

UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE UN ARNÉS
ELÉCTRICO EN HERMOSILLO, SONORA.**

The seal of the University of Sonora is a large, circular emblem in the background. It features a central shield with a lamp of knowledge, an open book, and a quill pen. Above the shield is an owl. The shield is surrounded by a wreath and the text "UNIVERSIDAD DE SONORA" in a circular border. Below the shield is a banner with the motto "TODO · LO · ILUMINAN".

TRABAJO ESCRITO

TODO · LO · ILUMINAN

Que para obtener el GRADO de
MAESTRÍA EN SUSTENTABILIDAD

Presenta:

Karen Navarro Palomares

Director de Tesis:

Dr. Javier Esquer Peralta

HERMOSILLO, SONORA

FEBRERO DEL 2017

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



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

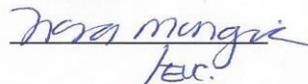
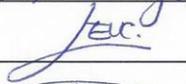
Universidad de Sonora
División de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Industrial
Posgrado en Sustentabilidad
Maestría en Sustentabilidad
Especialidad en Desarrollo Sustentable

Hermosillo, Sonora, a 30 de enero del 2017

Dr. Luis Eduardo Velázquez
Coordinador de Programa
Maestría en Sustentabilidad
Presente.-

Por este conducto, hago de su conocimiento que estoy de acuerdo que se realice el examen de posgrado del alumno (a) Karen Navarro Palomares con Expediente 215190086, el cual será el día 01 de Febrero del 2017 en el aula Sala Lozano Taylor, Edificio 5J, a las 11:00 horas.

Relación de Jurados:

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE:	Dr. Javier Esquer Peralta	
SECRETARIO:	Dra. Nora Elba Munguía Vega	
VOCAL:	Dr. Luis Eduardo Velázquez Contreras	
SUPLENTE:	M.C. David Slim Zepeda Quintana	

ATENTAMENTE

MIEMBROS DEL JURADO

RESUMEN

El presente estudio muestra un Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de un arnés eléctrico producido en Hermosillo, Sonora. Con este estudio se identifican y estiman los impactos ambientales asociados a la manufactura del producto, con el objetivo de transitar hacia patrones de producción sustentables. El diseño metodológico está basado en la Plataforma Europea sobre Análisis del Ciclo de Vida, compatible con las normas ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006. El alcance de este ACV fue de la cuna a la puerta, con enfoque en el proceso de manufactura del arnés eléctrico. Se empleó el software SimaPro para llevar a cabo la evaluación de impacto del ciclo de vida, para ello, se utilizaron las metodologías Impact2002+ y ReCiPe Midpoint, lo que permitió comparar resultados. De acuerdo a los resultados obtenidos, se concluyó que el cobre catódico es el material con mayor potencial de daño, mientras que la etapa de corte y preparación, es la que más contribuye a los impactos ambientales. Por otro lado, las principales categorías de impacto asociadas a la manufactura del producto fueron extracción y agotamiento mineral a nivel regional, así como ecotoxicidad acuática y cambio climático a nivel internacional.

ABSTRACT

This study shows a Life Cycle Assessment (LCA) of an electrical harness manufactured in Hermosillo, Sonora. The study identifies and estimates the environmental impacts associated to the manufacture product, in order to have a transition to a sustainable production. The methodology is based on the European Platform on Life Cycle Assessment, compatible with the international norms ISO 14040:2006 and ISO 14044:2006. The scope of this LCA was from cradle to gate, with focus on the manufacture process of the electrical harness. The SimaPro software was used to the life cycle impact assessment, and the methodologies Impact2002+ and ReCiPe midpoint were selected to compare outcomes. According to the results obtained, it was concluded that cathodic copper is the material with the greatest damaging potential, while the cutting and preparation stage contributes most to the environmental impacts. In addition, the main impact categories associated to the manufacture process were mineral extraction and depletion at regional level, and aquatic ecotoxicity and climate change at international level.

ÍNDICE

<u>Descripción</u>	<u>Página</u>
<u>I. Introducción</u>	1
<u>II. Objetivo Estratégico</u>	2
<u>III. Objetivos Específicos</u>	2
<u>IV. Análisis Literario</u>	3
4.1 Impactos ambientales y de salud derivados de la industria electrónica	3
4.2 Análisis del ciclo de vida como instrumento de la sustentabilidad	4
4.3 Obstáculos y beneficios del ACV	8
4.4 Aplicaciones del ACV en la industria electrónica	9
<u>V. Metodología</u>	12
5.1 Tipo de estudio	12
5.2 Diseño metodológico	12
5.3 Alcance	13
5.4 Preguntas de investigación	13
5.5 Objeto de estudio	13
5.6 Selección del lugar que ubica el objeto de estudio	13
5.7 Instrumentos de recolección y manejo de datos	14
<u>VI. Resultados</u>	15
6.1 Fase 1: Definición del objetivo y alcance	15
6.1.1 Objetivo	15
6.1.2 Alcance	15
a) Definición del sistema	15
b) Función y descripción del sistema estudiado	17
c) Unidad funcional	19
d) Sistema estudiado	19
e) Límites del sistema	20
6.2 Fase 2: Análisis del inventario del ciclo de vida	20
6.2.1 Recopilación de datos	20
6.2.2 Flujos de materiales y energía	22
6.3 Fase 3: Evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV)	24
6.3.1 Supuestos	25

6.3.2 Daño potencial de los materiales utilizados en el arnés tipo “A”	25
a) Metodología Impact2002+	25
b) Metodología ReCiPe midpoint	30
6.3.3 Evaluación de impacto	33
a) Metodología Impact2002+	33
b) Metodología ReCiPe midpoint	37
6.3.4 Análisis de sensibilidad	41
6.4 Fase 4: Interpretación del ciclo de vida	49
6.4.1 Daño potencial de los materiales	49
a) Cobre	49
b) Nylon 66	50
c) PET	50
6.4.2 Evaluación de impacto por método Impact2002+	51
6.4.3 Evaluación de impacto por método ReCiPe midpoint	51
6.5 Propuestas para mejorar el desempeño ambiental de la empresa	52
6.5.1 Prevención de los impactos ambientales	53
a) Monitoreo de los indicadores ambientales	53
b) Comunicación ambiental (educación y concientización)	55
c) Comité ambiental	56
6.5.2 Ahorro energético	56
a) Sustitución parcial de la fuente de energía	56
b) Implementación de sensores para la iluminación	57
c) Buenas prácticas	57
6.5.3 Componentes plásticos	58
<u>VII. Discusión</u>	59
7.1 Impactos ambientales	59
7.2 Identificación del proceso con mayores impactos	63
<u>VIII. Conclusiones</u>	66
<u>IX. Recomendaciones</u>	67
<u>X. Referencias</u>	68

Índice de Tablas

<u>Tabla</u>	<u>Descripción</u>	<u>Página</u>
1	Comparación de programas computacionales (software) para el ACV	7
2	Tipo de materiales empleados en el ensamble del arnés tipo "A"	22
3	Flujos de energía empleados en el arnés tipo "A"	23
4	Flujos de material en el proceso unitario de "Corte y preparación"	23
5	Flujos de material en el proceso unitario de "Ensamble final"	23
6	Flujos de material en el proceso unitario de "Embalaje"	24
7	Contribución a los daños de categoría por material – Método Impact2002+	28
8	Principales categorías de impacto asociadas al CV del arnés tipo "A" – Método Impact2002+	37
9	Totales por daño de categoría asociados al CV del arnés tipo "A" - Método Impact2002+	37
10	Principales categorías de impacto asociadas al CV del arnés tipo "A" - Método ReCiPe	39
11	Normalización de las principales categorías de impacto asociadas al CV del arnés tipo "A" - Método ReCiPe	41
12	Comparación de la caracterización de la EICV y el primer escenario - Método Impact2002+	43
13	Comparación de la caracterización de la EICV y el primer escenario - Método ReCiPe midpoint	45
14	Comparación de la caracterización de la EICV y el segundo escenario - Método Impact2002+	48
15	Comparación de la caracterización de la EICV y el segundo escenario - Método ReCiPe midpoint	48
16	Ejemplo de matriz para monitoreo de los indicadores ambientales	55
17	Comparación de las categorías de impacto (Impact2002+ y ReCiPe midpoint)	60

18	Normalización de valores (Impact2002+ y ReCiPe midpoint)	62
----	--	----

Índice de Figuras

<u>Figura</u>	<u>Descripción</u>	<u>Página</u>
1	Entradas y salidas de un sistema productivo	5
2	Metodología del ACV	6
3	Marco de referencia de un ACV	12
4	Ciclo de vida del arnés tipo “A”	16
5	Diagrama de flujo del proceso de fabricación del arnés tipo “A”	17
6	Caracterización de los materiales que integran el arnés tipo “A” – Método Impact2002+	27
7	Evaluación del daño de los materiales que integran el arnés tipo “A” – Método Impact2002+	29
8	Caracterización de los materiales que integran el arnés tipo “A” – Método ReCiPe midpoint	31
9	Normalización de los materiales que integran el arnés tipo “A” – Método ReCiPe midpoint	32
10	Caracterización del arnés tipo “A” – Método Impact2002+	34
11	Evaluación de daño del arnés tipo “A” por categoría de impacto – Método Impact2002+	35
12	Evaluación de daño del arnés tipo “A” por daño de categoría – Método Impact2002+	36
13	Caracterización del arnés tipo “A” – Método ReCiPe midpoint	38
14	Normalización del arnés tipo “A” – Método ReCiPe midpoint	40
15	Caracterización de escenario 1 – Método Impact2002+	42
16	Caracterización de escenario 1 – Método ReCiPe midpoint	44
17	Caracterización de escenario 2 – Método Impact2002+	46
18	Caracterización de escenario 2 – Método ReCiPe midpoint	47
19	Comparación de las etapas del proceso de manufactura del arnés tipo “A” – Método Impact2002+	64
20	Comparación de las etapas del proceso de manufactura del arnés tipo “A” – Método ReCiPe midpoint	65

Índice de Anexos

<u>Anexo</u>	<u>Descripción</u>	<u>Página</u>
1	Entradas del sistema	71

I. INTRODUCCIÓN

La presente investigación corresponde a un Análisis del Ciclo de Vida (ACV) utilizado para identificar y estimar los impactos ambientales asociados al proceso de manufactura de un arnés eléctrico. Con esto se busca generar un instrumento que optimice la toma de decisiones estratégica que permita contribuir a la prevención, eliminación y/o reducción del impacto ambiental en el proceso de producción del producto seleccionado.

El ACV utiliza el diseño metodológico de la Plataforma Europea sobre Análisis del Ciclo de Vida (EU-JRC-IES 2010), compatible con las normas ISO 14040:2006 (Gestión Ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia) e ISO 14044:2006 (Gestión Ambiental. Análisis del ciclo de vida. Directrices y requisitos). Dicha metodología está dividida en cuatro fases: 1) Objetivo y alcance, 2) Inventario del ciclo de vida, 3) Evaluación de impacto del ciclo de vida y 4) Interpretación.

El alcance de este estudio corresponde de la cuna a la puerta, es decir desde la extracción de materia prima hasta la obtención del producto. Sin embargo, se ha hecho énfasis en la etapa de manufactura del arnés. Los datos empleados provienen de registros de la empresa que fabrica el producto, así como también de mediciones y observaciones en el sitio de trabajo.

Para la evaluación de impacto del ciclo de vida se ha utilizado el software SimaPro®, donde la principal base de datos utilizada fue Ecolnvent. En dicho programa computacional, se seleccionaron las metodologías Impact2002+ y ReCiPe Midpoint para comparar y complementar la información. Se llevaron a cabo dos evaluaciones, la primera de ellas consistió en una comparación de los insumos utilizados en el arnés con el propósito de conocer el daño potencial que pueden causar y así identificar el material que más contribuye a los impactos ambientales. La segunda fue la evaluación del ciclo de vida, donde se puede observar la contribución de cada etapa del proceso de manufactura en las diferentes categorías de impacto.

Los resultados obtenidos muestran que el cobre catódico es el material con el mayor potencial de daño y la etapa de corte y preparación es el proceso de manufactura con la mayor contribución. Las principales categorías de impacto ambiental identificadas fueron: extracción y agotamiento mineral a nivel regional, así como ecotoxicidad acuática y cambio climático a nivel internacional.

II. OBJETIVO ESTRATÉGICO

Contribuir a la prevención, eliminación y/o reducción del impacto ambiental en el proceso de producción de componentes electrónicos.

III. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Analizar el estado del arte respecto al Análisis del Ciclo de Vida (ACV) referente, más no limitado, a la industria de componentes electrónicos.
- ❖ Diagnosticar mediante el ACV los impactos ambientales en las distintas etapas de producción de dispositivos electrónicos (obtención de materias primas, manufactura, embalaje), en la ciudad de Hermosillo, Sonora.
- ❖ Evaluar los impactos ambientales en las diferentes etapas del ciclo de vida de dispositivos electrónicos.
- ❖ Generar un instrumento que optimice la toma de decisiones estratégicas para un mejor desempeño ambiental durante el proceso de producción de dispositivos electrónicos.

IV. ANÁLISIS LITERARIO

4.1 Impactos ambientales y de salud derivados de la industria electrónica.

La demanda de productos electrónicos, así como el crecimiento de la industria electrónica han aumentado en los últimos años (Perkins et al. 2014) . Este crecimiento se ha visto beneficiado debido a la amplia variedad de ramas que esta ofrece, las cuales van desde la manufactura de componentes electrónicos hasta los servicios electrónicos (de soporte, de mantenimiento, etc.) (UBA 2011).

Sin embargo, la vida útil de los productos electrónicos se ha visto reducida, siendo una de las principales causas las innovaciones, ya que ocasionan que los consumidores deseen reemplazarlos, aun cuando estos son perfectamente funcionales (Macauley, Palmer & Shih 2003). Este hecho, según Román (2007), provoca que aumente la cantidad de productos electrónicos a disponer y a su vez incrementa la liberación de sustancias tóxicas al ambiente.

La liberación de estas sustancias representa la principal problemática al ambiente ya que trae consigo diversos impactos, los cuales se encuentran clasificados en dos categorías: ecotoxicidad y toxicidad en humanos, siendo esta última categoría la más estudiada (Biganzoli et al. 2015). A su vez, estas sustancias también se caracterizan por su persistencia en el ambiente (Tsydenova & Bengtsson 2011), siendo la mayoría metales pesados (cadmio, mercurio, cromo hexavalente y plomo), bifenilos policlorados (BPCs) y clorofluorocarbonos (CFC) (Kiddee, Naidu & Wong 2013). Esto se da principalmente en las etapas de manufactura y disposición final (Gaussin et al. 2013; Wang et al. 2013).

Por un lado, la etapa de manufactura no ha sido la de mayor preocupación, ya que por lo general, según Ochiai (1996), se da en ambientes de trabajo controlados, con medidas de prevención, control y seguridad que permiten prevenir, eliminar, y/o reducir los impactos. Por otro lado, Wang et al. (2013) mencionan que la etapa de disposición final de los componentes electrónicos se ha convertido en la que más atención necesita, esto debido a la gran cantidad de residuos electrónicos generados y a la falta de gestión de los mismos.

Sin embargo, hay quienes sostienen que la principal problemática de los componentes electrónicos, no se encuentra ni en la manufactura ni en la disposición final, sino más bien en que el crecimiento de esta industria así como el aumento de los componentes electrónicos no es proporcional al desarrollo de programas, infraestructura y técnicas para el control y disposición de estos productos (Estrada-Ayub & Kahhat 2014).

Lo anterior deriva en diversos impactos, principalmente a la salud; un ejemplo de ello se da al intentar recuperar aquellos materiales con valor en el mercado, ya que, al no contar con la infraestructura y técnicas adecuadas, la población se ve expuesta directamente a las sustancias tóxicas contenidas en los residuos electrónicos, lo cual contribuye al desmejoramiento de la salud tanto poblacional como ambiental (Rajarao et al. 2014; Song & Li 2014).

Otros problemas para la salud ambiental y humana, según Estrada-Ayub y Kahhat (2014), se derivan del entierro de productos electrónicos o su incineración, siendo esta última la peor de todas, especialmente cuando no es controlada, ya que la gran mayoría de los residuos electrónicos al someterse a altas temperaturas provocan la formación de sustancias tóxicas como furanos y dioxinas (Nieto 2015).

Una forma de abordar y mitigar los impactos ambientales y de salud mencionados, ha sido la creación de leyes y normas que regulen estos productos a lo largo de su ciclo de vida, así como también el diseño y aplicación de sistemas de gestión (Barba-Gutiérrez, Adenso-Díaz & Hopp 2008). Sin embargo, para que estas medidas funcionen, es necesario la identificación y cuantificación previa de los impactos ambientales, es por ello que es necesario la aplicación de una herramienta de evaluación ambiental, que permita analizar todas las fases de un producto y sus insumos para así sentar las bases del diseño e implementación de medidas de control (Hong et al. 2015).

4.2 Análisis del ciclo de vida como instrumento de la sustentabilidad

Ante la necesidad de reducir y controlar los impactos ambientales, así como también disminuir sus efectos en la población, se ha recurrido, según Franceschini y Pansera (2015), a la aplicación de herramientas y/o metodologías que permitan integrar principios de sustentabilidad a los procesos productivos. Una de estas herramientas es el Análisis del Ciclo de Vida (ACV), la cual permite evaluar los impactos ambientales generados por los productos y servicios (Chau, Leung & Ng 2015); esto con el propósito de identificar oportunidades de mejora que permitan hacer más eficiente el uso de energía y recursos, así como también integrar principios de sustentabilidad en los sistemas de producción (Li et al. 2015).

Sumado a lo anterior, Sanes (2012) asegura que el ACV facilita la toma de decisiones en temas concernientes a la relación ambiente-industria, permite la revisión y actualización de los indicadores de desempeño ambiental así como también el re-diseño de los productos y

la integración de aspectos ambientales en ellos. El ACV se caracteriza por tener un enfoque holístico, es decir, considerando que todas sus operaciones y elementos están conectados y relacionados unos con otros; para ello se identifican las entradas y salidas de cada uno de los elementos que componen el sistema (ver figura 1), lo cual implica el identificar la energía y recursos necesarios para llevar a cabo cada operación y los residuos y subproductos generados del proceso (IHOBE 2009).

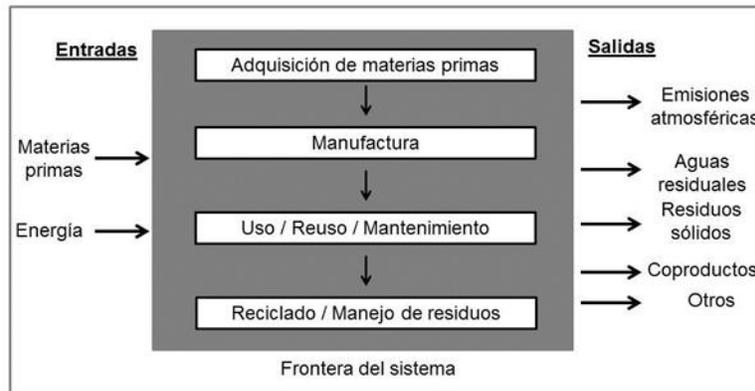


Figura 1 Entradas y salidas de un sistema productivo

Fuente: (SAIC 2006)

En un principio el ACV se regía bajo el enfoque “de la cuna a la tumba”, el cual consiste en un estudio que comprende todas las etapas que conlleva obtener un producto (desde la extracción de materia prima hasta su disposición) (Twenergy 2014). Sin embargo, se han desarrollado otros enfoques que restringen este tipo de estudios, estos son el denominado “de la cuna a la puerta”, que considera desde la extracción de materia prima hasta la salida del producto/servicio de las instalaciones de la empresa (Russell-Smith & Lepech 2015); y el otro enfoque “de puerta a puerta” el cual se limita al proceso de manufactura, por lo que no interesa la procedencia de la materia prima y energéticos así como tampoco considera el uso y disposición del producto (IHOBE 2009).

Los principios y metodología que sigue esta herramienta están establecidos en la norma internacional ISO 14040 (2006), y de acuerdo a ella, la metodología se divide en cuatro etapas que son: 1) definición de objetivos y alcance, 2) análisis del inventario, 3) evaluación del impacto ambiental y 4) interpretación; a su vez estas etapas se componen por otros elementos mismos que se representan en la figura 2.

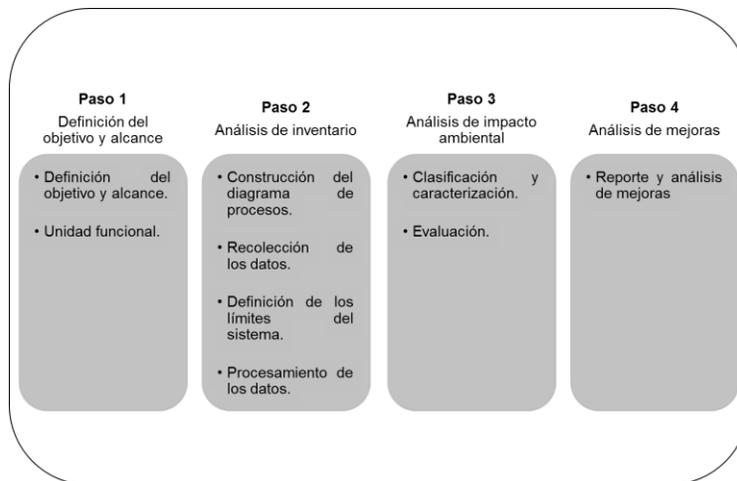


Figura 2 Metodología del ACV

Fuente: (van Hoof 2008)

Originalmente el ACV se encontraba inmerso en la esfera ambiental de la sustentabilidad, esto según lo señalado por Finnveden et al. (2009), debido a que su objetivo es dirigido a la evaluación de impactos ambientales, sin tener en consideración los ámbitos sociales y económicos que conlleva el ciclo de vida de un producto. Sin embargo, Chang et al. (2015) destacan que hoy día existen variantes del ACV que permiten complementar la evaluación del impacto ambiental, una de ellas es el “Análisis del Ciclo de Vida Social” (ACV-S), el cual analiza los aspectos sociales en trabajadores y consumidores durante el ciclo de vida de un producto; y otra es el “Análisis del Costo de Ciclo de Vida” (ACCV) que permite evaluar los gastos e ingresos asociados a la producción y el producto.

