las etapas y fases propuestas que componen el ciclo de vida del producto.

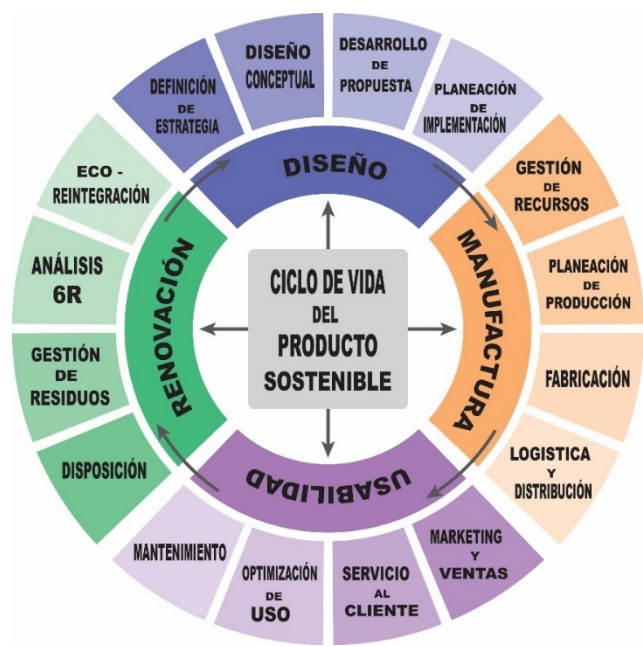


FIGURA 1. MODELO DE GESTIÓN SOSTENIBLE DEL CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

La optimización del modelo de gestión sostenible del ciclo de vida del producto se obtendrá mediante el logro de la interrelación entre las fases y etapas con el objetivo común de realizar un proceso eficiente y ofrecer resultados positivos para la siguiente etapa.

- *Etapas de Diseño* es el inicio del ciclo y está compuesta por cuatro fases que tendrán la responsabilidad de especificar las características, funciones, requisitos y alcances del desarrollo del producto. Es necesario que se definan las estrategias de desarrollo del producto considerando todo su ciclo de vida, así como el diseño conceptual, el desarrollo de la propuesta de diseño y la planeación de la implementación en la empresa o industria, estos procesos impulsarán a las siguientes etapas del ciclo de vida del producto. Es aquí donde se definen todos los criterios del ciclo de vida sostenible del producto y la consideración de la selección de procesos para evitar impactos ambientales, económicos y sociales no deseados.
- *Etapas de Fabricación* se proponen actividades para tener procesos de fabricación

sostenibles. A través de procesos de valorización en actividades para la gestión de recursos, la planeación de la producción y la fabricación del producto, además se deben considerar estrategias de logística y distribución para obtener un consumo de recursos eficiente y optimizado. En esta etapa se deben considerar actividades para gestión de la cadena de suministro, ya que se materializan los requerimientos y elementos clave para garantizar que el producto cumpla con las consideraciones de sostenibilidad definidas.

- *Etapas de Usabilidad* considera las actividades necesarias para el posicionamiento del producto en el mercado y las consideraciones para el uso del producto. Es importante definir y lograr una adecuada interacción entre producto y usuario para evitar impactos no deseados. Las fases que consideran atención para un consumo óptimo de recursos en esta etapa son el marketing y ventas, la atención al cliente, la utilidad y el mantenimiento. Estas actividades son las que

generan un mayor consumo de recursos para brindar un servicio eficiente.

- *Etapas de Renovación* está enfocada a implementar al final de la vida de un producto las estrategias para aprovechar los recursos que fueron utilizados en las fases anteriores y de esta manera garantizar la integración eficiente de sus componentes o piezas en un nuevo ciclo de vida si es posible. Las fases que se consideran aquí incluyen la disposición del producto y la gestión de los residuos y sus partes o elementos mediante actividades de análisis, finalmente promover la eco-reintegración como alternativa de una ciclicidad objetual. Es necesario incentivar la cultura del análisis 6R de cada parte o elemento del producto garantizando que aún tienen un valor agregado, mediante técnicas de ecodiseño y a través de su reintegración en un nuevo ciclo de vida del producto.

