UNIVERSIDAD ARTURO PRAT
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

INFORME FINAL
ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA
JUGUETE EDUCATIVO ALIKUM

INTEGRANTES
Alexia Pinto
Javiera Herrera
Simón Jara

DOCENTES
Juan Segovia
Esteban Carreño

ÍNDICE

1. GLOSARIO 3
2. INTRODUCCIÓN 8
3. OBJETIVO DEL ESTUDIO 8
4. HISTORIA DE JUGUETERÍA ALIKUM 8
5. PRODUCTO 8
5.1. Ficha técnica del modelo estudiado 9
6. ALCANCE DEL ESTUDIO 9
6.1. Unidad declarada 9
7. RECOPILACIÓN DE DATOS 10
7.1. Medidas del producto 10
7.1.1. *Medidas de la tabla y división de las piezas* 10
7.1.2. *Medidas de las tablas de la Caja jurásica* 10
7.1.3. *Medidas plancha trupán para Caja jurásica* 11
7.2. Datos generales del juguete educativo 11
8. PROCESO DEL PRODUCTO CON SUS ENTRADAS Y SALIDAS 11
9. INVENTARIO DE CICLO DE VIDA (ICV) 14
10. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE IMPACTO EN EL SOFTWARE SIMAPRO 20
11. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS 22
11.1. Análisis comparativo 25
12. PROPUESTAS DE MEJORA PARA LA DISMINUCIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL 26
13. TABLA COMPARATIVA Y PORCENTAJE DE CAMBIOS 30
14. CONCLUSIÓN 32

1. GLOSARIO

Análisis de Ciclo de Vida (ACV): Metodología utilizada para evaluar los impactos ambientales derivados de las diferentes fases de ciclo de vida de un producto (desde la extracción de las materias primas que lo conforman, al tratamiento de fin de vida que recibe tras su vida útil, pasando por su fabricación, distribución y uso, entre otras fases).

Aspecto ambiental: Elemento de las actividades o productos o servicios de una organización que interactúa o puede interactuar con el medio ambiente (ISO 14001: 2015).

Cambio climático: Todas las entradas o salidas que producen emisiones de gases de efecto invernadero. Las consecuencias incluyen el aumento de las temperaturas globales promedio y los repentinos cambios climáticos regionales. El cambio climático es un impacto que afecta el medio ambiente a escala mundial.

Tkm: Unidad de medida utilizada para cuantificar el transporte de carga. Representa una tonelada de carga transportada a una distancia de un kilómetro. Esta unidad es comúnmente utilizada en la logística y el transporte para evaluar la eficiencia y el rendimiento de los servicios de transporte de carga.

Caracterización: Cálculo de la magnitud de la contribución de cada entrada/salida clasificada a sus respectivas categorías de impacto de EF y agregación de contribuciones dentro de cada categoría. Esto requiere una multiplicación lineal de los datos del inventario con factores de caracterización (FC) para cada sustancia y categoría de impacto de EF de interés. Por ejemplo, con respecto a la categoría de impacto EF "cambio climático", se elige CO2 como sustancia de referencia y kg de CO2 equivalentes como unidad de referencia.

Categoría de impacto de la huella ambiental (EF): Clase de uso de recursos o impacto ambiental con la que se relacionan los datos del inventario del ciclo de vida.

Ciclo de vida (CV): Etapas consecutivas e interconectadas de un sistema de productos, desde la adquisición de materias primas o la generación de recursos naturales hasta la disposición final (ISO Clasificación: asignar las entradas y salidas de material / energía tabuladas en el inventario del ciclo de vida a las categorías de impacto de EF de acuerdo con el potencial de cada sustancia para contribuir a cada una de las categorías de impacto de EF consideradas.

CO2 equivalente (CO2eq): Medida en toneladas de la huella de carbono. Representa la totalidad de la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI). La masa de los gases emitidos es medida por su equivalencia en CO2eq.

Conjunto de datos de inventario del ciclo de vida (LCI): Documento o archivo con información del ciclo de vida de un producto específico u otra referencia (por ejemplo, sitio, proceso), que cubre metadatos descriptivos e inventario cuantitativo del ciclo de vida. Un conjunto de datos LCI podría ser un conjunto de datos de proceso unitario, parcialmente agregado o un conjunto de datos agregado.

Efecto Invernadero: Fenómeno por el que los GEIs, que se encuentran en la atmósfera, absorben la radiación infrarroja procedente del sol, y que resulta en una elevación de la temperatura superficial de la Tierra.

Eutrofización: Los nutrientes (principalmente nitrógeno y fósforo) de las descargas de aguas residuales y las tierras agrícolas fertilizadas aceleran el crecimiento de algas y otra vegetación en el agua. La degradación del material orgánico consume oxígeno, lo que resulta en deficiencia de oxígeno y, en algunos casos, muerte de los peces. La eutrofización traduce la cantidad de sustancias emitidas en una medida común expresada como el oxígeno requerido para la degradación de la biomasa muerta. Se utilizan tres categorías de impacto de EF para evaluar los impactos debidos a la eutrofización: Eutrofización, terrestre; Eutrofización, agua dulce; Eutrofización marina.

Evaluación de impacto de la huella ambiental (EF): Fase del análisis de PEF destinada a comprender y evaluar la magnitud y la importancia de los posibles impactos ambientales para un sistema de producto a lo largo del ciclo de vida del producto (basado en ISO 14044: 2006). Los métodos de evaluación de impacto proporcionan factores de caracterización de impacto para flujos elementales con el fin de agregar el impacto para obtener un número limitado de indicadores de punto medio.

Evaluación del impacto del ciclo de vida (LCIA): Fase de evaluación del ciclo de vida que tiene como objetivo comprender y evaluar la magnitud y la importancia de los posibles impactos ambientales para un sistema a lo largo del ciclo de vida (ISO 14040: 2006). Los métodos LCIA utilizados proporcionan factores de caracterización de impacto para flujos elementales a fin de agregar el impacto para obtener un número limitado de puntos medios y / o indicadores de daños.

Factor de caracterización: Factor derivado de un modelo de caracterización que se aplica para convertir un resultado de inventario del ciclo de vida asignado a la unidad común del indicador de categoría de impacto EF (basado en ISO 14040: 2006).

Factor de emisión (FE): Coeficiente que cuantifica las emisiones de GEIs derivadas de la realización de una actividad. Flujos de entrada: flujo de producto, material o energía que ingresa a un proceso unitario. Los productos y materiales incluyen materias primas, productos intermedios y coproductos (ISO 14040: 2006).

Flujos de salida: Flujo de producto, material o energía que sale de un proceso unitario. Los productos y materiales incluyen materias primas, productos intermedios, coproductos y lanzamientos (ISO 14040: 2006).

Gases de Efecto Invernadero (GEIs): Gases atmosféricos, naturales o antropogénicos (CO2, N2O, CH4, CFCs, SF6, etc.), que contribuyen al aumento del efecto invernadero. 6 Huella de Carbono Producto (HCP): Suma de los GEIs, expresada en CO2e, emitidos a la atmósfera a lo largo del ciclo de vida de un producto y calculados mediante un ACV.

Impacto ambiental: Cualquier cambio en el medio ambiente, ya sea adverso o beneficioso, que resulte total o parcialmente de las actividades, productos o servicios de una organización (regulación EMAS). Indicador de categoría de impacto de Huella ambiental (EF): representación cuantificable de una categoría de impacto de EF (basada en ISO 14000: 2006).

Inventario de Ciclo de Vida (ICV): Documento en el que se describen y cuantifican los flujos de entrada y salida de materia y energía que se dan a lo largo del ciclo de vida de un producto.

Método de Evaluación de Impacto de la Huella Ambiental (EF): Protocolo para la traducción cuantitativa de los datos del inventario del ciclo de vida en contribuciones a un impacto ambiental de interés.

Normalización: Los resultados de la evaluación del impacto del ciclo de vida normalizado expresan las partes relativas de los impactos del sistema analizado en términos de las contribuciones totales a cada categoría de impacto por unidad de referencia. Al mostrar los resultados de la evaluación del impacto del ciclo de vida normalizado de los diferentes temas de impacto uno al lado del otro, se hace evidente qué categorías de impacto se ven más afectadas y menos por el sistema analizado. Los resultados de la evaluación del impacto del ciclo de vida normalizado reflejan sólo la contribución del sistema analizado al potencial de impacto total, no la gravedad / relevancia del impacto total respectivo. Los resultados normalizados son adimensionales, pero no aditivos.

Unidad funcional: La unidad funcional define los aspectos cualitativos y cuantitativos de las funciones y / o servicios proporcionados por el producto que se evalúa.

Global Warming (**Calentamiento Global):** Mide la generación de emisiones de gases de efecto invernadero al calentamiento de la atmósfera.