A pesar de la existencia de estas variantes, Zhou et al. (2007) recalcan la necesidad de contar con una herramienta más completa que integre los tres aspectos de la sustentabilidad, por lo que recientemente se ha desarrollado el “Análisis del Ciclo de Vida Sustentable” (ACVS) (Keller, Rettenmaier & Reinhardt 2015), el cual integra el ACV, el ACV-S y el ACCV con el propósito de orientar la mejora continua hacia patrones sustentables. Sin embargo, este tipo de ACV ha sido poco explorado, debido a la inexistencia de una metodología bien definida a seguir, lo que agrega mayor complejidad al estudio (Martínez-Blanco et al. 2014).

Por consiguiente, es necesaria una transición hacia una metodología que evalúe desde la perspectiva de la sustentabilidad los impactos ambientales, sociales y económicos inherentes a la fabricación de un producto (Keller, Rettenmaier & Reinhardt 2015), de tal forma que los productos, servicios y/o procesos sean viables ambiental y económicamente,

soportables social y ambientalmente, así como también equitativos económica y socialmente (Chang, D., Lee & Chen 2014).

Actualmente existen programas computacionales (software) que facilitan el ACV, entre los que se encuentran: SimaPro, GaBi, Open LCA, Umberto, entre muchos más (ver tabla 1) (Herrmann & Moltesen 2015; Hong & Li 2012; Martínez et al. 2015). Pero, según Herrmann y Moltesen (2015) los más utilizados son SimaPro y GaBi, los cuales presentan como principal diferencia, pero no la única, las bases de datos; que a su vez se componen por inventarios de distintos rubros, tales como: agricultura, industria, químicos, energía, entre otros (Thinkstep-GaBi 2015).

Tabla 1 Comparación de programas computacionales (software) para el ACV

	SimaPro	GaBi	Open LCA	Umberto
Desarrollador	Pre Sustainability	Thinkstep	GreenDelta	ifu Hamburg
Bases de datos	<ul style="list-style-type: none"> • EcoInvent • Agri-Footprint LCI • ELCD • USLCI • Input Output 	<ul style="list-style-type: none"> • GaBi LCI • EcoInvent • USLCI • Entre otras. 	<ul style="list-style-type: none"> • GaBi • EcoInvent • Bases de datos de uso libre. 	<ul style="list-style-type: none"> • EcoInvent • GaBi LCI • EstiMol
Metodología	<ul style="list-style-type: none"> • ReCiPe • Impact2002+ • TRACI 2.1 • Ecological footprint • Water footprint • Entre muchas más. 	<ul style="list-style-type: none"> • ReCiPe • TRACI • CML 1996, 2001 y 2007 • EcoIndicator 95 y 99 • Entre otras. 	<ul style="list-style-type: none"> • EcoIndicator 99 • ReCiPe 	<ul style="list-style-type: none"> • ReCiPe • Impacto2002+ • Eco-Indicator 99 • TRACI • IPCC • Entre muchas más
Ventaja	Permite analizar complejos productos descomponiéndolos en todos sus materiales y procesos.	<ul style="list-style-type: none"> • Ofrece un análisis económico • Contiene la base de datos más extensa • Es posible obtener una licencia gratuita para estudiantes y profesores. 	Software de uso gratuito.	Además del ciclo de vida, ofrece la opción de ecobalances empresariales.
Desventaja	Costo de licencia elevado.	Costo del programa	Menor oferta de bases de datos.	Alto costo de adquisición

Fuente: (ifu-Hamburg 2015; Pre-Sustainability 2015; Thinkstep-GaBi 2015)

Gran parte de las bases de datos empleadas en los programas de ACV son recopilación de datos e información de sistemas productivos europeos, por lo que la aplicación de estas herramientas difiere un poco de los sistemas empleados en otros países, (Guinée et al. 2002; Pre-Sustainability 2015; Thinkstep-GaBi 2015). En relación a esto, Martínez et al. (2015) mencionan que a pesar de dicha situación la información obtenida en ella es válida para evaluar los impactos ambientales ya que no se cuenta con otra información disponible.

La información generada por los programas computacionales permite diseñar e innovar en las diferentes etapas del ciclo de vida para reducir sus impactos (Andriankaja et al. 2015; Carrillo-Hermosilla, del Río & Könnölä 2010); esto representa un reto, especialmente cuando no se está familiarizado con las herramientas antes mencionadas, sin embargo las ventajas y beneficios que estas otorgan al sistema productivo hacen valer la pena los esfuerzos empleados para utilizarlas (Dulfour 2011).

4.3 Obstáculos y beneficios del ACV

Uno de los principales obstáculos en un ACV, según Guinée et al. (2002), es el acceso o la disponibilidad de la información, ya que se corre el riesgo de que las empresas no compartan la información solicitada o que ésta se encuentre incompleta, y en cuanto a las bases de datos siempre existirá una incertidumbre respecto a la calidad de la información o la factibilidad de que la información proporcionada no sea la adecuada para el sistema de producción estudiado.

Por su parte Stamp et al. (2013) añaden que otros posibles obstáculos que pueden presentarse durante la elaboración del estudio son el definir el enfoque del caso de estudio e identificar las operaciones en un proceso complejo e interconectado. La definición del enfoque consiste en delimitar el caso de estudio, lo que pudiera provocar que ciertos impactos ambientales no sean identificados, ya que algunas actividades no son consideradas en el estudio por encontrarse fuera de los límites del enfoque seleccionado (Ramasamy, Titchener-Hooker & Lettieri 2015).

La información que el investigador de un ACV recaba por sus propios medios, especialmente aquella que debe ser medida, es también una barrera, y es que puede existir cierto grado de error entre las mediciones que él/ella realiza y el valor verdadero (Finnveden et al. 2009). Según lo señalado por Herrmann y Moltesen (2015), una persona carente de experiencia en el uso de dichos instrumentos corre el riesgo de seleccionar una técnica inadecuada o simplemente no utilizarla correctamente, lo cual repercute significativamente en los resultados de la investigación.

Sumado a lo anterior, Giraldi (2013) señala que el ACV es un estudio estacionario por lo que los aspectos de espacio y tiempo no varían, lo cual provoca que algunos impactos puedan quedar fuera del estudio; también considera que la metodología sigue un modelo lineal lo que conlleva a obtener errores en especial en cuestiones de toxicidad.

En contraste a los obstáculos anteriores, Dulfour (2011) señala que se han conseguido múltiples beneficios con el ACV, tales como la detección de riesgos asociados al ciclo de vida del producto y oportunidades de mejora en el proceso de manufactura, ya que este tipo de estudios permite proponer recomendaciones y/o soluciones orientadas a aumentar la eco-eficiencia del proceso industrial (Ng et al. 2015).

Otra ventaja de llevar a cabo el ACV es que facilita la identificación de los aspectos ambientales más significativos para la empresa, es decir todos aquellos elementos de la empresa que interactúan con el medio ambiente (ISO14040 2006; Romero 2003). Según Campos et al. (2015) la identificación de estos elementos contribuye a que las empresas creen indicadores de eficiencia, así como también conozcan las áreas donde deben aplicarse controles ambientales (Campos et al. 2015).

Lo anterior ocasiona que la empresa tenga un mayor potencial de cumplimiento con la legislación ambiental (Comoglio & Botta 2012), así como también estén en posibilidades de cumplir los requisitos para la obtención de certificados ambientales, los cuales mejoran la imagen que proyecta la empresa proporcionándoles mayor competitividad en el mercado (CEGESTI n.d.).

4.4 Aplicaciones del ACV en la industria electrónica

El sector industrial ha utilizado el ACV desde aproximadamente los años setenta, con el fin de, además de reducir los impactos ambientales, disminuir el consumo de materia prima y energéticos ('Electronic progress in materials science' 2003). Particularmente, la demanda de los productos electrónicos como celulares, computadoras y tabletas electrónicas, al igual que la creciente preocupación por el medio ambiente, ha ocasionado un impulso en la aplicación del ACV en la industria de productos electrónicos (Motorola 2012; Sony 2011), aplicándose con mayor frecuencia, en la etapa de disposición final de los productos (Barba-Gutiérrez, Adenso-Díaz & Hopp 2008; Hong et al. 2015; Lu et al. 2014), esto debido a que además de la disminución del impacto ambiental, buscan la reducción de los residuos y alternativas que permitan sacar el máximo provecho a éstos, como lo es el reciclaje (Gavilán, Alcántara & Gavilán 2012; Hong et al. 2015).

Un uso común del ACV en la industria electrónica, según Vasan et al. (2014), se da para conocer la huella de carbono, principalmente del proceso de manufactura con el propósito de mitigar los efectos de este proceso y sus consecuencias globales como cambio climático, calentamiento global, y destrucción de la capa de ozono. Según Kumar et al. (2014), el

conocer la huella de carbono y sobre todo las actividades del proceso que contribuyen al incremento de este indicador, permite tomar acciones para eliminar o reducir la fuente de dichos problemas. Entre los estudios de ACV utilizados para conocer la huella de carbono, se encuentran los efectuados por la internacionalmente reconocida marca Apple, que utiliza esta herramienta para medir, específicamente, las emisiones derivadas del ciclo de vida de sus productos electrónicos (Apple 2014).

Otro ejemplo es el estudio realizado en una industria de semiconductores en Taiwán, donde se empleó el ACV para conocer la carga ambiental que su producto ocasionaba, de este análisis se identificó la contribución al calentamiento global y el consumo de energía no renovable como los principales impactos (Liu, Lin & Lewis 2010). Un estudio aún más complejo fue el llevado a cabo por Tekwawa et al. (1997), quienes evaluaron el impacto global de las computadoras en las categorías de acidificación, efecto invernadero, consumo de recursos y eutrofización.

Un ejemplo más donde se evaluaron consecuencias globales fue el estudio realizado en México, en el cual evaluaron el desempeño ambiental de las computadoras durante la etapa final del ciclo de vida, para ello fue utilizado el programa computacional Umberto, con el cual fue posible analizar este producto en diferentes rubros como cambio climático, acidificación, eutrofización, entre otros (Gavilán, Cano & Alcántara 2013).

Otra forma de sacar provecho del ACV en la industria de componentes electrónicos es su uso en un proceso o tecnología en específico, este es el caso de unas evaluaciones del impacto ambiental en el ciclo de vida de la soldadura a base plomo y libre de plomo llevadas a cabo en Estados Unidos a través de la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) para poder determinar áreas de mejora en este proceso (Geibig, Socolof & EPA 2005).

Otros productos con los que se ha empleado el ACV son los equipos periféricos, un ejemplo específico de esto es el caso de estudio de una impresora multifuncional, donde al llevar a cabo el análisis de impacto ambiental se encontró que las etapas de fabricación y uso son las que mayores impactos generan, especialmente la última de ellas debido al consumo de otros insumos como tinta y papel (Collado et al. 2008).

Además de los productos mencionados anteriormente, también es común encontrar ACV de televisiones, pero los productos más estudiados son los teléfonos celulares, esto se debe al acelerado avance tecnológico en estos productos (Macauley, Palmer & Shih 2003). Dentro de los ACV de televisiones, se encuentra la investigación llevada a cabo por Song

et al. (2012), donde la etapa que mayores impactos genera es la fase de uso, los cuales dependen directamente del tipo de energía utilizada.

Finalmente, el uso del ACV en los diferentes sectores económicos y productos ha permitido mejorar considerablemente la relación ambiente-industria, así como también integrar aspectos de la sustentabilidad tanto en el ciclo de vida de los productos como en el funcionamiento de la empresa, por lo que se debe impulsar la aplicación de esta herramienta (Astrup, Hoffman & Schmidt 1997; Heijungs, Huppes & Guinée 2010).

V. METODOLOGÍA

5.1 Tipo de estudio

El presente estudio es de tipo cuantitativo, ya que se realizará una recolección de datos referente a las entradas (materia prima y energía) y salidas (producto, subproductos y residuos) en las etapas del ciclo de vida de un componente electrónico.

5.2 Diseño Metodológico

El diseño metodológico de este estudio está basado en la Plataforma Europea sobre Análisis del Ciclo de Vida (EU-JRC-IES 2010), compatible con las normas ISO 14040:2006 (Gestión Ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia) e ISO 14044:2006 (Gestión Ambiental. Análisis del ciclo de vida. Directrices y requisitos), el cual se muestra en la figura 3.

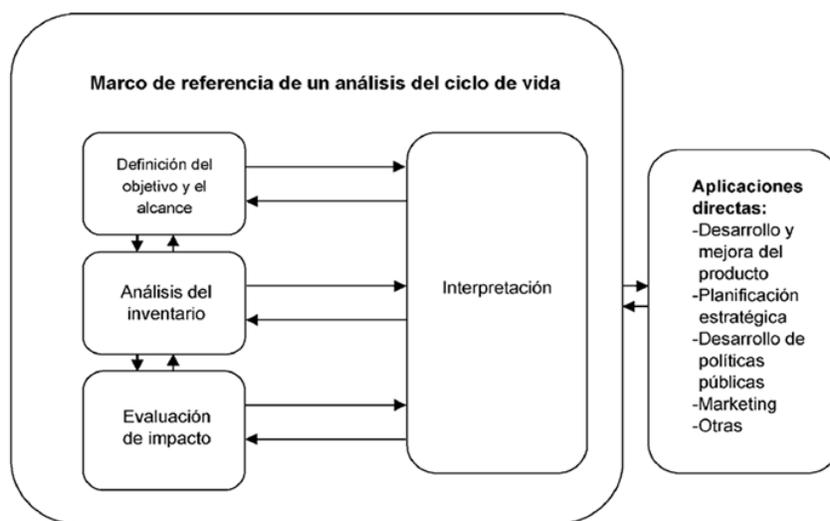


Figura 3 Marco de referencia de un ACV

Fuente: (EU-JRC-IES 2010)

Dicho marco de referencia consta de cuatro fases, las cuales son descritas a continuación:

- ❖ Fase 1. Definición del objetivo y el alcance. Consiste en definir el objeto de estudio, su alcance, así como también determinar los límites del sistema.
- ❖ Fase 2. Análisis del Inventario del Ciclo de Vida (ICV). En esta fase se recogen los datos referentes a las entradas y salidas del objeto de estudio.

- ❖ Fase 3. Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV). La información recopilada en el ICV es utilizada en esta fase, con el fin de conocer los impactos potenciales en el ambiente y salud humana.
- ❖ Fase 4. Interpretación. Es la fase final del ACV, donde se discuten los resultados del ICV y del EICV, se interpretan, se sacan conclusiones y por último se realizan una serie de recomendaciones para disminuir los impactos ambientales.

5.3 Alcance

El estudio se realizará en una empresa dedicada a la fabricación de componentes electrónicos ubicada en la ciudad de Hermosillo, Sonora, durante el período septiembre 2015 a diciembre del 2016.

Dicho estudio se basará en el enfoque denominado “de la cuna a la puerta”, el cual considera desde la extracción de materia prima hasta la manufactura del producto final, sin embargo, se mostrará un mayor énfasis en la etapa de producción, donde se identificarán y considerarán materias primas, energéticos, subproductos y residuos.

5.4 Preguntas de investigación

- ❖ ¿Cuáles son los impactos ambientales en el ciclo de vida de un componente electrónico?
- ❖ ¿Dónde se generan mayores impactos ambientales?
- ❖ ¿Qué medios existen para prevenir, eliminar y/o reducir los impactos ambientales detectados?

5.5 Objeto de estudio

El objeto de estudio de este proyecto es el proceso de manufactura de componentes electrónicos.

5.6 Selección del lugar que ubica al objeto de estudio.

La selección del lugar se dio a conveniencia para ambas partes, ya que los intereses de la empresa se encontraban congruentes con los objetivos del proyecto de ACV.

5.7 Instrumentos de recolección y manejo de datos

La recolección de datos, para la cuantificación de entradas y salidas, se hará principalmente por medio de cinta métrica, báscula y diversos contenedores, de ser necesario se incluirán otras herramientas según las condiciones y necesidades que se presenten en el desarrollo de esta actividad.

Además de lo anterior se emplearán datos históricos y bitácoras de registros de la propia empresa, que permitirán conocer el volumen de producción mensual/anual, así como también los flujos de energía y material correspondientes.

Para el manejo de datos se utilizará el programa computacional SimaPro, el cual permite analizar complejos productos descomponiéndolos en todos sus materiales y procesos. Este programa permite seleccionar entre varias bases de datos y metodologías para realizar el análisis. Para este caso en particular, se empleará la base de datos Ecolnvent, y las metodologías IMPACT2002+ y ReCiPe; se han seleccionado dos metodologías con el fin de comparar resultados. En conjunto con SimaPro, se utilizará el programa Excel para el manejo de datos.

VI. RESULTADOS

Nota aclaratoria: Para mayor claridad de los resultados obtenidos, parte de la información y gráficos se presenta en inglés, tal cual se obtuvieron del programa computacional SimaPro ®.

6.1 Fase 1: Definición del objetivo y alcance

6.1.1 Objetivo

El objetivo de este ACV es identificar y cuantificar los impactos ambientales generados en el proceso de ensamble de un componente electrónico en una empresa ubicada en la ciudad de Hermosillo, Sonora. Y en base a esa información crear un instrumento que optimice la toma de decisiones estratégicas orientadas, principalmente, al desempeño ambiental de dicho establecimiento.

6.1.2 Alcance

a) Definición del sistema

El componente electrónico a analizar es un arnés para las luces de los automóviles, denominado por cuestiones de confidencialidad “arnés tipo A”. Éste se compone de varios cables con diferentes características y de partes plásticas. Se escogió este producto por ser el arnés más complejo y con mayor número de componentes que la empresa ensambla.

El alcance del estudio corresponde al enfoque “de la cuna a la puerta”, lo que significa que se considera desde la obtención de la materia prima hasta la fabricación del producto; sin embargo, se hará énfasis en la etapa de producción del componente electrónico. De forma general, el ciclo de vida del producto analizado se muestra en la figura 4, donde el área delimitada representa el alcance del proyecto:

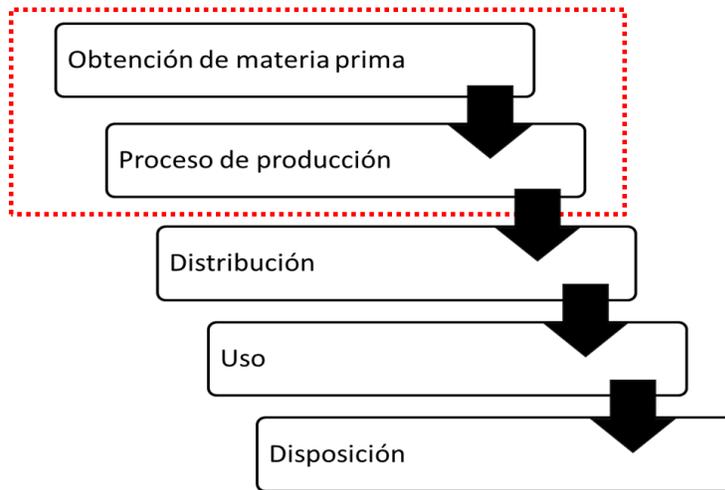


Figura 4 Ciclo de vida de Arnés tipo "A"

Fuente: Elaboración propia

El proceso de fabricación se encuentra definido en dos etapas principales: 1) Corte y preparación, donde manufacturan los cables según los requerimientos del cliente; y 2) Ensamble final, donde se unen todos los elementos del arnés (cables, conectores, cuñas, etc.). En la figura 5 se detalla el diagrama de flujo con sus respectivas entradas y salidas, así como también los límites del sistema.

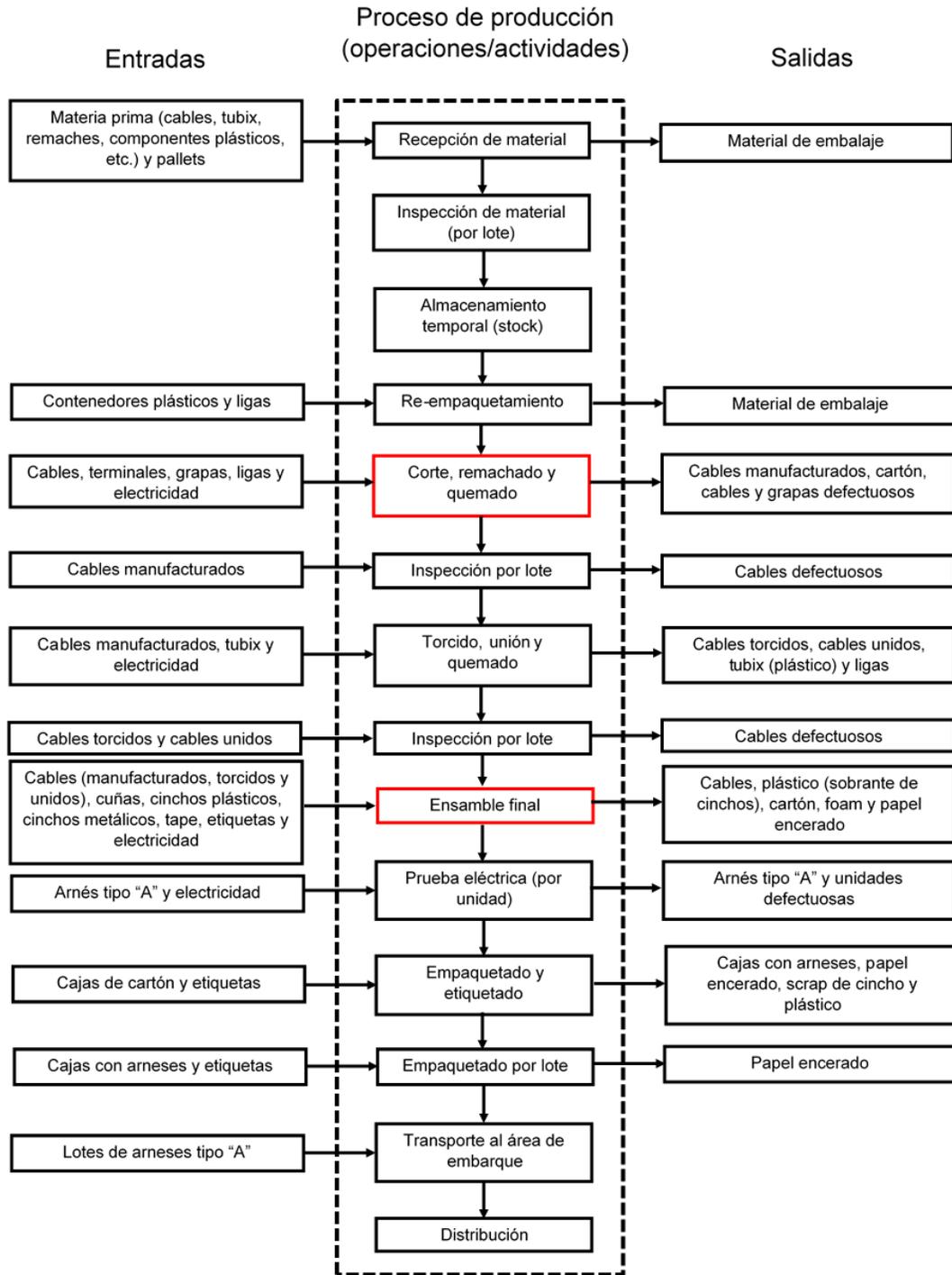


Figura 5 Diagrama de flujo del proceso de fabricación del arnés tipo "A"

Fuente: Elaboración propia

b) Función y descripción del sistema estudiado

El arnés tipo "A", como se mencionó anteriormente, es empleado para los sistemas de luces en automóviles, por lo que tiene la función de transmitir la energía y señales eléctricas a

dichos componentes para su alumbramiento. Se compone de 48 elementos diferentes, entre los que se encuentran cables de distintos calibres, terminales, partes plásticas, cinchos y cinta adhesiva.