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

Gestión sostenible del ciclo de vida del producto

Un ciclo de vida sostenible se logra planificando las actividades de cada fase, y los procesos de gestión del desarrollo de productos son el elemento principal para controlar los impactos ambientales, así como para determinar la eficiencia en cada proceso. Por tanto, es necesario establecer un sistema de control que determine la sostenibilidad del desarrollo del producto para medir y garantizar un consumo eficiente de recursos, así como la reducción de los impactos generados en los ámbitos social, económico y ambiental en cada una de las etapas.

El modelo se enfoca en establecer un sistema de control de actividades para gestionar las cuatro fases del ciclo de vida desde una postura sostenible, a partir de la cual se asegura que las actividades de cada etapa se desarrollarán bajo los principios de ecodiseño y fabricación sostenible.

En la figura 2 se presenta el sistema de control enfocado a garantizar la implementación de estrategias de ecodiseño y fabricación sostenible para obtener un ciclo de vida sostenible del producto mediante la selección de métodos, herramientas y aplicación de conocimientos.

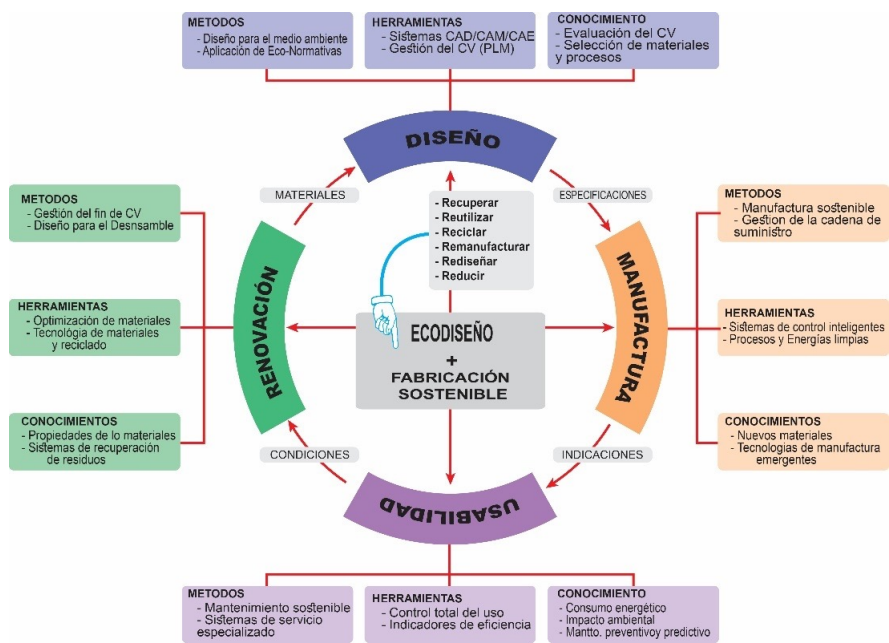


FIGURA 2. ACTIVIDADES DE CONTROL CONSIDERADAS PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE DEL CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Los recursos que se consideran para lograr la sostenibilidad en cada proceso del ciclo de vida del producto son los siguientes:

- **Métodos:** Son los principios que deben considerarse para desarrollar cualquier actividad o procesos y lograr resultados sostenibles.
- **Herramientas:** La selección correcta de las herramientas garantiza la aplicación eficiente de actividades o procesos sustentables.
- **Conocimiento:** Apoya en la evaluación del desarrollo y aplicación de las actividades o procesos sostenibles.

En cada uno de los recursos mencionados se proponen algunas estrategias y actividades, sin embargo, es necesaria que se considere la selección y/o propuesta de otras más a razón de mejorar el proceso.

Control de actividades del ciclo de vida

La implementación de un sistema de control permitirá identificar el nivel óptimo de sostenibilidad del ciclo de vida del producto, ya que a partir de este se consideran todos los factores necesarios para garantizar el aprovechamiento de los recursos. Por lo tanto, se propone que a partir de las actividades relacionadas con el

enfoque 6R (*Recuperar, Reutilizar, Reciclar, Remanufacturar, Rediseñar y Reducir*) y la Eco-Reintegración es posible cumplir con el objetivo de alcanzar un ciclo de vida sostenible, así como reducir los problemas ambientales y propiciar beneficios en lo económico y social. El nivel óptimo de sostenibilidad es una postura a través de la cual se identifican las propiedades de las partes o elementos de producto (materiales) resultantes de un análisis de eco-reintegración y se define la mejor estrategia de reintegración a alguna de las etapas de un nuevo ciclo de vida de producto, es decir, de acuerdo con las propiedades identificadas el elemento puede ser integrado en la etapa de diseño, manufactura o usabilidad de un nuevo ciclo de vida de un producto.