Stratospheric Ozone Depletion (**Agotamiento del Ozono Estratosférico) :** Evalúa la reducción de la capa de ozono debido a sustancias químicas como los CFC.

I**onizing Radiation** (**Radiación Ionizante)**: Representa el impacto de la radiación ionizante en la salud humana, procedente de fuentes como la energía nuclear.

Ozone Formation, Human Health (Formación de Ozono, Salud Humana): Mide la formación de ozono a nivel del suelo, que puede afectar la salud humana al causar problemas respiratorios.

Fine Particulate Matter Formation (Formación de Material Particulado Fino): Evalúa la generación de partículas finas en el aire, que pueden causar enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

Ozone Formation, Terrestrial Ecosystems (Formación de Ozono, Ecosistemas Terrestres): Mide el impacto del ozono a nivel del suelo en los ecosistemas terrestres.

Terrestrial Acidification (Acidificación Terrestre): Evalúa el impacto de la deposición ácida (como la lluvia ácida) en los suelos y ecosistemas terrestres.

Freshwater Eutrophication (Eutrofización de Agua Dulce): Mide el aporte de nutrientes (como nitrógeno y fósforo) a cuerpos de agua dulce, que puede causar proliferación de algas y deterioro de la calidad del agua.

Marine Eutrophication (Eutrofización Marina): Similar a la anterior, pero en ecosistemas marinos.

Terrestrial Ecotoxicity (Ecotoxicidad Terrestre): Evalúa los efectos tóxicos de sustancias químicas en los ecosistemas terrestres.

Freshwater Ecotoxicity (Ecotoxicidad de Agua Dulce): Mide los efectos tóxicos de sustancias químicas en los ecosistemas de agua dulce.

Marine Ecotoxicity (Ecotoxicidad Marina): Evalúa los efectos tóxicos de sustancias químicas en los ecosistemas marinos.

Human Carcinogenic Toxicity (Toxicidad Carcinogénica Humana): Mide el potencial de sustancias químicas para causar cáncer en humanos.

Human Non-Carcinogenic Toxicity (Toxicidad No Carcinogénica Humana): Evalúa el impacto de sustancias químicas que pueden causar efectos tóxicos en humanos

Land Use (Uso del Suelo): Mide el impacto del uso del suelo en la biodiversidad y los ecosistemas.

Mineral Resource Scarcity (Escasez de Recursos Minerales): Evalúa la reducción de la disponibilidad de recursos minerales debido a la extracción.

Fossil Resource Scarcity (Escasez de Recursos Fósiles): Mide la reducción de la disponibilidad de combustibles fósiles.

Water Consumption (Consumo de Agua): Evalúa el uso total de agua, considerando su impacto en la disponibilidad del recurso para otros usos y ecosistemas.

2. INTRODUCCIÓN

El presente informe detalla el Análisis de Ciclo de Vida del juguete educativo Aliküm, fabricado a partir de pallets reciclados. Este estudio se llevó a cabo utilizando la herramienta SimaPro, la cual permitió integrar y analizar los datos obtenidos de los diferentes procesos involucrados en la producción del juguete, desde la extracción de la materia prima hasta su disposición final.

El Análisis de Ciclo de Vida se estructuró en varias etapas clave: primero, se elaboró un diagrama de flujo que representaba todas las entradas y salidas de cada proceso de producción. Posteriormente se llevó a cabo el Inventario de Ciclo de Vida, recopilando y organizando los datos necesarios. Con esta información, se procedió a la evaluación de impacto ambiental, evaluando cada uno de los procesos de fabricación del juguete afectaba diversos indicadores de impacto ambiental.

A partir de los resultados obtenidos, se sugieren estrategias de ecodiseño y producción limpia, lo cual no solo busca disminuir los impactos ambientales, sino también integrar consideraciones medioambientales como una característica distintiva del producto.

3. OBJETIVO DEL ESTUDIO

El objetivo de este estudio es evaluar el desempeño ambiental del juguete educativo, identificando las etapas y procesos del ciclo de vida que generan mayores impactos ambientales. La evaluación abarca desde la extracción de la materia prima hasta la disposición final de producto, determinando los procesos con mayor impacto negativo en los indicadores ambientales. Basándose en estos resultados, se propondrán estrategias de ecodiseño y producción limpia para reducir estos impactos ambientales negativos.

4. HISTORIA DE JUGUETERÍA ALIKUM

La empresa juguetería ecológica Aliküm SPA (Rut: 77.428.372-2) fue fundada en el año 2021 como empresa emergente por su director ejecutivo Paulo Araya Córtes. La idea de negocio surgió a partir de la necesidad de encontrar una alternativa para reutilizar los desechos de pallets producidos por la mueblería ecológica Aliküm o aquellos en mal estado, buscando además generar valor intelectual, patrimonial y educativo en la comunidad. Con el objetivo de combinar estos principios con la economía circular y la sostenibilidad, se creó la juguetería ecológica Aliküm, una empresa de cuádruple impacto que busca generar una marca positiva en la sociedad, tanto en el ámbito social, ambiental, educativo y económico.

5. PRODUCTO

El juguete educativo Aliküm está hecho a base de pallets reciclado, cuyo diseño es un puzzle que contiene triángulos cortados con ángulos de 45° , con un grabado CNC de dinosaurios en realidad aumentada. Estos puzzles interactivos se encuentran

dentro de una caja de madera, llamada “caja jurásica”. Además, cuenta con un grabado de código QR que se encuentra estratégicamente ubicado en el diseño, que al escanear con la aplicación se logra visualizar las figuras con realidad aumentada.

5.1. Ficha técnica del modelo estudiado

Fabricante: Alikum
País: Chile
Ciudad: Iquique
Tipo de producto: Juguete educativo
Peso: 0.6395 kg
Empresas proveedores de pallet: Camanchaca, Collahuasi, Zona Franca

6. ALCANCE DEL ESTUDIO

El producto evaluado corresponde a un juguete educativo.
La siguiente tabla define los aspectos claves utilizados para definir la Unidad declarada.

6.1. Unidad declarada

¿Qué?	Juguete ecológico y educativo
¿Qué cantidad?	1 juguete de 0.6395 kg
¿Qué condiciones?	Uso en buenas condiciones con el uso apropiado.

Se define como “ Un juguete ecológico y educativo a base de pallet reciclado”, desde la extracción de las materias primas y su proceso (cuna) hasta el fin de vida (tumba), teniendo en cuenta los procesos de reciclado que lleva a cabo Aliküm en las instalaciones.