Se preparan 48 cables para este arnés, los cuales se diferencian por las combinaciones de calibres, terminales y grapas utilizadas. Para ello se emplea 3 cables negros de 0.35 mm², 1.0 mm² y 1.50 mm² y un cable blanco de 0.35 mm²; 8 diferentes terminales y 2 tipos de grapas.

En la etapa de ensamblaje del arnés, además de los cables preparados se utilizan alrededor de 15 componentes plásticos (conectores y cuñas. Otros materiales usados en esta etapa son la cinta adhesiva y los cinchos, los cuales sirven para mantener unido el cableado durante el proceso de ensamble.

La empresa a cargo de su manufactura realiza alrededor de 15 proyectos (tipos de arneses) más para diferentes empresas y usos, todos ellos comparten ciertos materiales, sin embargo, las características cambian según los requerimientos del cliente.

El arnés tipo "A" es el más complejo y el que más insumos utiliza. Emplea alrededor de 43 componentes diferentes, entre los que se encuentran cables y materiales plásticos, y necesita de 10 empleados para su ensamble. Dicho proceso se lleva a cabo en dos turnos, de 9 horas para el turno matutino y de 8 horas para el vespertino, a diferencia del proceso de corte que necesita de 3 turnos para abastecer los cables manufacturados a todos los proyectos en proceso.

El número de piezas a producir varía de acuerdo a la demanda del cliente. Se ensamblan aproximadamente 45 unidades por hora y se fabrican en promedio 300 unidades al día. Sin embargo, el volumen de producción varía debido a errores humanos y cambios de ingeniería, cuando estas situaciones se presentan los arneses ensamblados se llevan a una mesa de re-trabajo donde se desarmen para encontrar el error e intentar corregirlos; el número de re-trabajos difiere considerablemente para ambos turnos, ya que, mientras que en el primer turno se producen 5 re-trabajos en el segundo se generan 15. Estas diferencias se deben a la atención y supervisión que los encargados de cada turno prestan a los operadores.

c) Unidad funcional

La unidad funcional es la base del análisis del ciclo de vida, ya que es la referencia que permite regular la información y comparar sistemas del mismo producto (Weidema et al. 2004). Para este caso en particular, no se encontró algún estudio previo sobre productos similares al analizado, por lo que no es posible realizar comparaciones con otros sistemas. Es por ello que se optó por utilizar una unidad declarada, la cual, de acuerdo a Simonen, (2014), es comúnmente utilizada en ACV “de la cuna a la puerta” o de “puerta a puerta”, de esta manera, los resultados obtenidos del estudio generan información útil aun desconociendo la etapa final del ciclo de vida.

A pesar de no ser posible realizar comparaciones con otros sistemas, el análisis permite calcular las cargas ambientales asociadas al arnés tipo “A”, generando un panorama sobre la situación medio ambiental de la empresa. Para ello se seleccionó la unidad declarada de 10 000 arneses (unidades), la cual representa el promedio semestral de piezas manufacturadas y es equivalente a 2 380 kilogramos. Dicho valor se determinó en base a los registros de producción de la propia empresa.

d) Sistema estudiado

La fabricación del arnés tipo “A” está definido por dos principales procesos, los cuales se componen de otras operaciones que en conjunto forman el proceso de producción, el cual se describe a continuación:

Proceso 1: Corte y preparación. En esta etapa se manufacturan los cables que se emplearán en el ensamble del arnés, otras operaciones que complementan el proceso son:

- ❖ Remachado, consiste en la unión del cable y la terminal eléctrica.
- ❖ Quemado, esta actividad se utiliza para la unión de dos o más cables; este paso se lleva a cabo cuando se requiere que algún cable tenga más de una terminal. Esto se logra por medio de un tubo de plástico que se expone al calor para mantener unidos los elementos.
- ❖ Torcido, en esta operación se unen dos cables por medio de una torcedora.

Proceso 2: Ensamble. Durante esta etapa se unen los distintos componentes para formar el producto, para ello se realizan actividades como:

- ❖ Inserción, que consiste en insertar los cables en los diferentes conectores.
- ❖ Unión o ensamble de todos los elementos que conforman el arnés.

- ❖ Prueba eléctrica, se lleva a cabo para comprobar que el arnés funcione de forma adecuada.

Proceso 3: Embalaje. Corresponde al empaquetamiento del producto, para ello se introduce el arnés en una bolsa plástica y después es colocado en una caja de cartón.

e) Límites del sistema

Los límites del sistema presentados en esta sección indican las etapas del sistema que no han sido consideradas para el sistema estudiado, así como también las restricciones del análisis del ciclo de vida:

- ❖ Límites geográficos: El arnés tipo “A” es ensamblado en la ciudad de Hermosillo, Sonora; sin embargo, los componentes empleados no son elaborados en la ciudad, por lo que no es posible realizar un seguimiento de los insumos usados.
- ❖ Límites temporales: El horizonte temporal del ACV corresponde al período Septiembre 2015 a Diciembre 2016, sin embargo se han utilizado datos de la propia empresa correspondientes al período Julio – Diciembre del año 2015.
- ❖ Etapas excluidas: Para este estudio no se han considerado los procesos administrativos, de mantenimiento y distribución de productos asociados al funcionamiento de la empresa, ya que sólo se quieren identificar y cuantificar las cargas ambientales aunadas al arnés tipo “A”. De igual manera las actividades del transporte dentro de la empresa han sido excluidas, esto debido a que dicha actividad no requiere el uso de maquinaria, por lo que se lleva a cabo por los propios trabajadores (materialistas).

6.2 Fase 2: Análisis del Inventario del Ciclo de Vida (ICV)

6.2.1 Recopilación de datos

La información utilizada en este proyecto se obtuvo de registros de producción e inventarios de la propia empresa, además de observaciones y mediciones realizadas en el sitio de trabajo. Más específicamente, las entradas se obtuvieron en base a registros de producción, mientras que para las salidas del sistema fue necesario realizar mediciones de masa y cálculos que complementarían la información.

La principal biblioteca o base de datos empleada para este trabajo fue Ecoinvent 3®, en sus modalidades atribucional (allocation) y procesos unitarios (unit). De esta forma los resultados del ACV muestran los posibles impactos ambientales asociados al sistema de

estudio a lo largo de su ciclo de vida, además de poder conocer la contribución de cada proceso y material (ISM n.d.). Lo anterior permite una mayor transparencia de los resultados.

Como se ha mencionado anteriormente, el arnés tipo “A” se compone de alrededor de 48 elementos diferentes, entre los que destacan, en cantidad, las piezas plásticas por ser las más abundantes. Los diversos tipos de materiales que integran el arnés se encuentran descritos en la tabla 2, mientras que el listado total de insumos empleados se puede ver en el Anexo 01.

Algunos de los insumos utilizados en el arnés no se encontraron en las bibliotecas del software, por lo que fue necesario crearlos en el programa. Para ello se realizó una investigación bibliográfica de los materiales, para posteriormente realizar el montaje en el programa computacional empleando los datos existentes de materias primas y procesos que las bases de datos del programa computacional ofrecen.

Tabla 2 Tipo de materiales empleados en el ensamble del arnés tipo "A"

Tipo de material	Características/Propiedades	Disponible en bases de datos SimaPro®		Base de datos
		Si	No	
Energía	Energía eléctrica producida a partir de combustibles fósiles.	X		EcolInvent 3
Cobre con oxígeno (CU-ETP1)	Cobre electrolítico, el cual contiene al menos 99.9% de cobre y al menos 400 ppm de oxígeno.	X		-
Aleación de cobre (CuZn ₃₀)	Excelentes propiedades mecánicas y conductividad eléctrica media.	X		-
Aleación estaño-bronce (CuSn ₄)	Alta conductividad eléctrica, buenas propiedades mecánicas y resistencia térmica.	X		-
Silicón		X		EcolInvent 3
Nylon 6,6		X		EcolInvent 3
Nylon 6,6 con fibra de vidrio (Nylon G.F.)		X		Industry data 2.0
Polipropileno		X		-
Tereftalato de polibutileno con 20% de fibra de vidrio (PBT – GF20)	Polímero termoplástico con características similares al PET. Cuenta con gran resistencia a las altas temperaturas (hasta 150 °C o 200 °C con refuerzo), también cuenta con gran rigidez y buenas propiedades eléctricas		X	-
Tereftalato de polibutileno con 15% de fibra de vidrio (PBT – GF15)			X	-
Tereftalato de polibutileno (PBT)			X	-

Fuente: (LEONI N.D.-a, N.D.-b; Sepe 2012)

6.2.2 Flujos de materiales y energía

Las tablas presentadas en esta sección representan las entradas de materiales y energía utilizados en el proceso de manufactura del arnés tipo "A". En dichas tablas se observa la cantidad de insumos empleados tanto para un solo arnés, así como también para la unidad funcional de 10 000 arneses.

Mientras que la tabla 3 indica la energía eléctrica necesaria para cada proceso unitario, así como también muestra el flujo total en el sistema estudiado. Las tablas 4 a 6 muestran los materiales tales como cables, terminales, componentes plásticos, etc. empleados en cada etapa del proceso de manufactura. La información de estos flujos se obtuvo, en su mayoría, de datos de la propia empresa, así como también de mediciones de masa en campo.

Tabla 3 Flujos de energía empleados en el arnés tipo "A"

Proceso unitario	Energía empleada en un día (kWh)	Energía empleada para un período de 6 meses (kWh)
Corte y remachado	41.04	6 484.32
Quemado	7.48	1 181.84
Torcido	10.098	1 595.484
Ensamble	18.768	2 965.344
Prueba eléctrica	15.113	2 387.854
Total	92.499	14 614.842

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4 Flujos de material en el proceso unitario de "Corte y preparación"

Insumos	Piezas requeridas por arnés	Peso unitario del material (kg)	Piezas requeridas para UF	Peso total UF (kg)
Cables	Variedad de cables (extensión y calibre)	0.1615	Variedad de cables (extensión y calibre)	1 615
Grapa/Remache	5	0.003835	50 000	38.35
Terminales	4	0.001718	40 000	71.68
Tubing	5	0.0003086	50 000	15.43

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5 Flujos de material en el proceso unitario de "Ensamble final"

Insumo	Piezas requeridas por arnés	Peso unitario del material (kg)	Piezas requeridas para UF	Peso total UF (kg)
Cincho metálico	3	0.002624	30 000	78.72
Cables preparados	Variedad de cables (extensión y calibre)	0.1615	Variedad de cables (extensión y calibre)	1 615
Nylon 66	6	0.001831	60 000	18.31
Nylon 66 GF	3		30 000	7.13
PBT Tereftalato de polibutileno	17	0.016944	170 000	84
PBT-GF15 Tereftalato de polibutileno con 15% de fibra de vidrio	3	0.0084	30 000	84
PBT-GF20 Tereftalato de polibutileno con 20% de fibra de vidrio	1	0.00719	10 000	71.9

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6 Flujos de material para el proceso unitario de "Embalaje"

Material	Cantidad por arnés	Peso unitario del material (kg)	Cantidad para UF	Peso total (kg)
Bolsa plástica	1	0.0044375	10 000	44.375
Caja de cartón	1 caja para 16 arneses	0.4310	625	269.375

Fuente: Elaboración propia

6.3 Fase 3: Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV)

Para la tercera fase del ACV se seleccionaron dos metodologías, Impact2002+ y ReCiPe con nivel de efecto intermedio (midpoint), esto con el fin de poder comparar los resultados en las diferentes categorías de impacto evaluadas. Dichos resultados están representados por gráficas, las cuales muestran diferentes formas visualizar e interpretar la información. Las gráficas utilizadas en este ACV son:

- ❖ Caracterización. Muestra la contribución de un insumo o actividad a un determinado impacto. Las unidades de esta gráfica son variadas, ya que cada categoría de impacto cuenta con su propia unidad o factor de caracterización. Es por ello que el eje "Y" muestra el porcentaje de la contribución a la categoría.
- ❖ Evaluación de daño. Permite agrupar las categorías de impacto ambiental en 4 rubros, lo que facilita visualizar, a gran escala, la contribución de impacto ambiental de un insumo o actividad. Al igual que en el gráfico de caracterización, estos rubros cuentan con sus propias unidades, por lo que en el eje "Y" se muestra el porcentaje de contribución de cada insumo.
- ❖ Normalización. Representa la importancia de cada impacto en relación a una referencia. Esta gráfica muestra datos sin unidades, es decir adimensionales, por lo que en el eje "Y" se muestran valores absolutos.

En cuanto al análisis, primeramente, se realizó una evaluación ambiental de los tipos de materiales que integran el arnés, esto con el propósito de conocer el daño potencial de cada uno de ellos. Posteriormente se analizaron los procesos que integran el ciclo de vida del producto, para identificar aquellos que constituyen un impacto ambiental significativo.

6.3.1 Supuestos

Con el propósito de llevar a cabo una EICV más completa se han adoptado una serie de supuestos, mismos que son enunciados a continuación:

- ❖ Cambio de PBT por PET. Dado que no hay suficiente documentación sobre los componentes del PBT, y como hay evidencia de que su estructura y propiedades son muy similares al tereftalato de polietileno (PET) (Sepe 2012), se tomó la decisión de sustituir la información del material plástico PBT por PET.
- ❖ Residuos de partes plásticas. De los más de 20 componentes que integran al arnés, se revisó la presentación del empaque de 5 de ellos, la cual se conformó de una bolsa plástica, con su respectiva etiqueta de identificación, que contiene 1 000 piezas, por lo que se asumió que todos los materiales plásticos vienen en esa presentación y por lo tanto generan los mismos residuos.
- ❖ Materiales descartados. Debido a que la cantidad de material empleado de cinta adhesiva y etiquetas en un arnés no es significativa, se han excluido del análisis.

6.3.2 Daño potencial de los materiales utilizados en el arnés tipo “A”

De acuerdo a la información recopilada en el ICV, para la manufactura del arnés tipo “A” se necesitan de 12 materiales diferentes, entre los que destacan los de tipo termoplástico. Debido a que cada material presenta diferentes características se llevó a cabo una comparación de los impactos ambientales asociados a ellos, esto con el propósito de conocer la contribución ambiental que tiene cada material en la EICV.

Para dicha comparación se tomó como unidad de referencia 1 kilogramo de material, y la evaluación de impacto se realizó con dos metodologías (Impact2002+ y ReCiPe) con el fin de complementar los resultados.

a) Metodología Impact2002+

Primeramente, se llevó a cabo la comparación de daño potencial con la metodología Impact2002+, con ello se obtuvieron una serie de gráficos donde estimó la contribución que cada material del ICV tiene en las categorías de impacto evaluadas.

De acuerdo a la caracterización llevada a cabo con Impact2002+, ver figura 6, la caja de cartón corrugado, utilizada en el empaque, por ser un material reciclado no representa un daño potencial para el medio ambiente, por el contrario, constituye un impacto positivo. Sin embargo, gran parte de los materiales restantes mostraron una tendencia negativa, siendo

el cobre catódico o electrolítico el más recurrente en las 15 categorías de impacto. Otros materiales que también destacaron por su impacto negativo fueron el nylon reforzado con fibra de vidrio, nylon 66, PET con 20% de reforzamiento de fibra de vidrio y el PET. En la misma gráfica es posible apreciar que las aleaciones de zinc (CuZn30) y estaño (CuSn4) utilizadas en las terminales no representan impactos significativos.

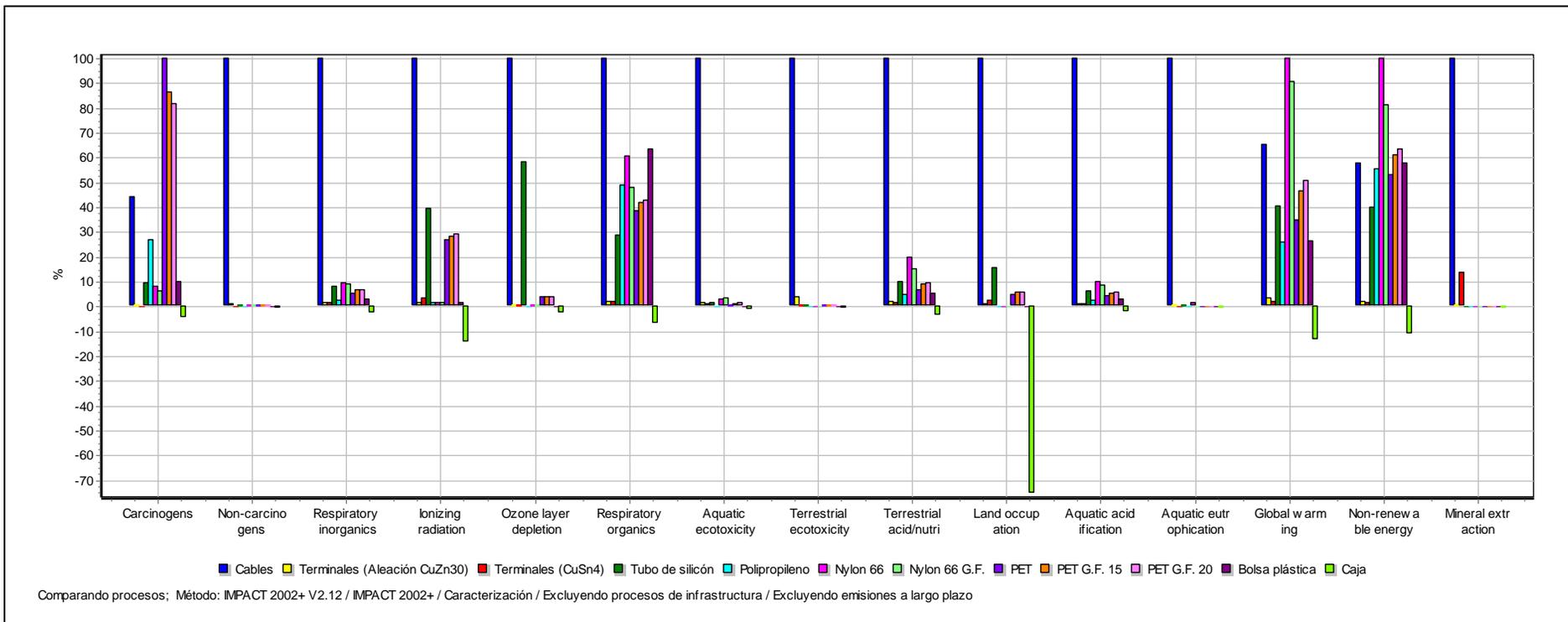


Figura 6 Caracterización de los materiales que integran el arnés tipo "A". Método Impact2002+

Fuente: Elaboración propia

Continuando con la metodología Impact2002+, para conocer la contribución de los materiales a las principales categorías de impacto, se analizó el gráfico obtenido en el rubro de “evaluación de daño”, donde las diferentes categorías de impacto mostradas en la caracterización se agrupan dando lugar a 4 daños de categoría.

En la figura 7 se observa la contribución que tienen los materiales del arnés tipo “A” en dichas categorías, las cuales son salud humana, calidad del ecosistema, cambio climático y recursos. En base al gráfico de “evaluación de daño”, se obtiene que la categoría más afectada es la de recursos, donde se observa que el cobre catódico y los diferentes termoplásticos empleados en el arnés tienen un papel significativo en la contribución de daños a esta categoría. Esta situación se repite en la categoría de cambio climático, que corresponde al segundo daño de categoría. La contribución individual de cada material a los daños de categoría se puede observar en la tabla 7.