La figura 3 muestra el flujo del sistema de control del ciclo de vida del producto. El diagrama propone un análisis de los procesos del ciclo de vida para identificar los niveles óptimos de sostenibilidad y el nivel está determinado por el impacto ambiental, económico o social generado en la reintegración de propiedades de los componentes o partes de un producto que puede considerarse como iniciar un nuevo ciclo de vida del producto.

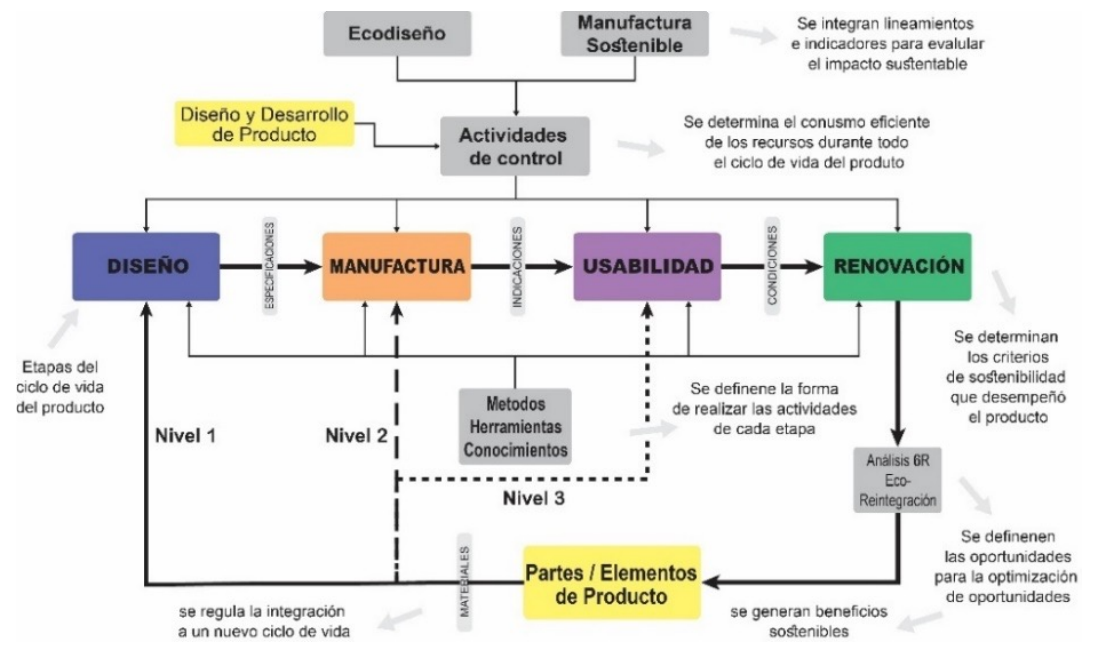


FIGURA 3. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA PARA IDENTIFICAR EL NIVEL ÓPTIMO DE SOSTENIBILIDAD.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

El nivel óptimo de sostenibilidad para considerar la reintegración de una parte del producto a un nuevo ciclo de vida se define en 3 niveles, la evaluación del nivel de sostenibilidad de impacto generado correspondiente de cada una de las partes del producto, y el nivel se determina de la siguiente manera:

Nivel 1 = Impacto bajo, Nivel 2 = Impacto medio y Nivel 3 = Impacto alto.

Nivel 1: Se considera que las partes del producto que tienen un bajo grado de impacto y está determinado por las siguientes condiciones:

- a) Las características físicas facilitan la reintegración.
- b) Se requieren procesos de fabricación amigables para su reintegración.
- c) Los materiales no son perjudiciales para el medio ambiente.
- d) Su obtención es fácil y abundante.
- e) Se considera asequible para la reintegración.
- f) La reintegración propone un ciclo de vida largo.

El resultado de este análisis deberá incluirse en el rango con un valor entre al 75% al 100% de impacto ambiental respecto al sistema de evaluación propuesto.