Juego con todas sus partes

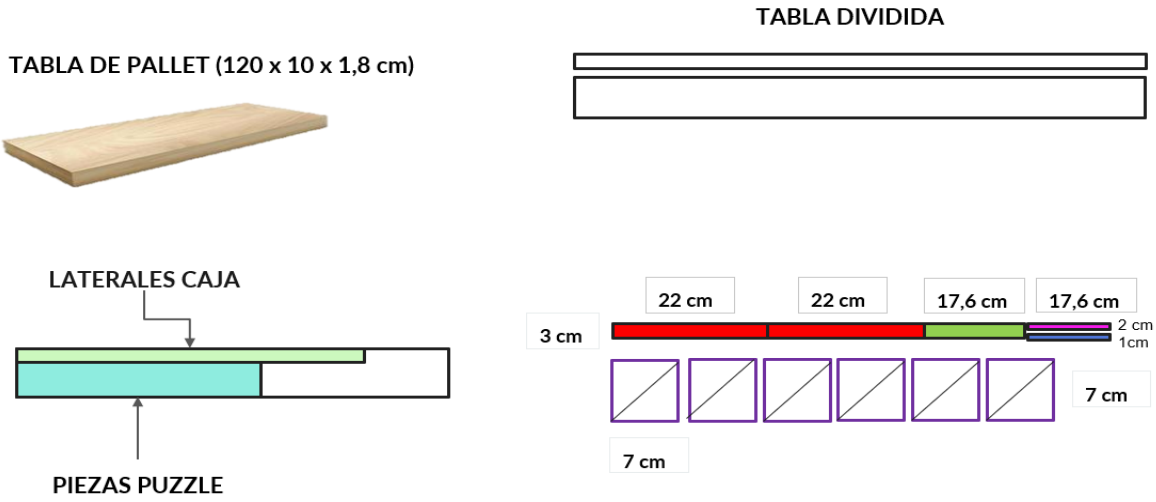
Piezas interiores del juego

7. RECOPILACIÓN DE DATOS

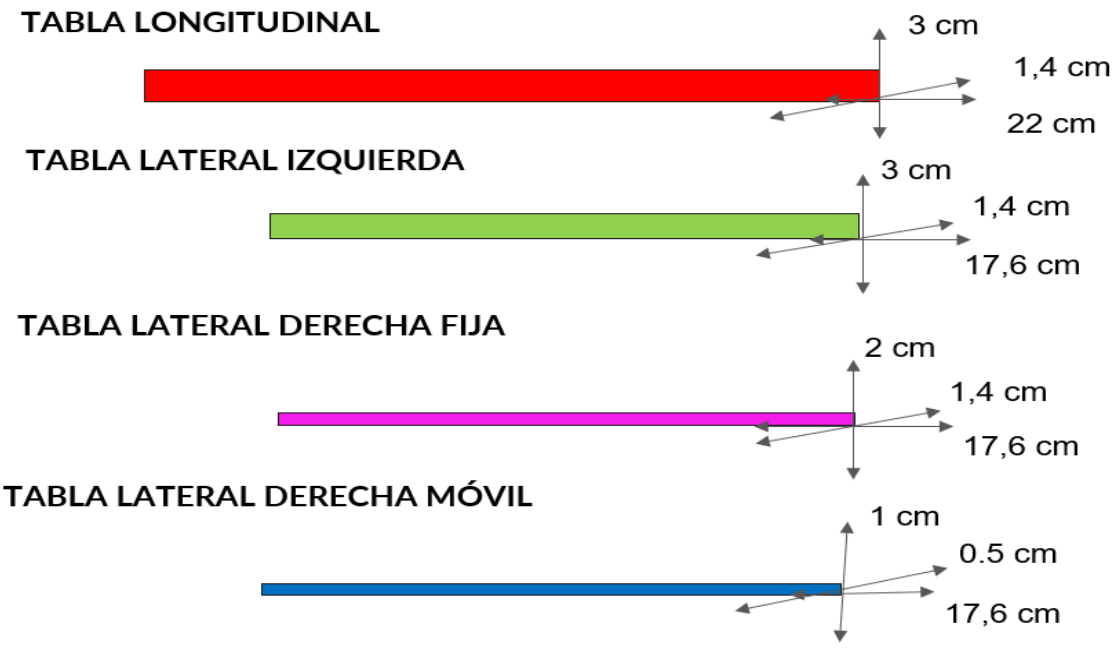
A continuación, se visualiza los datos obtenidos en cuanto a las medidas de tabla de pallet utilizada y división de esta para la obtención de las piezas del puzle y partes de la caja jurásica.

7.1. Medidas del producto

7.1.1. *Medidas de la tabla y división de las piezas*

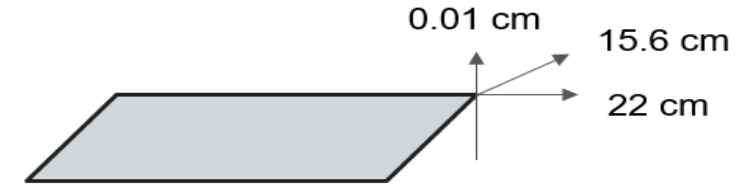


7.1.2. *Medidas de las tablas de la Caja jurásica*

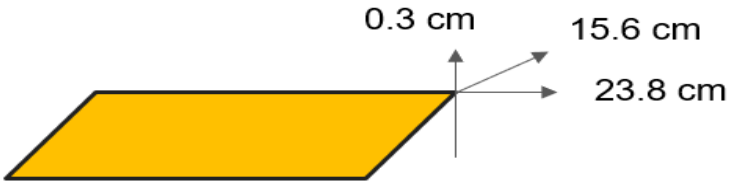


7.1.3. *Medidas plancha trupán para Caja jurásica*

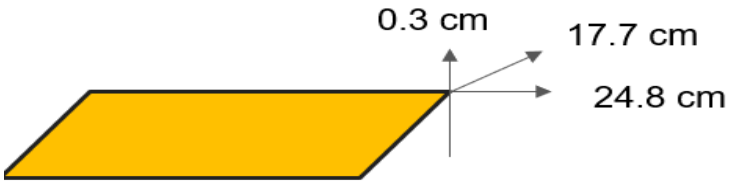
A continuación, se observan las medidas de la plancha de trupán para la obtención de la tapa y fondo.



ADHESIVO



TAPA



FONDO

7.2. Datos generales del juguete educativo

PESO DEL JUGUETE		
PARTES	**Peso**	**Unidad**
Caja jurásica con bolsas	0.6395	kg
Caja jurásica con piezas	0.5434	kg
Caja jurásica sin piezas	0.3675	kg
1 pieza de puzzle	0.0134	kg
12 piezas de puzzle	0.176	kg
trupan de la caja jurasica	0.198	kg
Bolsa jurásica	0.09	kg
Palos de la caja	0.165	kg
Adhesivo	0.006	kg
Tarjetas	0.0045	kg