Tabla 7 Contribución a los daños de categoría por material - Método Impact2002+

Material	Salud humana (DALY)	Calidad de ecosistema (PDF*m2*yr)	Cambio climático (kg CO ₂ eq)	Recursos (MJ primary)
Cables (cobre catódico)	4.18E-05	30.68407	4.7429667	141.69564
Aleación CuSn ₄	4.30E-07	0.24400168	0.13671065	10.766895
Aleación CuZn ₃₀	5.60E-07	1.1054349	0.23767875	3.3329927
Silicón	2.70E-06	0.28329706	2.9514294	54.698415
PET	5.13E-06	0.24884863	2.5208295	72.885318
PET GF-15	5.01E-06	0.25943236	3.3903108	83.394893
PET GF-20	4.97E-06	0.26296027	3.6801379	86.898084
Polipropileno	1.69E-06	0.06981224	1.8702428	75.586229
Nylon66	3.05E-06	0.18407232	7.2561765	136.79028
Nylon66 G.F.	2.86E-06	0.15832242	6.574453	111.08284
Caja (cartón reciclado)	-9.30E-07	-0.49747307	-0.98124931	-15.376862
Bolsa plástica	1.21E-06	0.07542753	1.9258029	79.16821

Nota: Las letras en **negritas** indican el de mayor valor

Fuente: Elaboración propia

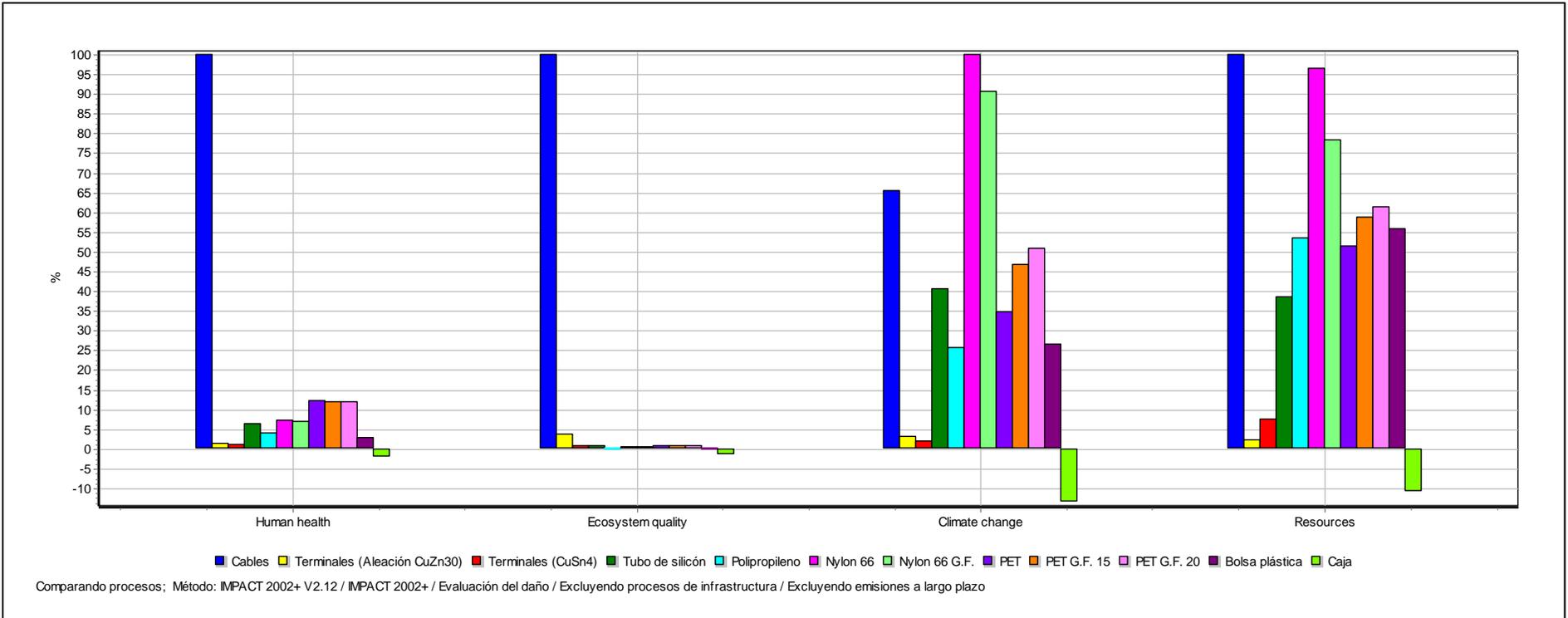


Figura 7 Evaluación del daño de los materiales que integran el arnés tipo "A". Método Impact2002+

Fuente: Elaboración propia

b) Metodología ReCiPe midpoint

Una vez llevado a cabo la comparación con el método Impact2002+, se prosiguió a realizar el mismo análisis, pero con la metodología ReCiPe con nivel de efecto intermedio (midpoint).

Al igual que con la metodología Impact2002+, los resultados de la caracterización con ReCiPe (ver figura 8) muestran que la caja de cartón corrugado reciclado empleada en el empaque del producto representa un impacto positivo; también hay concordancia en que el cobre catódico es un material con gran significancia para la evaluación de impacto, ya que se encuentra presente en las 18 categorías de impacto que utiliza ReCiPe. Otros materiales que destacan en la comparación son el nylon66 y el nylon reforzado con fibra de vidrio.

Debido a que las categorías de impacto presentan distintas unidades y eso dificulta comparar los resultados entre sí, se llevó a cabo la normalización de los datos a través del software SimaPro ®. Esto permite comparar fácilmente las categorías entre sí, ya que sus unidades son adimensionales o neutras; los resultados de la normalización representan el grado en que cada categoría de impacto contribuye a los problemas ambientales a nivel global.

La figura 9 muestra la normalización respecto al daño potencial de los materiales por medio de la metodología ReCiPe, en el cual se observa que el cobre catódico es el material que más sobre sale en diferentes categorías de impacto.

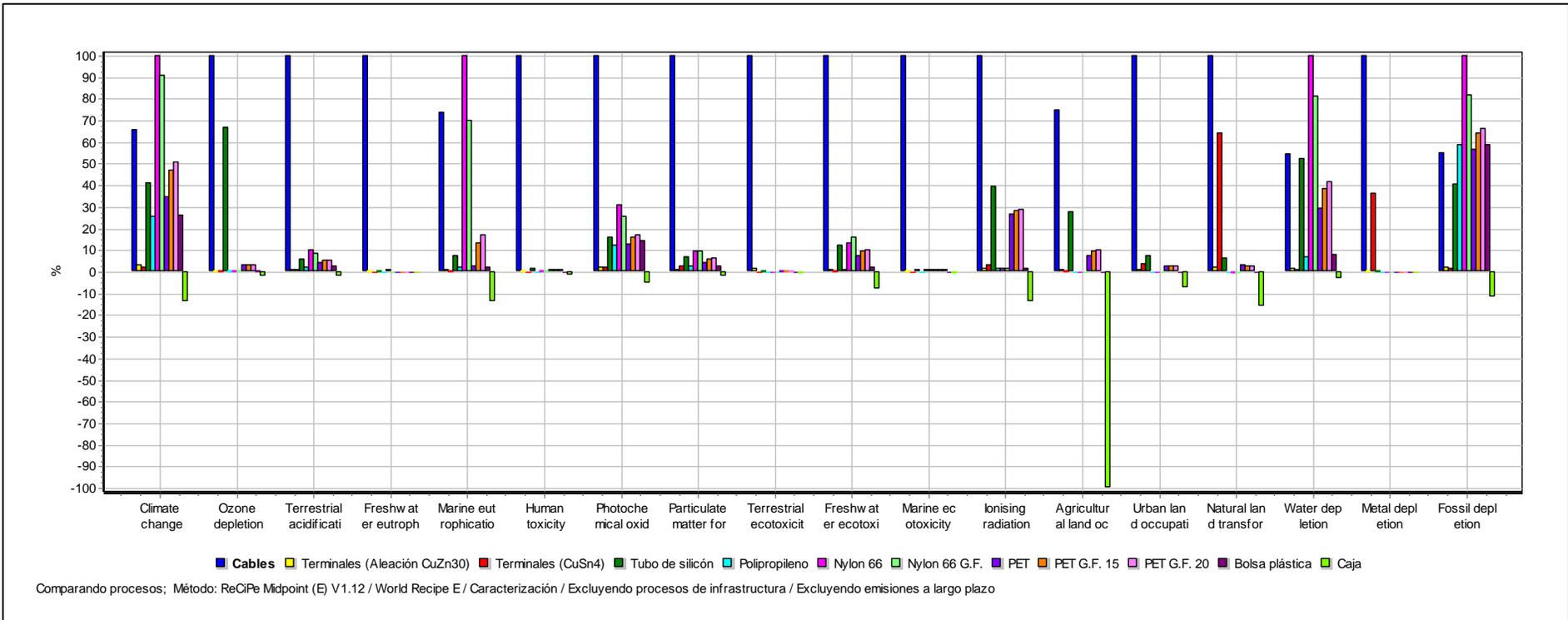


Figura 8 Caracterización de los materiales que integran el arnés tipo "A". Método ReCiPe Midpoint

Fuente: Elaboración propia

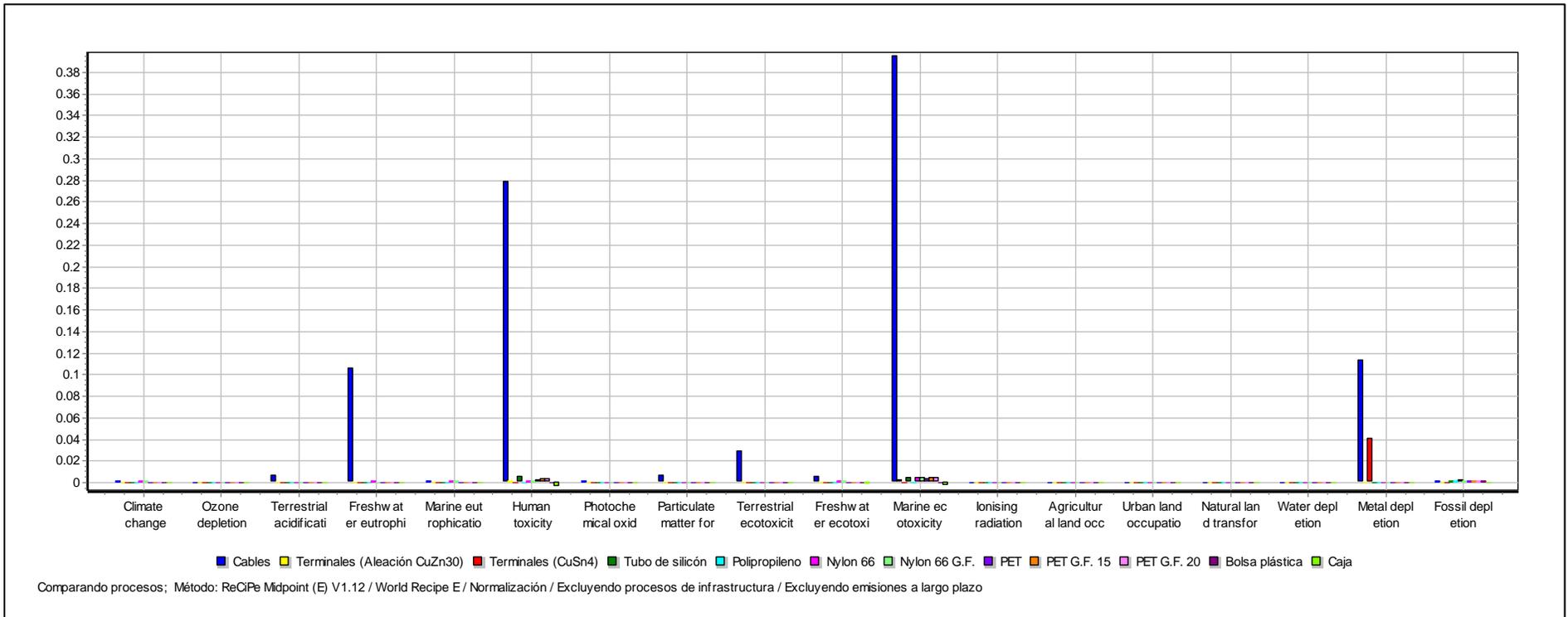


Figura 9 Normalización de los materiales que integran el arnés tipo "A" - Método ReCiPe Midpoint

Fuente: Elaboración propia

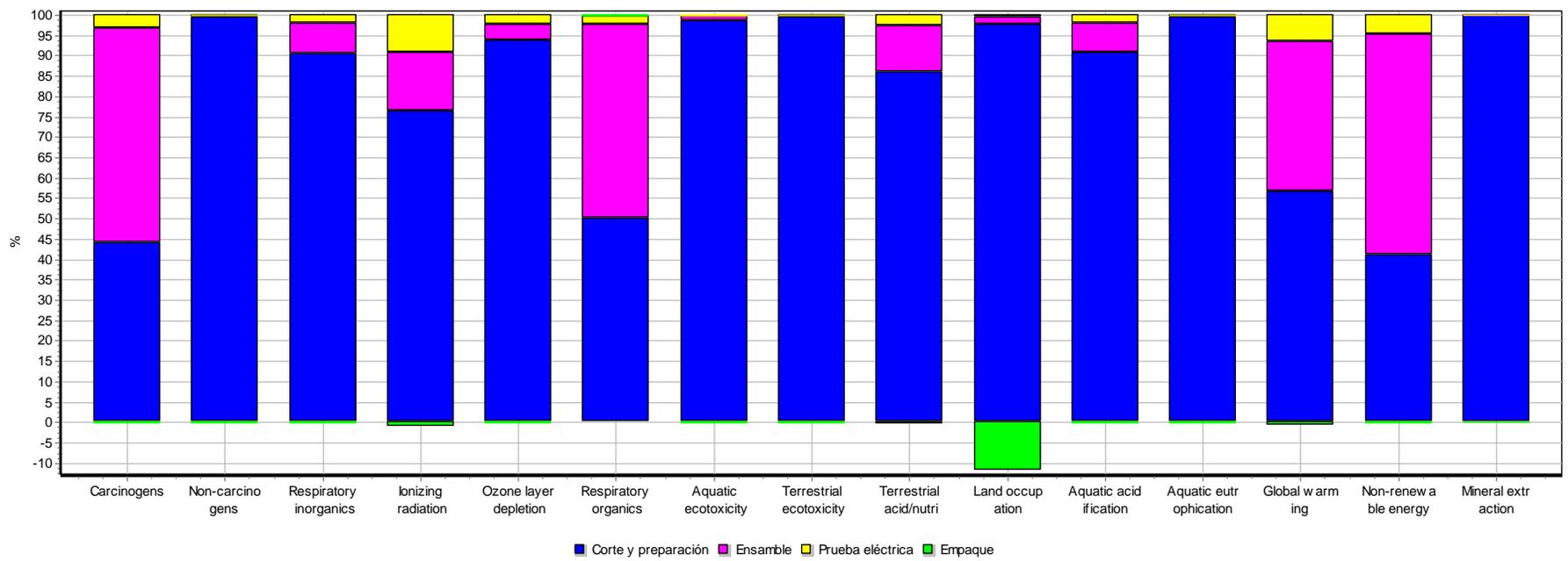
6.3.3 Evaluación de impacto

En esta sección se muestran los resultados obtenidos de la EICV del arnés tipo “A”, para ello se analizó dicho arnés como un producto terminado con dos metodologías, Impact2002+ y ReCiPe con nivel de efecto intermedio. En ambos casos se presentan diferentes figuras y tablas las cuales ilustran el impactan ambiental que tiene el objeto de estudio en diferentes categorías de impacto globales.

a) Metodología Impact2002+

La caracterización del arnés por este método, muestra en una escala de -10% a 100% la contribución individual que tiene cada actividad o proceso en las diferentes categorías evaluadas. En la figura 10, correspondiente a la caracterización, se observa que la etapa de corte y preparación, donde se manufacturan los cables del arnés, es la que más contribuye a los impactos globales, destacando visiblemente en 12 de las 15 categorías. Por el contrario, la actividad de empaque presenta un impacto positivo debido al uso de cartón corrugado reciclado.

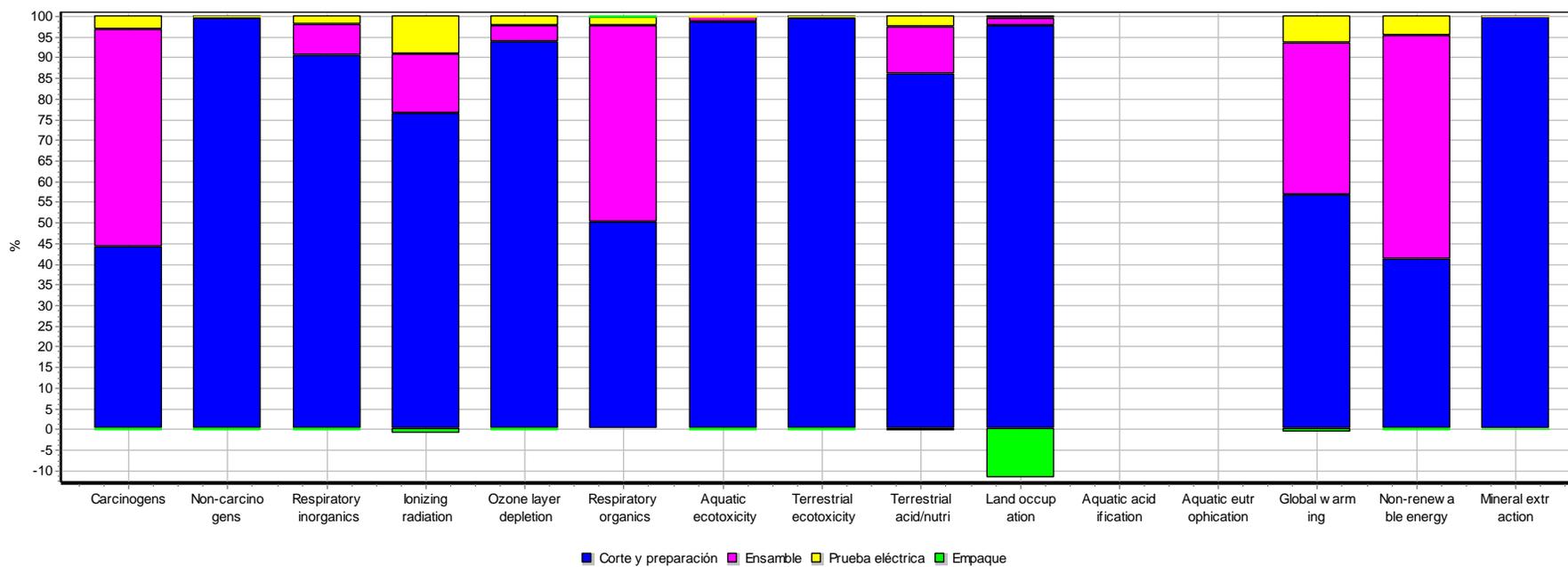
La evaluación de daño es otra forma en que Impact2002+ permite visualizar los resultados, la gran ventaja de esta variante es que permite agrupar las 15 categorías en 4 daños de categoría. A modo de comparación, se muestran las figuras y tablas de esta variante. La figura 11 representa la evaluación de daño por categoría de impacto, a su vez, en la tabla 8 se representan los cinco impactos con mayores contribuciones. Por otro lado, la figura 12 muestra la contribución de los materiales en los 4 daños de categoría, y en la tabla 9 se encuentran los valores alcanzados.



Analizando 1E4 p'Arnés tipo "A"; Método: IMPACT 2002+ V2.12 / IMPACT 2002+ / Caracterización / Excluyendo procesos de infraestructura / Excluyendo emisiones a largo plazo

Figura 10 Caracterización del arnés tipo "A" - Método Impact 2002+

Fuente: Elaboración propia



Analizando 1E4 p'Arnés tipo "A"; Método: IMPACT 2002+ V2.12 / IMPACT 2002+ / Evaluación del daño / Excluyendo procesos de infraestructura / Excluyendo emisiones a largo plazo

Figura 11 Evaluación de daño del arnés tipo "A" por categoría de impacto - Método Impact2002+

Fuente: Elaboración propia

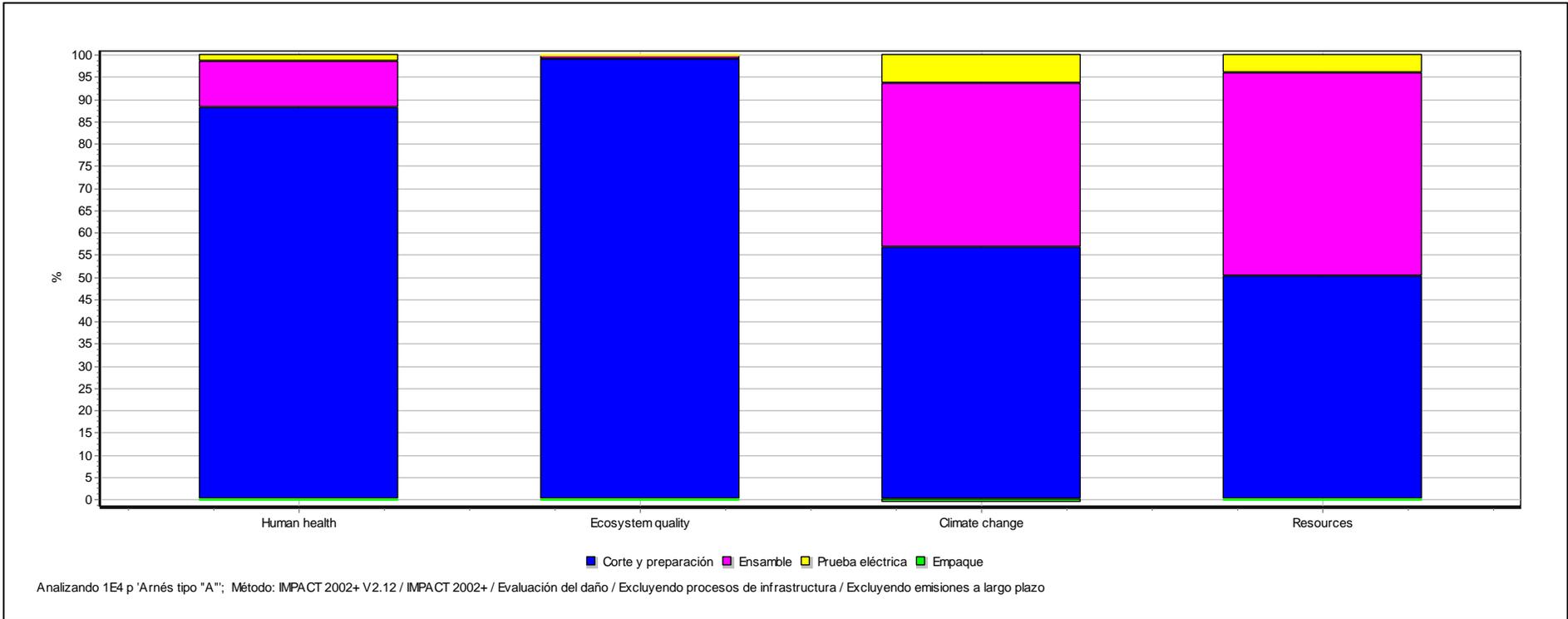


Figura 12 Evaluación de daño del arnés tipo "A" por daño de categoría - Método Impact2002+

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8 Principales categorías de impacto asociadas al CV del arnés tipo "A" - Método Impact2002+

Categoría de impacto	Unidad	Total
Energía no renovable	MJ primary	5.68E+13
Extracción mineral	MJ primary	1.02E+13
Ecotoxicidad terrestre	PDF*m2*yr	4.79E+12
Cambio climático	kg CO2 eq	2.48E+12
Terrestrial acid/nutri	PDF*m2*yr	1.18E+11

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9 Totales por daño de categoría asociados al CV del arnés tipo "A" - Método Impact2002+

Daño de categoría	Unidad	Total
Salud humana	DALY	8 263 246.7
Calidad del ecosistema	PDF*m2*yr	5.03E+12
Cambio climático	kg CO2 eq	2.48E+12
Recursos	MJ primary	6.70E+13

Fuente: Elaboración propia

b) Metodología ReCiPe Midpoint

La caracterización obtenida (ver figura 13) muestra en una escala de -20% a 100% la contribución de cada proceso de la manufactura del arnés en las 18 categorías de impacto de ReCiPe. En dicha figura se aprecia fácilmente que la etapa de corte y preparación es la que mayor impacto ambiental genera, mientras que el empaque representa un impacto positivo.