Nivel 2: Se consideran las partes del producto que tienen un grado medio de impacto y está determinado por las siguientes condiciones:

- a) Las características físicas dificultan la reintegración; requieren reprocesamiento.
- b) Se requieren procesos de fabricación especializados para su reintegración.
- c) Los materiales alteran el entorno a su disposición.
- d) Es difícil de conseguir y no abundante.
- e) Se considera inasequible para su reintegración; requiere más inversión.
- f) La reintegración propone un ciclo de vida de tiempos programados.

El resultado de este análisis deberá comprender un valor entre el 50% y 74% de impacto ambiental respecto al sistema de evaluación propuesto.

Nivel 3: Las partes del producto en este nivel consideran las partes del producto que tienen un alto grado de impacto y está determinado por las siguientes condiciones:

- a) Las características hacen imposible su reintegración, siendo necesario modificar su composición.
- b) Para su reintegración se requieren complejos procesos de fabricación y alta tecnología.
- c) Los materiales contaminan el medio ambiente cuando se eliminan.
- d) Es muy difícil de conseguir y no abunda.
- e) Se considera inasequible su reintegración; requiere más inversión.
- f) La reintegración propone un ciclo de vida de tiempos cortos.

El resultado de este análisis deberá incluir un valor entre el 25% y 49% de impacto ambiental respecto al sistema de evaluación propuesto.

Finalmente, se considera que las partes del producto que tienen un nivel inferior al 25% tienen propiedades altamente agresivas para el medio ambiente, perjudican a la sociedad y no tienen viabilidad económica para su reintegración, por lo que se recomienda definir una disposición final consciente para estas partes.

Herramienta de evaluación para conocer el nivel de impacto sostenible

Como estrategia de evaluación se define la siguiente herramienta, el análisis basado en la Rueda LIDS propuesta por Hemel (1995). Esta herramienta ayudará a conocer el grado de impacto que se generaría al reintegrar una parte de un producto a un nuevo ciclo de vida. Por lo que, de esta manera sería posible conocer el nivel óptimo de sostenibilidad que permita que la reintegración de la pieza pueda ser considerada en una nueva etapa de diseño, fabricación o usabilidad. Los criterios de evaluación se basan en factores de análisis y consideraciones de inspección que ayuden a definir el grado de impacto ambiental que se generará con la reintegración a un siguiente ciclo de vida. En este punto será responsabilidad del implementador establecer las herramientas de soporte para cada parámetro de evaluación.

En la tabla 1 se presenta la estructura y los parámetros de evaluación y el valor máximo que define las condiciones de la pieza analizada. El resultado presenta el valor y porcentaje final para identificar el nivel de optimización sostenible y garantizar la reintegración a cualquiera

de las etapas, cabe señalar que en la columna de valor obtenido se utilizan valores ficticios para ejemplificar el comportamiento de la herramienta de evaluación y no está aplicada a algún estudio de caso en específico, ya que no es el objetivo de este trabajo.

TABLA 1. HERRAMIENTA DE EVALUACIÓN DEL NIVEL DE IMPACTO SOSTENIBLE

Parámetro de evaluación	Valor máximo	Valor obtenido
a) Condiciones físicas	5	5
b) Procesos de fabricación amigables	5	1
c) Materiales amigables con el medio ambiente	5	3
d) Facilidad de obtención	5	5
e) Reintegración asequible	5	4
f) Larga vida útil en el siguiente ciclo	5	2
Total	30	20
%	100	67

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

La figura 4 ejemplifica en una rueda de LIDS el resultado del análisis del grado de impacto sostenible en el que se observa el alcance de los parámetros evaluados. Es importante identificar que el valor máximo de la herramienta es el número 5 y dependiendo del análisis de los parámetros se debe asignar un valor que haga referencia al impacto que generan las partes de los productos al considerar su reintegración a un nuevo ciclo de vida.