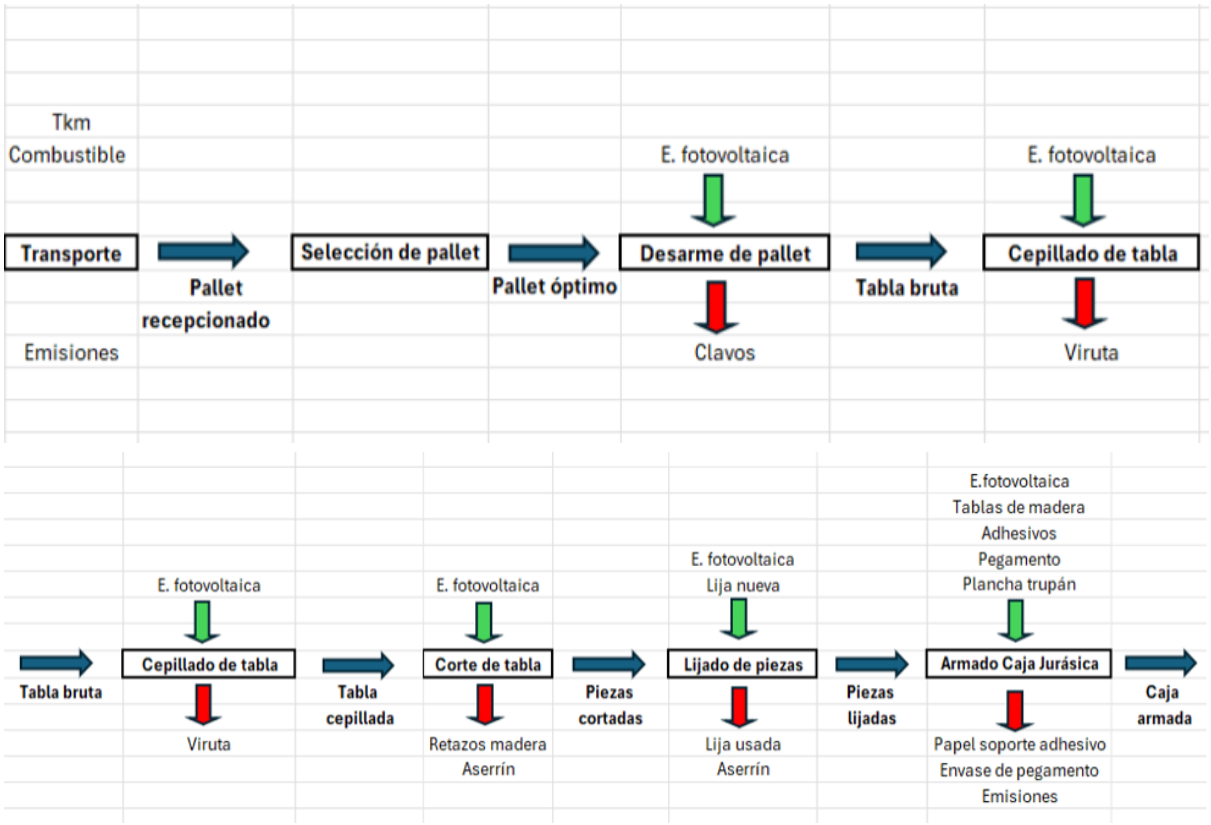
8. PROCESO DEL PRODUCTO CON SUS ENTRADAS Y SALIDAS

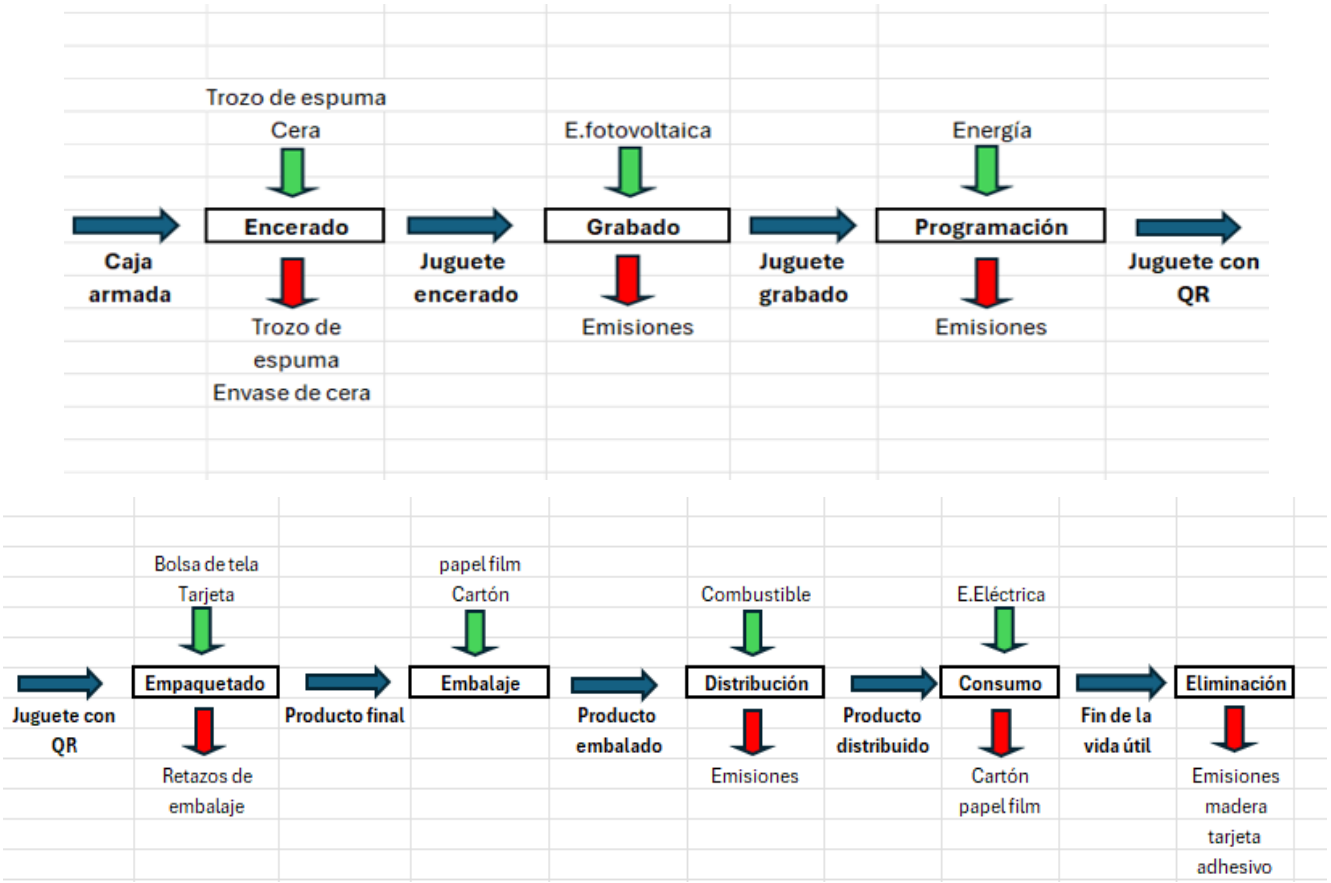
El análisis del producto se ha realizado desde la cuna a la tumba, donde se consideran las etapas consecutivas desde el transporte de la materia prima, proceso de las materias primas y el final de vida del juguete educativo.

Se han identificado las etapas del proceso y se ha completado con un inventario (ICV) con los datos proporcionados por la empresa productora.

El diagrama de flujo que se presenta a continuación ilustra detalladamente las diferentes etapas del ciclo de vida del producto, abarcando desde la obtención de materia prima, pasando por la producción, distribución, uso y finalmente su eliminación.
A continuación, se detalla el diagrama de flujo del proceso de fabricación del juguete Alikum, destacando las principales entradas y salidas en cada etapa del ciclo de vida del producto.

Figura 1. Diagrama de flujo - entradas y salidas





El diagrama de flujo se dividió en las siguientes fases/etapas para su mejor comprensión:

1. TRANSPORTE:
    - Transporte de materias primas
    - Entrada de materias primas
    - Recepción de pallets
    - Emisiones
2. SELECCIÓN DE PALLET:
    - Obtención de pallet óptimo
3. DESARME DE PALLET:
    - Salida de clavos
    - Obtención tabla bruta
4. CEPILLADO DE TABLA:
    - Uso de energía fotovoltaica
    - Uso de cepilladora
    - Salida de residuos de viruta
    - Obtención tabla cepillada
5. CORTE DE TABLA:
    - Consumo de energía fotovoltaica
    - Uso de ingletadora
    - Salida retazos de madera y aserrín

6. LIJADO DE TABLA:
    - Consumo de energía fotovoltaica
    - Uso de lijadora
    - Obtención de tabla lijada
    - Salida de aserrín
7. ARMADO DE CAJA JURÁSICA:
    - Consumo de energía fotovoltaica
    - Uso de tablas y trupán
    - Uso de adhesivo, pegamento
    - Salida papel soporte adhesivo, envase de pegamento
    - Emisiones
8. ENCERADO:
    - Uso de trozos de espuma
    - Uso de cera
    - Salida de retazos de madera y envase de cera
9. GRABADO:
    - Consumo de energía fotovoltaica
    - Uso de Láser CNC
    - Emisiones
10. PROGRAMACIÓN:
    - Consumo de energía eléctrica
    - Emisiones
11. EMPAQUETADO:
    - Uso de bolsas de tela
    - Uso de tarjetas recicladas
    - Retazos de embalaje
12. EMBALAJE:
    - Uso de papel film y cartón de embalaje
13. DISTRIBUCIÓN:
    - Emisiones
14. CONSUMO:
    - Consumo de energía eléctrica
    - Salida de papel film y cartón de embalaje
15. ELIMINACIÓN:
    - Emisiones
    - Salida de la madera y tarjeta
    - adhesivo

9. INVENTARIO DE CICLO DE VIDA (ICV)

El ICV es una recopilación detallada y cuantitativa de datos sobre todos los flujos materiales y energéticos que entran y salen del sistema analizado, desde la extracción de materias primas hasta la disposición final.

TRANSPORTE

ENTRADA: tkm - tonelada-kilómetro

TRANSPORTE	tkm (toneladas- kilometros)
PARA 1 TABLA DE 1 PALLET	0,01120867 tkm

DESARME DE PALLET

SALIDA: Clavos del desarme

RESIDUOS	CANTIDAD
CLAVOS	0.0006 kg

SALIDA: Transporte de clavos a la maestranza Andrade

TRANSPORTE	tkm (toneladas- kilometros)
DESDE ALIKUM	0.00000552 tkm

CEPILLADO DE TABLA

ENTRADA: Consumo de energía

EQUIPO	CANTIDAD
CEPILLADORA	275.55 Wh

SALIDA: Residuos de viruta

RESIDUOS	CANTIDAD
VIRUTA	0.104 kg

CORTE DE TABLA

ENTRADA: Consumo de energía

EQUIPO	CANTIDAD
INGLETADORA	238.81 Wh

SALIDA: Aserrín y retazos de tabla

RESIDUOS	CANTIDAD
ASERRÍN	0.034 kg
RETAZO DE TABLA	0.323 kg

LIJADO DE TABLA

ENTRADA:

Consumo de energía fotovoltaica:

EQUIPO	CANTIDAD
LIJADORA	168.67 Wh

Insumos:

INSUMOS	CANTIDAD
LIJA NUEVA	0.018 kg

Salidas:

RESIDUOS	CANTIDAD
LIJA USADA	0.018 kg

ARMADO CAJA JURÁSICA

ENTRADA:

tkm de transporte:

TRANSPORTE	tkm (toneladas- kilómetros)
ADHESIVO	0.000027 tkm
PEGAMENTO	2.76408 tkm
TRUPÁN	0.448074 tkm

Consumo de energía fotovoltaica:

EQUIPO	ENERGÍA UTILIZADA
Láser CNC	201 Wh

Insumos:

INSUMOS	CANTIDAD
TABLA DE MADERA	0.341 kg
ADHESIVO	0.006 kg
PEGAMENTO	0.000063 kg
TRUPÁN	0.198 kg

SALIDA:

RESIDUOS	CANTIDAD
PAPEL SOPORTE ADHESIVO	0.005 kg
ENVASE DE PEGAMENTO	0.000665 kg

ENCERADO

ENTRADA:

Insumos:

INSUMOS	CANTIDAD
TROZO DE ESPUMA	0.006 kg
CERA	0.0725 kg

SALIDA:

RESIDUOS	CANTIDAD
TROZO DE ESPUMA	0.0098 kg
ENVASE DE CERA	0.05625 kg

GRABADO:

ENTRADA:

Consumo de energía fotovoltaica:

EQUIPO	CANTIDAD
LÁSER CNC	1500 Wh

PROGRAMACIÓN

ENTRADA:

Consumo de energía eléctrica:

EQUIPO	ENERGÍA UTILIZADA
PROGRAMADOR QR CON UNA POTENCIA 150 W y TIEMPO DE PROGRAMACIÓN DE 40 HORAS	1.0683 Wh

EMPAQUETADO

ENTRADA:

tkm de transporte

TRANSPORTE	**tkm (toneladas- kilometros)**
BOLSA DE TELA	0.00153 tkm
TARJETA RECICLADA	0.08019 tkm

INSUMOS	**CANTIDAD**
BOLSA DE TELA	0.09 kg
TARJETA RECICLADA	0.0045 kg

SALIDA:

RESIDUOS	**CANTIDAD**
RETAZOS DE EMBALAJE	0.092 kg

EMBALAJE

ENTRADA:

Insumos:

INSUMOS	**CANTIDAD**
CARTÓN	0.278 kg
PAPEL FILM	0.00594 kg

DISTRIBUCIÓN

ENTRADA:

tkm de transporte:

TRANSPORTE	**tkm (toneladas- kilometros)**
DESDE ALIKUM HACIA LA ZOFRI	0.00722635 tkm

CONSUMO

ENTRADA:

Consumo energía eléctrica:

ENERGÍA CELULAR	ENERGÍA TOTAL
POTENCIA DE 0.055 W Y TIEMPO DE 0.03333333 HORAS.	0.001833333

SALIDA:

RESIDUOS	CANTIDAD
CARTÓN	0.278 kg
PAPEL FILM	0.00594 kg

ELIMINACIÓN

SALIDA

RESIDUOS	CANTIDAD
MADERA	0.5435 kg
TARJETA	0.0045 kg

A continuación, en la tabla se muestran todas las entradas del proceso del juguete con su respectivo peso en kg.

Entradas del proceso juguete		
PARTES	**PESO**	**UNIDAD**
Tabla de pallet	0.341	kg
Trupán	0.198	kg
Bolsa jurasica	0.09	kg
Adhesivo	0.006	kg
Tarjetas	0.0045	kg
Espuma	0.006	kg
Envase de pegamento	0.003175	kg
Envase de cera	0.0725	kg
Cartón de embalaje	0.018533333	kg
Lija Usada	0.018	kg
Papel fim	0.00594	kg

Luego, se muestran en la siguiente tabla todas las salidas del proceso del juguete con su respectivo peso en kg.

Salidas de procesos del juguete		
MATERIALES	**CANTIDAD**	**UNIDAD**
Clavos	0.0006	kg
Viruta	0.104	kg
Aserrín	0.042	kg
Lija Usada	0.018	kg
Embalaje de Tarjetas	0.092	kg
Envase de Cera	0.05625	kg
Envase de pegamento	0.00065	kg
Papel soporte de adhesivo	0.005	kg
Sobrante de espuma usada	0.0098	kg
Cartón embalaje	0.018533333	kg
Papel film	0.00594	kg

Además se adjunta la energía utilizada en cada equipo del proceso:

EQUIPO	POTENCIA	TIEMPO	ENERGÍA TOTAL
CEPILLADORA	1650 W	0.167 hrs	275.55 Wh
INGLETADORA	1430 W	0.167 hrs	238.81 Wh
LIJADORA	1010 W	0.167 hrs	168.67 Wh
LÁSER CNC	3000 W	0.567 s	1700 Wh

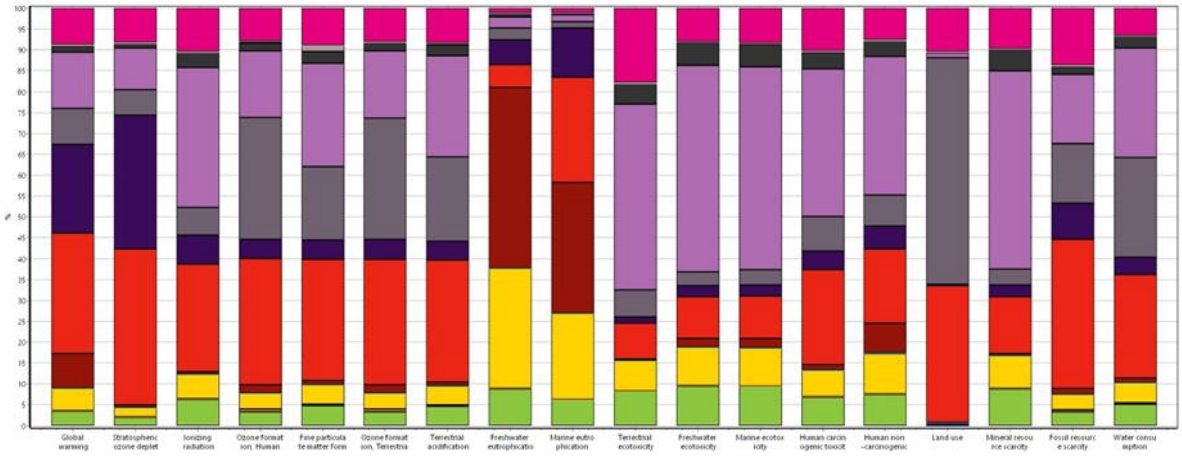
10. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE IMPACTO EN EL SOFTWARE SIMAPRO

En el desarrollo de un juguete ecológico a partir de pallets reciclados, la caracterización del proceso es esencial para evaluar su sostenibilidad e impacto ambiental. Los gráficos de caracterización generados en SimaPro (Simulation and Analysis of Recycling Operations) utilizando el método Midpoint (H) proporcionan una visualización detallada de diversos aspectos del ciclo de vida del producto. Estos gráficos permiten identificar y analizar las etapas críticas del proceso, desde la obtención de la materia prima hasta la disposición final del juguete.

A continuación, se muestran los valores obtenidos del ACV para las distintas categorías de impacto ambiental en cada etapa del ciclo de vida del producto, así como una representación gráfica de los resultados.

Se presenta el gráfico de caracterización con sus indicadores de impacto ambiental respectivo:

GRÁFICO DE CARACTERIZACIÓN



El gráfico muestra varias categorías de impacto ambiental evaluados para 1 Juguete en cada barra. Es decir, cada barra representa un impacto ambiental específico y está subdividida en las diferentes etapas del producto.

El grabado (morado) y el embalaje (rojo) son las fases del ciclo de vida con mayor impacto en la mayoría de los indicadores, el consumo (gris) y la eliminación (burdeo), también tienen impactos significativos en varios indicadores.

Los procesos como el corte de tabla (amarillo), cepillado de tabla (verde), y el armado (rosado) , tienen contribuciones menores en comparación con los anteriores.

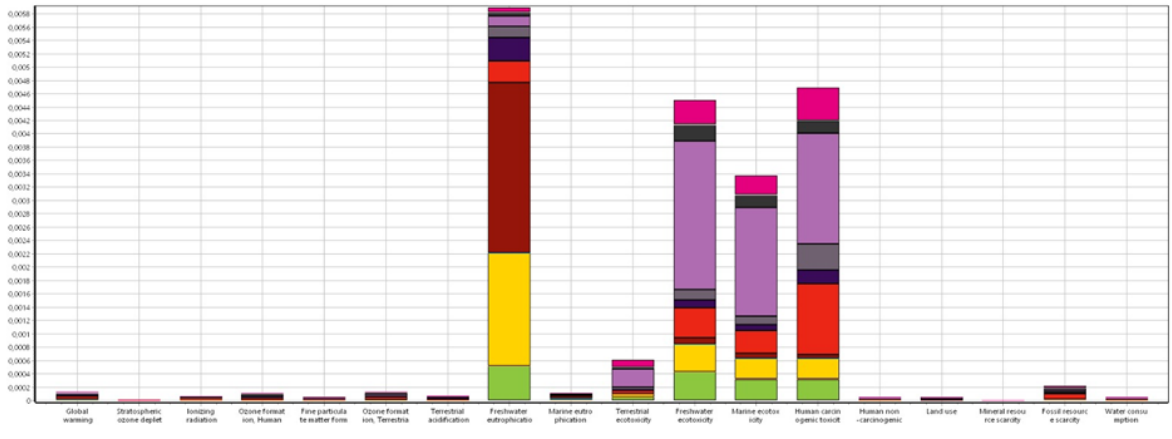
Es importante mencionar que las categorías de impacto representadas en cada barra del gráfico anterior se visualizan con sus respectivos indicadores de impacto y unidad.

Categoría de impacto	Unidad
Global warming	kg CO2 eq
Stratospheric ozone deplet	kg CFC11 eq
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq
Ozone formation, Human h	kg NOx eq
Fine particulate matter forr	kg PM2.5 eq
Ozone formation, Terrestria	kg NOx eq
Terrestrial acidification	kg SO2 eq
Freshwater eutrophication	kg P eq
Marine eutrophication	kg N eq
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB
Human carcinogenic toxici	kg 1,4-DCB
Human non-carcinogenic t	kg 1,4-DCB
Land use	m2a crop eq
Mineral resource scarcity	kg Cu eq
Fossil resource scarcity	kg oil eq
Water consumption	m3

El orden de las categorías de la tabla anterior son correlativas al orden de las barras del gráfico.

