



Tesis para obtener el grado de
Maestría en Ciencias e Ingeniería Ambientales

**“Análisis de ciclo de vida de cubrebocas
reutilizables y de un solo uso”**

Presenta

Ing. Tecorralco Bobadilla Ana Laura

Asesoras

Dra. Alethia Vázquez Morillas
Departamento de Energía

Dra. Perla Xochitl Sotelo Navarro
IxM CONACyT-CINVESTAV

Enero 2023

Sinodales

1. Dra. Perla Xochitl Sotelo Navarro

IxM CONACYT-CINVESTAV-IPN-ZACATENCO

Experta en gestión de residuos sólidos, principalmente en pañales y productos higiénicos. Su investigación central es respecto a las biorrefinerías en México, evaluando su análisis de ciclo de vida (ACV) para determinar impactos ambientales y socioeconómicos. Sus líneas de trabajo incluyen el tratamiento de pañales, para la obtención de biocombustibles y mediante composteo, así como la economía circular de residuos.

2. M. C. e Ing. Griselda González Cardoso

UAM-Azcapotzalco

Experta en emisiones atmosféricas procedentes de quema de residuos agrícolas, crematorios urbanos y residuos sólidos urbanos. Sus líneas de investigación incluyen los sistemas de gestión ambiental; auditorías ambientales; análisis de ciclo de vida; análisis de riesgo; huella de carbono; inventarios de gases de efecto invernadero; planes de manejo de residuos; y factores de emisión de contaminantes de fuentes fijas.

3. Dr. Carlos Escamilla Alvarado

UANL- Facultad de Ciencias Químicas

El tema central de su investigación son las biorrefinerías, enfocado en los rubros de producción de biocombustibles a partir de biomasa, obtención de bioproductos de interés industrial y uso de los residuos orgánicos abundantes como sustrato. Experto en análisis de ciclo de vida de temas relacionados con su investigación principal, evaluación de impacto ambiental y desarrollo de procesos sustentables.

4. Dra. Samantha E. Cruz Sotelo

UABC-Facultad de Ingeniería

Ingeniero en Computación, Maestra en Ingeniería y Doctora en Ingeniería, por la UABC. Es Miembro de la Red Iberoamericana de Ingeniería en Saneamiento Ambiental (REDISA) en la línea investigación Aplicaciones ACV (Análisis de Ciclo de Vida) y Herramientas de Inteligencia Artificial aplicada a la gestión de residuos. Experta en gestión de residuos sólidos urbanos y aplicaciones de inteligencia artificial. Sus líneas de investigación actuales son en gestión de residuos electrónicos, microplásticos, economía circular y análisis de ciclo de vida en residuos sólidos.

“Los científicos pueden plantear los problemas que afectarán al medio ambiente con base en la evidencia disponible, pero su solución no es responsabilidad de los científicos, es de toda la sociedad”

Mario Molina. Premio Nobel de Química

Resumen

La pandemia que inició en 2020, como consecuencia de la propagación del virus SARS-CoV-2 que provoca la enfermedad COVID-19, significó un reto para la producción de equipo de protección personal para evitar el contagio. El uso de cubrebocas fue una de las medidas que emitió la Organización Mundial de la Salud. La obligatoriedad de su uso para tener acceso a distintos espacios propició el incremento en su fabricación y venta. Este hecho dio pauta a la producción de diferentes tipos de cubrebocas, por lo que actualmente existe en el mercado una variedad de ellos. Las características que pueden diferenciarlos incluyen, el número de capas que puede tener, la eficiencia de filtración y el material de fabricación que puede ser polipropileno tejido o no tejido, o tela de algodón. Una característica muy relevante es el hecho de que el cubrebocas sea reutilizable o desechable.

Se aplicó la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) a un cubrebocas reutilizable y uno desechable, en ambos casos se identificaron etapas a considerar en la evaluación, así como las entradas y salidas de materia prima y energía. Las etapas incluidas en el análisis comprenden desde la adquisición de materias primas hasta el fin de vida en relleno sanitario, es decir, de la cuna a la tumba. Las principales fuentes de información fueron las empresas productoras de cada uno de estos cubrebocas.

Cabe mencionar que se realizaron de forma independiente los análisis de ciclo de vida de ambos tipos de cubrebocas, sin existir una comparación entre ellos por la confidencialidad que se estableció con las empresas que se denominaron A y B.

Para ambos casos se definió la unidad funcional como la protección de las vías respiratorias con 95 % de eficiencia de filtración bacteriana durante 12 horas al día, por 20 días.

Con respecto al cubrebocas reutilizable, se estableció el flujo de referencia de un cubrebocas reutilizable para 20 días. La etapa de producción es la que presenta la principal contribución en todas las categorías de impacto, esto es atribuido a la deshidratación del gas natural, el cual está asociado de manera indirecta en el ICV por las aplicaciones que tiene, tales como la producción de combustible para transporte, la transformación de polímeros, y la producción de energía eléctrica.

De manera particular el uso del antibacterial, el cual está elaborado a base de sales de plata, es la entrada que tiene la principal contribución negativas en los impactos ambientales en la etapa

de producción, misma que se asocia a la ecotoxicidad de agua dulce, que es la categoría de mayor impacto ambiental.

En el caso del cubrebocas desechable, se estableció el flujo de referencia de 20 cubrebocas desechables para 20 días. De la misma manera que el cubrebocas reutilizable, la producción es la principal etapa de impacto ambiental, que se presenta en 10 de 18 categorías; la principal contribución a las categorías de impacto está atribuida a la extracción del gas natural, que está asociado de manera indirecta en el ICV por las actividades en las que se aplica, como la producción de combustibles que se utilizan en el transporte terrestre y marítimo.

En la etapa de producción, el proceso de adquisición de materias primas es el que presenta la principal contribución al ACV, lo que puede ser asociado a los procesos indirectos de la producción de polímeros y sus emisiones que afectan a la toxicidad humana que es la categoría de impacto que tiene la principal contribución

En ambos tipos de cubrebocas se realizó un análisis de sensibilidad, en el que fue posible observar para ambos casos que se puede disminuir la cantidad de materia prima; como en el cubrebocas reutilizable que se disminuyó 5 % la cantidad de antibacterial que se utiliza y es el que tiene la mayor contribución, en el caso del desechable se disminuyó 10 % la cantidad de tela (principal contribuyente del ciclo de vida) que se usa sin alterar la función de protección de ambos EPP y por consiguiente se ve reflejado en una disminución de los impactos ambientales en ambos casos.

De manera general en ambos casos la etapa de producción es la que tiene la mayor proporción de impactos asociados, lo que se opone a la hipótesis de este trabajo donde se propuso que la extracción de materias primas era la que tendría la principal contribución. Sin embargo, algunos procesos asociados al ICV como la extracción de otros materiales por ejemplo el gas natural y petróleo para producción de polímero y algunos minerales, sí figuran en diferentes categorías de impacto como los principales procesos de contribución.

Abstract

The pandemic that started in 2020, because of the spread of the SARS-CoV-2 virus that causes the disease COVID-19, posed a challenge to the production of personal protective equipment to prevent contagion. The use of face masks was one of the measures issued by the World Health Organisation. The compulsory use of coverings to gain access to different areas led to an increase in their manufacture and sale. This fact led to the production of different types of face masks so that a variety of different types are now available on the market. Characteristics that can differentiate them include the number of layers they can have, the filtration efficiency, and the material of manufacture, which can be woven or non-woven polypropylene or cotton fabric. A very relevant feature is the fact that the face mask is reusable or disposable.

The Life Cycle Assessment (LCA) methodology was applied to a reusable and a disposable face mask, in both cases stages to be considered in the assessment were identified, as well as the inputs and outputs of raw materials and energy. The stages included in the analysis range from the acquisition of raw materials to the end of life in a landfill, i.e. from cradle to grave. The main sources of information were the companies producing each of these face masks.

It is worth mentioning that the life cycle analyses of both types of face masks were carried out independently, with no comparison between them due to the confidentiality that was established with the companies, which were called A and B.

For both cases, the functional unit was defined as airway protection with 95% bacterial filtration efficiency for 12 hours per day for 20 days.

Regarding the reusable face mask, the reference flow of a reusable face mask is established for 20 days. The production stage is the one that presents the main contribution in all impact categories, this is attributed to the dehydration of natural gas, which is indirectly associated with the ICV due to its applications, such as fuel production. for transport, the transformation of polymers, and the production of electrical energy.

The use of antibacterial, which is made from silver salts, is the input that has the main negative contribution to environmental impacts at the production stage, which is associated with freshwater ecotoxicity, the category with the highest environmental impact.

In the case of disposable face masks, the reference flow of 20 disposable face masks for 20 days was established. In the same way as the reusable face mask, production is the main stage of environmental impact, which is presented in 10 of 18 categories; the main contribution to the impact categories is attributed to the extraction of natural gas, which is indirectly associated with the ICV due to the activities in which it is applied, such as the production of fuels used in land and sea transport.

In the production stage, the raw material acquisition process is the main contributor to the LCA, which can be associated with the indirect processes of polymer production and its emissions affecting human toxicity, which is the impact category that has the main contribution.

A sensitivity analysis was carried out for both types of face masks, in which it was possible to observe for both cases that the amount of raw material can be reduced; as in the case of the reusable face mask, the amount of antibacterial used was reduced by 5 %, which is the one with the greatest contribution, and in the case of the disposable one, the amount of fabric (main contributor to the life cycle) used was reduced by 10 % without altering the protective function of both PPE and therefore is reflected in a reduction of the environmental impacts in both cases.

Overall, in both cases, the production stage has the highest proportion of associated impacts, which is contrary to the hypothesis of this work where the extraction of raw materials was proposed to be the main contributor. However, some processes associated with LCI such as the extraction of other materials e.g. natural gas and oil for polymer production and some minerals are listed in different impact categories as the main contributing processes.

Agradecimientos

De manera sincera doy las gracias a las personas, empresas y entidades que han colaborado en el desarrollo de esta tesis, y sin las que esto no habría sido posible, de tal forma que es importante mencionar a:

Mis asesoras y grandes investigadoras: Dra. Alethia Vázquez Morillas y Dra. Perla Xochitl Sotelo Navarro, por aceptar y confiar en el desarrollo de este tema, por la dedicación y apoyo que me brindan, la guía y paciencia que me ofrecen, por sus correcciones e impulsarme a mejorar constantemente, son un gran ejemplo de trabajo, compromiso y rectitud, me han apoyado mucho no solo en el ámbito académico, también personal.

A la Universidad Autónoma Metropolitana, por haberme proporcionado excelentes docentes y herramientas para estudiar este posgrado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca No. 1021307 otorgada para la realización de mis estudios de posgrado.

A las Empresas A y B, por confiar y permitirnos entrar a sus instalaciones para conocer a detalle su proceso de fabricación, así como su información confidencial, sin ellas no habría sido posible desarrollar esta tesis.

Al área de Tecnologías Sustentables, que me ha acogido, me apoya en todo aspecto y me brinda los recursos necesarios; M. en C. Margarita Beltrán, Dr. Juan Carlos Álvarez, Dra. Rosa María Espinosa, M. en C Griselda González, Dr. Israel Labastida y Dra. Maribel Velasco.

A los alumnos que me apoyaron: Alejandro, Tonalli, Pauline, Paulina y Karen.

Al personal del Centro de Acopio, por su loable apoyo al separar los residuos que se usaron en esta tesis; Sr. Leopoldo, Sr. Francisco e Ing. Rubí Escamilla.

Se agradece a la cátedra 492. Políticas públicas, prospectivas y sustentabilidad de biorrefinerías en México a cargo de la IxM Dra. Perla Xochitl Sotelo Navarro.

Dedicatoria

A mi madre: Artemia

A quien le dedico con todo mi amor y cariño esta tesis, quien ha sido mi pilar para siempre continuar, me siento muy dichosa y orgullosa de tenerla a mi lado, agradecida por la confianza que me da, por creer en mí. Gracias a todo el apoyo que me da es que he podido tener éxitos.

A mi padre: Carmelo

Quien físicamente ya no está conmigo, pero siempre lo he de recordar, porque a cada paso que doy él va a mi lado.

A mi hermano: Iván

Con sus palabras siempre me alienta y me hace sentir segura con su apoyo y bondad, que sin importar la distancia siempre está presente en mi vida.

A Juan Bobadilla, mi tío

Con quién muchas veces platicué sobre este momento, quien me incitaba a continuar estudiando, la persona con la que podía tener una conversación de un sinfín de temas y que siempre estaba para mí, me apoyaba y cuidaba, pero que físicamente ya no puede acompañarme en este momento.

A mi familia

Principalmente a tíos Flor, Hilario, Alejandro y Cecilia, siempre me dan palabras de aliento para continuar, son mis personas favoritas por el ánimo y la alegría que los caracteriza, la complicidad y apoyo que tenemos.