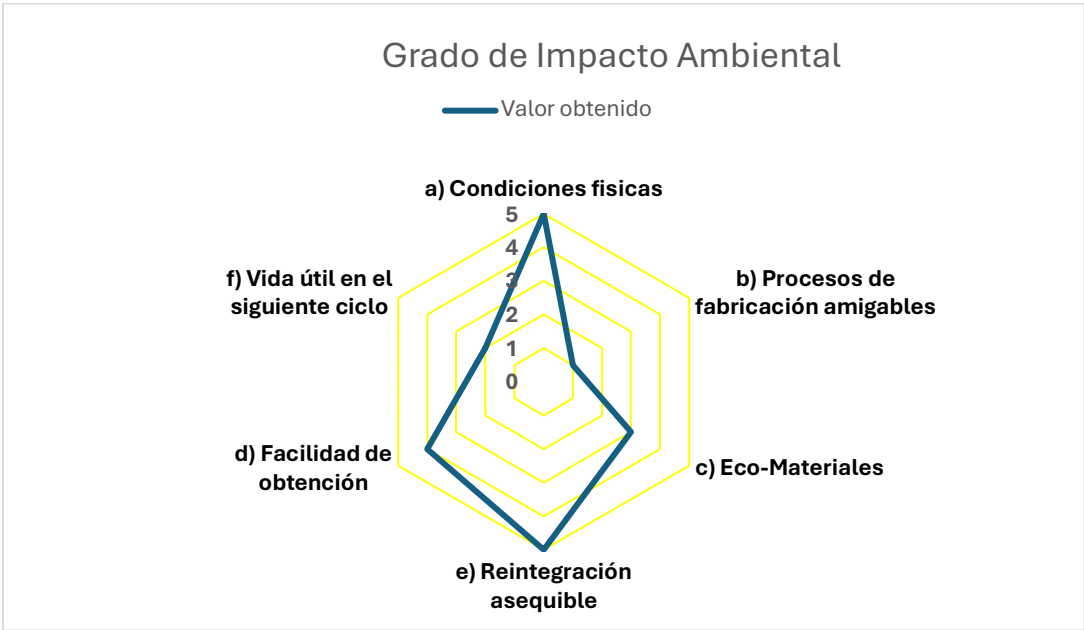


FIGURA 4. HERRAMIENTA DE ANÁLISIS DEL GRADO DE IMPACTO SOSTENIBLE, LOS DATOS DEL EJEMPLO SON DE CARÁCTER INFORMATIVO SOBRE EL USO DE LA HERRAMIENTA.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Cabe mencionar que la presentación de esta herramienta de evaluación y los valores mostrados son sólo un ejemplo hipotético para simular su implementación, ya que el objetivo de este trabajo es presentar la propuesta metodológica de los elementos que estructuran las etapas y fases del ciclo de vida sostenible de un producto, sin embargo, se considera necesario presentar el enfoque global de la propuesta de investigación para en un futuro y en próximas investigaciones aplicar la propuesta metodológica en casos prácticos y específicos que validen la pertinencia y alcance de la herramienta de evaluación propuesta

CONCLUSIONES

La importancia de aplicar una visión sostenible en la gestión del ciclo de vida del producto se considera un tema clave para las empresas manufactureras. Se considera que esta estrategia ayudará a acercar a las empresas a una nueva perspectiva que define los vínculos entre las actividades de desarrollo de productos y considerar requisitos necesarios para lograr una producción sostenible.

Además, el modelo considera que una estrategia para garantizar la sostenibilidad en los procesos a lo largo del ciclo de vida del producto a través de interacción de métodos, herramientas y conocimientos específicos que en cada etapa ayudarán a alcanzar la eficiencia en el aprovechamiento de recursos. Los procesos aplicados se delimitan mediante el enfoque de ecodiseño y fabricación sostenible durante todo el ciclo de vida del producto, ya que esto permite aumentar la eficiencia en el desarrollo de productos y la gestión sostenible del ciclo de vida. Además, se propone la implementación de sistema de control para la selección de estrategias y el uso de herramientas específicas que ayuden a reducir el impacto generado durante el desarrollo de producto. La etapa de diseño se define como la fase principal del ciclo de vida del producto donde se puede controlar o reducir la cantidad de daño producido y generar beneficios para la industria, oportunidades para la sociedad y, lo más importante, la conservación del medio ambiente.

Por otro lado, con la implementación del proceso de análisis del ciclo de vida del producto se puede definir la eco-reintegración a partir de la cual se identifica el nivel óptimo de sostenibilidad y con este resultado garantizar una integración consciente a un nuevo ciclo de vida a través de conocer su nivel óptimo de sostenibilidad. Es importante recalcar que la herramienta de evaluación es una propuesta de la implementación del modelo, la cual hasta el momento de la investigación no ha sido aplicada a algún estudio de caso en específico, pero servirá como base para futuras investigaciones.