El gráfico de normalización es una herramienta esencial en el análisis del ciclo de vida (ACV) de productos. Este gráfico permite comparar y contextualizar los impactos ambientales de cada etapa del ciclo de vida del producto, normalizando los datos obtenidos para hacerlos más comprensibles y comparables.

GRÁFICO DE NORMALIZACIÓN



La normalización en SimaPro compara los impactos ambientales de un sistema con referencias estándar nivelando todos los impactos en una escala común para facilitar la interpretación de estos. Los gráficos de normalización muestran diferentes categorías de impacto y sus valores normalizados, permitiendo ver cuáles son más significativos. Esto facilita la interpretación de los resultados del análisis de ciclo de vida (LCA) y ayuda a identificar áreas prioritarias para la mejora ambiental.

11. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Al analizar el segundo Gráfico de Normalización, podemos visualizar a simple vista que la barra N° 8 representa la Eutrofización de agua dulce.

La **eutrofización de agua** dulce es un proceso donde los cuerpos de agua se enriquecen excesivamente con nutrientes, principalmente nitrógeno (N) y fósforo (P), lo que provoca un crecimiento acelerado de algas y plantas acuáticas. En nuestro caso, los residuos de la fabricación de la madera contienen varios elementos que pueden contribuir a este fenómeno.

En el proceso de fabricación de la madera, se liberan compuestos como nitratos (NO3-), fosfatos (PO4^3-), amonio (NH4+), y otros elementos traza como cobre (Cu), zinc (Zn), y plomo (Pb), entre otros. Estos compuestos pueden llegar a los cuerpos de agua a través de las aguas residuales.

Los nitratos y fosfatos son nutrientes esenciales para las plantas. Cuando estos compuestos se introducen en cuerpos de agua, incrementan la disponibilidad de nutrientes, lo que promueve el crecimiento rápido de algas. Este crecimiento algal excesivo, conocido como floraciones algales, puede agotar el oxígeno disuelto en el agua cuando las algas mueren y se descomponen, un proceso que consume oxígeno y puede llevar a condiciones anóxicas.

En la planta de tratamiento de aguas residuales, los compuestos como nitratos y fosfatos pueden no ser eliminados completamente. Si estos nutrientes llegan a ser liberados en los cuerpos de agua, inician el proceso de eutrofización. Además, otros elementos como el sulfuro de hidrógeno (H2S) y metales pesados también pueden contribuir al deterioro de la calidad del agua.

Luego en las barras N°11 y 12, se observa la **Ecotoxicidad de agua dulce y marina**. Su unidad de medida es kg 1,4-DCB (dicloro-benceno equivalente). Este impacto se debe principalmente al proceso de instalación de paneles fotovoltaicos.

La ecotoxicidad se refiere al daño causado a los ecosistemas acuáticos por la liberación de sustancias químicas tóxicas. En el caso de los paneles fotovoltaicos, varios materiales utilizados en su fabricación y montaje pueden contribuir a la ecotoxicidad si no se manejan adecuadamente.

Durante la instalación de paneles fotovoltaicos, se utilizan varios materiales que pueden ser tóxicos para el medio ambiente. Algunos de estos materiales incluyen:

- Nylon 6
- Policarbonato
- Polietileno
- Policloruro de vinilo (PVC)
- Resina epóxica
- Acero
- Aluminio
- Cobre
- Zinc
- Latón
- Cadmio

Cada uno de estos materiales puede liberar compuestos tóxicos en el medio ambiente durante su producción, uso y eliminación.

A continuación, se indican los distintos materiales con sus respectivas características:

- **Nylon 6, policarbonato, polietileno y PVC:** Estos plásticos pueden liberar aditivos y monómeros tóxicos durante su producción y degradación. En el agua, estos compuestos pueden ser dañinos para la vida acuática.

- **Resina epóxica:** Puede contener bisfenol A (BPA) y otros compuestos que son tóxicos para los organismos acuáticos.
- **Metales como cobre, zinc, aluminio y cadmio:** Estos metales pueden lixiviarse en el medio ambiente durante el proceso de producción e instalación de los paneles. En el agua, pueden ser extremadamente tóxicos para los peces y otros organismos acuáticos.
- **Cadmio:** Es especialmente preocupante porque es altamente tóxico incluso en bajas concentraciones y puede acumularse en los organismos acuáticos, causando efectos adversos a largo plazo.

La medida kg 1,4-DCB equivale a la cantidad de una sustancia que tiene el mismo potencial de ecotoxicidad que un kilogramo de diclorobenceno (DCB). Los modelos de evaluación del ciclo de vida utilizan esta unidad para comparar los impactos tóxicos de diferentes sustancias en los ecosistemas acuáticos.

Además otro componente importante es el PVC, el cúal se observó en gran cantidad en la instalación de paneles fotovoltaicos.

El policloruro de vinilo (PVC) es un material ampliamente utilizado en la instalación de paneles fotovoltaicos, como en los cables y otros componentes. Este material puede generar ecotoxicidad debido a varias razones:

Durante la fabricación del PVC, se liberan subproductos químicos tóxicos, como cloro y compuestos orgánicos volátiles (COVs). Estos químicos pueden contaminar el agua y el aire, y si llegan a cuerpos de agua, pueden ser tóxicos para los organismos acuáticos.

El PVC utilizado en paneles fotovoltaicos contiene aditivos como plastificantes y estabilizadores, que a menudo contienen metales pesados que pueden ser liberados en el medio ambiente y resultar tóxicos para la vida acuática. Con el tiempo, el PVC puede degradarse y liberar sus aditivos tóxicos. Por ejemplo, cuando los cables o componentes de PVC se exponen a condiciones ambientales, pueden lixiviar compuestos químicos y estabilizadores al agua, afectando la salud de los organismos acuáticos.

Los compuestos liberados por el PVC son persistentes en el medio ambiente y pueden bioacumularse en los tejidos de los organismos acuáticos. Esto significa que pueden aumentar en concentración a lo largo de la cadena alimentaria, causando efectos tóxicos a largo plazo. El sistema endocrino es el conjunto de glándulas que producen hormonas, las cuales regulan funciones importantes como el crecimiento y la reproducción. Los compuestos químicos en el PVC pueden alterar la producción o el funcionamiento de estas hormonas, causando problemas de salud en los animales, como dificultades para reproducirse o crecer de manera adecuada.

Por último, la barra N° 13, representa la **Toxicidad carcinogénica humana ,** asociada con el proceso de embalaje, armado y grabado. El cartón, aunque parece un material inofensivo, puede contribuir a la toxicidad carcinogénica en varias formas.

Durante la fabricación del cartón, se utilizan productos químicos como blanqueadores y adhesivos. Algunos de estos productos químicos pueden ser carcinógenos, es decir, pueden causar cáncer si las personas están expuestas a ellos en altas concentraciones o durante períodos prolongados. La inhalación o el contacto con estos compuestos pueden representar un riesgo de cáncer para los trabajadores en las plantas de fabricación.

11.1. Análisis comparativo

A continuación, se realizó una comparación utilizando en todas las etapas del proceso energía eléctrica en vez de la energía fotovoltaica, que es la energía actual utilizada en el proceso. En donde se pudo observar que en la energía eléctrica disminuyó la ecotoxicidad marina y de agua dulce, mientras aumentó la toxicidad carcinogénica humana.

Es importante mencionar que la extracción de carbón duro puede implicar el uso intensivo de maquinaria pesada, voladuras, y en algunos casos, la generación de residuos y efluentes que pueden contener nutrientes como fosfatos y nitratos. Durante la extracción y el proceso de carbón, pueden liberarse nutrientes que luego llegan a cuerpos de agua cercanos a través de escorrentías, lavados de equipo o filtraciones, contribuyendo así a la eutrofización.

Toxicidad carcinogénica humana

Junto con esto, se identificó un riesgo de toxicidad carcinogénica asociado con la generación de electricidad mediante la extracción de carbón. Este riesgo se relaciona con la presencia de radón, un gas radioactivo que emite partículas alfa durante su descomposición. Durante la extracción de carbón, las partículas alfa pueden ser liberadas e inhaladas, depositándose en los pulmones y potencialmente causando daño directo a las células pulmonares. Esto aumenta el riesgo de cáncer de pulmón, especialmente entre los trabajadores mineros expuestos crónicamente al radón y sus productos de descomposición.

Calentamiento Global

Además, se realizó un análisis sobre la energía en el calentamiento global ya que se quería comprobar si utilizando energía fotovoltaica disminuye los gases de efecto invernadero.