A mis amigos

Que son como mi familia, Xóchitl D., José Luis T, Iván G., Rubí E., Angelo J., Graciela N. y sus respectivas familias que me han recibido como un miembro más de ella. Su apoyo ha sido invaluable y los momentos son muy amenos con ellos.

Contenido

Resumen.....	i
Abstract.....	iii
Agradecimientos.....	v
Dedicatoria.....	vi
Índice de tablas.....	xi
Índice de figuras.....	xiii
1. Introducción.....	1
2. Marco teórico.....	3
2.1. La pandemia del SARS-CoV-2.....	3
2.2. Uso de cubrebocas.....	4
2.2.1. Cubrebocas de un solo uso.....	6
2.2.2. Cubrebocas reutilizables.....	7
2.2.3. Presencia y efectos de los cubrebocas en el ambiente.....	11
2.3. Análisis de Ciclo de Vida.....	12
2.3.1. Fases del Análisis de Ciclo de Vida.....	14
2.3.2. Software para Análisis de Ciclo de Vida.....	22
2.3.2.1. SimaPro.....	22
2.3.3. Metodologías para Análisis de Ciclo de Vida.....	23
2.3.3.1. ReCiPe.....	25
3. Antecedentes.....	29
3.1. ACV de cubrebocas.....	29
3.2. ACV de materiales con los que se elaboran cubrebocas de un solo uso y reutilizables...	30
4. Justificación.....	34
5. Pregunta de investigación.....	35
6. Hipótesis.....	35
7. Objetivos.....	35
7.1. Objetivo general.....	35

7.2. Objetivos particulares	35
8. Metodología.....	36
8.1. Aplicación y validación de encuesta	36
8.2. Definición de las fronteras	37
8.2.1. Alcance de estudio	37
8.2.2. Unidad funcional.....	37
8.2.3. Límites del sistema.....	37
8.3. Inventario del ciclo de vida (ICV)	38
8.4. Evaluación de los impactos del ciclo de vida (EICV).....	39
8.5. Interpretación de resultados	39
8.6. Análisis de sensibilidad.....	40
8.7. Otras metodologías	40
9. Resultados y discusión	41
9.1. Aplicación de encuesta.....	41
9.2. ACV de cubrebocas reutilizable	43
9.2.1. Definición de las fronteras y alcance	43
9.2.1.1. Unidad funcional y flujo de referencia.....	44
9.2.2. Inventario del ciclo de vida (ICV)	44
9.2.3. Evaluación e interpretación de los impactos del ciclo de vida (EICV)	55
9.2.3.1. Evaluación de impactos ambientales con ReCiPe.....	55
9.2.3.2. Análisis de sensibilidad	65
9.2.3.3. Aplicación de otras metodologías de evaluación de impacto.....	69
9.2.3.4. Comparación con la literatura.....	72
9.3. ACV de cubrebocas de un solo uso	73
9.3.1. Definición de las fronteras y alcance.....	73
9.3.1.1. Unidad funcional y flujo de referencia.....	73
9.3.2. Inventario del ciclo de vida (ICV)	74

9.3.3. Evaluación e interpretación de los impactos del ciclo de vida (EICV)	83
9.3.3.1. Evaluación de impactos con ReCiPe.....	83
9.3.3.2. Análisis de sensibilidad	93
9.3.3.3. Aplicación de otras metodologías de evaluación de impacto.....	96
9.3.3.4. Comparación con la literatura.....	100
10. Conclusiones	101
Referencias	104
Productos de trabajo	115
Anexos	120
A. Encuesta “Uso de cubrebocas”	120
B. ICV detallado.....	123
B.1. ICV de cubrebocas reutilizable	123
B.2. ICV de cubrebocas desechable	129
C. Gas Natural	133
D. Métodos.....	136
D.1. ReCiPe	136
D.2. CML IA base line	138
D.3. IMPACT World + Midpoint	139

Índice de tablas

Tabla 2.1. Consejos para seleccionar un cubrebocas	4
Tabla 2.2. Beneficios y desventajas del uso continuo de cubrebocas.....	5
Tabla 2.3. Cubrebocas de un solo uso y sus características	6
Tabla 2.4. Características de materiales con los que se elabora un cubrebocas reutilizable	8
Tabla 2.5. Eficiencia de filtración de cubrebocas y recomendaciones	9
Tabla 2.6. Cubrebocas reutilizables comerciales en el mercado de México	10
Tabla 2.7. Subetapas del ciclo de vida de un producto.....	21
Tabla 2.8. Metodologías empleadas para evaluar impactos ambientales	24
Tabla 2.9. Categorías de impacto en la metodología ReCiPe.....	26
Tabla 3.1. Estudios de caso de Análisis de Ciclo de Vida de cubrebocas	29
Tabla 3.2. Casos de estudio de ACV de materiales empleados para elaborar cubrebocas, aplicados en otros productos.....	31
Tabla 9.1. Descripción simplificada del inventario del ciclo de vida de cubrebocas reutilizable .	47
Tabla 9.2. Requisitos de calidad de datos del cubrebocas reutilizable	52
Tabla 9.3. Evaluación de impactos en el ciclo de vida de un cubrebocas reutilizable con base en el flujo de referencia	56
Tabla 9.4. Contribución en cada categoría de impacto del ACV del cubrebocas reutilizable	63
Tabla 9.5. Comparación de resultados con diferentes metodologías.....	71
Tabla 9.6. Comparación de impactos ambientales entre la bibliografía y este trabajo	72
Tabla 9.7. Descripción del inventario del ciclo de vida de cubrebocas desechable.....	76
Tabla 9.8. Requisitos de calidad de datos del cubrebocas de un solo uso	80
Tabla 9.9. Evaluación de impactos en el Ciclo de Vida de 20 cubrebocas reutilizables con base en el flujo de referencia	84
Tabla 9.10. Contribución a cada categoría del ACV del cubrebocas de un solo uso	91
Tabla 9.11. Comparación de resultados con diferentes metodologías.....	99

Tabla 9.12. Comparación de impactos ambientales entre la bibliografía y este trabajo 100

Tabla B.1. Inventario del ciclo de vida de cubrebocas reutilizable 123

Tabla B.2. Inventario del ciclo de vida de cubrebocas desechable 129

Índice de figuras

Figura 2.1. Fases del Análisis del Ciclo de Vida.	14
Figura 2.2. Procedimiento para el análisis de inventario.....	17
Figura 2.3. Consideraciones para relacionar los resultados del ICV con indicadores de impacto	18
Figura 2.4. Elementos opciones de la EICV	19
Figura 2.5. Relación entre elementos de la interpretación y otras fases del ACV19	
Figura 8.1. Diagrama de flujo de la metodología del análisis de ciclo de vida.....	36
Figura 9.1. Tipo de tela de cubrebocas reutilizable.....	41
Figura 9.2. Tipo de cubrebocas desechables usados.....	42
Figura 9.3. Diferentes formas de desechar los cubrebocas	43
Figura 9.4. Cubrebocas reutilizable a) Cara externa b) Cara interna	44
Figura 9.5. Diagrama de flujo del ciclo de vida de un cubrebocas reutilizable	45
Figura 9.6. Caracterización de los impactos ambientales asociados a las etapas del ciclo de vida del cubrebocas reutilizable. Método ReCiPe	58
Figura 9.7. Normalización de los impactos ambientales asociados a las etapas del ciclo de vida del cubrebocas reutilizable	60
Figura 9.8. Caracterización de los impactos ambientales asociados a la etapa de producción del cubrebocas reutilizable.....	62
Figura 9.9. Análisis de sensibilidad de cubrebocas desechables.....	66
Figura 9.10. Caracterización de los impactos ambientales asociados a la producción del cubrebocas reutilizable. Método CML.....	69
Figura 9.11. Caracterización de los impactos ambientales asociados a la producción del cubrebocas reutilizable. Método IMPACT World+ Midpoint	70
Figura 9.12. Cubrebocas desechable. a) Cara externa b) Cara interna	74
Figura 9.13. Diagrama de flujo del ciclo de vida de un cubrebocas desechable	74
Figura 9.14. Caracterización de los impactos ambientales asociados a las etapas del ciclo de vida del cubrebocas desechable	86

Figura 9.15. Normalización de los impactos ambientales asociados a las etapas del ciclo de vida del cubrebocas de un solo uso 88

Figura 9.16. Caracterización de los impactos ambientales asociados a la etapa de producción de cubrebocas desechables..... 90

Figura 9.17. Análisis de sensibilidad de cubrebocas desechable 94

Figura 9.18. Caracterización de los impactos ambientales asociados a la producción de cubrebocas desechables. Método CML..... 97

Figura 9.19. Caracterización de los impactos ambientales asociados a la producción de cubrebocas desechables. Método IMPACT World+..... 98

1. Introducción

La pandemia derivada de la propagación del virus SARS-CoV-2 incrementó el uso de cubrebocas o mascarillas. El uso de cubrebocas es una medida de prevención y control de la propagación del virus, al ser una barrera física que impide el paso de gotas en la inhalación o exhalación.

La variedad presente en el mercado incluye cubrebocas desechables y reutilizables, además de una diversidad de materiales para su elaboración. Son fabricados a partir de polipropileno, algodón, celulosa y seda, entre otros, difiriendo cada uno en la eficiencia de protección de las vías aéreas (OMS, 2020b). De acuerdo con las actividades particulares, la selección del cubrebocas es generalmente una decisión personal.

Rodríguez y colaboradores (2021) determinaron en Italia que los cubrebocas más utilizados son los desechables, elaborados de materiales plásticos, lo que implica el consumo de cantidades significativas de recursos fósiles para su elaboración y, por ende, gran generación de residuos. Datos de Forbes indican que en México una persona que en promedio trabaja 5 días de la semana, desecha de 1 a 2 cubrebocas diariamente (Garduño, 2020).

Es importante cuantificar el impacto ambiental generado por los cubrebocas a través de un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de toda su cadena de valor, para determinar las áreas de mejora para el proceso (Wei *et al.*, 2021). El ACV es una herramienta analítica que estima y evalúa los impactos ambientales producidos por un proceso, servicio o producto a lo largo de sus etapas de vida. Incluye la evaluación de la extracción y tratamiento de materias primas, el análisis de las etapas de manufactura, distribución y uso del producto, así como su disposición final; ésta puede incluir la reutilización, reciclaje o desecho en rellenos sanitarios, siendo el usuario quien define el alcance o etapas del estudio (Golsteijn, 2020). Los resultados pueden contribuir en la mejora del desarrollo del producto, al proponer nuevas estrategias de diseño (Leiva, 2012).

Existen softwares que son utilizados como herramientas para la realización del ACV, tales como: Eco-it, Air.e LCA, Open LCA, GaBi, TEAM y SimaPro, entre otros (Cortés, 2015). En específico, SimaPro es un programa de uso académico y empresarial, que permite realizar comparaciones de materiales, analizar medios de transporte, calcular la huella hídrica, entre otras, lo que permite realizar una amplia cuantificación del impacto ambiental de un producto, proceso o servicio (CADIS, 2021).

En este proyecto se determinó el impacto ambiental, a través del análisis de ciclo de vida de cubrebocas de un solo uso y los reutilizables de tela utilizados en México, desde la extracción de recursos naturales hasta la disposición final.

2. Marco teórico

En este capítulo se abordan los temas relacionados con el desarrollo de proyecto, que incluyen información general sobre el virus SARS-CoV-2, el uso de cubrebocas y el Análisis de Ciclo de Vida, así como los potenciales impactos ambientales asociados a su uso.

2.1. La pandemia del SARS-CoV-2

El 31 de diciembre de 2019 la Organización Mundial de la Salud (OMS) recibió la primera notificación respecto al brote de una enfermedad en la ciudad de Wuhan, China, la cual era provocada por un virus de la familia coronavirus al que se denominó SARS-CoV-2 (OMS, 2020c). Dicho virus comenzó su propagación fuera de la ciudad y conforme el tiempo pasó se detectaron los primeros casos en otros países como Alemania, Japón, Estados Unidos y Francia. Así, el 11 de marzo de 2020 a causa de la propagación del virus la OMS lo declaró pandemia, considerada como emergencia de salud mundial (OMS, 2020d).

El SARS-CoV-2 provoca una enfermedad respiratoria denominada COVID-19, la cual puede manifestarse como un simple resfriado o llegar a ser crónica y causar afectaciones severas en los pulmones u otros órganos, incluso desencadenar la muerte (ONU, 2020a). Puede ser transmitido de una persona infectada a otras por medio de (GOB, 2020):

- i. Gotas de saliva expulsadas al toser o estornudar.
- ii. Contacto directo con una persona enferma.
- iii. Contacto con una superficie u objeto infectado y posteriormente tocar boca, nariz u ojos con la misma mano o manos.