De las categorías de impacto que la metodología utiliza, se encontró que la toxicidad humana es la más afectada de todas. En la tabla 10 se muestran 5 categorías de impacto en ReCiPe que obtuvieron las mayores contribuciones, es decir donde se encuentran los principales impactos que el arnés genera.

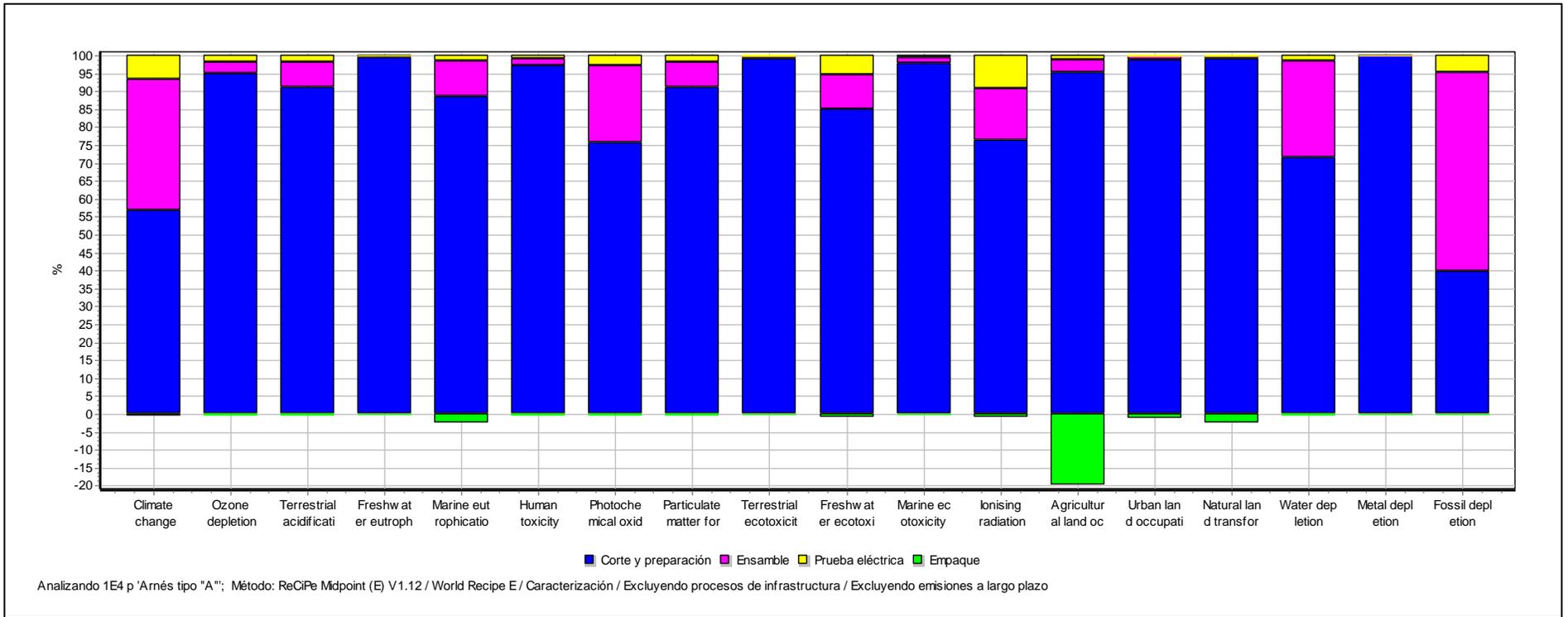


Figura 13 Caracterización del arnés tipo "A" - Método ReCiPe Midpoint

Fuente: Elaboración propia

Además de la caracterización se llevó a cabo la normalización de datos, esto permite conocer el impacto del producto en una determinada región. Debido a que en el programa SimaPro no hay datos de México, se optó por utilizar la normalización en su variante “Resto del Mundo” (Rest of the World – ROW). Con ello se encontró que el proceso de corte y preparación continúan siendo la que genera los mayores impactos debido, principalmente, por el uso de cobre (ver figura 14). Los principales impactos generados en la normalización se pueden observar en la tabla 11.

Tabla 10 Principales categorías de impacto asociadas al CV del arnés tipo "A" - Método ReCiPe

Categoría de impacto	Unidad	Total
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	7.03E+13
Ecotoxicidad marina	kg 1,4-DB eq	4.53E+13
Agotamiento de metales	kg Fe eq	8.25E+12
Cambio climático	kg CO ₂ eq	2.45E+12
Agotamiento de recursos fósiles	kg oil eq	1.16E+12

Fuente: Elaboración propia

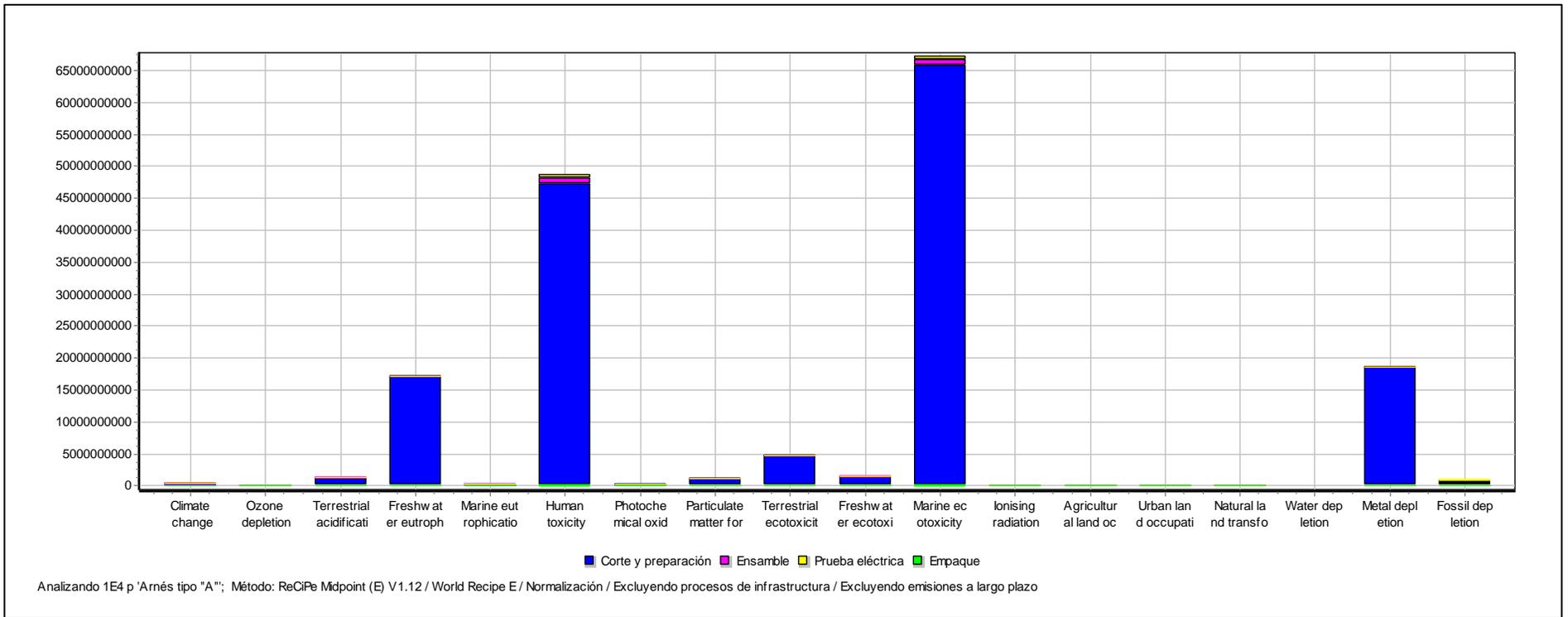


Figura 14 Normalización del arnés tipo "A" - Método ReCiPe Midpoint

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11 Normalización de las principales categorías de impacto asociadas al CV del arnés tipo "A" - Método ReCiPe

Categoría de impacto	Total
Ecotoxicidad marina	6.71E+10
Toxicidad humana	4.85E+10
Agotamiento de metales	1.86E+10
Eutroficación de las aguas	1.72E+10
Ecotoxicidad terrestre	4.76E+09

Fuente: Elaboración propia

6.3.4 Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad llevado a cabo tiene como finalidad evaluar los cambios que se podrían generar al modificar los insumos del arnés. Lo ideal para este estudio sería sustituir el cobre, ya que es el material que más contribuye a los impactos ambientales. Sin embargo, debido a que no es posible emplear materiales reciclados en cuestiones eléctricas se ha tomado la decisión de modelar el ciclo de vida considerando solo un termoplástico que sustituyera a todos los plásticos empleados. Para este análisis se escogieron solo dos de los seis termoplásticos que el arnés utiliza.

El primer escenario se modeló utilizando solo polipropileno. Se escogió este material ya que de acuerdo a Jansz (1999), se ha utilizado para reemplazar el consumo de poliamida, mejor conocida como Nylon66. Aunado a lo anterior, este termoplástico tiene variados usos en la industria automotriz, entre los que destacan los componentes eléctricos.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la caracterización (ver figura 15) llevada a cabo con el método Impact2002+, no se observan cambios significativos en el ciclo de vida del arnés. En la tabla 12 se comparan los resultados de la caracterización de la EICV y del primer escenario, en dicha tabla solo se muestran los valores obtenidos en el proceso de ensamble, ya que fue ahí donde se hicieron los cambios.

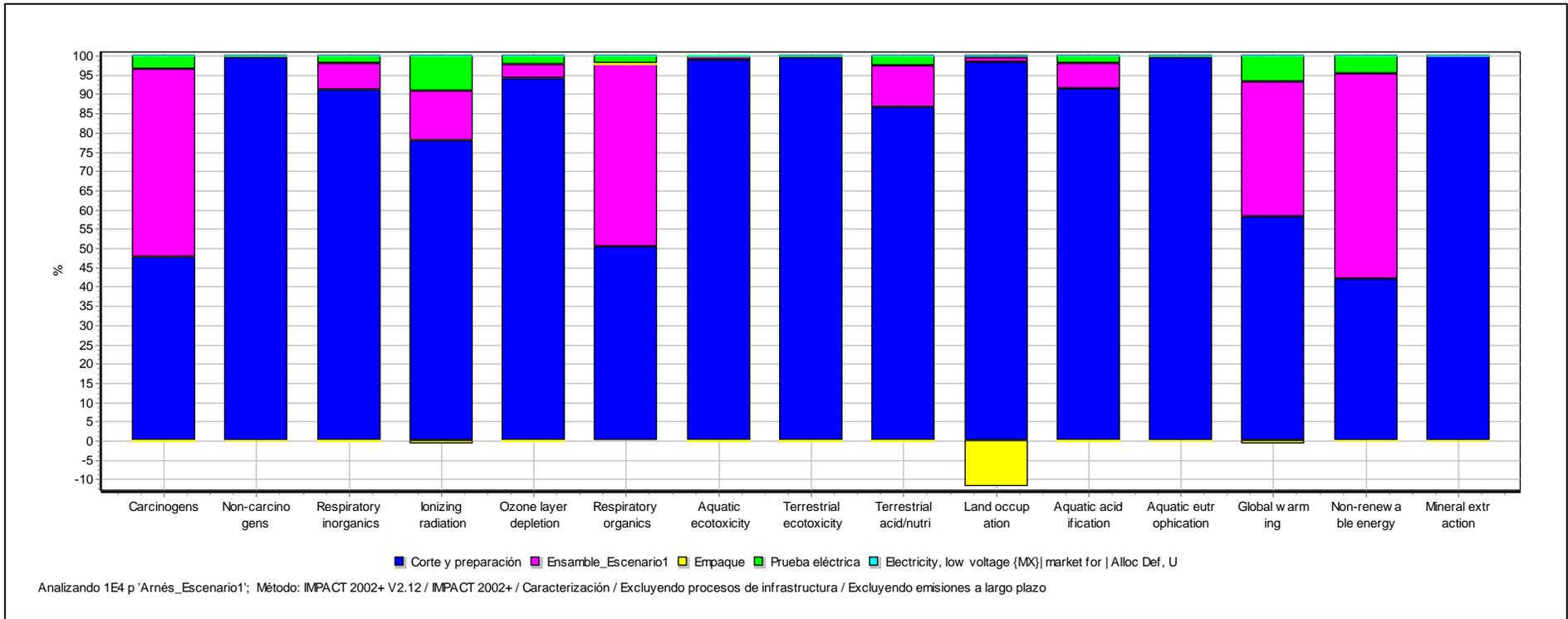


Figura 15 Caracterización de escenario 1 - Método Impact2002+

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12 Comparación de la caracterización de la EICV y el primer escenario - Método Impact2002+

EICV		Primer escenario	
Categoría de impacto	Ensamble	Categoría de impacto	Ensamble
Carcinogénicos	1.57E+11	Carcinogénicos	1.35E+11
No carcinogénicos	3.78E+09	No carcinogénicos	3.29E+09
Inorgánicos respiratorios	5.78E+08	Inorgánicos respiratorios	5.27E+08
Radiación ionizante	1.70E+12	Radiación ionizante	1.51E+12
Degradación de la capa de ozono	25 842.158	Degradación de la capa de ozono	22 785.924
Orgánicos respiratorios	8.53E+08	Orgánicos respiratorios	8.42E+08
Eco-toxicidad acuática	1.66E+13	Eco-toxicidad acuática	1.33E+13
Eco-toxicidad terrestre	3.20E+12	Eco-toxicidad terrestre	2.71E+12
Terrestrial acid/nutri	1.32E+10	Terrestrial acid/nutri	1.23E+10
Ocupación de suelo	8.49E+08	Ocupación de suelo	4.82E+08
Acidificación acuática	4.06E+09	Acidificación acuática	3.76E+09
Eutroficación acuática	75 374 801	Eutroficación acuática	69 174 014
Calentamiento global	9.20E+11	Calentamiento global	8.59E+11
Energía no renovable	3.07E+13	Energía no renovable	2.98E+13
Extracción mineral	2.17E+08	Extracción mineral	1.46E+08

Fuente: Elaboración propia

Al igual que con la EICV, el primer escenario también se modeló con la metodología ReCiPe Midpoint. Los resultados obtenidos por este método, al igual que el anterior, no presentaron variaciones significativas (ver figura 16). En la tabla 13 se muestran las pequeñas variaciones entre la EICV y el primer escenario con la metodología ReCiPe Midpoint.

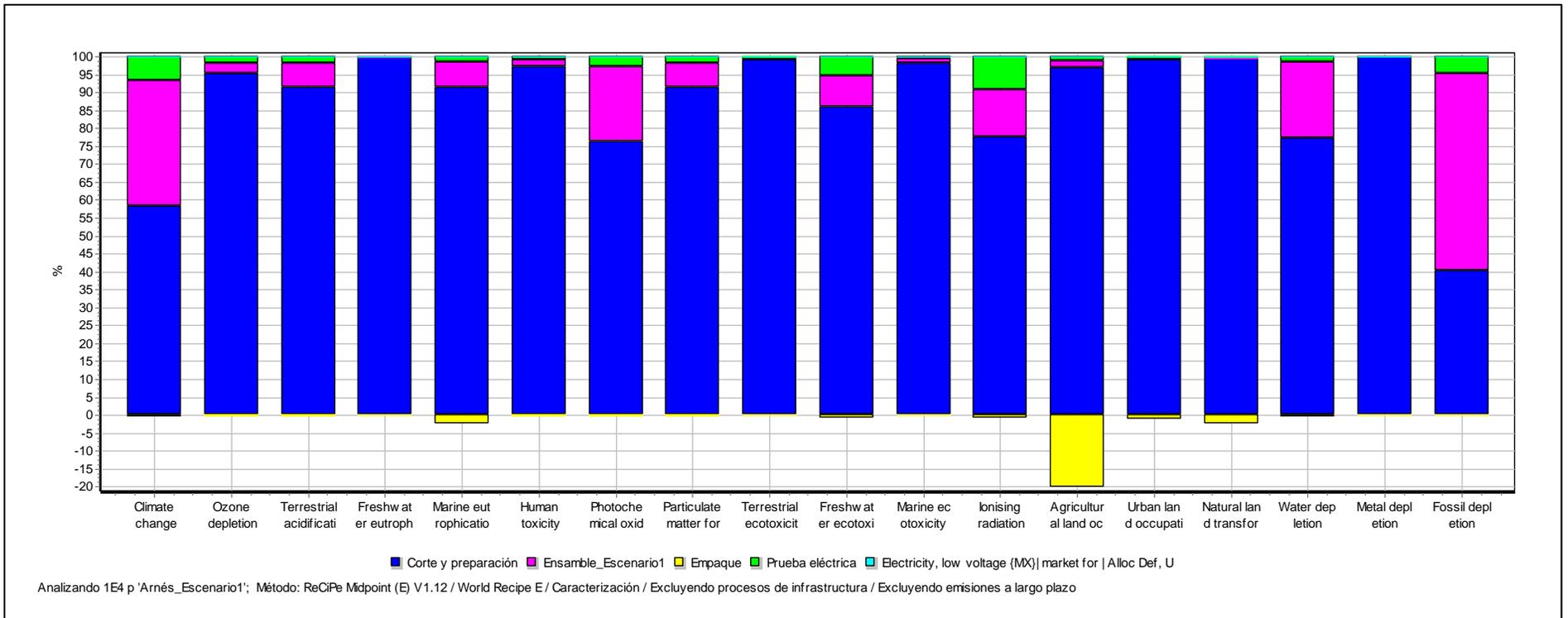


Figura 16 Caracterización de escenario 1 - Método ReCiPe Midpoint

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13 Comparación de la caracterización de la EICV y el primer escenario - Método ReCiPe midpoint

EICV		Primer escenario	
Categoría de impacto	Ensamble	Categoría de impacto	Ensamble
Cambio climático	9.03E+11	Cambio climático	8.43E+11
Degradación de la capa de ozono	25 867.072	Degradación de la capa de ozono	22 794.043
Acidificación terrestre	4.05E+09	Acidificación terrestre	3.75E+09
Eutroficación de aguas	20 899 069	Eutroficación de aguas	19 735 605
Eutroficación marina	1.32E+08	Eutroficación marina	90701097
Toxicidad humana	1.29E+12	Toxicidad humana	1.20E+12
Formación de óxido fotoquímico	3.64E+09	Formación de óxido fotoquímico	3.49E+09
Formación de partículas	1.20E+09	Formación de partículas	1.10E+09
Ecotoxicidad terrestre	2.83E+08	Ecotoxicidad terrestre	2.52E+08
Ecotoxicidad acuática	6.61E+08	Ecotoxicidad acuática	5.98E+08
Ecotoxicidad marina	6.17E+11	Ecotoxicidad marina	5.51E+11
Radiación ionizante	1.68E+10	Radiación ionizante	1.49E+10
Ocupación de tierras agrícolas	4.79E+09	Ocupación de tierras agrícolas	2.55E+09
Ocupación de tierras urbanas	3.65E+08	Ocupación de tierras urbanas	2.31E+08
Transformación de la tierra	961316.05	Transformación de la tierra	341362.26
Agotamiento de agua	8.28E+09	Agotamiento de agua	6.04E+09
Agotamiento mineral	9.89E+08	Agotamiento mineral	8.14E+08
Agotamiento fósil	6.46E+11	Agotamiento fósil	6.28E+11

Fuente: Elaboración propia

Para el segundo escenario se ha seleccionado el termoplástico PET con refuerzo de fibra de vidrio al 20%, ya que de acuerdo a la comparación de daño potencial fue uno de los plásticos con menor impacto. Al igual que con el escenario anterior, se llevó a cabo la evaluación con las metodologías Impact2002+ y ReCiPe Midpoint, para posteriormente comparar los resultados de la caracterización de la EICV y del escenario 2.

La figura 17 representa la caracterización con el método Impact2002+, mientras que la figura 18 muestra los resultados con el método ReCiPe Midpoint; y a simple vista no se observa algún cambio en las categorías de impactos, lo cual es confirmado por las tablas 14 y 15, que muestran las variaciones entre la EICV y el segundo escenario son insignificantes.