Efectivamente los kg de CO2 equivalente son menores en la energía fotovoltaica, dando como resultado un valor de 1,01 kg CO2 eq, mientras la energía eléctrica dio un resultado de 2,26 kg C02 eq, también se puedo observar que en la energía

fotovoltaica se generan emisiones por el cobre de desecho y residuos eléctricos, mientras que en la energía eléctrica se generan emisiones de monóxido drinitrogeno y ozono.

12. PROPUESTAS DE MEJORA PARA LA DISMINUCIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

El ACV puede ser empleado como una herramienta de gestión ambiental que puede ser utilizado para identificar los “puntos calientes” del producto analizado, es decir, aquellos materiales y etapas del proceso productivo que conllevan un mayor impacto en el medio ambiente y a partir de este análisis aplicar técnicas de ecodiseño.

A continuación, se presentan oportunidades de mejora del desempeño ambiental identificadas.

Propuesta 1: Eliminación de la Caja y Otros Componentes

En el marco del análisis del ciclo de vida (ACV) de un juguete ecológico fabricado a partir de pallets reciclados, se llevaron a cabo dos propuestas con el objetivo de reducir el impacto ambiental, específicamente en términos de eutrofización de agua dulce y calentamiento global. A continuación, se presentan los resultados y análisis detallados de estas propuestas.

La primera propuesta consistió en retirar la caja y otros componentes del empaque del juguete, incluyendo adhesivos y la madera. Los procesos que más contribuyeron a la eutrofización del agua dulce fueron la eliminación de estos elementos y el corte de tablas, donde se generan residuos de madera.

Eutrofización de Agua Dulce:

Antes de retirar la caja: 0,00384 kg P eq

Después de retirar la caja: 0,00269 kg P eq

Esta acción resultó en una reducción significativa de la eutrofización del agua dulce, evidenciada por la disminución en los valores equivalentes de fósforo (kg P eq).

Ecotoxicidad de agua dulce: Antes de las propuestas, el valor es de 0.124 kg 14-DCB, indicando la presencia de sustancias tóxicas que afectan negativamente a los ecosistemas acuáticos.

El valor se redujo a 0.113 kg 14-DCB, lo que demostró una disminución en las sustancias tóxicas liberadas al ambiente debido a la eliminación de materiales innecesarios.

Calentamiento Global:

Antes de retirar la caja: 1,01 kg CO2 eq

Después de retirar la caja: 0,89 kg CO2 eq

También se observó una reducción en el impacto relacionado con el calentamiento global, lo que indica una disminución en las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la producción y disposición de la caja y otros componentes.

Propuesta 2: Reducción del Tamaño de la Bolsa

La segunda propuesta implicó la **reducción del tamaño de la bolsa** utilizada para contener el juguete. Las dimensiones originales de la bolsa eran de 70 x 31 x 0,01 cm, y fueron reducidas a 23,8 x 15,6 x 0,01 cm. Esta modificación también resultó en una reducción significativa del peso de la bolsa.

Dimensiones y Peso de la Bolsa:

Antes de la reducción: 70 x 31 x 0,01 cm. Peso: 0,09 kg

Después de la reducción: 23,8 x 15,6 x 0,01 cm. Peso: 0,02 kg

Eutrofización de Agua Dulce y Calentamiento Global:

La reducción del tamaño y peso de la bolsa contribuyó a una disminución en la generación de residuos y el uso de materiales, lo cual impactó positivamente en ambos indicadores ambientales, aunque los valores específicos de impacto no se detallan en esta sección, se asume una mejora general basada en la disminución de materiales y peso total del producto.

A continuación, se pueden observar los valores antes y después de realizar las dos propuestas en la eutrofización de agua dulce, ecotoxicidad de agua dulce y toxicidad carcinogénica humana.

Eutrofización de agua dulce: El valor inicial es de 0.00384 kg P eq, reflejando un impacto considerable debido a los nutrientes que promueven el crecimiento excesivo de algas y plantas acuáticas.

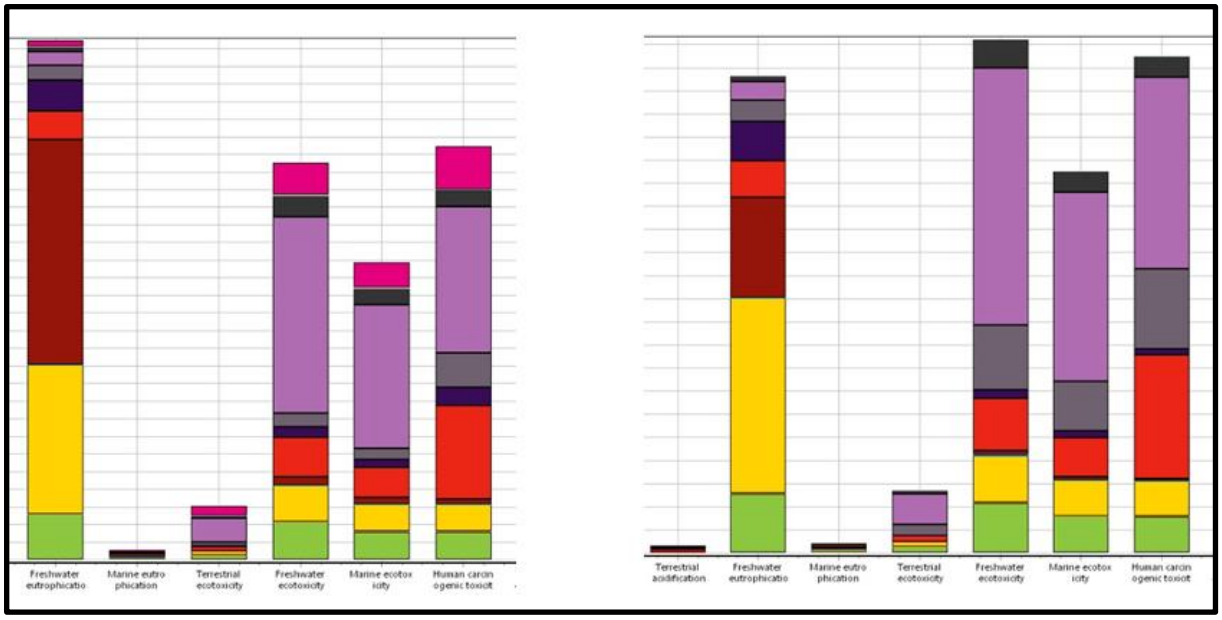
Con la reducción del tamaño de la bolsa de tela, el valor descendió a 0.00268 kg P eq.

Ecotoxicidad de agua dulce: Antes de las propuestas, el valor es de 0.124 kg 14-DCB, indicando la presencia de sustancias tóxicas que afectan negativamente a los ecosistemas acuáticos.

El valor bajó a 0.112 kg 14-DCB, evidenciando una mayor reducción de las sustancias tóxicas.

A continuación, se observa el gráfico antes y después de las 2 propuestas implementadas anteriormente:

ANTES **DESPUÉS**

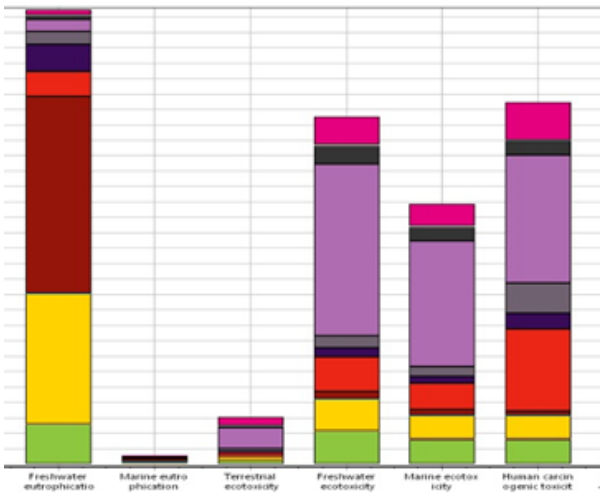


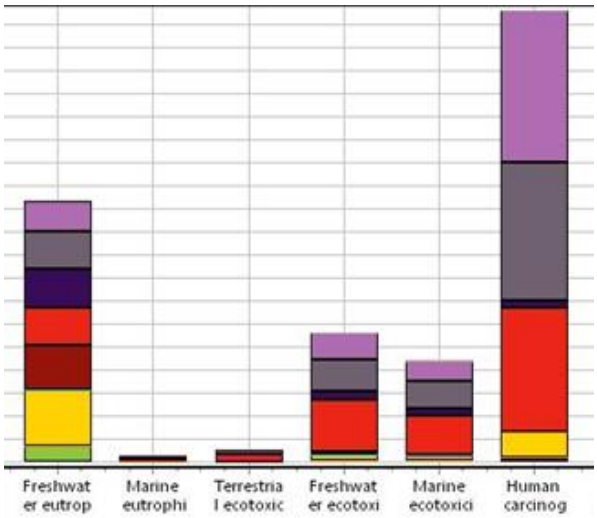
Propuesta 3:

El juguete educativo contaba con 12 piezas para formar el puzle en donde decidimos que este juguete solo tuviera 6 piezas, por lo tanto, las dimensiones ahora serían de: 21 x 7 cm, serían 3 cuadrados, que formarían 6 triángulos.