Las principales vías de exposición al virus son boca, nariz y ojos, por lo cual, la OMS publicó acciones para prevenir el contagio, tales como (OMS, 2020f):

- i. Distanciamiento social; recomendación de 1.5 m de distancia entre personas.
- ii. Lavado periódico de manos con gel hidroalcohólico o con agua y jabón.
- iii. Evitar tocarse boca, nariz y/u ojos.
- iv. Uso de equipo de protección personal (EPP), como el cubrebocas.

El 29 de enero de 2020 la OMS publicó su primer documento con consejos respecto al uso de cubrebocas como medida de prevención (OMS, 2020a), el cual ha sido actualizado debido a la aparición de nuevas variantes del virus y con el objetivo de brindar mayor protección a las personas, así como de dar solución a la escasez de EPP suscitada por la alta demanda (OMS, 2020d).

2.2. Uso de cubrebocas

En el contexto de salud, un cubrebocas o mascarilla se define como *“Pieza de tela o máscara que cubre la boca y la nariz para brindar protección de posibles agentes patógenos o tóxicos”* (FIILE, 2020), es considerado un EPP con gran capacidad de filtración, adecuada respiración y resistencia a la penetración de partículas o gotitas (UNE, 2019).

El uso de cubrebocas por parte de la población se ha vuelto una práctica continua de prevención en sitios cerrados como escuelas y centros de trabajo, así como en lugares al aire libre donde no es posible mantener una distancia mínima de un metro entre personas (ONU, 2020b). El Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades de Estados Unidos (CDC) publicó una serie de consejos para seleccionar un cubrebocas o mascarilla (Tabla 2.1).

Tabla 2.1. Consejos para seleccionar un cubrebocas (CDC, 2021c)

Recomendable	No recomendable
Tener dos o más capas de tela transpirable y lavable	Tela que dificulte la respiración
Cobertura completa de nariz y boca	Válvulas de exhalación o conductos de ventilación que permitan el paso de partículas que contengan el virus
Adecuado ajuste a ambos lados de la cara y sin espacios abiertos	Diseños que no cubren completamente nariz y boca y que no ajusten a ambos lados de la cara
Alambre o pieza metálica en la nariz que evite el paso de aire	Respiradores que sean prioritarios para trabajadores de la salud

La Organización Panamericana de la Salud (OPS), con el fin de garantizar la calidad de los cubrebocas publicó un documento donde se establecen los lineamientos para la elaboración temporal de los mismos durante la emergencia sanitaria, sin restricción específica del material

que se debe utilizar (Minsalud, 2020). Las recomendaciones incluyen el control de los siguientes parámetros:

- Estructura adecuada para cobertura de nariz y boca.
- Eficiencia de filtración bacteriana $\geq 90 \%$.
- Respirabilidad $\leq 60 \text{ Pa/cm}^2$.
- Resistencia a salpicaduras.

Además del material filtrante, tela o polímero y derivados, durante el proceso de fabricación de cubrebocas son necesarios otros elementos como cintas elásticas, hilos, embalaje, y otros materiales opcionales como cintas metálicas y/o filtros, entre otros (CICEG, 2020). Existen en el mercado una gran variedad de cubrebocas, que pueden ser clasificados como hospitalarios y de uso general o no hospitalarios (Minsalud, 2020). También pueden ser de un solo uso o reutilizables, en función de los materiales con los que son elaborados, por ejemplo, polipropileno, poliéster, algodón, nailon, celulosa; de acuerdo con el número de capas de estos materiales o la mezcla de capas de ellos se determina la eficiencia de filtración (OMS, 2020g).

Por otro lado, también existen beneficios y desventajas asociados al uso continuo de cubrebocas, como los que se describen en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Beneficios y desventajas del uso continuo de cubrebocas (OMS 2020e)

Beneficios	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de propagación de pequeñas gotas que puedan contener partículas virales infecciosas. • Prevención de ser infectado por SARS-CoV-2. • Contribución social a la prevención. Posibilidad de mayor movilidad fuera de casa. • Prevención de la propagación de otras enfermedades respiratorias como influenza, apoyando a reducir la carga de éstas durante la pandemia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dolor de cabeza y/o dificultad al respirar, dependiendo el tipo de cubrebocas que se porte. • Posible de desarrollo de dermatitis, empeoramiento de acné o lesiones cutáneas, cuando se ha tenido un uso prolongado. • Dificultad de comunicación. • Falsa sensación de seguridad que desencadena la reducción de llevar a cabo otras medidas preventivas en el contexto de la pandemia por COVID-19. • Problemas de gestión de residuos, atribuibles al incremento de uso de este EPP, así como su inadecuada disposición final.

2.2.1. Cubrebocas de un solo uso

Los cubrebocas de un solo uso están elaborados de diferentes materiales, número de capas y forma, lo cual determinará su eficiencia de filtración. Este tipo de EPP no debe ser utilizado una segunda ocasión o lavarse; de hecho, se sugiere que sean desechados cuando se encuentren húmedos o sucios y/o dificulten la respiración, o cuando sufran otros fallos, como la pérdida de calidad del elástico (CDC, 2021b). En la Tabla 2.3 se mencionan algunos tipos de cubrebocas de un solo uso y sus características:

Tabla 2.3. Cubrebocas de un solo uso y sus características






Cubrebocas	Características	Referencia
KN95 	Tiene cinco capas de polipropileno no tejido y su eficiencia de filtración es de al menos 98 % para partículas de 1 a 5 μm . No es recomendable usarlo en combinación con otro tipo de cubrebocas.	CDC, 2021a; Illés y P., 2021
N95/FFP2 	Elaborado con al menos cuatro capas de filtro, de polipropileno, adaptador de nariz de aluminio y bandas de goma sintética. Apto para filtración de aerosoles y gotas de partículas de 0.3 μm , con eficiencia de filtrado de al menos 95 %. Recomendado para el personal de la salud.	MSP, 2020; OMS, 2020g; Rodríguez <i>et al.</i> , 2021
Tricapa plisado o quirúrgico 	Material filtrante de tres capas de polipropileno, bandas de algodón y adaptador. Alta resistencia a los fluidos y garantiza 100 % de eficiencia de filtración para partículas de hasta 3 μm de diámetro; para partículas de menor tamaño disminuye su eficiencia	Rodríguez <i>et al.</i> , 2021; Teesing <i>et al.</i> , 2020

Tabla 2.3. Cubrebocas de un solo uso y sus características

Cubre bocas	Características	Referencia
<p data-bbox="289 310 397 342">Sencillo</p> 	<p data-bbox="509 348 1143 562">Cubre bocas tr laminado de material no tejido de polipropileno fundido de tipo Spunbond / Melt-blown / Spunbond (SMS, por sus siglas en inglés). Su eficiencia de filtración varía entre 60 y 90 %, en el caso de filtración bacteriana tiene eficiencia del 90 %.</p>	<p data-bbox="1175 415 1403 491">Mendoza ,2020; Parker-Pope, 2020</p>
<p data-bbox="220 617 464 648">N95/FFP2 con filtro</p> 	<p data-bbox="509 674 1127 842">Elaborado con una capa filtrante de polipropileno, espuma de poliuretano, un adaptador de nariz de aluminio, bandas de goma sintética y una válvula de polipropileno.</p>	<p data-bbox="1175 720 1370 795">Rodríguez <i>et al.</i>, 2021</p>

Ninguno de los cubrebocas mencionados en la Tabla 2.3 presenta ajuste personalizado, sino que la tendencia es de ajuste flojo; de acuerdo con la CDC no están recomendados para público general (Alba, 2020), son prioritariamente para los trabajadores de la salud, pacientes con síntomas o confirmación de infección respiratoria y personas que cuiden de pacientes confirmados o con síntomas (MSP, 2020), excepto el caso del cubrebocas sencillo que no es utilizado en el sector salud.

2.2.2. Cubrebocas reutilizables

Los cubrebocas reutilizables deben ser lavados después de cada uso con jabón o detergente y preferentemente con agua caliente. La OMS recomienda utilizar cubrebocas caseros de tela, constituidos por tres capas, cada una con diferente función (OMS, 2020e):

- i. Capa interna de material hidrofílico o absorbente, como el algodón.
- ii. Capa intermedia hidrofóbica o no absorbente, que mejora la filtración o retención de gotas, como el polipropileno.
- iii. Capa externa de material hidrofóbico, como poliéster o mezcla que lo contenga.

No se aconseja utilizar válvulas de exhalación, y se recomienda evitar el uso de cubrebocas de una sola capa de tela o de tela delgada.

Es posible utilizar dos cubrebocas o mascarillas de tela, otra opción es colocar primero uno desechable y arriba uno de tela; en cualquier caso, se debe tener un ajuste adecuado de los mismos (CDC, 2021b). El número de capas, él o los materiales utilizados, así como la estructura del tejido, determinan la eficiencia de filtración de partículas. En la Tabla 2.4, se muestran algunas características de una capa de distintos materiales.

Tabla 2.4. Características de materiales con los que se elabora un cubrebocas reutilizable (OMS, 2020g)

Material	Posible fuente	Estructura	Eficiencia inicial de filtración de partículas <5 µm de diámetro (%)
Polipropileno	Material de interfaz	Tela no tejida	6
Algodón	Ropa (camiseta)	Tejido	5
		De punto	21
Poliéster	Tela (manta de niño)	De punto	17
Celulosa	Pañuelo desechable	Fusionado	20
	Toalla de papel		10
Seda	Servilleta	Tejido	4
Nailon	Ropa (pantalón para hacer ejercicio)	Tejido	23

Algunos datos indican que una bufanda gruesa de lana filtra solo 21 % de partículas, mientras que un pañuelo de algodón muestra una eficiencia del 18.2 % (Parker-Pope, 2020), con ello se comprueba que la eficiencia de filtración varía de acuerdo con las características antes mencionadas. En la Tabla 2.5 se muestran ejemplos de eficiencia de filtración para diferentes tipos de cubrebocas.

Tabla 2.5. Eficiencia de filtración de cubrebocas y recomendaciones

Cubrebocas	Eficiencia (%)	Tamaño de partícula	Tiempo máximo de uso y/o recomendaciones	Referencia
Tela: algodón/gasa	97	< 0.3 μ m	Lavar con agua caliente (60 °C) y con detergente, o con agua a temperatura ambiente y jabón o detergente, posteriormente hervir por un minuto o sumergir en solución de cloro al 0.1 % por un minuto y enjuagar nuevamente.	Konda <i>et al.</i> , 2020
Tela: algodón/seda (sin espacios)	94			
Tela: algodón/seda (brecha)	37			
Tela: algodón/franela	95			
Seda natural, 4 capas	86			
Nailon/poliéster	100	< 5 μ m	Desechar si se ensucia (OMS 2020d).	OMS, 2020g
3M-2 capas de algodón	98.4	< 3 μ m	Lavar después de cada uso, a mano con agua tibia durante 5 minutos.	3M, 2020
1 capa de tela de camiseta: 75 % algodón-25 % polietileno	72.5	Gotas de 25 mm	No especifica	Aydin <i>et al.</i> , 2020
1 capa de sábana nueva, 100 % polietileno	94.8			
1 capas de camiseta nueva de punto: 100 % algodón	81.9			
2 capas de camiseta nueva de punto: 100 % algodón	94.1			
3 capas de camiseta nueva de punto: 100 % algodón	98.9			
1 capa de tejido de polipropileno	65	< 3 μ m	No especifica	Teesing <i>et al.</i> , 2020
6 capas de tejido de edredón	98			
1 capa de paño de cocina	35			
2 capas de paño de cocina	84			

Por esta variedad de materiales y sus respectivas características, actualmente existen en el mercado una diversidad de opciones de cubrebocas reutilizables, como las mostradas en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6. Cubrebocas reutilizables comerciales en el mercado de México

Cubrebocas	Características	Costo unitario (\$/MX)	Referencia
	<p>Filtración de triple capa, eficiencia de filtración bacteriana >97 %. Puede ser lavado con agua caliente (60 – 80 °C), con cloro diluido al 5 % o limpieza con alcohol. Elásticos reemplazables. Resiste más de 20 lavadas caseras</p>	<p>129.00</p>	<p>Adquisición en tienda de servicio</p>
	<p>Filtración de triple capa de 100 % poliéster hipoalergénico.; primera capa: tela antiviral que inhibe bacterias y virus en un 99.9 %, segunda capa: tela antimicrobiana inhibe el crecimiento y reproducción de bacterias y tercera capa: tejido que repele el agua. Temperatura máxima 30 °C de lavado, es posible utilizar productos clorados, blanqueadores y suavizantes. Resortes ajustables. Máximo 50 lavadas caseras</p>	<p>113.00</p>	<p>Compra en línea, Amazon</p>
	<p>Filtración de triple capa; primera capa de microfibras antisépticas, segunda capa de 100 % de poliéster y tercera capa de sarga. Lavables que cuentan con una vida útil de 6 meses de uso diario sin perder su eficiencia. No utilizar cloro</p>	<p>71.80</p>	<p>Compra en línea, Amazon, Mercado libre</p>

2.2.3. Presencia y efectos de los cubrebocas en el ambiente

Benson y colaboradores (2021) estimaron que durante la etapa más crítica de la pandemia a nivel mundial eran desechados diariamente 3,378,451,702 cubrebocas, donde, el principal generador fue China con aproximadamente 20.8 % de la generación total. México se situó en la posición ocho, generando alrededor del 2.4 % del valor diario estimado. Este porcentaje representa el uso por parte de cerca del 63 % de la población mexicana; aproximadamente 90 % de los mismos terminan en rellenos sanitarios, tiraderos y en el ambiente; en el caso de los cubrebocas desechables, este grado de desecho representa un riesgo a la salud de los trabajadores del sistema de gestión de residuos y ambientalmente puede provocar contaminación del agua, emisión de gases tóxicos y de efecto invernadero durante su proceso de degradación y, al mezclarse con otros compuestos en su disposición final, contaminación de suelo y las respectivas consecuencias en sectores relacionados con estos ecosistemas (Garduño, 2020).