La sostenibilidad del producto debe establecerse midiendo los impactos directos e indirectos y buscando procesos de fabricación concientizados que ayuden a crear productos amigables con el medio ambiente. Por lo tanto, la fase de renovación se considera crucial en este modelo para extender el ciclo de vida de las partes de un producto e identificar las necesidades específicas para definir las estrategias que ayudaran a un aprovechamiento eficiente de los recursos.

FUENTES DE CONSULTA

Almeida, M., Díaz, C. (2020), "Economía circular, una estrategia para el desarrollo sostenible. Avances en Ecuador", *Estudios de la Gestión: Revista Internacional de Administración*, núm. 8, pp. 34-56. doi:<https://doi.org/10.32719/25506641.2020.8.10>

Ayres, R. F. (1997), "Eco-efficiency, asset recovery and remanufacturing", *European Management Journal*, vol. 15, núm. 5, pp. 557-574. doi:[https://doi.org/10.1016/S0263-2373\(97\)00035-2](https://doi.org/10.1016/S0263-2373(97)00035-2)

Barragan, J., Negny, S., Cortes, G., Le-Lann, J.M. (2012), "Eco-innovative design method for process engineering", *Computers & Chemical Engineering*, vol. 45, pp. 137-151. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2012.06.02>

Borsato, M. (2014), "Bridging the gap between product lifecycle management and sustainability in manufacturing through ontology building", *Computers in Industry*, vol. 65, núm. 2, pp. 258-269. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compind.2013.11.003>

Dalglish, G. F., Jared, G. E., Swift, K. G. (2010), "Design for assembly: Influencing the design process", *Journal of Engineering Design*, vol. 11, núm. 1, pp. 17-29. doi:<https://doi.org/10.1080/095448200261162>

Deif, A. M. (2011), "A system model for green manufacturing", *Journal of cleaner production*, vol. 19, núm. 14, pp. 1553-1559. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.05.022>

Ding, H. H. (2014), "Lifecycle approach to assessing environmental friendly product project with internalizing environmental externality", *Journal of Cleaner Production*, vol. 66, pp. 128-138. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.10.018>

Dominguez, V. L. (2021), Capacidades tecnológicas e innovación ambiental en la industria mexicana. From <https://hdl.handle.net/20.500.13048/198>

Donnelly, K. B.-F. (2006), "Co-design implemented through a product-based environmental management system", *Journal of Cleaner Production*, vol. 14, núm. 16, pp. 1357-1367. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.11.029>

Erazo, V. A. (2022), "El diseño, la manufactura y análisis asistido por computadora (CAD/CAM/CAE) y otras técnicas de fabricación digital en el desarrollo de productos en América Latina", *Información tecnológica*, vol. 33, núm. 2, pp. 297-308.

Ferrer, J. A. (2022), "Lean Manufacturing sostenible—metodología de aplicación del Mapeo de Flujo de Valor Sostenible (Sus-VSM)", *Revista Brasileira de Mecatrônica*, vol. 4, núm. 3, pp. 01-18.

García, D. Y. (2016), "El Reciclaje como Estrategia Didáctica para la Conservación Ambiental (Proyecto en ejecución)", *Revista Científica*, vol. 1, núm. 1, pp. 36-52.

González-Velandia, K. D.-C. (2020), "Evaluación de impactos ambientales en la cadena de producción de huevos agroecológicos con un enfoque de ciclo de vida", *Revista de Ciencias Ambientales*, vol. 24, núm. 2, pp. 165-179.

Gulledge, T. (2013), "Product lifecycle management in defense organizations: requirements and solution design", *Product Lifecycle Management*, pp. 38 - 47.

Handfield, R. B. (1997), "'Green' value chain practices in the furniture industry", *Journal of Operations Management*, vol. 15, núm. 4, pp. 293-315. doi:[https://doi.org/10.1016/S0272-6963\(97\)00004-1](https://doi.org/10.1016/S0272-6963(97)00004-1)

Hernández-Zamora, M. F., Jiménez, S., Sánchez, J.I. (2021), "Materiales alternativos como oportunidad de reducción de impactos ambientales en el sector construcción", *Revista Tecnología en Marcha*, vol. 34, núm. 2, pp. 3-10.