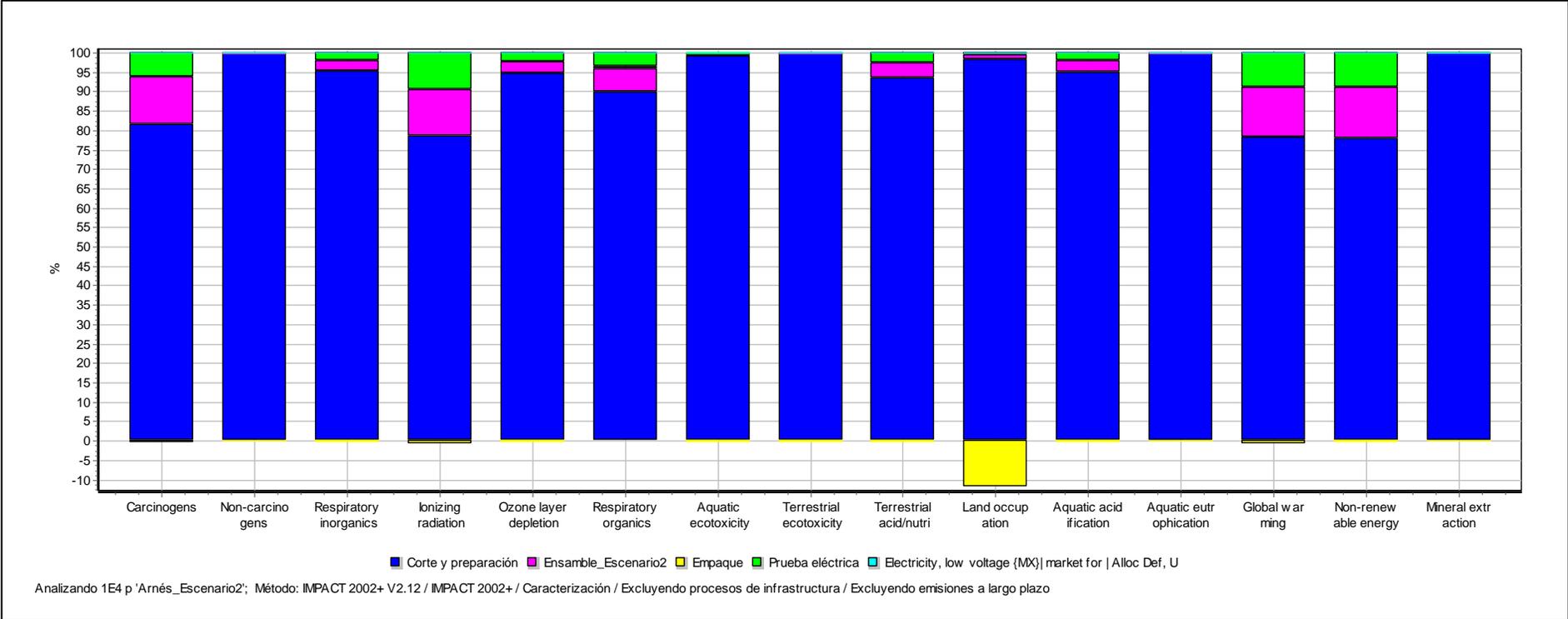


Figura 17 Caracterización escenario 2 - Método Impact2002+

Fuente: Elaboración propia

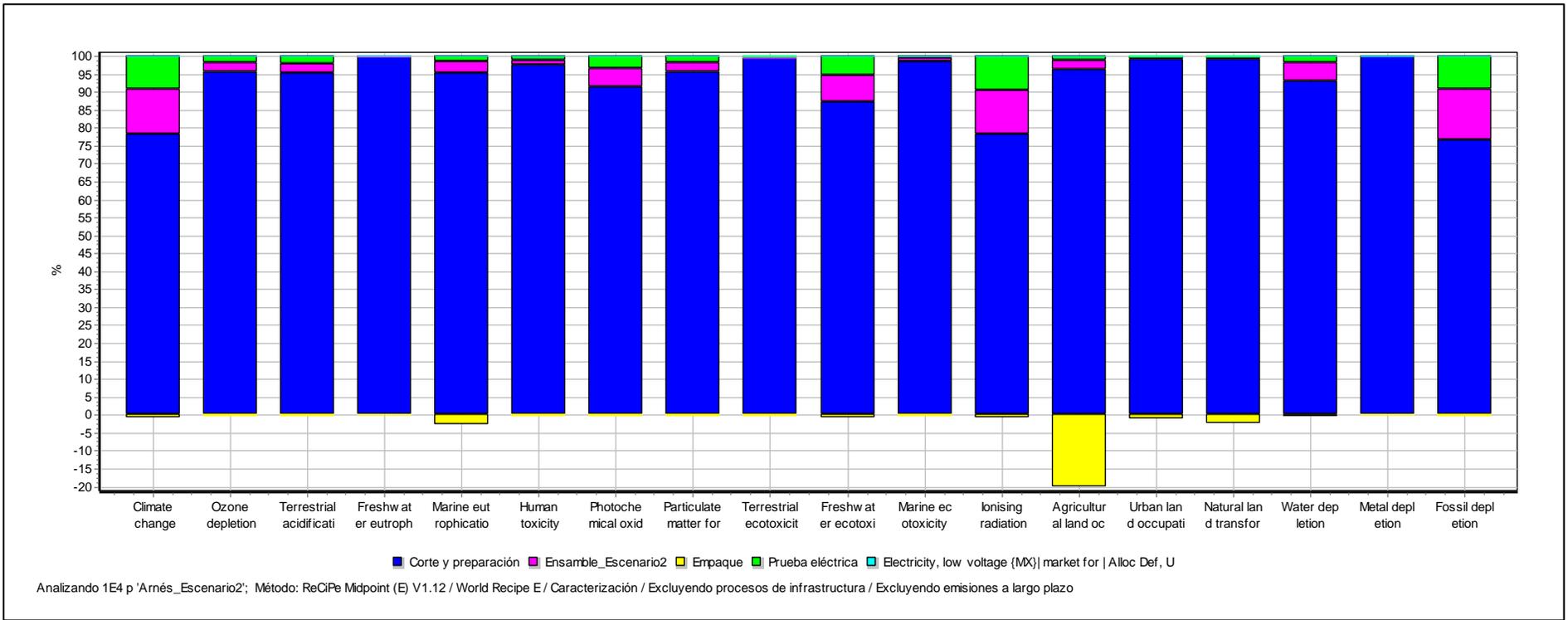


Figura 18 Caracterización escenario 2 - Método ReCiPe Midpoint

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14 Comparación de la caracterización de la EICV y el segundo escenario - Método Impact2002+

EICV		Segundo escenario	
Categoría de impacto	Ensamble	Categoría de impacto	Ensamble
Carcinogénicos	1.57E+11	Carcinogénicos	2.00E+10
No carcinogénicos	3.78E+09	No carcinogénicos	1.37E+09
Inorgánicos respiratorios	5.78E+08	Inorgánicos respiratorios	2.07E+08
Radiación ionizante	1.70E+12	Radiación ionizante	1.42E+12
Degradación de la capa de ozono	25 842.158	Degradación de la capa de ozono	19 628.456
Orgánicos respiratorios	8.53E+08	Orgánicos respiratorios	60442051
Eco-toxicidad acuática	1.66E+13	Eco-toxicidad acuática	8.14E+12
Eco-toxicidad terrestre	3.20E+12	Eco-toxicidad terrestre	9.76E+11
Terrestrial acid/nutri	1.32E+10	Terrestrial acid/nutri	3.99E+09
Ocupación de suelo	8.49E+08	Ocupación de suelo	5.55E+08
Acidificación acuática	4.06E+09	Acidificación acuática	1.54E+09
Eutroficación acuática	75 374 801	Eutroficación acuática	21 278 016
Calentamiento global	9.20E+11	Calentamiento global	2.31E+11
Energía no renovable	3.07E+13	Energía no renovable	4.00E+12
Extracción mineral	2.17E+08	Extracción mineral	67 753 888

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15 Comparación de la caracterización de la EICV y el segundo escenario - Método ReCiPe midpoint

EICV		Segundo escenario	
Categoría de impacto	Ensamble	Categoría de impacto	Ensamble
Cambio climático	9.03E+11	Cambio climático	2.30E+11
Degradación de la capa de ozono	25 867.072	Degradación de la capa de ozono	196 39.129
Acidificación terrestre	4.05E+09	Acidificación terrestre	1.54E+09
Eutroficación de aguas	20 899 069	Eutroficación de aguas	4 936 452.6
Eutroficación marina	1.32E+08	Eutroficación marina	37 532 256
Toxicidad humana	1.29E+12	Toxicidad humana	1.01E+12
Formación de óxido fotoquímico	3.64E+09	Formación de óxido fotoquímico	7.03E+08
Formación de partículas	1.20E+09	Formación de partículas	4.12E+08
Ecotoxicidad terrestre	2.83E+08	Ecotoxicidad terrestre	1.29E+08
Ecotoxicidad acuática	6.61E+08	Ecotoxicidad acuática	4.91E+08
Ecotoxicidad marina	6.17E+11	Ecotoxicidad marina	4.48E+11
Radiación ionizante	1.68E+10	Radiación ionizante	1.40E+10
Ocupación de tierras agrícolas	4.79E+09	Ocupación de tierras agrícolas	3.15E+09
Ocupación de tierras urbanas	3.65E+08	Ocupación de tierras urbanas	2.38E+08
Transformación de la tierra	961 316.05	Transformación de la tierra	877 992.62
Agotamiento de agua	8.28E+09	Agotamiento de agua	1.24E+09
Agotamiento mineral	9.89E+08	Agotamiento mineral	4.08E+08
Agotamiento fósil	6.46E+11	Agotamiento fósil	8.35E+10

Fuente: Elaboración propia

Debido a que los termoplásticos no son la principal causa de los impactos ambientales no se ve una disminución significativa en la carga ambiental del ciclo de vida del arnés.

6.4 Fase 4: Interpretación del ciclo de vida

6.4.1 Daño potencial de los materiales

En esta sección se encuentran los tres materiales con el mayor potencial de daño que componen el arnés tipo "A", a continuación, se muestran los impactos ambientales que producen y el por qué se obtuvieron.

a) Cobre

De acuerdo a la comparación de daño potencial de los materiales a través de las metodologías Impacta2002+ y ReCiPe midpoint, el cobre es el material que más repercusiones ambientales genera. Esto debido a que es un recurso no renovable y además un producto de la minería, lo cual implica el uso de grandes insumos y energía para su extracción y procesamiento.

La actividad minera en México es una de las actividades primarias más importantes del país destacando en la producción de plata, oro y cobre a nivel mundial, lo que representa el 21%, 20% y 14% respectivamente de la producción minera nacional (Esquivel 2013), lo que a su vez ha traído como consecuencias grandes aportaciones económicas y sociales (Minería_Responsable 2016). Por otra parte, dicha actividad económica también destaca por los impactos ambientales, tales como deforestación, erosión de suelos, sobreexplotación de recursos naturales, emisiones a la atmósfera, entre otros. Sumado a lo anterior, la minería es una actividad que aún después de darla por terminada continúa generando impactos ambientales negativos.

La extracción del cobre se da, generalmente, a cielo abierto; para ello se llevan a cabo actividades de barrenación, tumba y acarreo del material, lo que implica el uso de maquinaria pesada (Sánchez Crispín & Enríquez-Denton 1996). Estas actividades ocasionan principalmente la deforestación y erosión de grandes extensiones de suelo, además del consumo energético del equipo empleado y las emisiones de los mismos. Por otro lado, el procesamiento del cobre destaca principalmente por el uso de químicos, los cuáles además de ser tóxicos para el ambiente son dañinos para la salud humana.

A pesar del potencial para causar estragos en la salud humana y ambiental que tiene la obtención del cobre, éste presenta características importantes por lo que aún se sigue empleando. Una característica destacable del cobre es que es un material 100% reciclable, sin embargo, durante este proceso va perdiendo su pureza, por lo que de esta manera no es aceptable para muchas actividades, como es el caso del arnés A ya que al ser un producto eléctrico necesita un alto grado de pureza.

b) Nylon 66

El nylon 66 es un termoplástico que gracias a sus propiedades físico-químicas tiene múltiples aplicaciones en diferentes industrias. Uno de ellos es el uso de piezas de inyección utilizadas en la industria de componentes electrónicos, como es el caso de algunos elementos empleados en el arnés tipo "A".

Sin embargo, a pesar de las grandes ventajas que tiene el uso de este material, su ciclo de vida no está exento de impactos ambientales. En el caso particular de este estudio, la comparación de materiales llevada a cabo con las dos metodologías antes mencionadas, muestran que los componentes de nylon 66, tanto reforzados con fibra de vidrio como por sí solos, tienen contribuciones notables en las siguientes categorías de impacto: cambio climático, radiación ionizante, toxicidad humana, ecotoxicidad acuática.

Las aportaciones que tiene el nylon 66 a la toxicidad humana y a la ecotoxicidad acuática se debe a que la manufactura de este material emplea una sustancia llamada ciclohexano, la que a su vez necesita de benceno para su elaboración, la cual es una sustancia prioritaria debido a sus efectos carcinógenos y neurotóxicos (Santos et al. 2010). Por otro lado, los efectos que tiene en el cambio climático son debido a la liberación de gases efecto invernadero durante la elaboración de dicho material, específicamente la obtención de óxido nitroso (O Ecotextiles 2012).

c) PET

El tereftalato de etileno, mejor conocido como PET, presenta impactos en los rubros de salud humana y cambio climático. Más específicamente, este material contribuye en las siguientes categorías: orgánicos respiratorios, calentamiento global, radiación ionizante, cambio climático y agotamiento de recursos fósiles.

La presencia de esta última categoría, agotamiento de recursos fósiles, era de esperarse ya que el PET utiliza como materia prima materiales derivados del petróleo. El PET se

compone de ácido tereftálico y etilenglicol. A su vez el ácido tereftálico se produce a partir de paraxileno el cual se deriva del petróleo crudo. Por otra parte, el etilenglicol se obtiene de derivados del gas natural.

6.4.2 Evaluación del impacto por método Impact2002+

La evaluación de impacto ambiental del arnés tipo “A”, llevada a cabo por la metodología Impact2002+, destaca la contribución ambiental en las siguientes categorías: Ecotoxicidad acuática ($1.64E+15$ kg TEG water), ecotoxicidad terrestre ($6.05E+14$ kg TEG soil), energía no renovable ($5.68E+13$ MJ primary), radiación ionizante ($1.18E+13$ Bq C-14 eq) y extracción mineral ($1.02E+13$ MJ surplus).

De acuerdo a los datos mencionados anteriormente, la ecotoxicidad acuática es la categoría de impacto con el valor absoluto más alto, seguido por la ecotoxicidad terrestre. Estos impactos se deben a la presencia de sustancias tóxicas en agua y suelo respectivamente, que reducen el crecimiento y desarrollo de la vida silvestre. Para este estudio en particular, dichos impactos se deben principalmente al uso del cobre y las aleaciones empleadas en el arnés. Más específicamente, dichas categorías de impactos son consecuencias de la actividad minera llevada a cabo para la extracción y obtención de estos materiales.

Otra de las categorías de mayor significancia es la energía no renovable, la cual es provocada por el consumo eléctrico empleado para la fabricación del arnés tipo “A”, y principalmente a que la electricidad utilizada proviene de fuentes no renovables. En el caso particular de Sonora, México, la energía eléctrica se genera a partir de combustóleo y diésel, los cuales, además de ser recursos finitos, son altamente contaminantes, ineficientes y costosos (Padilla 2016).

La categoría de extracción mineral era de esperar que presentara altos índices de impacto, ya que parte fundamental para el funcionamiento del arnés son los cables y terminales, los cuales son de origen mineral. De forma inevitable, la extracción mineral impacta a una categoría más grande que son los recursos no renovables, los cuales son finitos y, en la mayoría de los casos, necesitan de técnicas de extracción y manufactura perjudiciales para el ambiente y la salud humana.

6.4.3 Evaluación del impacto por método ReCiPe midpoint.

La evaluación de impacto llevada a cabo con la metodología ReCiPe continúa mostrando a la actividad de corte y preparación como el principal precursor de los impactos asociados

al arnés tipo "A" Al igual que con la metodología anterior, y como se ha mencionado anteriormente, la etapa de empaque representa un impacto positivo en el ciclo de vida del producto debido al uso de un material reciclado.

De acuerdo a la caracterización llevada a cabo con esta metodología, las cinco categorías de impacto más significativas son: toxicidad humana ($7.03E+13$ kg 1,4-DB eq), ecotoxicidad marina ($4.53E+13$ kg 1,4-DB eq), agotamiento mineral ($8.25E+12$ kg Fe eq), cambio climático ($2.45E+12$ kg CO₂ eq) y agotamiento de recursos fósiles ($1.16E+12$ kg oil eq). Destacando la etapa de corte y preparación en las tres primeras categorías, esto debido al uso del cobre, más específicamente a la actividad minera e industrial llevadas a cabo para obtener dicho material.

La ecotoxicidad marina es provocada, principalmente, por el uso de cobre y nylon 66. Dicho impacto es causado por las sustancias tóxicas presentes en los efluentes de estas industrias y a la falta de un tratamiento óptimo para su neutralización y/o eliminación. Al igual que la categoría anterior, la toxicidad humana se debe principalmente a la contribución del cobre y nylon, esto gracias a las sustancias tóxicas para la salud que se emplean para la obtención de dichos materiales. Como se mencionó anteriormente, para la manufactura del nylon 66 se utiliza una sustancia derivada del benceno, la cual se encuentra en las listas de sustancias prioritarias por sus efectos carcinogénicos. En el caso del cobre se utiliza ácido sulfúrico para su obtención, el cual es tóxico tanto para la salud humana como la ambiental.

En cuanto al agotamiento mineral, esta categoría se presenta debido a la gran cantidad de cobre y otras aleaciones que se emplean para el funcionamiento del arnés. Mientras que el agotamiento de recursos fósiles se debe al uso de los diferentes termoplásticos empleados en el arnés, así como también por el consumo de energía eléctrica necesaria para llevar a cabo el proceso de manufactura.

6.5 Propuestas para mejorar el desempeño ambiental de la empresa

Tomando como referencia el diagnóstico realizado, los resultados obtenidos en el ACV y los intereses de la propia empresa, se han identificado los insumos y actividades que representan oportunidades de mejora. Considerando lo anterior, se han buscado estrategias que permitan mejorar el desempeño y perfil ambiental tanto del producto como de la propia empresa.

Este apartado muestra una serie de propuestas orientadas a disminuir los impactos ambientales en el ciclo de vida del arnés, haciendo especial énfasis en la etapa de manufactura. Con ellas se busca optimizar el uso de los insumos, alcanzar la eco-eficiencia en los diferentes procesos, así como también integrar principios de sustentabilidad en la empresa.

Es necesario recalcar que los resultados obtenidos en la evaluación de impacto ambiental solo reflejan una fracción de los impactos ambientales de la empresa, esto debido a que el arnés tipo "A" no es el único producto que ellos manufacturan. Por lo que la cantidad de insumos requeridos y los residuos generados son mucho mayores; así como también los impactos ambientales generados se magnifican. Es por esta razón que se deben tomar las medidas necesarias para no incurrir en un impacto mayor.

6.5.1 Prevención de impactos ambientales

a) Monitoreo de indicadores ambientales

El monitoreo es un sistema continuo de observación, de mediciones y de evaluaciones para propósitos definidos. Esta herramienta permite llevar a cabo un seguimiento de los indicadores ambientales de la empresa y crear un registro de ellos. A su vez dicho registro permite evaluar rápidamente la situación medioambiental de la empresa, ya que ahí se muestra si las acciones para la protección al ambiente fueron exitosas o deficientes (IHOBE, 1999). Con ello la empresa puede determinar las condiciones actuales y tendencias, así como también conocer el alcance y consecuencias que los cambios efectuados en sus procesos tienen sobre los indicadores.

Para poder llevar a cabo el programa de monitoreo ambiental es importante que la empresa defina sus indicadores ambientales, los cuales deben ser relevantes o significativos, medibles y comparables; así como también debe definir metas realistas y alcanzables. Estos indicadores y sus metas deben ser revisados y discutidos periódicamente, para verificar su cumplimiento y en caso contrario definir las nuevas acciones para lograrlas.

Por otro lado, es importante señalar que la definición de los indicadores ambientales y su seguimiento, son parte importante de los sistemas de gestión ambiental, por lo que con la implementación de un programa de monitoreo se daría cumplimiento a dicho requisito cuando se busque la certificación o re-certificación ambiental.

Para llevar a cabo el monitoreo y seguimiento de los indicadores ambientales se propone el uso de matrices y el programa computacional Microsoft Excel®, con el uso de estas

herramientas se facilitará la gestión y visualización de la información. En cuanto a los indicadores, se recomienda dar seguimiento mensual a los enunciados a continuación:

- Rendimiento de producción
- Consumo de materias primas
- Consumo eléctrico
- Consumo de agua
- Residuos peligrosos
- Residuos de manejo especial
- Residuos para reciclar

La tabla 16 muestra una propuesta de matriz para el seguimiento de los indicadores basada en la “Guía de indicadores medioambientales para la empresa” de IHOBE, Sociedad Pública de Gestión Ambiental (1999).

Tabla 11 Ejemplo de matriz para monitoreo de indicadores ambientales

Indicador ambiental	Unidad	Enero		Febrero		Marzo	
		Meta	Resultado	Meta	Resultado	Meta	Resultado
Rendimiento de producción							
Consumo de materias primas	kg						
Consumo eléctrico	KWh						
Consumo de agua	m ³						
Residuos peligrosos	kg						
Residuos de manejo especial	kg						
Residuos para reciclar	kg						

Fuente: IHOBE (1999)

b) Comunicación ambiental (educación y concientización)

Para asegurar que todos los empleados comprendan la política ambiental de la empresa, así como también las medidas que se implementan en pro del medio ambiente es importante dedicar esfuerzos en la educación ambiental de los trabajadores, de esta forma se asegura no solo el entendimiento de estos temas, sino también la generación de cambios.

Para lograr la comunicación de temas ambientales concernientes no solo a las actividades de la empresa, sino también a la comunidad, se propone la creación de un programa de difusión ambiental, con el objetivo de educar y concientizar a los trabajadores. De esta forma se asegura que la empresa capacite continuamente a su personal y a su vez estos conocimientos trasciendan más allá de las instalaciones de trabajo.

La difusión ambiental debe ser una herramienta planeada, por lo cual se sugiere la elaboración de un calendario ambiental, el cual puede estar sujetos a cambios según las necesidades de la empresa. Se recomienda que la calendarización aborde un tema por mes, y durante cada semana se difundan problemáticas, soluciones y/o consejos relacionados con la temática.