El manejo de los residuos de cubrebocas ha sido inadecuado durante la pandemia, por ello, se considera como posible fuente de transmisión de SARS-CoV-2, una vez que es desechado en los residuos se convierte de un EPP a un foco de infección, ya que por lo general suele combinarse con los residuos sólidos urbanos (RSU) (Valdez y Castillo-Berthier, 2020). La adecuada gestión de residuos es vital para evitar la creación de estos focos infecciosos, además de proteger a los trabajadores que brindan este servicio (Marengo y Ortiz, 2020).

Una mala gestión de este residuo puede provocar muerte a la fauna, ya que los cubrebocas tienden a fragmentarse y ser confundidos con alimento, lo que conlleva un proceso largo y doloroso de digestión o la asfixia de los animales que los ingieren (Fischer, 2021). Fernández y colaboradores (2021) han investigado otra forma de contaminación ambiental por la inadecuada gestión de residuos de cubrebocas y esto es la liberación de ésteres organofosforados asociados a la elaboración de este EPP, principalmente del cubrebocas KN95 (fabricados en China), lo que mostró un impacto ambiental negativo.

Shen y colaboradores (2021) investigaron en el medio acuático los mecanismos de liberación de microfibras y microplásticos de cubrebocas desechables, donde, indicaron que después de dos meses de exposición natural se volvieron fragmentos frágiles que dieron origen a estos y concluyen con la recomendación de utilizar cubrebocas reutilizables o la reutilización de cubrebocas desechables pero desinfectados de manera adecuada. Además, Abbasi y colaboradores (2020) concluyeron que el incremento del uso de cubrebocas generará una

contaminación descontrolada por la alta fragmentación de este EPP, y las partículas plásticas pueden ser portadoras de microorganismos patógenos, así como virus, bacterias y hongos.

De acuerdo con Liang y colaboradores (2021) la liberación de microplásticos provenientes de los cubrebocas, se encuentra directamente relacionada con la pérdida de masa por parte de estos, esto ocurre de manera muy rápida y desacelera conforme pasa el tiempo, sin embargo, para el caso de las microfibras y microplásticos transparentes su razón de liberación incrementa conforme pasa el tiempo.

Es importante cuantificar los impactos ambientales generados por los cubrebocas a través de un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de toda su cadena de valor, con el fin de determinar las áreas de mejora durante alguna etapa o etapas de la vida del producto (Wei *et al.*, 2021).

2.3. Análisis de Ciclo de Vida

De acuerdo con la Norma Mexicana NMX-SAA-14040-IMNC-2008 se define al Análisis de Ciclo de Vida (ACV) como *“la recopilación y evaluación de las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema del producto a través de su ciclo de vida”*, es decir, *“a través de las etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema de producto, desde la adquisición de materia prima o de su generación a partir de recursos naturales hasta la disposición final”* (IMNC, 2008a). Por lo tanto, puede considerarse una herramienta o metodología que permite analizar y cuantificar los aspectos ambientales e impactos potenciales a lo largo de la vida de un producto, servicio o una actividad, el cual puede considerar desde el origen o extracción de la materia prima, la manufactura, transportación y distribución, uso, reutilización y mantenimiento, reciclaje (si aplica) y hasta el fin de uso, disposición final o gestión de residuos (ISO, 2006).

Con respecto al perfil ambiental calculado con el ACV se pueden tener diversas aplicaciones, como (Eurofins, 2021a):

- Identificación, durante el diseño y desarrollo, de las oportunidades de mejora del desempeño ambiental.
- Mejora de la gestión ambiental.
- Selección de indicadores de desempeño ambiental, como técnicas de medición.
- Comparación entre dos o más productos.
- Establecimiento de prioridades durante la planificación, como estrategia de mercado o diseño de un producto.

- Generación de estrategias de marketing sostenible o ecológico.

El inicio del ACV se desarrolló prácticamente de forma simultánea en Estados Unidos y Europa; en 1969 se realizó el primer estudio por el Midwest Research Institute para la empresa Coca-Cola, donde el principal objetivo era disminuir el consumo de recursos y disminuir las emisiones al ambiente, mientras que en Europa en los años setenta se realizaron análisis de la energía consumida durante la fabricación de envases (Romero, 2003).

La International Standardization Organization (ISO) en los años 90 estandarizó una estructura sistematizada de trabajo para realizar el ACV, con lo cual se desarrollaron las siguientes normas (Eurofins, 2021b):

- UNE EN ISO 14040:1998 Gestión Medioambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia.
- UNE EN ISO 14041:1999 Gestión Medioambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Definición del objetivo y alcance y el análisis del inventario.
- UNE EN ISO 14042:2001 Gestión Medioambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida.
- UNE EN ISO 14043:2001 Gestión Medioambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Interpretación del Ciclo de Vida.

En el año 2006 se realizaron revisiones y actualizaciones a estas normas, por lo que algunas cambiaron su estatus a obsoleto y en conjunto fueron sustituidas solo por dos:

- ISO 14040:2006 Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia.
- ISO 14044:2006 Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Requisitos y directrices

En México existen las respectivas homologaciones de las normas internacionales: la NMX-SAA-14040-IMNC-2008: Principios y marco de referencia y la NMX-SAA-14044-IMNC-2008: Requisitos y directrices. En esta última se mencionan más a detalle las cuatro fases de estudio a seguir durante el ACV (IMNC, 2008b), las cuales son:

- Definición de fronteras
- Inventario del Ciclo de Vida (ICV)
- Evaluación de los Impactos del Ciclo de Vida (EICV)

- Interpretación de resultados

2.3.1. Fases del Análisis de Ciclo de Vida

Las cuatro fases para desarrollar un estudio de ACV se muestran en la Figura 2.1, la cual indica que puede ser un proceso iterativo:

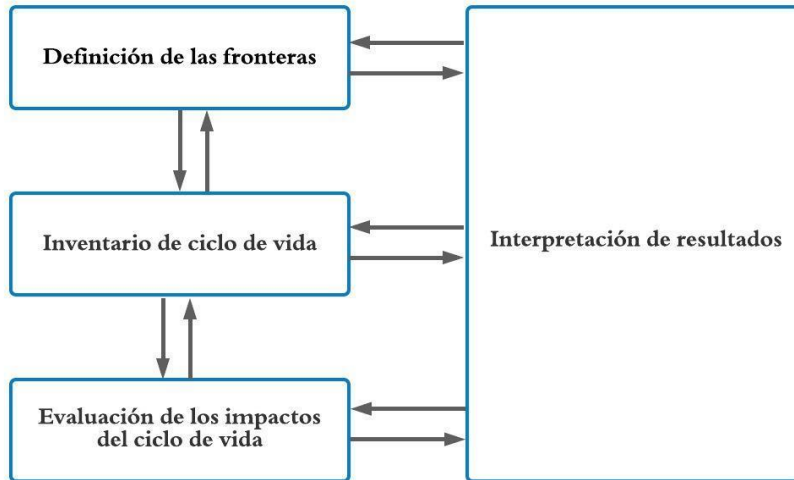


Figura 2.1. Fases del Análisis del Ciclo de Vida. Fuente: elaboración propia

A continuación, se describe cada una de las fases de acuerdo con la NMX-SAA-14044-IMNC-2008 (IMNC, 2008b):

I. Definición de objetivo y alcance: se busca establecer los objetivos que motivan el desarrollo del estudio, como aplicación y razón del estudio, público al que se presentarán resultados y si se considera o no la difusión a público general. El alcance debe considerar y describir los siguientes tres aspectos:

- a) Generalidades:
- Sistema de estudio
 - Funciones del sistema
 - Unidad funcional
 - Procedimiento de asignación
 - Metodología de la EICV y tipos de impactos

- Interpretación que se utilizará
- Requisitos referentes a los datos
- Suposiciones
- Juicios de valor y elementos opcionales
- Limitaciones
- Requisitos de calidad de los datos
- Tipo y formato del informe requerido

El objetivo puede ser revisado y modificado si se presentan limitaciones, resultados de información adicional y/o restricciones no consideradas dentro del alcance inicial, los cuales deben ser documentados y justificados.

b) Función y unidad funcional: las características de desempeño deben ser especificadas en el alcance del ACV del sistema de estudio. Se definen como:

- Función: *“actividad realizada dentro del sistema”*
- Unidad funcional: *“desempeño cuantificado de un sistema del producto para su utilización como unidad de referencia”*

La unidad funcional debe tener concordancia con el objetivo y alcance establecidos. Uno de los principales propósitos de la unidad funcional es facilitar la referencia con la cual normalizar los datos de entrada y salida desde un punto matemático, por lo que, debe ser medible.

Se define el flujo de referencia para cumplir con la unidad funcional establecida, por lo que, indica la cantidad necesaria de un producto para cumplir con esta función.

c) Límites del sistema:

- Los límites del sistema establecen los procesos unitarios que se incluyen en el ACV así como el nivel de detalle de estos, los cuales son acordes con el objetivo; además, los criterios para establecer los límites del sistema deben ser identificados y explicados.
- Los procesos unitarios deben ser descritos para definir el inicio, la recepción de materias primas o productos intermedios, las transformaciones y operaciones propias y el término del proceso unitario, así como el destino de productos intermedios o finales. Es un procedimiento iterativo que permite identificar las entradas de los procesos unitarios y las correspondientes salidas.

- El estudio debe considerar en las entradas y salidas los criterios de corte, en los que se especifica la cantidad de flujo de materia, energía o nivel de importancia ambiental asociado a cada proceso unitario o sistema del producto, también es posible establecer criterios de corte similares como el tratamiento de residuos, el cual identifica las salidas posiblemente rastreables en el ambiente.

Toda la información relacionada con las entradas y salidas debe ser descrita a detalle y de manera clara para que el análisis de inventario pueda ser duplicado por otro profesional, además de efectuar un análisis de sensibilidad para tener una descripción completa de los datos del sistema, así como la calidad requerida de estos.

II. Análisis de Inventario del Ciclo de Vida (ICV): el objetivo y alcance del ACV indican el plan inicial para desarrollar el análisis del ICV, por lo tanto, el análisis del inventario contempla los siguientes aspectos:

- a) Generalidades: recopilación de información y los procedimientos de cálculo para la cuantificación de entradas y salidas del sistema correspondiente al producto o servicio. Este análisis es un procedimiento iterativo, ya que, se pueden identificar requisitos nuevos o limitaciones de acuerdo con los datos recopilados y las modificaciones necesarias (si aplica) para cumplir con el objetivo y/o alcance.
- b) Recopilación de datos: los datos cualitativos y cuantitativos de cada proceso unitario identificado pueden ser clasificadas en:
 - Entradas de materia prima, energía, entradas auxiliares y otras entradas físicas.
 - Productos, coproductos y servicios.
 - Vertido al agua, suelo y/o emisiones al aire.
 - Otros aspectos ambientales.
- c) Cálculo de datos: los procedimientos de cálculo deben ser documentados explícitamente, así como ser específicos y claros respecto a la realización de suposiciones. Se deberá explicar de forma clara lo siguiente:
 - Validación de datos recopilados.
 - Relación de datos con los procesos unitarios
 - Relación de datos con el flujo de referencia definido a partir de la unidad funcional o ajuste de los límites del sistema.

- d) **Asignación:** las entradas y salidas deben ser asignadas a los productos. Si se tienen varios procesos alternativos de asignación se deberá realizar un análisis de sensibilidad, el cual ilustre las consecuencias de la implementación de los distintos escenarios.
- Se debe tomar en cuenta que algunas salidas pueden ser coproductos y otros residuos, por lo tanto, se realizará la asignación aplicable, diferenciando entre ambos.