Herrera, A. C. (2021), "La sociedad ecológica local, en el enfrentamiento al cambio climático", *Diálogos e Perspectivas Interventivas*, 2. doi:DOI: <https://doi.org/10.52579/diapi.vol2.i.a13600>

Holgado, M. M. (2020), "Exploring the impacts and contributions of maintenance function for sustainable manufacturing", *International Journal of Production Research*, vol. 58, núm. 23, pp. 7292-7310. doi:<https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1808257>

Huayapa, M. A. (2021), "Impacto de la gestión ambiental ISO 14001: 2015 en el desempeño ambiental de la empresa Sicma SAC", *Revista científica investigación andina*, vol. 21, núm. 1, pp. 1-10.

Hvam L, H. D. (2017), "Including product features in process redesign", *Concurrent Engineering*, vol. 25, núm. 4, pp. 343-359. doi:<https://doi.org/10.1177/1063293X17727327>

ISO/TR14062. (2002), *Environmental Management : Integrating environmental aspects into product design and development*. International Organization for Standardization.

Jawahir, I. S. (2006), Total life-cycle considerations in product design for sustainability: A framework for comprehensive evaluation. *Proceedings of the 10th international research/expert conference*, 1. Barcelona.

Jayal, A. D. (2010), "Sustainable manufacturing: Modeling and optimization challenges at the product, process and system levels", *Journal of Manufacturing Science and Technology*, vol. 2, núm. 3, pp. 144-152. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2010.03.006>

Keoleian, G. A. (1994), "Sustainable Development by Design: Review of Life Cycle Design and Related Approaches", *Air & Waste*, vol. 44, núm. 5, pp. 645-668. doi:<https://doi.org/10.1080/1073161X.1994.10467269>

Ko, Y. T. (2020), "Modeling an innovative green design method for sustainable products", *Sustainability*, vol. 12, núm. 8, 3351. doi:<https://doi.org/10.3390/su12083351>

Lefever, D. D. & Wood, K. L. (1996), Esign for assembly techniques in reverse engineering and redesign. In International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. American Society of Mechanical Engineers. doi:<https://doi.org/10.1115/96-DETC/DTM-1507>

Li, W. W. (2012), "Eco-efficiency of manufacturing processes: A grinding case", *CIRP annals*, vol. 61, núm. 1, pp. 59-62. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cirp.2012.03.029>

Liu, C. C. (2018), "Emergy-based evaluation and improvement for sustainable manufacturing systems considering resource efficiency and environment performance", *Energy conversion and management*, vol. 177, pp. 176-189. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.09.039>

McDonough, W. B. (2010), *Cradle to cradle. Remaking the way we make things*. North point press.

Mestre, A. V. (2013), "Eco-efficient value creation of cork products: an LCA-based method for design intervention", *Journal of Cleaner Production*, 101-114. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.04.023>

Moeller, A. & A. Rolf. (2001), "Eco product lifecycle management". *Proceedings Second International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing* (pp. 739-744). Tokio - Japan. doi:doi: 10.1109/ECODIM.2001.992461

Rossi, M. G. (2016), "Review of ecodesign methods and tools. Barriers and strategies for an effective implementation in industrial companies", *Journal of Cleaner Production*, vol. 129, pp. 361-373. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.051>

Saiga, K. U. (2021), "A Sustainable Reverse Engineering Process", *Procedia CIRP*, 98, pp. 517-522.

Salimbeni, S. D. (2021), "Gestión del Ciclo de Vida del Producto en la Industria 4.0.", *AACINI-Revista Internacional de Ingeniería Industrial*, (3), pp. 24-41. From <http://www3.fi.mdp.edu.ar/otec/revista/index.php/AACINI-RIII/article/view/22>, consultado el 6 de diciembre de 2023.

Sanye-Mengual, E. P.-L.-G. (2014), "Eco-designing the use phase of products in sustainable manufacturing", *Journal of Industrial Ecology*, vol. 18, núm. 4, pp. 545-557. doi:10.1111/jiec.12161

Sezen, B., Çankaya, S. (2013), "Effects of Green Manufacturing and Eco-innovation on Sustainability Performance", *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, vol. 99, pp. 154-163. doi:<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.10.481>

Stark, J. (2019), *Product Lifecycle Management*, Springer International Publishing.

Vadoudi, K. A. (2014), "Sustainable Product Lifecycle Management and Territoriality: New Structure for PLM", *Product Lifecycle Management for a Global Market*, pp. 475-484. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-662-45937-9_47

Van Hemel, C. (1995), *The LiDS Wheel*, University Technology Delft, Germany.