La comunicación de estos temas debe ser breve y precisa, para ello se sugiere la creación de videos, presentaciones de PowerPoint o posters. Dicho material debe difundirse a través de los distintos canales de comunicación internos que la empresa utilice tales como correo electrónico, pizarras de anuncios, etc.

c) Comité ambiental

Para asegurar que las acciones ambientales que la empresa desee implementar tengan éxito, es necesario el compromiso del cien por ciento de sus trabajadores, sin importar el área/departamento o puesto de trabajo que desempeñen. De igual forma, es necesaria la comunicación constante entre las diferentes áreas de trabajo, para asegurar que las medidas que se tomen funcionen correctamente y no interfieran con sus laborales.

Es por lo descrito anteriormente que se recomienda la creación de un comité ambiental, el cual deberá estar compuesto por al menos dos representantes por cada área o departamento que la empresa tenga. Este grupo de personas tendrán la responsabilidad de asegurar que el reglamento y política ambiental de la empresa se lleve a cabo en sus áreas de trabajo. Este grupo tendrá la obligación de reunirse periódicamente para comunicar la situación ambiental de cada departamento, pero sobre todo para revisar los indicadores ambientales y las metas planteadas en el programa de monitoreo.

6.5.2 Ahorro energético

Debido a que a la energía eléctrica utilizada en el estado de Sonora es generada a partir de combustibles fósiles, es decir recursos no renovables, la empresa ocasiona impactos ambientales indirectos, los cuales están relacionados con el uso de la electricidad, tales como agotamiento de recursos fósiles, emisiones atmosféricas, generación de gases de efecto invernadero, entre mucho más. Con el propósito de disminuir los efectos ambientales que ocasiona el uso de la energía eléctrica, se sugieren las siguientes medidas de control.

a) Sustitución parcial de la fuente de energía

Esta propuesta representa una gran inversión económica y recuperación a mediano plazo, consiste en la instalación de paneles solares para la generación de electricidad para una parte de la empresa. El consumo eléctrico semestral solo para la manufactura del arnés tipo "A" es de 16 218.1154 kWh, sin embargo, de este estimado se están excluyendo otros equipos empleados en los demás proyectos, así como tampoco considera el consumo

eléctrico de oficinas, de la iluminación o el aire acondicionado. Por lo tanto, el verdadero consumo de energía de la empresa es mucho mayor al valor empleado en la evaluación de impacto ambiental.

b) Implementación de sensores para la iluminación

Hay áreas dentro de la empresa, independientes de la manufactura de los productos, como oficinas, salas de junta, comedor y baños, que utilizan iluminación y por lo tanto representan un gasto energético. La situación de estas áreas es la siguiente, o bien cuentan con buena iluminación natural durante cierto período de la jornada laboral o, no necesitan de focos encendidos durante toda la jornada.

Para estos casos se sugiere la implementación de diferentes sensores, de tal forma que las luminarias no requieran estar encendidas durante toda la jornada laboral, o bien evitar el gasto energético debido a descuidos u olvidos al dejarlas encendidas. Uno de estos dispositivos es el sensor de presencia, el cual detecta la radiación térmica, de tal forma que cuando una persona se acerca manda una señal eléctrica que enciende los focos. Otro dispositivo con la misma función es el sensor de movimiento, la diferencia es que en lugar de activarse por la detección de radiación térmica lo hacen por el movimiento.

En ambos casos se asegura el uso de la electricidad solo cuando haya alguna persona presente. Sin embargo, aún con ellos se corre el riesgo del uso innecesario de la energía eléctrica, ya que estos solo aseguran el encendido de las luminarias cuando haya personal, independientemente, si se cuenta con buena iluminación natural o no. Es por ello que en combinación con cualquiera de los sensores anteriores se sugiere el uso sensores fotoeléctricos o crepusculares, los cuales son dispositivos que controlan el encendido de las luces tomando en consideración la iluminación del área. De esta forma se asegura el uso de la energía eléctrica sólo cuando sea necesario.

c) Buenas prácticas

La implementación de dispositivos tecnológicos no asegura el uso eficiente del recurso eléctrico, es por ello que se deben adoptar medidas de prevención y control por parte de la empresa y sus trabajadores. Es importante señalar que dichas medidas suelen ser difíciles de llevar a cabo, debido a que van orientadas a modificar los hábitos de los empleados. Por lo que su éxito dependerá, en gran medida, de la eficiencia de la comunicación interna de

la empresa, por lo que se sugiere que las buenas prácticas mostradas en este apartado formen parte de la difusión ambiental.

Las buenas prácticas sugeridas son las siguientes:

- Encender las luces solo cuando sea necesario y aprovechar al máximo la iluminación natural.
- Apagar las luces cuando no se estén usando, aun cuando sea por periodos de tiempo cortos.
- Programar el termostato del aire acondicionado a temperaturas recomendadas (entre 23°C y 25°C).
- Gestionar el consumo eléctrico de los equipos de oficina.
- Al sustituir equipo electrónico, asegurarse que estos cuenten con funciones de ahorro de energía.

6.5.3 Componentes plásticos

Los elementos plásticos que componen al arnés tipo “A” promueven el agotamiento de los recursos fósiles, y algunos, como el nylon, tienen impactos a la salud humana durante su elaboración. Si bien la empresa que manufactura dicho producto no ocasiona directamente los impactos de estos materiales, si es partícipe al demandar el uso de ellos. Es por ello que se sugiere el uso de plásticos que integren elementos ecológicos en su estructura o bien tengan una huella ecológica menor.

Por ejemplo, es posible sustituir los componentes con refuerzo de fibra de vidrio por plásticos con refuerzos de fibra natural, celulosa, cáscara de arroz, paja de trigo, entre otros (Ford, 2015).

VII. DISCUSIÓN

En la presente sección se discuten los resultados obtenidos en la evaluación de impacto ambiental, para ello se han comparado las dos metodologías empleadas en el ACV (Impact2002+ y ReCiPe Midpoint). Esto con el propósito de dar respuestas a las preguntas de investigación planteadas en el presente proyecto y conocer otros aspectos relevantes del ACV del arnés tipo “A”, tales como:

- Las diferencias entre los impactos ambientales calculados con ambas metodologías.
- El principal contribuidor a los impactos ambientales.
- La categoría de impacto ambiental más significativa.
- La actividad que genera los mayores impactos ambientales.

7.1 Impactos ambientales

Las metodologías utilizadas en la EICV cuentan con diferentes categorías de impacto ambiental, de las cuales algunas de ellas coinciden en el indicador de evaluación. Sin embargo, los valores obtenidos varían debido a que cada método de evaluación tiene sus propios factores de caracterización. La tabla 17 muestra la comparación de las categorías de impacto.

De acuerdo a los datos de la tabla 17, la categoría de impacto con los valores más altos fueron ecotoxicidad acuática con Impact2002+ y toxicidad humana con ReCiPe Midpoint. El impacto ambiental al vital líquido podría representar un grave problema para Hermosillo, Sonora, lugar donde se manufactura el producto, debido a la actual problemática del agua por la que atraviesa la ciudad.

Sin embargo, es importante señalar que la ecotoxicidad acuática no se da durante la manufactura del arnés, sino que es provocada por el uso de ciertos materiales, principalmente por el proceso de extracción y obtención del cobre. Es decir que dicho impacto es considerado indirecto o secundario al proceso de manufactura del producto, ya que no es provocado propiamente por la empresa (Conesa, 2003). Por lo anterior, se puede inferir que la ecotoxicidad acuática no es un impacto ambiental relevante durante el proceso de manufactura del arnés, sin embargo, a nivel regional e internacional representa un gran reto para la transición hacia un desarrollo sustentable.

Tabla 17 Comparación de las categorías de impacto (Impact2002+ y ReCiPe midpoint)

Impact2002+			ReCiPe Midpoint		
Categoría de impacto	Unidad	Total	Categoría de impacto	Unidad	Total
Carcinogénicos	kg C2H3Cl eq	2.97E+11	Cambio climático	kg CO ₂ eq	2.45E+12
No carcinogénicos	kg C ₂ H ₃ Cl eq	7.33E+11	Agotamiento de ozono	kg CFC-11 eq	779353.09
Inorgánicos respiratorios	kg PM _{2.5} eq	7.67E+09	Acidificación terrestre	kg SO ₂ eq	5.69E+10
Radiación ionizante	Bq C-14 eq	1.18E+13	Eutroficación de agua dulce	kg P eq	5.00E+09
Degradación de la capa de ozono	kg CFC-11 eq	641626.94	Eutroficación marina	kg N eq	1.30E+09
Orgánicos respiratorios	kg C ₂ H ₄ eq	1.79E+09	Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	7.03E+13
Eco-toxicidad acuática	kg TEG water	1.64E+15	Formación de oxidantes fotoquímicos	kg NMVOC	1.69E+10
Eco-toxicidad terrestre	kg TEG soil	6.05E+14	Formación de partículas	kg PM ₁₀ eq	1.65E+10
Terrestrial acid/nutri	kg SO ₂ eq	1.14E+11	Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	3.87E+10
Ocupación de suelo	m ² org.arable	4.25E+10	Ecotoxicidad de aguas dulces	kg 1,4-DB eq	6.92E+09
Acidificación acuática	kg SO ₂ eq	5.62E+10	Ecotoxicidad marina	kg 1,4-DB eq	4.53E+13
Eutroficación acuática	kg PO ₄ P-lim	1.52E+10	Radiación ionizante	kBq U235 eq	1.15E+11
Calentamiento global	kg CO ₂ eq	2.48E+12	Ocupación de suelos agrícolas	m ² a	1.11E+11
Energía no renovable	MJ primary	5.68E+13	Ocupación de suelos urbanos	m ² a	3.67E+10
Extracción mineral	MJ surplus	1.02E+13	Transformación de suelo natural	m ²	1.44E+08
			Agotamiento de agua	m ³	3.04E+10
			Agotamiento de metal	kg Fe eq	8.25E+12
			Agotamiento fósil	kg oil eq	1.16E+12

Fuente: Elaboración propia

Al igual que con la ecotoxicidad acuática, la categoría de impacto toxicidad humana, obtenida con ReCiPe Midpoint, se debe principalmente por el uso de cobre. Esto debido a las sustancias químicas utilizadas en la minería para su extracción.

Otros impactos con contribuciones significativas obtenidos con Impact2002+ fueron: ecotoxicidad terrestre, energía no renovable, radiación ionizante y extracción mineral. Mientras que con ReCiPe Midpoint destacan: ecotoxicidad marina, agotamiento de metal, cambio climático y agotamiento de recursos fósiles. En la gran mayoría de ellas, el principal contribuidor es el cobre, habiendo una excepción en las categorías de energía no renovable y agotamiento de recursos fósiles, los cuales se deben al uso de la electricidad y los diferentes plásticos, principalmente el polipropileno.

De acuerdo a las categorías con las contribuciones más significativas, se observan coincidencias entre ambos métodos. Una de ellas es la relación de los impactos asociados al consumo del cobre, más específicamente extracción mineral en Impact2002+ y agotamiento mineral en ReCiPe Midpoint. Estos impactos tienen gran relevancia regional debido a que la minería de cobre en Sonora es una de las principales actividades primarias, por lo que es importante gestionar de manera adecuada la actividad minera, de tal forma que sea posible continuar con sus actividades de la forma menos degradante para el ambiente y garantizar el bienestar socio-económico que la minería otorga.

Otra relación entre ambas metodologías se observa en las categorías de impacto energía no renovable y agotamiento de recursos fósiles. En ambos casos el consumo de electricidad es uno de los principales contribuidores, esto debido a que la fuente de energía eléctrica en la ciudad de Hermosillo proviene del uso de combustibles fósiles (Padilla, 2016) Por otra parte, la categoría de agotamiento de recursos fósiles de ReCiPe Midpoint también se ve afectada por el uso de los diferentes plásticos que conforman el arnés, principalmente por el polipropileno.

Para continuar con la comparación de resultados entre ambas metodologías, se decidió considerar la normalización de los datos (ver tabla 18), la cual transforma los resultados a valores adimensionales. Lo anterior con el propósito de poder comparar cada una de las categorías de impacto aun cuando ellas afecten diferentes recursos.

La comparación de resultados entre ambas metodologías ha sido para determinar la categoría más significativa en el ciclo de vida del arnés. Sin embargo, los resultados obtenidos de la EICV no es la única información a considerar, es importante tener en cuenta la situación medioambiental tanto regional como internacional para determinar cuan significativo es el impacto.

En base a lo anterior, la categoría de impacto más significativa a nivel regional es la extracción mineral para Impact2002+ o agotamiento de metal para ReCiPe Midpoint. Esto se determinó considerando que Sonora es un estado con gran actividad minera y el principal productor de cobre en México; lo que a su vez impulsa el crecimiento económico tanto del estado como del país, y de forma paralela contribuye al desarrollo social de la comunidad (Secretaría de Economía 2015).

Tabla 18 Normalización de valores (Impact2002+ y ReCiPe Midpoint)

Impact2002+		ReCiPe Midpoint	
Categoría de impacto	Total	Categoría de impacto	Total
Carcinogénicos	1.17E+08	Cambio climático	2.52E+08
No carcinogénicos	2.89E+08	Agotamiento de ozono	35382630
Inorgánicos respiratorios	7.57E+08	Acidificación terrestre	1.48E+09
Radiación ionizante	348 729.45	Eutroficación de agua dulce	1.20E+10
Degradación de la capa de ozono	94 992.868	Eutroficación marina	1.28E+08
Orgánicos respiratorios	537 489.54	Toxicidad humana	1.58E+10
Eco-toxicidad acuática	6 021 868.4	Formación de oxidantes fotoquímicos	2.98E+08
Eco-toxicidad terrestre	3.49E+08	Formación de partículas	1.11E+09
Terrestrial acid/nutri	8 646 664.7	Ecotoxicidad terrestre	2.76E+09
Ocupación de suelo	3384980.8	Ecotoxicidad de aguas dulces	5.93E+08
Acidificación acuática	0	Ecotoxicidad marina	1.79E+10
Eutroficación acuática	0	Radiación ionizante	18451052
Calentamiento global	2.50E+08	Ocupación de suelos agrícolas	24537545
Energía no renovable	3.74E+08	Ocupación de suelos urbanos	90348926
Extracción mineral	67038284	Transformación de suelo natural	8.88E+08
		Agotamiento de agua	0
		Agotamiento de metal	1.16E+10
		Agotamiento fósil	7.48E+08

Fuente: Elaboración propia

La significancia de los impactos de extracción y agotamiento mineral radica en la incertidumbre de hasta cuándo será posible mantener el crecimiento económico y desarrollo social que el sector minero ofrece, ya que los beneficios se obtienen de recursos no renovables y por lo tanto finitos (European_Commission, 2003). Es por ello que es necesario mejorar la eficacia de los procesos mineros y de esta manera aprovechar la mayor cantidad de recursos minerales. También se debe impulsar el reciclaje de estos materiales y el desarrollo de productos que puedan aprovecharlos.

En cuanto a nivel internacional, las categorías de impacto asociadas al agua y al cambio climático son las de mayor preocupación ya que obstaculizan el desarrollo sustentable. Los impactos ambientales relacionados con el agua, ecotoxicidad acuática en Impact2002+ y

ecotoxicidad marina en ReCiPe Midpoint, representan los riesgos que puede ocasionar un mal manejo de los insumos y residuos en el ciclo de vida del arnés. Estos impactos dificultan el desarrollo sustentable al afectar la calidad del agua y disminuir el volumen de este líquido apto para el consumo humano.

Respecto al cambio climático, éste ha sido identificado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA o UNEP, por sus siglas en inglés) como el principal problema ambiental y el mayor desafío que la sociedad enfrenta (UNEP 2010), es por ello que se deben de tomar las acciones necesarias para disminuir los efectos de este impacto.

7.2 Identificación del proceso con mayores impactos

En cuanto a las actividades que componen el proceso de manufactura del arnés, se llevó a cabo una comparación de sus impactos ambientales con el fin de conocer la etapa de la producción donde ocurren los mayores impactos ambientales. Dicha comparación se llevó a cabo en los métodos Impact2002+ y ReCiPe Midpoint, por lo que las actividades fueron evaluadas con las mismas categorías de impacto ambiental que se han empleado anteriormente en este ACV.

De acuerdo a los resultados de esta comparación (ver figuras 19 y 20) se puede observar que en ambos métodos la actividad de “corte y preparación”, donde se manufacturan y preparan los cables para el arnés, es la que más sobresale en la mayoría de los impactos, por lo tanto, es el proceso que más repercusiones ambientales ocasiona. Esto se debe al consumo de cobre y electricidad que se emplea en la preparación de los cables.

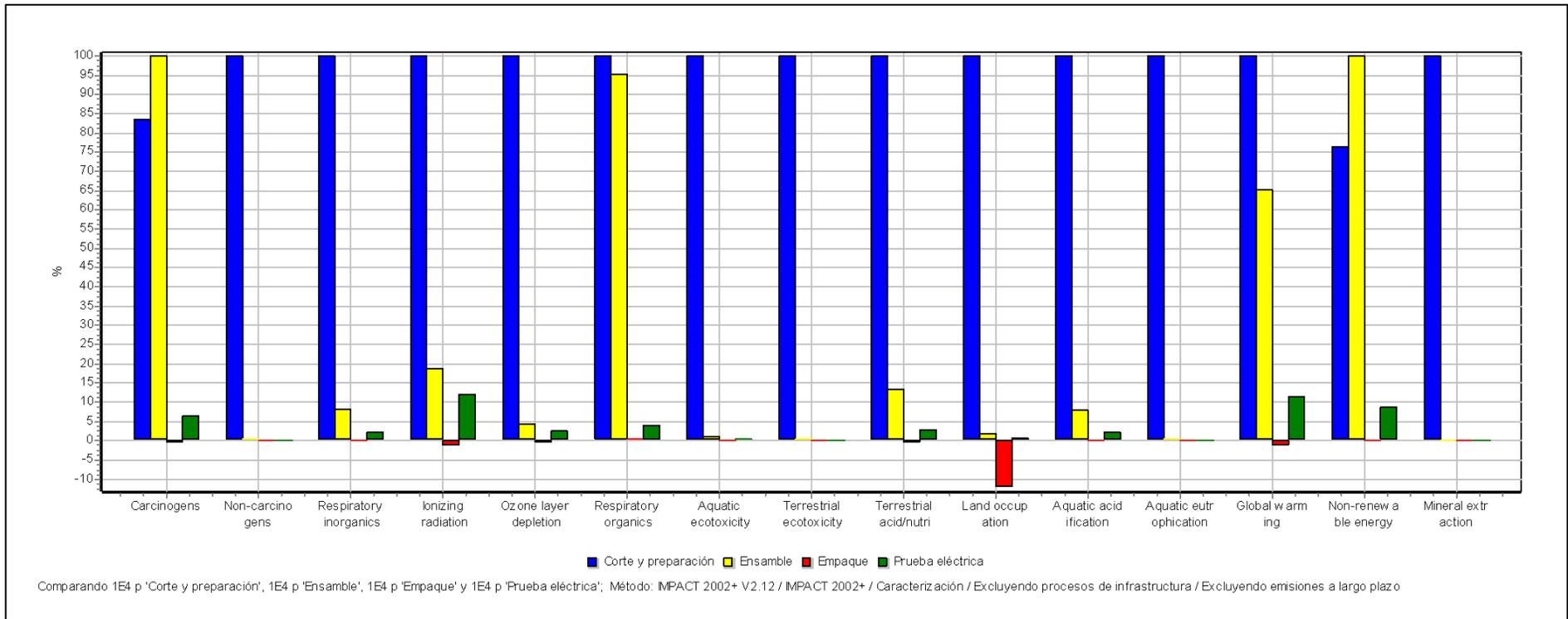


Figura 19 Comparación de las etapas del proceso de manufactura del arnés tipo "A". Método Impact2002+

Fuente: Elaboración propia

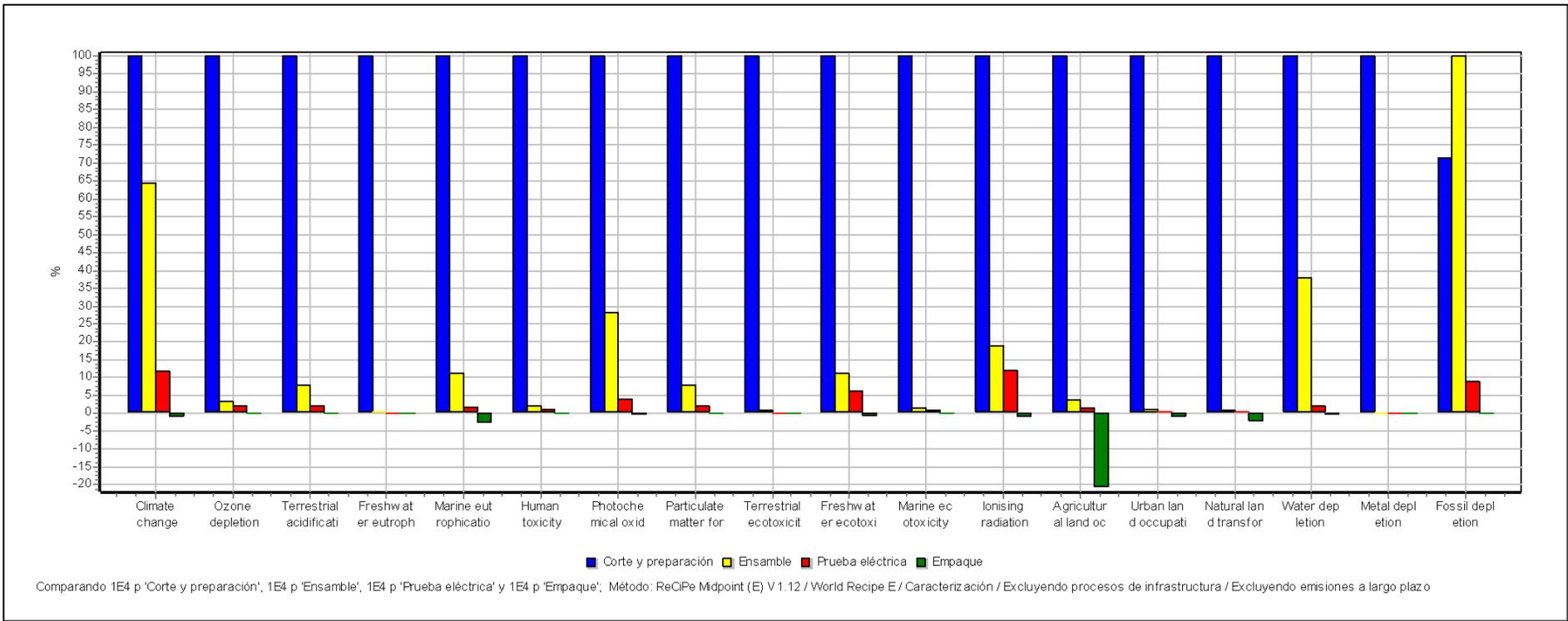


Figura 20 Comparación de las etapas del proceso de manufactura del arnés tipo "A". Método ReCiPe Midpoint.