En resumen, el procedimiento para el Análisis de Inventario del Ciclo de Vida se puede observar en la Figura 2.2.

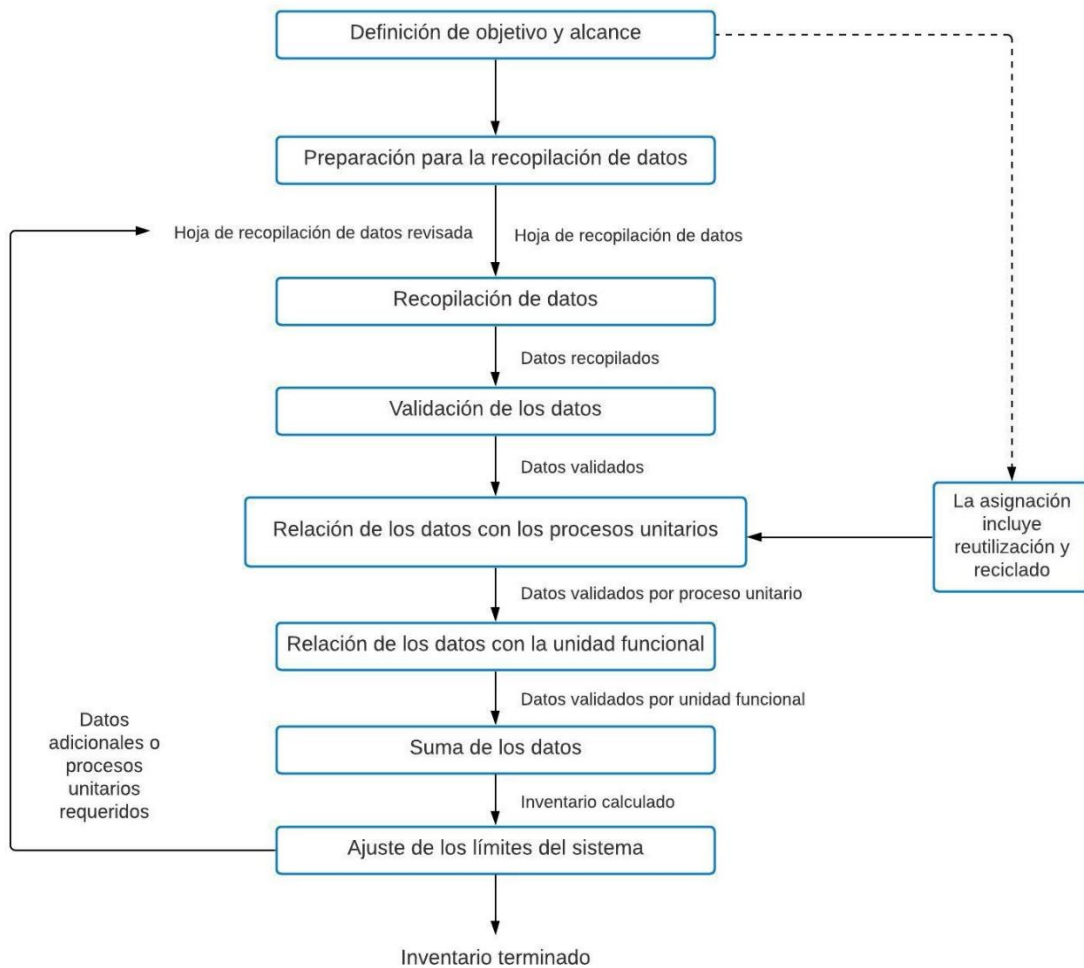


Figura 2.2. Procedimiento para el análisis de inventario (IMNC, 2008b)

III. Evaluación de los Impactos del Ciclo de Vida (EICV): esta fase contempla los aspectos descritos a continuación.

- a) **Generalidades:** en este punto se recopilan los resultados del ICV para evaluar la significancia de los impactos ambientales potenciales, es decir, se realiza la asociación

de los datos del inventario con las categorías específicas de impactos ambientales, así como sus respectivos indicadores.

b) Elementos obligatorios, incluyendo la siguiente información:

- Selección de categorías de impacto, modelos de caracterización e indicadores de categoría.
- Asignación de resultados del ICV a las respectivas categorías de impacto, es decir, de acuerdo con su clasificación.
- Cálculo de resultados de los indicadores de categoría (caracterización).

La elección de categorías de impacto, indicadores de categoría y modelos de caracterización, deberán ser justificados y en concordancia con el objetivo y alcance del estudio. Debe describir los resultados vinculados al mecanismo ambiental y el modelo de caracterización del ICV de acuerdo con el indicador de categoría, y proveer la base de los factores de caracterización. Se debe indicar la relación de los resultados del ICV con los respectivos indicadores de categoría de impacto con los datos de flujos de materia y energía, de tal forma que se contemple lo indicado en el diagrama de la Figura 2.3.

i.	ii.	iii.
<p>En una EICV los componentes necesarios de cada categoría de impacto son:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Identificación de categoría de puntos finales. – Definición para cada categoría su respectivo indicador de categoría para cada punto final. – Identificación de los resultados del ICV acorde con la asignación a la categoría de impacto, considerando el indicador de categoría elegido y los puntos finales de categoría dados. – Identificación del modelo y los factores de caracterización. 	<p>La asignación de resultados del ICV o clasificación con respecto a las categorías de impacto deben considerar que son exclusivos a una categoría de impacto, sin embargo, también pueden referirse a más de una categoría de impacto, donde es importante realizar la distinción ente mecanismos paralelos y mecanismos en serie.</p>	<p>El cálculo de resultados del indicador de categoría o caracterización conlleva que los resultados del ICV pueden ser convertidos a unidades comunes y la suma de resultados convertidos en una misma categoría, para la cual se utilizan los factores de caracterización para obtener a la salida un resultado numérico del indicador. Cada método de cálculo debe ser identificado y documentado, sin excluir juicios de valor y suposiciones.</p>

Figura 2.3. Consideraciones para relacionar los resultados del ICV con indicadores de impacto (IMNC, 2008b)

Existen elementos opcionales de la EICV, como los que se indican en la Figura 2.4.

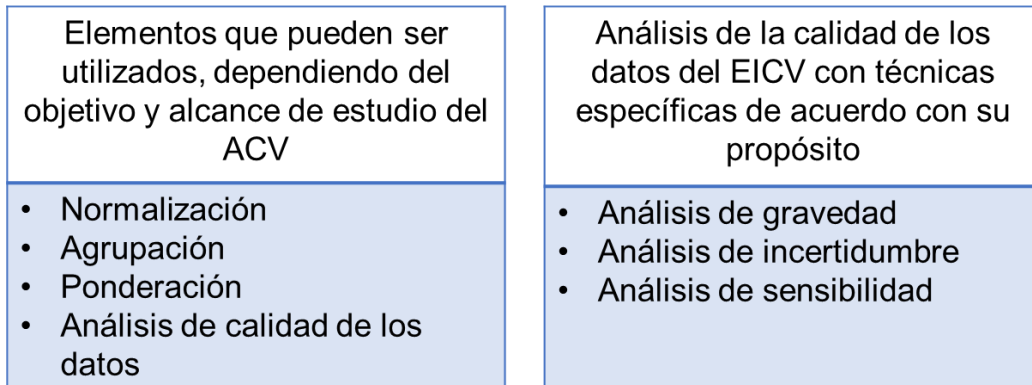


Figura 2.4. Elementos opciones de la EICV

IV. Interpretación de resultados:

La interpretación del estudio de ACV o de un ICV incluye diferentes elementos, así como la relación entre ellos, como se puede observar en la Figura 2.5.

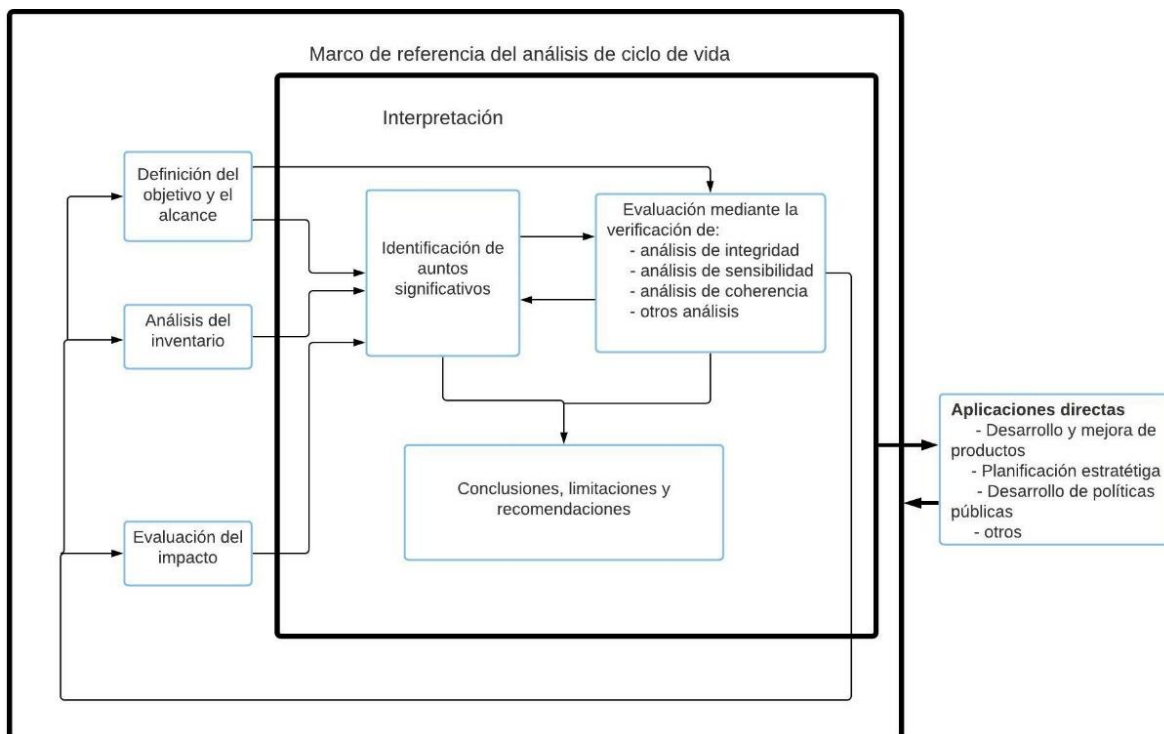


Figura 2.5. Relación entre elementos de la interpretación y otras fases del ACV. Fuente: (IMNC, 2008b)

Por lo tanto, los elementos correlacionados son:

- Identificación de asuntos significativos que se encuentren basados en los resultados de las fases del ICV y de la EICV.
- La verificación que contemple los análisis de acuerdo con su integridad, sensibilidad y coherencia.
- Conclusiones, limitaciones y recomendaciones.

Por lo que, el marco de referencia del ACV se encuentra constituido por el objetivo, el alcance y la interpretación de resultados, mientras que la información respecto al sistema de producto es generada por los datos del ICV y/o EICV.

La interpretación también debe contener las limitaciones identificadas durante la evaluación, así como el análisis de sensibilidad, las adecuaciones o ajustes durante el proceso, las funciones límite del sistema y la unidad funcional. Los aspectos significativos de cada fase deben ser identificados con base en el objetivo y alcance.

Durante la conclusión los pasos generales a seguir son:

- a) Identificar aspectos significativos.
- b) Evaluar la integridad, sensibilidad y coherencia de la metodología utilizada, así como de los resultados.
- c) Obtener conclusiones preliminares y verificarlas de acuerdo con el objetivo y el alcance del estudio para determinar su coherencia, principalmente la calidad de los datos, predeterminación de suposiciones y valores, además de las posibles limitaciones de la metodología y el estudio.
- d) Si las conclusiones son congruentes deben ser comunicadas, de lo contrario se deberá realizar nuevamente los pasos los pasos a), b) y/o c).

Las recomendaciones se deben basar en las conclusiones del estudio, las cuales deben estar relacionadas con su respectiva aplicación.

V. **Otras consideraciones**

- a) **Alcances:** durante las fases del ciclo de vida pueden determinarse diferentes alcances del estudio (Haya 2016), por ejemplo:

- De la puerta a la puerta (gate to gate): considera exclusivamente las actividades que se desarrollan dentro de la empresa.
- De la cuna a la puerta (cradle to gate): el estudio contempla desde la fase de extracción, transporte y acondicionamiento de materias primas hasta la producción dentro de la empresa.
- De la puerta a la tumba (gate to grave): toma en consideración el proceso productivo en la empresa y contempla hasta la gestión de residuos.
- De la cuna a la tumba (cradle to grave): el ACV abarca desde la extracción y acondicionamiento de materias primas hasta la gestión de residuos, reciclaje u otros procesos en los que se vea involucrado el producto al finalizar su vida útil.
- De la cuna a la cuna (cradle to cradle): el producto es contemplado en un ciclo de vida completo, es decir, considera desde la extracción y acondicionamiento de materias primas hasta que termina su vida útil y es posible reintroducirlo en el mismo proceso productivo u otro.

b) Subetapas: durante las cuatro etapas del análisis de ciclo de vida pueden considerarse las subetapas que se muestran en la Tabla 2.7, de acuerdo con el alcance del estudio (ISO, 2006).