Se pueden observar los gráficos antes de realizar las propuestas y el después de realizar las tres propuestas.

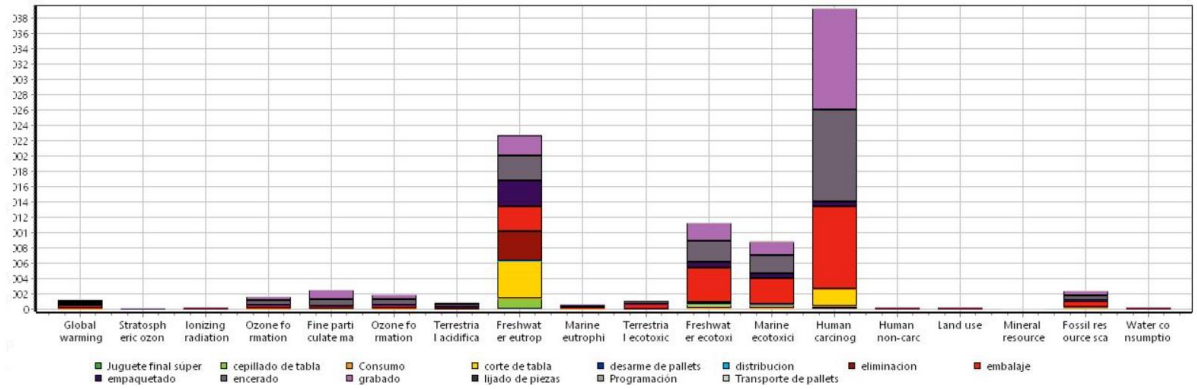
ANTES **DESPUÉS**





A continuación, se adjuntan ambos gráficos, con y sin propuestas.

GRÁFICO CON TODAS LAS PROPUESTAS

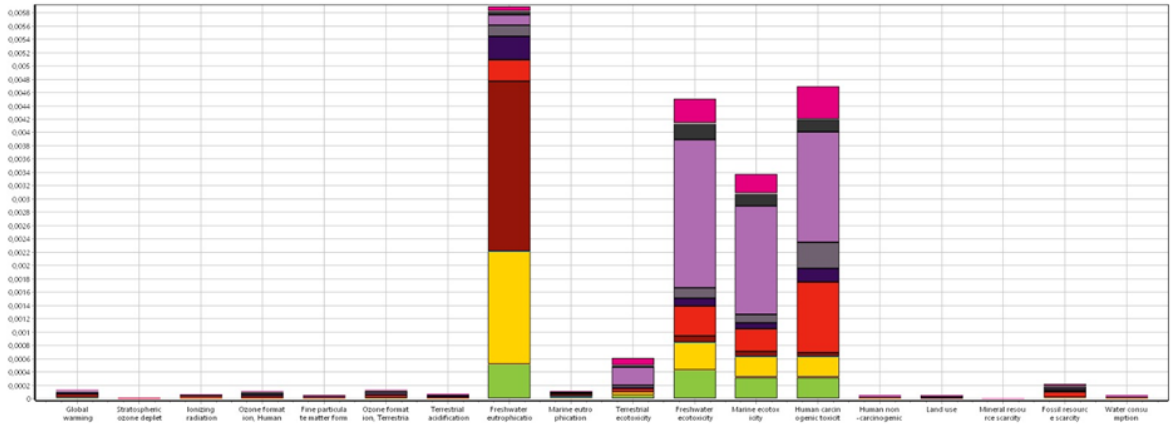


El gráfico con todas las propuestas anteriormente analizadas , revela una mejora significativa en los impactos ambientales tras la implementación de varias estrategias de ecodiseño. Las principales propuestas incluyen la eliminación de la caja jurásica, la reducción del tamaño de la bolsa utilizada para empaquetar el juguete y la disminución del número de piezas en el producto final. Estas modificaciones no solo han llevado a una considerable reducción de materiales utilizados, sino también a una menor generación de residuos y un menor consumo de recursos durante la producción, observando una disminución notable en el proceso de eliminación y corte de tabla.

Por ejemplo, al eliminar la caja, se reduce tanto la cantidad de madera utilizada como el espacio necesario para las piezas del juguete. Reducir el tamaño de la bolsa no solo implica menos material textil sino también menos impacto ambiental en temas de emisiones. Finalmente, disminuir el número de piezas simplifica el proceso de producción, lo cual también puede llevar a una reducción en el consumo de energía y otros recursos. Estas propuestas redujeron el impacto en la eutrofización de agua

dulce, ecotoxicidad de agua dulce, ecotoxicidad marina y la toxicidad carcinogénica humana.

GRÁFICO SIN PROPUESTAS



Esto demuestra que el gráfico de normalización sin cambios, el cual se visualiza proporciona una visión clara de los impactos ambientales antes de la implementación de las estrategias de mejora. Este escenario inicial muestra cómo los procesos productivos de los juguetes Aliküm generaban mayores niveles de contaminación y consumo de recursos, como es el proceso de eliminación, corte de tabla y grabado. Las categorías de impacto, como la eutrofización de agua dulce y la toxicidad carcinogénica humana, presentan valores significativamente altos, lo que indica una mayor afectación a los ecosistemas acuáticos y también en los humanos.

13. TABLA COMPARATIVA Y PORCENTAJE DE CAMBIOS

La tabla comparativa ofrece una visión clara de los beneficios ambientales que resultan de implementar las propuestas de mejora en la producción del juguete ecológico Aliküm. Aquí se destacan los principales puntos de reducción de impacto en varias categorías ambientales:

Categoría de Impacto	Unidad	Juguete sin propuestas	Juguete sin caja	Juguete sin caja y reducción de bolsa	Juguete sin caja, reducción de bolsa y disminución de piezas	% de cambio con propuestas
Eutrofización de agua dulce	kg P eq	0.00384	0.00269	0.00268	0.00148	-61.46
Ecotoxicidad agua dulce	kg 1,4-DCB	0.124	0.113	0.112	0.0283	-77.18
Ecotoxicidad Marina	kg 1,4-DCB	0.16	0.145	0.144	0.0384	-76.0
Toxicidad carcinogénica humana	kg 1,4-DCB	0.0512	0.0459	0.0443	0.0405	-20.9

Eutrofización de Agua Dulce: La implementación de las propuestas reduce significativamente la eutrofización de agua dulce. El valor inicial es de 0.00384 kg P eq y disminuye a 0.00148 kg P eq con todas las propuestas, logrando una reducción del 61.46%. Esta mejora es esencial para prevenir el crecimiento excesivo de algas y mantener la calidad del agua.

Ecotoxicidad de Agua Dulce: La ecotoxicidad de agua dulce también se reduce notablemente, pasando de 0.124 kg 14-DCB a 0.0283 kg 14-DCB, una reducción del 77.18%. Esto significa que hay menos sustancias tóxicas afectando a los organismos acuáticos, lo cual es crucial para la preservación de la biodiversidad en los cuerpos de agua dulce.

Ecotoxicidad Marina: En el caso de la ecotoxicidad marina, los valores bajan de 0.16 kg 14-DCB a 0.0384 kg 14-DCB, lo que representa una reducción del 76%. Esta disminución protege los ecosistemas marinos y contribuye a la salud de la vida marina.

Toxicidad Carcinogénica Humana: La reducción en la toxicidad carcinogénica humana es del 20.9%, disminuyendo de 0.0512 kg 14-DCB a 0.0405 kg 14-DCB. Aunque menor en comparación con otras categorías, esta reducción es importante para disminuir la exposición a sustancias cancerígenas y mejorar la salud pública.

14. CONCLUSIÓN

El Análisis de Ciclo de Vida del juguete educativo Aliküm ha revelado que ciertos procesos productivos, como la eliminación y el corte de tabla, son los mayores contribuyentes a la eutrofización y la ecotoxicidad. Las propuestas de mejora, que incluyen la eliminación de la caja, la reducción del tamaño de la bolsa y la disminución de la cantidad de piezas, han demostrado ser efectivas para reducir significativamente los impactos ambientales. Estas mejoras resultan en una reducción del 61.46% en la eutrofización de agua dulce y del 77.18% en la ecotoxicidad de agua dulce. La implementación de estas estrategias no solo disminuye los impactos negativos sobre el medio ambiente, sino que también promueve prácticas más sostenibles. Este estudio resalta la importancia del ecodiseño y la producción limpia como herramientas clave para el desarrollo de productos más sostenibles y la protección del medio ambiente.