Fuente: Elaboración propia

VIII. CONCLUSIONES

El presente ACV de la cuna a la puerta ha permitido analizar el perfil ambiental del arnés tipo "A", demostrando que al tratarse de un producto ensamblado gran parte de los impactos ambientales son provocados por la extracción u obtención de los materiales y no por el proceso de manufactura, situación que a su vez provoca que los impactos ambientales sean indirectos. Por lo que se concluye que la empresa que manufactura el arnés tiene un bajo impacto ambiental en su proceso de producción.

Para este análisis se utilizó el software SimaPro, donde se seleccionaron las metodologías Impact2002+ y ReCiPe Midpoint para la EICV, lo que permitió comparar sus resultados. A pesar de que los métodos presentan sus diferencias en algunas categorías de impacto y sus indicadores, se encontraron similitudes entre los resultados. Por lo que, de acuerdo a la evaluación realizada, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- El insumo con el mayor potencial de daño es el cobre.
- La actividad del proceso de manufactura con mayor potencial de daño es la etapa de corte y preparación.
- La categoría de daño con mayor efecto son los recursos.
- Las categorías de impacto más significativas a nivel regional son la extracción y agotamiento mineral.
- Las categorías de impacto más significativas a nivel internacional son la ecotoxicidad acuática y el cambio climático.

IX. RECOMENDACIONES

Para facilitar el ACV se recomienda tener una entrevista previa con la empresa de interés, con el fin de conocer la disponibilidad de la información sobre las entradas y salidas del sistema, así como también conocer el producto. Además, se recomienda realizar una investigación previa en las bases de datos del software a utilizar para asegurarse que todos los insumos se encuentren en el programa, de esta manera se podrán obtener mejores estimaciones. De otra forma, si un material no se encuentra en las bibliotecas del software, se tendrá que realizar una investigación sobre el material para crearlo en el programa o bien sustituirlo. Sin embargo, cualquiera de estas opciones modificará los resultados.

Es importante invertir tiempo y esfuerzo en la capacitación del uso de SimaPro®, ya que a pesar de que la interface del programa es sencilla y amigable con el usuario, durante el modelado del producto se llegan a presentar ciertas incógnitas que pueden afectar los resultados.

Otro factor que puede modificar los resultados es la información tomada de las bases de datos, y es que se debe tener presente que los valores de los inventarios de estas bibliotecas provienen de países desarrollados, por lo que esta información no refleja del todo la realidad de países en vías de desarrollo como México. Es por ello que se recomienda impulsar la creación de una biblioteca con datos obtenidos de procesos de empresas ubicadas en nuestro país, de esta forma las estimaciones de la EICV serán más exactas.

Por otro lado, como parte de la transición hacia la sustentabilidad, se recomienda enfocar los siguientes ACV en productos locales, con el fin de conocer sus perfiles ambientales y generar propuestas que puedan mejorar su ciclo de vida.

X. REFERENCIAS

- Andriankaja, H, Vallet, F, Le Duigou, J & Eynard, B 2015, 'A method to ecodesign structural parts in the transport sector based on product life cycle management', *Journal of Cleaner Production*, vol. 94, pp. 165-76.
- Apple 2014, *Responsabilidad ambiental*.
- Astrup, A, Hoffman, L & Schmidt, A 1997, *Life Cycle Assessment (LCA): A guide to approaches, experiences and information sources*.
- Barba-Gutiérrez, Y, Adenso-Díaz, B & Hopp, M 2008, 'An analysis of some environmental consequences of European electrical and electronic waste regulation', *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 52, no. 3, pp. 481-95.
- Biganzoli, L, Falbo, A, Forte, F, Grosso, M & Rigamonti, L 2015, 'Mass balance and life cycle assessment of the waste electrical and electronic equipment management system implemented in Lombardia Region (Italy)', *Science of The Total Environment*, vol. 524–525, pp. 361-75.
- Campos, LMS, de Melo Heizen, DA, Verdinelli, MA & Cauchick Miguel, PA 2015, 'Environmental performance indicators: a study on ISO 14001 certified companies', *Journal of Cleaner Production*, vol. 99, pp. 286-96.
- Carrillo-Hermosilla, J, del Río, P & Könnölä, T 2010, 'Diversity of eco-innovations: Reflections from selected case studies', *Journal of Cleaner Production*, vol. 18, no. 10–11, pp. 1073-83.
- CEGESTI n.d., *Análisis de ciclo de vida*, viewed 12/IV/2015 2015, <<http://www.comprasresponsables.org/adjuntos/AnalWoSs-Ciclo-de-Vida.pdf>>.
- Chang, D, Lee, CKM & Chen, C-H 2014, 'Review of life cycle assessment towards sustainable product development', *Journal of Cleaner Production*, vol. 83, pp. 48-60.
- Chang, Y-J, Sproesser, G, Neugebauer, S, Wolf, K, Scheumann, R, Pittner, A, Rethmeier, M & Finkbeiner, M 2015, 'Environmental and Social Life Cycle Assessment of Welding Technologies', *Procedia CIRP*, vol. 26, pp. 293-8.
- Chau, CK, Leung, TM & Ng, WY 2015, 'A review on Life Cycle Assessment, Life Cycle Energy Assessment and Life Cycle Carbon Emissions Assessment on buildings', *Applied Energy*, vol. 143, pp. 395-413.
- Collado, D, Bastante, MJ, Jordá, S, Ferrer, P & Capuz, S 2008, *ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE UNA MULTIFUNCIONAL*, <http://aeipro.com/files/congresos/2008zaragoza/ciip08_0821_0832.767.pdf>.
- Comoglio, C & Botta, S 2012, 'The use of indicators and the role of environmental management systems for environmental performances improvement: a survey on ISO 14001 certified companies in the automotive sector', *Journal of Cleaner Production*, vol. 20, no. 1, pp. 92-102.
- Dulfour, J 2011, *Análisis de ciclo de vida: Herramienta para un desarrollo sostenible*, 2/IV/2015, <<http://www.madrimasd.org/blogs/energiasalternativas/2011/07/11/131262>>.
- 'Electronic progress in materials science', 2003, *III-Vs Review*, vol. 16, no. 6, p. 23.
- Esquivel, E 2013, *La minería en México, un negocio para pocos*, <<http://www.sdpnoticias.com/columnas/2013/05/08/la-mineria-en-mexico-un-negocio-para-pocos>>.
- Estrada-Ayub, JA & Kahhat, R 2014, 'Decision factors for e-waste in Northern Mexico: To waste or trade', *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 86, pp. 93-106.
- EU-JRC-IES 2010, *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook*, First Edition edn, Publications Office of the European Union.
- Finnveden, G, Hauschild, MZ, Ekvall, T, Guinée, J, Heijungs, R, Hellweg, S, Koehler, A, Pennington, D & Suh, S 2009, 'Recent developments in Life Cycle Assessment', *Journal of Environmental Management*, vol. 91, no. 1, pp. 1-21.
- Franceschini, S & Pansera, M 2015, 'Beyond unsustainable eco-innovation: The role of narratives in the evolution of the lighting sector', *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 92, pp. 69-83.
- Gaussin, M, Hu, G, Abolghasem, S, Basu, S, Shankar, MR & Bidanda, B 2013, 'Assessing the environmental footprint of manufactured products: A survey of current literature', *International Journal of Production Economics*, vol. 146, no. 2, pp. 515-23.
- Gavilán, A, Alcántara, V & Gavilán, I 2012, *Análisis de Ciclo de Vida de las alternativas para el manejo de residuos electrónicos en México*, Universidad Autónoma de Guadalajara, <http://ameqa.org/AMEQA/V_congreso_memorias/EXTENSOS/EXT%20GA03.pdf>.
- Gavilán, A, Cano, F & Alcántara, V 2013, *Estudio de Análisis de Ciclo de Vida de computadoras al término de su vida útil*, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, <http://www.inecc.gob.mx/descargas/sqre/2013_acv_computadoras.pdf>.
- Geibig, JR, Soclof, ML & EPA 2005, *Solders in electronics: A life cycle assessment summary*, EPA, <http://www2.epa.gov/sites/production/files/2013-12/documents/lead_free_solder_lca_summary.pdf>.
- Giraldí, M 2013, 'El análisis de ciclo de vida', in *La ecología industrial en México*, Primera edición edn, pp. 93-115.

- Guinée, JB, Gorrée, M, Heijungs, R, Huppes, G, Kleijn, R, Koning, AD, Oers, LV, Wegener, A, Suh, S, Udo De Haes, HA, Bruijn, HD, Duin, RV & Huijbregts, MAJ 2002, *Handbook on Life Cycle Assessment Operational Guide to the ISO Standards*, KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS.
- Heijungs, R, Huppes, G & Guinée, JB 2010, 'Life cycle assessment and sustainability analysis of products, materials and technologies. Toward a scientific framework for sustainability life cycle analysis', *Polymer Degradation and Stability*, vol. 95, no. 3, pp. 422-8.
- Herrmann, IT & Moltesen, A 2015, 'Does it matter which Life Cycle Assessment (LCA) tool you choose? – a comparative assessment of SimaPro and GaBi', *Journal of Cleaner Production*, vol. 86, pp. 163-9.
- Hong, J & Li, X 2012, 'Environmental assessment of recycled printing and writing paper: A case study in China', *Waste Management*, vol. 32, no. 2, pp. 264-70.
- Hong, J, Shi, W, Wang, Y, Chen, W & Li, X 2015, 'Life cycle assessment of electronic waste treatment', *Waste Management*, vol. 38, pp. 357-65.
- ifu-Hamburg 2015, *Life Cycle Assessment (LCA) and Environmental Product Declaration (EPD) with professional software*, viewed 02/05/2015 2015.
- IHOBE, SPdGAdB, España. 2009, *Análisis del ciclo de vida y huella de carbono*, Primera edn.
- ISM, ISdMA n.d., *Material didáctico: Metodologías de Análisis del Ciclo de Vida. Herramientas de software para ACV*.
- ISO14040 2006, *Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia*.
- Keller, H, Rettenmaier, N & Reinhardt, GA 2015, 'Integrated life cycle sustainability assessment – A practical approach applied to biorefineries', *Applied Energy*.
- Kiddee, P, Naidu, R & Wong, MH 2013, 'Electronic waste management approaches: An overview', *Waste Management*, vol. 33, no. 5, pp. 1237-50.
- Kumar, MA, Singh, MT, Verma, MA & Liu, Y 2014, 'Life Cycle Assessment of Wireless BTS to Reduce Carbon Footprints', *Energy Procedia*, vol. 52, pp. 120-5.
- LEONI N.D.-a, *CU-ETP1*, viewed 9/V/2016 2016, <<https://www.leoni-special-conductors.com/en/competence-service/cu-etp-cu-of/>>.
- N.D.-b, *LEONI Histral® High strength alloys*, viewed 20/V/2016 2016, <<https://www.leoni-special-conductors.com/en/>>.
- Li, J, Zhang, Y, Shao, S & Zhang, S 2015, 'Comparative life cycle assessment of conventional and new fused magnesia production', *Journal of Cleaner Production*, vol. 91, pp. 170-9.
- Liu, CH, Lin, SJ & Lewis, C 2010, 'Life cycle assessment of DRAM in Taiwan's semiconductor industry', *Journal of Cleaner Production*, vol. 18, no. 5, pp. 419-25.
- Lu, B, Li, B, Wang, L, Yang, J, Liu, J & Wang, XV 2014, 'Reusability based on Life Cycle Sustainability Assessment: Case Study on WEEE', *Procedia CIRP*, vol. 15, pp. 473-8.
- Macauley, M, Palmer, K & Shih, J-S 2003, 'Dealing with electronic waste: modeling the costs and environmental benefits of computer monitor disposal', *Journal of Environmental Management*, vol. 68, no. 1, pp. 13-22.
- Martínez, E, Blanco, J, Jiménez, E, Saenz-Díez, JC & Sanz, F 2015, 'Comparative evaluation of life cycle impact assessment software tools through a wind turbine case study', *Renewable Energy*, vol. 74, pp. 237-46.
- Martínez-Blanco, J, Lehmann, A, Muñoz, P, Antón, A, Traverso, M, Rieradevall, J & Finkbeiner, M 2014, 'Application challenges for the social Life Cycle Assessment of fertilizers within life cycle sustainability assessment', *Journal of Cleaner Production*, vol. 69, pp. 34-48.
- Minería_Responsable 2016, *La importancia de la minería en México*, Suplementos Corporativos - M.M.G. Communications, Inc., <<http://www.industriamineramexicana.com/tag/pib/>>.
- Motorola 2012, *Products and environment*, viewed 11/V/2015 2015, <<http://www.motorola.com/us/corporate-environment-green-by-design.html>>.
- Ng, R, Yeo, Z, Low, JSC & Song, B 2015, 'A method for relative eco-efficiency analysis and improvement: case study of bonding technologies', *Journal of Cleaner Production*.
- Nieto, C 2015, *Manejo de residuos tecnológicos: ¿Por el ambiente o el dinero? (Parte I)*, viewed 08/VII/2015 2015, <<http://revolucionrespuntocero.com/?s=Manejo+de+residuos+tecnol%C3%B3gicos%3A+%C2%BFP+or+el+ambiente+o+el+dinero%3F+%28Parte+I%29>>.
- O Ecotextiles, n 2012, *Nylon 6 and Nylon 6,6*, viewed 28/VIII/2016 2016, <<https://oecotextiles.wordpress.com/2012/06/05/nylon-6-and-nylon-66/>>.
- Ochiai, I 1996, 'Environmental protection in the electronic and electrical industries', *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 59, no. 3, pp. 233-8.
- Padilla, VR 2016, 'INDUSTRIA ELÉCTRICA EN MÉXICO: TENSIÓN ENTRE EL ESTADO Y EL MERCADO', *Problemas del Desarrollo*, vol. 47, no. 185, pp. 35-57.
- Perkins, DN, Brune Drisse, M-N, Nxele, T & Sly, PD 2014, 'E-Waste: A Global Hazard', *Annals of Global Health*, vol. 80, no. 4, pp. 286-95.
- Pre-Sustainability 2015, *SimaPro LCA Software*, viewed 02/05/2015 2015, <<http://www.pre-sustainability.com/>>.

- Rajaroo, R, Sahajwalla, V, Cayumil, R, Park, M & Khanna, R 2014, 'Novel Approach for Processing Hazardous Electronic Waste', *Procedia Environmental Sciences*, vol. 21, pp. 33-41.
- Ramasamy, SV, Titchener-Hooker, NJ & Lettieri, P 2015, 'Life cycle assessment as a tool to support decision making in the biopharmaceutical industry: Considerations and challenges', *Food and Bioproducts Processing*, vol. 94, pp. 297-305.
- Romero, B 2003, *El análisis del ciclo de vida y la gestión ambiental*, Boletín IIE, <<http://bvsalud.org/portal/resource/es/rep-28266>>.
- Román, G 2007, *Diagnóstico sobre la generación de residuos electrónicos en México*, Instituto Politécnico Nacional.
- Russell-Smith, SV & Lepech, MD 2015, 'Cradle-to-Gate Sustainable Target Value Design: Integrating Life Cycle Assessment and Construction Management for Buildings', *Journal of Cleaner Production*.
- SAIC, SAIC 2006, *US EPA Life Cycle Assessment: Principles and Practice*, <<http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockkey=P1000L86.txt>>.
- Sanes, A 2012, 'El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) en el desarrollo sostenible: Propuesta metodológica para la evaluación de la sostenibilidad de sistemas productivos.', Universidad Nacional de Colombia.
- Santos, T, Romano, D, Gadea, R & ISTAS 2010, *Trade Union Priority List for REACH Authorisation*, Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS), ISBN: 978-84-613-0098-3, <<http://www.istas.net/web/abreenlace.asp?idenlace=7986>>.
- Secretaría de Economía 2015, *Sonora en la Minería*, viewed 07/XI/2016 2016, <<http://www.economiasonora.gob.mx/portal/minero>>.
- Sepe, M 2012, 'PBT and PET Polyester: The Difference Crystallinity Makes', *Plastics Technology Magazine*, no. October 2012.
- Simonen, K 2014, *Life Cycle Assessment*, Routledge, 2014, 1317697367, 9781317697367.
- Song, Q & Li, J 2014, 'Environmental effects of heavy metals derived from the e-waste recycling activities in China: A systematic review', *Waste Management*, vol. 34, no. 12, pp. 2587-94.
- Song, Q, Wang, Z, Li, J & Zeng, X 2012, 'Life cycle assessment of TV sets in China: A case study of the impacts of CRT monitors', *Waste Management*, vol. 32, no. 10, pp. 1926-36.
- Sony 2011, *Sustainability report*.
- Stamp, A, Althaus, H-J & Wäger, PA 2013, 'Limitations of applying life cycle assessment to complex co-product systems: The case of an integrated precious metals smelter-refinery', *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 80, pp. 85-96.
- Sánchez Crispín, A & Enríquez-Denton, FJ 1996, 'La producción de cobre en el mundo y sus rasgos territoriales básicos en México a fines del siglo XX', *Ería. Revista Cuatrimestral de Geografía*, vol. 41, pp. 213-26.
- Tekwawa, M, Miyamoto, S & Inaba, A 1997, 'Life cycle assessment; an approach to environmentally friendly PCs', paper presented to Electronics and the Environment, 1997. ISEE-1997., Proceedings of the 1997 IEEE International Symposium on, 5-7 May 1997.
- Thinkstep-GaBi 2015, *GaBi Software*, viewed 01/05/2015 2015, <<http://www.gabi-software.com/mexico/index/>>.
- Tsydenova, O & Bengtsson, M 2011, 'Chemical hazards associated with treatment of waste electrical and electronic equipment', *Waste Management*, vol. 31, no. 1, pp. 45-58.
- Twenergy 2014, *Ciclo de vida de producto*, viewed 2/II/2015 2015, <<http://twenergy.com/a/ciclo-de-vida-de-producto-1398>>.
- UBA 2011, *Conceptualización de la industria electrónica en la perspectiva del 2011 - Anexo I*, viewed 30/07/2015 2015, <http://www.uba.ar/archivos_secyt/image/Industria%20Electr%C3%B3nica%20%20ANEXO1.PDF>.
- UNEP 2010, *Climate change*.
- van Hoof, B 2008, 'La herramienta de análisis de ciclo de vida', in Alfaomega (ed.), *Producción más limpia. Paradigma de gestión ambiental*, p. 300.
- Vasan, A, Sood, B & Pecht, M 2014, 'Carbon footprinting of electronic products', *Applied Energy*, vol. 136, pp. 636-48.
- Wang, F, Huisman, J, Stevels, A & Baldé, CP 2013, 'Enhancing e-waste estimates: Improving data quality by multivariate Input–Output Analysis', *Waste Management*, vol. 33, no. 11, pp. 2397-407.
- Weidema, B, Wenzel, H, Petersen, C & Hansen, K 2004, *The Product, Functional Unit and Reference Flows in LCA*, Danish ministry of the environment, Environmental News.
- Zhou, Z, Jiang, H & Qin, L 2007, 'Life cycle sustainability assessment of fuels', *Fuel*, vol. 86, no. 1–2, pp. 256-63.

ANEXO 01

Entradas del sistema

Tipo de material	Recurso	Cantidad por arnés	Peso (Kg)	Cantidad para UF	Peso total (Kg)
Cobre catódico (CU-ETP1)	Cables de diferentes calibres	ND	0.1615	ND	NA1615
Aleación de cobre (CuZn ₃₀)	Grapa/Remache A	2	0.001918	20 000	38.35
Aleación estaño-bronce (CuSn ₄)	Terminales	4	0.001792	40 000	71.68
Tubos de silicón	Tubing A	2	0.000344	20 000	6.88
	Tubing B	3	0.000285	30 000	8.55
Cinchos de polipropileno	Cincho negro	2	0.002	20 000	40
	Cincho blanco	8	0.04	80 000	3200
	Cincho metálico	3	0.002624	30 000	78.72
Tereftalato de polibutileno con 20% de fibra de vidrio (PBT – GF20)	Cover negro	1	0.00719	10 000	71.9
Tereftalato de polibutileno con 15% de fibra de vidrio (PBT – GF15)	Cover azul	1	0.0039	10 000	39
	Conector 18 vías	1	0.0017	10 000	17
	Conector 36 vías	1	0.0028	10 000	28
	Conector 3 vías	1	0.000315	10 000	3.15
Nylon 66	Conector 5 vías	1	0.000176	10 000	1.76
	Conector/Stepper	1	0.0002	10 000	2
	Conector 6 vías	1	0.000422	10 000	4.22
	Cuña 9 vías	1	0.000169	10 000	1.69
	Conector 9 vías	1	0.000549	10 000	5.49
	Cuña 3 vías	1	0.000105	10 000	1.05
Nylon 66 con fibra de vidrio (6Nylon G.F.)	Cuña 5 vías	1	0.00047	10 000	4.7
	Cuña 6 vías	1	0.000138	10 000	1.38
	Conector blanco	1	0.002	10 000	20
Tereftalato de polibutileno (PBT)	Conector 2 vías negro	1	0.0024	10 000	24
	Conector 2 vías amarillo	1	0.003	10 000	30
	Conector 14 vías	1	0.001	10 000	10
	Polipropileno	Soporte	1	0.0180	10 000
	Etiqueta	1	0.00003	10 000	0.33
Cartón corrugado reciclado	Caja	1 pieza por cada 16 arneses	0.4310	625	269.375
Poliétileno de baja densidad	Bolsa	1	0.0044375	10 000	44.375

Fuente: Elaboración propia