Tabla 2.7. Subetapas del ciclo de vida de un producto

Etapa	Descripción
Adquisición de materias primas	Actividades involucradas en la extracción y transporte de materias primas, así como las aportaciones energéticas al ambiente.
Proceso y fabricación	Actividades relacionadas con la conversión de materias primas y energía durante el proceso. Esta etapa contempla diversos subproductos generados durante todo el proceso.
Distribución y transporte	Considera el traslado del producto hacia el usuario.
Uso, reutilización y mantenimiento	Utilización y mantenimiento del producto durante su vida útil.
Reciclaje	Este proceso es considerado cuando el producto concluyó su función y, por lo tanto, es reciclado a través del mismo sistema de producto (ciclo cerrado de reciclaje) o es agregado a un sistema nuevo de producto (reciclaje abierto).

Tabla 2.7. Subetapas del ciclo de vida de un producto

Etapa	Descripción
Gestión de los residuos	Este proceso comienza al concluir la vida útil del producto y éste es regresado al ambiente en forma de residuo.

c) Informe: los resultados de cada una de las cuatro fases, así como las conclusiones generales de la evaluación deben ser informados de manera completa, exacta y sin sesgo; se debe de informar los límites del sistema, el alcance, la descripción de los procesos unitarios, los datos, la selección de categoría de impacto e indicadores, así como las modificaciones que se hayan realizado durante la evaluación (IMNC, 2008b).

2.3.2. Software para Análisis de Ciclo de Vida

Existen diferentes herramientas o software que realizan los cálculos para el desarrollo del ACV, utilizando diferentes bases de datos y siguiendo una metodología específica. Algunos de ellos son (Cortés, 2015): SimaPro, Eco-it, Air.e LCA, Open LCA, GaBi, TEAM y UMBERTO.

2.3.2.1. SimaPro

SimaPro es un software desarrollado originalmente por un profesor de la Universidad de Texas en los años 80, al que se denominó inicialmente ProMes. En 1995 llegó a México a través de un convenio con la Universidad de Tilburg, Holanda y la oficina de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) de México, donde se probó por primera vez en la industria azucarera (Mertens, 2009). Fue diseñado para interpretar y presentar el inventario y los resultados de las evaluaciones de impacto, así como mostrar de manera detallada las contribuciones de cada proceso unitario, donde realiza un enfoque de procesos y de sus respectivas entradas-salidas, mientras que en el cálculo de incertidumbre utiliza el método de Monte Carlo (Jolliet *et al.*, 2014), de tal forma que es posible (CADIS, 2018):

- Modelar y analizar ciclos de vida complejos de forma sistemática y transparente.
- Medir el impacto ambiental de los productos y/o servicios en todas las etapas del ciclo de vida.
- Identificar los puntos críticos en cada etapa o subetapa de todo el proceso.

Este software contiene diferentes bases de datos, mejor conocidas como bibliotecas, que pueden ser utilizadas de forma individual o de manera simultánea en un mismo análisis de ciclo de vida,

siempre y cuando se mencione cual es o son los conjuntos de datos (datasets) utilizados. Estas bibliotecas son (CADIS, 2011):

- Ecoinvent V3: contiene aproximadamente 18,000 conjuntos de datos de inventario de ciclo de vida, los cuales cubren una amplia variedad de sectores tales como la agricultura y ganadería, edificación y construcción, productos químicos y plásticos, energía, silvicultura y madera, metales, textiles, transporte, alojamiento turístico, tratamiento y reciclaje de residuos y suministro de agua. Cada actividad tiene atribuida una ubicación geográfica, por lo tanto, representa una producción mundial promedio. Los métodos de evaluación de impacto pueden centrarse en un solo tipo de impacto o huella ambiental o incluir varias categorías de impacto, las cuales pueden ser evaluadas con diferentes indicadores y su respectiva unidad (Ecoinvent, 2021).
- Industry data library: esta biblioteca es conformada por 300 conjuntos de datos de la recopilación de asociaciones de la industria, la cual contiene procesos de Plastic Europe, Worldstill, y ERASM, es decir, datos de industrias del plástico, tensoactivos, detergentes y acero (SimaPro, 2018).
- Agri-footprint: es una base de datos dirigida principalmente al sector agrícola y alimentario, la información contenida es sobre cultivos, productos finales y productos intermedios, compuestos para piensos, productos alimenticios, sistemas de producción animal y procesos de fondo como transporte, insumos auxiliares, energía, fertilizantes y pesticidas. Se encuentra formada por aproximadamente 5,000 datos de productos y procesos (Agri-footprint 2021).
- US Life Cycle Inventory Database: es una base de datos creada en Estados Unidos, está enfocado en el uso de energía y sus respectivas emisiones (NREL 2012).
- European and Danish Input/Output database: esta base de datos incluye estadísticas económicas y ambientales de Dinamarca, por lo tanto, se considera que cubre la parte económica en su totalidad (LCA Consultans, 2020).

Cada software y cada base de datos pueden utilizar diferentes metodologías para evaluar el impacto del ACV.

2.3.3. Metodologías para Análisis de Ciclo de Vida

Cada modelo de caracterización o metodología tiene particularidades específicas para evaluar el impacto, algunos de estos modelos se describen en la Tabla 2.8:

Tabla 2.8. Metodologías empleadas para evaluar impactos ambientales

Metodología	Descripción	Referencia
EPS 2000	Se enfoca en la cuantificación de daño ambiental, sus indicadores son expresados con un enfoque económico. Realiza una evaluación de impacto para emisiones y uso de recursos naturales en cualquier etapa del ACV.	Sphera, 2017
IMPACT 2002+	Para la evaluación propone 14 categorías de impacto de punto intermedio y cuatro categorías de impacto de daño, donde se vinculan los resultados del inventario de ciclo de vida con las entradas y salidas.	Sphera, 2015
ReCiPe	Se encuentra orientada al problema y daño ambiental de un producto, que contempla dos grupos de impacto: 18 categorías de puntos intermedios como cambio climático, toxicidad, eutrofización marina, disminución de combustibles fósiles, y 3 categorías de puntos finales: salud humana, recursos y ecosistemas.	Golsteijn, 2017
CML 2002	Su objetivo es identificar las mejores prácticas para los indicadores en el punto medio. Opera siguiendo la estructura de ISO 14040, incluye métodos recomendados para la normalización, sin embargo, no incluye métodos para la ponderación.	IES, 2010
EDIP 2003	Método enfocado en el diseño ambiental de productos industriales. Proporciona factores de exposición espacial o propios de una región, de las categorías de impacto relacionadas con las emisiones no globales en punto medio del proceso. Incluye factores para normalizar los datos, pero no para ponderar resultados.	IES, 2010

Tabla 2.8. Metodologías empleadas para evaluar impactos ambientales

Metodología	Descripción	Referencia
IPCC 2001	<p>Método desarrollado por el Panel Internacional sobre el Cambio Climático. Enumera los factores de cambio climático del IPCC con un marco de tiempo de 20, 100 y 500 años. Los factores de caracterización del IPCC para el potencial de calentamiento global directo de las emisiones al aire tiene las siguientes características:</p> <ul style="list-style-type: none"> • No incluye la formación indirecta de óxido de nitrógeno a partir de las emisiones de nitrógeno. • Contempla la formación de CO₂ a partir de las emisiones de CO. • Considera la absorción de CO₂ biogénico como un impacto negativo. 	PRé, 2020

2.3.3.1. ReCiPe

ReCiPe es una metodología publicada en el 2008, enmarcada en el ámbito europeo. Tiene un enfoque de cálculo de puntos medios y puntos finales, donde la diferencia es la interpretación de los datos. Contempla 3 perspectivas diferentes, las cuales representan un conjunto de aspectos, como el tiempo a desarrollo de tecnología, que son (NIPHE, 2017):

- Jerárquica (H): es considerado por defecto y es un modelo de consenso, el cual incluye exclusivamente información con suficientes pruebas científicas.
- Individualista (I): es un modelo a corto plazo de visión optimista, el cual contempla que los avances tecnológicos resuelvan problemas futuros. Descarta impactos futuros y utiliza solo información con base científica.
- Igualitaria (E): los impactos presentes y futuros son puestos al mismo nivel. Utiliza el principio de prevención.

Las 18 categorías de impacto que contempla esta metodología se muestran en la Tabla 2.9.

Tabla 2.9. Categorías de impacto en la metodología ReCiPe

	Categoría de impacto	Definición	Unidad
1	Calentamiento global (CG)	Indicador de potencial calentamiento global por la emisión a la atmósfera de gases de efecto invernadero. Impacto: salud humana, ecosistema terrestre y ecosistema de agua dulce.	kg CO ₂ eq
2	Agotamiento de la capa de ozono (ACP)	Indicador de emisiones a la atmósfera que causan la destrucción de la capa de ozono estratosférico. Impacto: salud humana	kg CFC11 eq
3	Radiación ionizante (RI)	Categoría de impacto correspondiente a efectos nocivos a la salud humana, provocados por las descargas radioactivas. Impacto: salud humana	kBq Co-60 eq
4	Formación de ozono (FO, SH)	Indicador relacionado con la emisión de gases que afectan la formación de ozono fotoquímico en la capa inferior o smog, que es catalizada por la luz solar y relacionada con las emisiones de NOx y compuestos orgánicos diferentes al metano. Impacto: salud humana	kg NOx eq
5	Formación de partículas finas (FPF)	Categoría de impacto correspondiente a los efectos nocivos a la salud humana, asociados a material particulado de diámetro menor a 2.5 µm (PM 2.5) de origen orgánico e inorgánico. Impacto: salud humana	kg PM2.5 eq
6	Formación de ozono fotoquímico (FOF, ET)	Indicador relacionado con la emisión de gases que afectan la formación de ozono fotoquímico en la capa inferior o smog, que es catalizada por la luz solar y relacionada con las emisiones de NOx y compuestos orgánicos diferentes al metano. Solo se encuentran implicadas sustancias de vida corta, por lo tanto, el horizonte temporal no es importante. Impacto: salud humana y ecosistema terrestre	kg NOx eq

Tabla 2.9. Categorías de impacto en la metodología ReCiPe

	Categoría de impacto	Definición	Unidad
7	Acidificación terrestre (AT)	Indicador de la potencial acidificación de suelos y agua debido a la liberación de gases tales como óxidos de nitrógeno, amoníaco y óxidos de azufre. Impacto: ecosistema terrestre	kg SO ₂ eq
8	Eutroficación de agua dulce (EUAD)	Indicador relacionado con el incremento de nutrientes (fósforo y nitrógeno) en los ecosistemas acuáticos, que puede conducir en un caso extremo a la pérdida relativa de especies. Impacto: ecosistemas	kg P eq
9	Eutroficación marina (EUM)		kg N eq
10	Ecotoxicidad terrestre (ECT)	Impacto generado hacia los organismos terrestres por presencia de sustancias tóxicas emitidas al ambiente. Impacto: ecosistemas terrestres	kg 1,4-DCB
11	Ecotoxicidad de agua dulce (ECAD)	Impacto de sustancias tóxicas emitidas al medio ambiente en los organismos de agua dulce. Impacto: ecosistemas acuáticos	kg 1,4-DCB
12	Ecotoxicidad de agua marina (ECAM)	Impacto en el agua de mar de sustancias tóxicas emitidas al ambiente, principalmente los efectos nocivos a causa de metales. Impacto: ecosistemas acuáticos	kg 1,4-DCB
13	Toxicidad humana cancerígena (THC)	Impacto en los seres humanos a causa de la persistencia ambiental y acumulación en la cadena alimentaria humana de sustancias químicas. Impacto: salud humana	kg 1,4-DCB
14	Toxicidad humana no cancerígena (THNC)		kg 1,4-DCB
15	Uso de suelo (US)	Categoría de impacto correspondiente al uso de una superficie de tierra por actividades tales como la agricultura, carreteras, viviendas y minería, que pudiera provocar pérdidas de soporte de la cadena alimenticia o de la biodiversidad. Impacto: ecosistemas terrestres.	m ² a crop eq
16	Escasez de recursos minerales (ERM)	Indicador del agotamiento de los recursos naturales no fósiles. Impacto: ecosistema terrestre	kg Cu eq

Tabla 2.9. Categorías de impacto en la metodología ReCiPe

	Categoría de impacto	Definición	Unidad
17	Escasez de recursos fósiles (ERF)	Indicador del agotamiento de los recursos naturales de combustibles fósiles. Impacto: ecosistema terrestre	kg aceite eq
18	Consumo de agua (CA)	Consumo de recursos hídricos. Impacto: salud humana, ecosistema terrestre y ecosistema acuático	m ³

Es posible realizar la normalización de los datos ya sea con los factores europeos o mundiales (NIPHE, 2017).

3. Antecedentes

En este capítulo se presenta la bibliografía precedente para este proyecto, tanto relacionada con ACV de cubrebocas, como de materias primas usadas en su fabricación.

3.1. ACV de cubrebocas

Debido a la importancia actual del uso de cubrebocas y a que es un campo nuevo de investigación, en la literatura se han encontrado pocos estudios de ACV enfocados en cubrebocas de un solo uso y reutilizable, que se muestran en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Estudios de caso de Análisis de Ciclo de Vida de cubrebocas

Referencia	Metodología	Resultados
Rodríguez <i>et al.</i> , 2021	Se llevó a cabo de acuerdo con los requisitos de la norma ISO 14040 y los cálculos de impacto con el software SimaPro, se seleccionó la base de datos Ecoinvent y la metodología de ReCiPe como fuente de datos secundarias. Se llevó a cabo la comparación de 5 diferentes tipos de cubrebocas; impresos en 3D con filtros intercambiables, quirúrgicos, tipo FFP2 con válvula, FFP2 sin válvula y lavable.	Los cubrebocas con mayor impacto ambiental fueron los de un solo uso, es decir, quirúrgicos, tipo FFP2 con válvula y FFP2 sin válvula. En general el tipo FFP2 fue el menos sostenible al requerir gran cantidad de materia prima que representa mayor impacto en comparación al número de cubrebocas necesarios en un periodo de tiempo. Los cubrebocas lavables fueron los que mostraron menor impacto ambiental, seguidos de los 3D con filtro intercambiable, los cuales pueden ser mejorados al modificar su área filtrante.
Wei <i>et al.</i> , 2021	Consideró dos tipos de cubrebocas, el primero de un solo uso o desechable que consiste en 3 capas de polipropileno (PP), la primera y última capa son del PP soplado en fusión y la segunda capa es del PP spunbond; el segundo fue uno reutilizable tipo EFL de triple capa, la primera de tejido de poliéster con revestimiento hidrófobo, la segunda una capa del PP soplado en fusión y un tejido de poliéster con revestimiento hidrófobo y una tercera capa de tejido de poliéster. Los respectivos ACV se llevaron a cabo desde la extracción de materia prima hasta la gestión de residuos utilizando la base de datos Ecoinvent 3.6 para determinar los factores de emisión y los residuos generados, y se consideraron 9 categorías de impacto utilizando la metodología ReCiPe con perspectiva jerárquica	El reutilizable genera menos residuos y los impactos son 30 % menores respecto al de un solo uso en las categorías de impacto de cambio climático, agotamiento de combustibles fósiles, agotamiento de metales, ecotoxicidad del agua dulce, ecotoxicidad marina y generación de residuos. También se observó que la mayor cantidad de emisiones predomina durante la adquisición de materia prima para la fabricación del cubrebocas de un solo uso y la mayor contribución a los residuos ocurre durante la etapa de uso.

Se puede observar que aún es un campo amplio de investigación, dado que en la literatura solo se han encontrado un par de artículos específicos sobre cubrebocas de un solo uso y reutilizables, sin embargo, algunos otros que pueden ser relacionados con esta temática son:

- van Straten y colaboradores (2021) realizaron el ACV de un cubrebocas desechable y uno desechable esterilizado para ser utilizado nuevamente, este último en la categoría de cambio climático mostró menor impacto ambiental que un cubrebocas nuevo.
- Kumar y colaboradores (2021) proponen 3 escenarios diferentes para el tratamiento de los residuos de EPP a través de su ACV, como resultados obtuvieron que la incineración descentralizada es la opción más viable en términos de ambiente y salud humana para la eliminación de estos productos, mientras que la opción menos viable es la eliminación en vertederos, en donde se observa que todas las categorías de impacto son superiores, excepto para el calentamiento global.

3.2. ACV de materiales con los que se elaboran cubrebocas de un solo uso y reutilizables

En los últimos años el ACV se ha utilizado para evaluar los impactos ambientales de diferentes residuos o productos plásticos, en este contexto se encuentran en la literatura diferentes casos de estudio de productos a base de materiales como algodón, polipropileno, polietileno, entre otros, mismos materiales que son empleados en la elaboración de cubrebocas, como los que se muestran en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Casos de estudio de ACV de materiales empleados para elaborar cubrebocas, aplicados en otros productos

Material y referencias	Metodología	Resultados
<p>Vasos de un solo uso: polilactida (PLA), polietileno (PET) y polipropileno (PP) (Moretti <i>et al.</i>, 2021)</p>	<p>Se utilizaron como guía las normas ISO 14040 y 14044 y las recomendaciones de la guía de la Comisión Europea PEFCR, la base de datos utilizada fue Ecoinvent.</p>	<p>El ACV de la cuna a la tumba tuvo como resultados que los vasos de PLA se pueden considerar ambientalmente mejores que los de PET, no así para los del PP. Algunos de los resultados positivos para el PLA fueron que presentaron mejor gestión de residuos a través del compostaje y reciclaje, y el uso de energía renovable durante la producción de ácido láctico. Para el PLA la fermentación del ácido láctico y la producción del polímero son las principales fuentes de impactos ambientales, si estas 2 etapas pudieran mejorarse, el PLA podría considerarse ambientalmente mejor que ambos, actualmente, destaca el impacto de uso de recursos de combustibles fósiles al ser el 77 %, después en la categoría de cambio climático con el 60 % y uso de recursos minerales 53 %.</p>
<p>Producción de tejidos de mezclilla utilizando fibras de algodón recicladas (Fidan, <i>et al.</i>, 2021)</p>	<p>La metodología utilizada en este estudio fue TODIM, con la base de datos de Ecoinvent correspondiente al software SimaPro. Se realizaron estudios de impacto ambiental, económicos y de calidad del producto de la tela de mezclilla producida utilizando fibra de algodón reciclada mecánicamente en lugar de fibra de algodón virgen y aplicando una planta de cogeneración durante la etapa de producción de la tela.</p>	<p>El ACV mostró que el producto que tenía 100 % de algodón reciclado y que utiliza la planta de generación tiene el menor impacto ambiental. Los mayores impactos ambientales por mejorar fueron el 98 % de uso de agua, 90 % de potencial de eutrofización, 74 % de potencial de acidificación, 63 % de demanda de energía acumulada y 54 % de potencial de calentamiento global, para el uso de 100 % de algodón reciclado y uso de plantas de cogeneración. Además, el uso de la planta de cogeneración generó un 4 % de potencial de calentamiento global.</p>

Tabla 3.2. Casos de estudio de ACV de materiales empleados para elaborar cubrebocas, aplicados en otros productos

Material y referencias	Metodología	Resultados
Pañales desechables para bebés: costos del ciclo de vida, ecoeficiencia y economía circular (Mendoza <i>et al.</i> , 2019)	Se realizó el ACV desde la cuna a la tumba de un pañal desechable para bebé elaborado con tecnología alternativa donde sustituyeron el pegamento utilizado en la unión de materiales y un pañal desechable convencional.	El pañal modificado mostró la disminución de 11 % de costos ambientales y aproximadamente 67 % en la reducción de impactos ambientales respecto al pañal sin modificar, lo que implicaría en la Unión Europea aproximadamente un ahorro 192,000 toneladas de materiales y residuos, 6.7 GWh de electricidad y 184,000 toneladas de CO ₂ eq., entre otras características.
Evaluación del ciclo de vida y derecho de pago por el reciclaje de poliéster de desecho (Wang <i>et al.</i> , 2019)	Se realizó con el método WTP, el cual es utilizado en evaluación de impacto social con la metodología ReCiPe. El objetivo fue evaluar el costo que la sociedad está dispuesta a pagar por la compensación ambiental.	Los impactos ambientales del proceso de producción indirecto de la industria son mayores que la producción directa. Los procesos importantes para mejorar sus impactos ambientales son.: el consumo de energía, emisiones atmosféricas directas y uso de compuestos orgánicos, siendo las áreas sugeridas de optimización del proceso.
Evaluación del ciclo de vida de pañales de tela (Hoffmann, <i>et al.</i> , 2020)	Se llevó a cabo con un método de cribado a través del software OpenLCA utilizando la base de datos de Ecoinvent y la metodología ReCiPe en puntos finales.	Los pañales desechables muestran mayor impacto en la emisión de gases de efecto invernadero, debido a su disposición final en rellenos sanitarios. Los pañales de tela mostraron resultados ambientales positivos, a diferencia de los desechables, sin embargo, se debe tener cuidado en el uso de pañales de tela, porque, los procesos que mostraron altas contribuciones a las categorías de impacto fueron en la producción de jabón natural (para lavado del pañal) y la producción de electricidad.
Comparación del ciclo de vida de botellas de PET de base biológica	Se realizó con base a las normas ISO 14040 y 14044, en un sistema de la cuna a la tumba, donde se utilizó como guía la	Las etapas que tuvieron mayor contribución a los impactos ambientales durante la fabricación de ambos tipos de botellas fueron en la producción de ácido tereftálico purificado (PTA) y los procesos de estirado y soplado

Tabla 3.2. Casos de estudio de ACV de materiales empleados para elaborar cubrebocas, aplicados en otros productos

Material y referencias	Metodología	Resultados
(30 % de material biológico) y petroquímica (Vural Gursel <i>et al.</i> , 2021)	PEFCR y se evaluaron ocho categorías de impacto a partir de datos de las bases Ecoinvent, AgriFootprint e Industry data library.	(molduras), aproximadamente 39 al 46 % y 25 al 30 %, respectivamente. El comportamiento de las botellas de PET con base biológica mostró peor comportamiento en la mayoría de los impactos ambientales comparadas con botellas de PET petroquímicas, principalmente debido a la producción del biomaterial y uso de agua, fertilizantes, pesticidas, incremento de uso de energía y por lo tanto, incremento de las emisiones.

Abreviaturas:

ACV: análisis de ciclo de vida

CO2 eq.: dióxido de carbono equivalente

PEFCR: Product Environmental Footprint Category Rules (Reglas de categoría de huella ambiental del producto)

PET: polietileno

PLA: polilactida

PP: polipropileno

PTA: ácido tereftálico

TODIM: Toma de Decisión Interactiva Multicriterio

WTP: Willingness To Pay (Disponibilidad para pagar)

4. Justificación

La pandemia derivada por el virus SARS-CoV-2 ha generado una serie de medidas de protección personal para evitar el contagio, por tal motivo el cubrebocas se ha vuelto parte del equipo de protección personal de cada individuo. Su uso se ha incrementado en gran medida, a través de una amplia variedad de productos en el mercado, lo cual da opciones de utilizar cubrebocas de un solo uso o reutilizables. Se estima que en el año 2020 se fabricaron aproximadamente 52,000 millones de cubrebocas en el mundo (AAI, 2020), esto involucra mayor explotación de las materias primas para su elaboración, así como el incremento en la generación de residuos de este material y todos los impactos ambientales relacionados a este producto.

Por tal motivo es importante realizar el ACV de cubrebocas de un solo uso y reutilizable en las condiciones locales (México), para determinar los impactos ambientales y proporcionar recomendaciones al fabricante para que contribuyan en la mitigación de estos.

5. Pregunta de investigación

¿Qué etapa e impactos potenciales al ambiente generan a lo largo de su ciclo de vida en México un cubrebocas de un solo uso y/o uno reutilizable?

6. Hipótesis

En México la etapa de extracción de materia prima genera los mayores impactos al ambiente a lo largo del ciclo de vida de los cubrebocas de un solo uso y reutilizable; durante la etapa de uso se espera tener la mayor cantidad de generación de residuos y durante la disposición final la mayor cantidad de emisiones a la atmósfera.

7. Objetivos

7.1. Objetivo general

Evaluar los impactos ambientales generados a lo largo del ciclo de vida de un cubrebocas de un solo uso y uno reutilizable.

7.2. Objetivos particulares

- Desarrollar el ICV de ambos tipos de cubrebocas.
- Identificar las etapas a lo largo del ACV que presentan mayores impactos ambientales para ambos tipos de cubrebocas.
- Identificar los impactos ambientales más significativos del ACV para ambos tipos de cubrebocas.

8. Metodología

El desarrollo de este estudio se llevó a cabo en el área de Tecnologías Sustentables de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco (UAM-A) y que no es una comparación de los ACV de dos cubrebocas, cabe mencionar que la información recopilada corresponde a dos empresas diferentes, mismas que por motivos de confidencialidad no es posible mencionar los nombres. Esto se realizó de acuerdo con la metodología representada en el diagrama de flujo de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

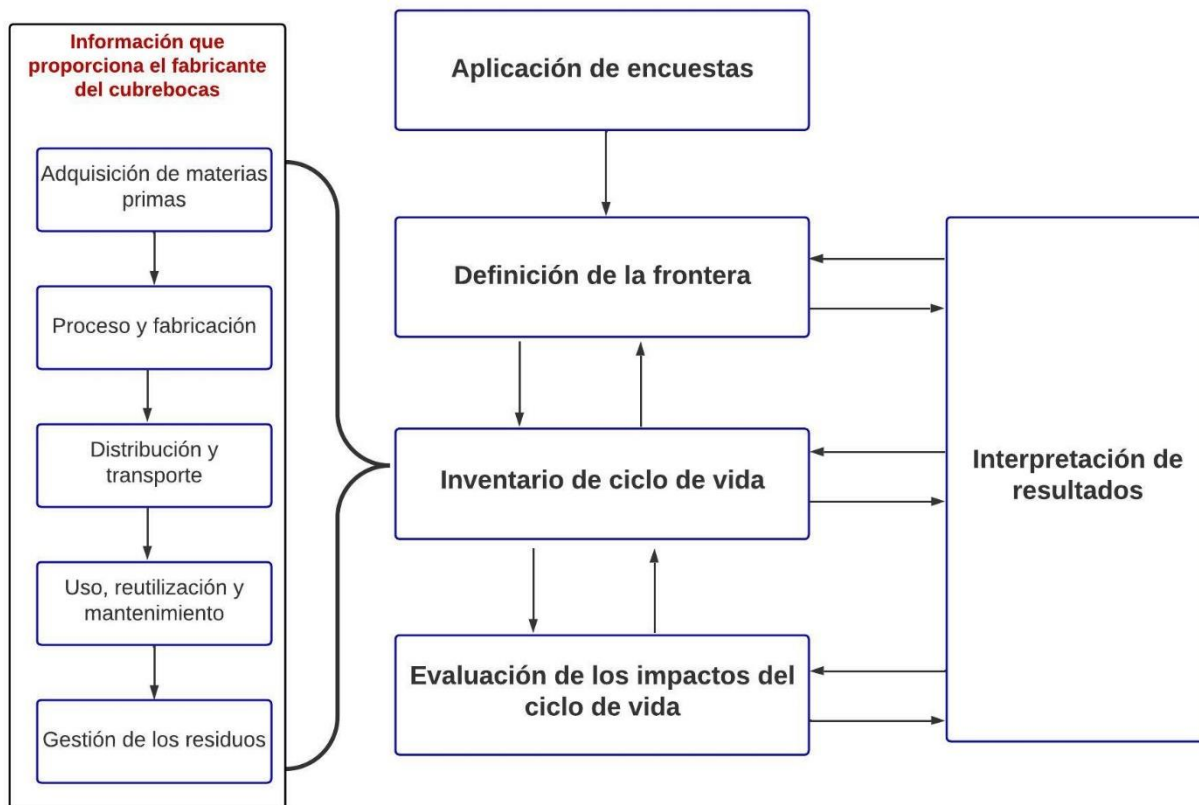


Figura 8.1. Diagrama de flujo de la metodología del análisis del ciclo de vida

Se calcularon los potenciales impactos ambientales del uso de un cubrebocas desechable y uno reutilizable, desde la cuna hasta la tumba, esta metodología comprendió cinco etapas generales y cinco subetapas, que a continuación se describen.

8.1. Aplicación y validación de encuesta

Se aplicó una encuesta en línea elaborada en un formulario de Google (Anexo A) y disponible en la misma plataforma durante 7 días, la cual fue convocada y distribuida a través de redes sociales como WhatsApp y Facebook, con el fin de conocer cuáles son los cubrebocas de un solo uso y

reutilizables que más se utilizan actualmente en México, además de proporcionar información de la forma de uso, el origen (nacional o extranjero) de los cubrebocas que se utilizan, así como la frecuencia de lavado.

En la plataforma de SurveyMonkey se determinó que para un nivel de confianza de 95 % en un área de estudio de la Zona Metropolitana de la CDMX y una población de 20,000,000 habitantes, se requerían un mínimo 385 encuestas, cifra que se cumplió al obtener 711 respuestas.

8.2. Definición de las fronteras

Para conocer el proceso general de elaboración de los cubrebocas de un solo uso y los reutilizables, se realizó el contacto con dos empresas que proporcionaron datos para cada tipo de cubrebocas, por razones de confidencialidad de aquí en adelante se referirá a ellas como empresa A y empresa B. Para el caso de la empresa A, que fabrica cubrebocas reutilizables, se visitó la planta tres veces y en el caso de la empresa B, la cual fabrica los cubrebocas desechables, se asistió una vez.

8.2.1. Alcance de estudio

Este análisis considera desde la etapa de adquisición de materias primas (MP) o compra de ellas, la transformación, transporte a cliente, uso y hasta el fin de vida de cada tipo de cubrebocas, es decir, de la cuna a la tumba, donde se tomó en cuenta la extracción de los recursos para obtener dicha MP, que se contemplan en las hojas de datos de Ecoinvent 3.7.1.

8.2.2. Unidad funcional

Se definió la unidad funcional de acuerdo con las características de cada cubrebocas con el fin de normalizar las entradas y salidas de cada proceso, mismas que se mencionan en los numerales 9.2.1.1 (cubrebocas reutilizables) y 9.3.1.1 (cubrebocas de un solo uso).

8.2.3. Límites del sistema

Para establecer los límites del sistema, se determinaron los procesos unitarios incluidos a lo largo de la cadena de valor de cada producto, desde la adquisición de materia prima hasta el fin de vida de cada tipo de cubrebocas.

8.3. Inventario del ciclo de vida (ICV)

Se generó el inventario identificando y cuantificando todas las entradas: consumo de recursos, energía y materiales, y las salidas como emisiones al agua, aire, suelo y generación de residuos. La información se obtuvo de forma directa en cada planta de fabricación para ambas empresas, y se procesó utilizando la base de datos de Ecoinvent 3.7.1 del software SimaPro 9.3.0.3, donde se consideraron procesos mexicanos en caso de existir y resto del mundo (RoW) para aquellos no específicos de México, en la gran mayoría de los datos, excepto donde se utilizaron las bases Agri-fooprint 5.0, Plastics Europe 2005 y Life Cycle Assessment of North American Printing and Writing Paper Products/2010.

Las subetapas del ICV que fueron consideradas en las entradas y salidas y de acuerdo con la Figura 8.1 son:

- i. **Adquisición de materias primas:** se contemplaron las actividades que se encuentran involucradas en la extracción y transporte de las materias primas para elaborar los cubrebocas.
- ii. **Proceso y fabricación:** se tomó en consideración las actividades que se relacionan con la transformación de materias primas y el uso de energía a lo largo del ACV, contemplando subproductos generados por estas actividades.
- iii. **Distribución y transporte:** se tomó en cuenta el traslado de cada tipo de cubrebocas (de un solo uso o reutilizable) hacia el usuario, definiendo las actividades más significativas.
- iv. **Uso, reutilización y mantenimiento:** fueron contempladas las actividades que se realizan durante y al final del uso de cada cubrebocas durante su vida útil.
- v. **Gestión de los residuos:** se analizaron las actividades que ocurren una vez concluida la vida útil de cada cubrebocas (de un solo uso o reutilizable) y se realiza su disposición final en un relleno sanitario.

Con la finalidad de cumplir el objetivo y alcance del ACV, a continuación, se indican los requisitos para satisfacer la calidad de los datos:

- Tiempo: año del que proviene el dato.
- Geografía: espacio geográfico donde se adquiere, transporte o transforma.
- Tecnología: se establece de acuerdo con lo reportado por la base de datos del software SimaPro para el flujo seleccionado, donde, nivel 0 corresponde a artesanal, nivel 3 es tecnología antigua a y nivel 4 se establece para tecnología promedio.

- Precisión: se estable buena para un dato que proviene del fabricante o de información en páginas web o documentos oficiales y mala si no existe una fuente confiable.
- Integridad: se considera 100 % si el fabricante lo mide o 0 % si solo hace una estimación.
- Representatividad: evaluación cualitativa en la que se estable buena si la información proviene del fabricante o mala si no existe una fuente confiable de donde se consultó la información.
- Coherencia: se tiene o no si se muestra que la información proporcionada cumple una metodología o está integrada en el proceso.
- Reproducibilidad: es reproducible o no sí se demuestra que el dato está integrado en la metodología y que otra persona pueda seguir el mismo proceso de esta misma.
- Fuente de los datos: se indica la base de datos de la que proviene el dato en el software SimaPro.
- Incertidumbre: se considera baja si el dato proviene del fabricante y alta si no proviene de una fuente oficial (artículos científicos o páginas web oficiales).

8.4. Evaluación de los impactos del ciclo de vida (EICV)

La evaluación de impacto se llevó a cabo con la metodología ReCiPe 2016 v1.1 midpoint Hierarchist (H) versión 1.05, que consta de 18 categorías de impacto: calentamiento global, agotamiento de la capa de ozono, radiación ionizante, formación de ozono, formación de partículas finas, formación de ozono fotoquímico, acidificación terrestre, eutroficación de agua dulce, eutroficación marina, ecotoxicidad terrestre, ecotoxicidad de agua dulce, ecotoxicidad de agua marina, toxicidad humana cancerígena, toxicidad humana no cancerígena, uso de suelo, escasez de recursos minerales, escasez de recursos fósiles y consumo de agua (Tabla 2.9) (Huijbregts *et al.*, 2016), en la que se reflejan diversos problemas ambientales. A cada tipo de cubrebocas le fueron determinadas su relación de entradas y salidas (seleccionadas en el inventario del ciclo de vida) consideradas con posible impacto ambiental.

Se determinaron las contribuciones globales del proceso, así como las de cada categoría de impacto y se realizó la normalización de los resultados como se indica en el numeral 4.4.3.2 de la NMX-SAA-14044-IMNC-2008 (IMNC, 2008b) y la ISO-14040:2006 (ISO, 2006) con el fin de conocer las categorías de mayor impacto.

8.5. Interpretación de resultados

La interpretación de la información proporcionada y relacionada en el inventario, así como la evaluación del ACV hicieron posible la elaboración de conclusiones relacionadas con el objetivo y el alcance definidos en el numeral 8.2. De acuerdo con las conclusiones se identificaron las etapas del ACV con mayor impacto ambiental de cada cubrebocas y, por lo tanto, se determinó de forma general que presenta menores o mayores potenciales impactos al ambiente, y en general los más significativos.

8.6. Análisis de sensibilidad

Se realizó un análisis de sensibilidad, donde se efectuó una variación positiva y negativa de la entrada con mayor impacto en el ACV para evaluar el efecto en los resultados, sin cambiar directamente otra variable del inventario, mismo que en el caso del cubrebocas reutilizable se menciona en el numeral 9.2.3.2 y el cubrebocas de un solo uso se establece en el numeral 9.3.3.2.

8.7. Otras metodologías

Se realizó la evaluación del ciclo de vida con las metodologías CML IA baseline e IMPACT World+ Midpoint para realizar una comparación con los resultados obtenidos con la metodología ReCiPe.

9. Resultados y discusión

Este capítulo inicia con los resultados de la aplicación de la encuesta en línea, en la que principalmente se observó que los cubrebocas KN95 (de un solo uso) y tela de algodón (reutilizable) son los más utilizados por los encuestados.

La sección 9.2 es respecto a los cubrebocas reutilizables, en donde se menciona de las 7 etapas del ciclo de vida cual es la de mayor impacto ambiental, así como las principales categorías de impacto más afectadas.

La sección 9.3 se refiere al ACV de los cubrebocas de un solo uso, en los que se menciona de las 6 etapas de vida, cuál es la que tiene el mayor impacto ambiental y de la misma manera las principales categorías de impacto y a qué se encuentran asociados estos resultados.

9.1. Aplicación de encuesta

Se tuvieron 711 respuestas en 7 días de la encuesta que se difundió por redes sociales. El 71 % de la participación fue del género femenino, y el 37.4 % de los que contestaron, pertenecen al rango de edad de 18 a 30 años, además el 37.6 % de los encuestados radican en la Ciudad de México y la misma cifra para el Estado de México, el 61.3 % de los participantes mencionaron como grado de escolaridad la licenciatura

Se encontró que el tiempo promedio de uso de cubrebocas es de 5.7 horas \pm 1.04 horas y, de acuerdo con lo indicado por la población (Figura 9.1), el cubrebocas reutilizable más usado es el de tela.

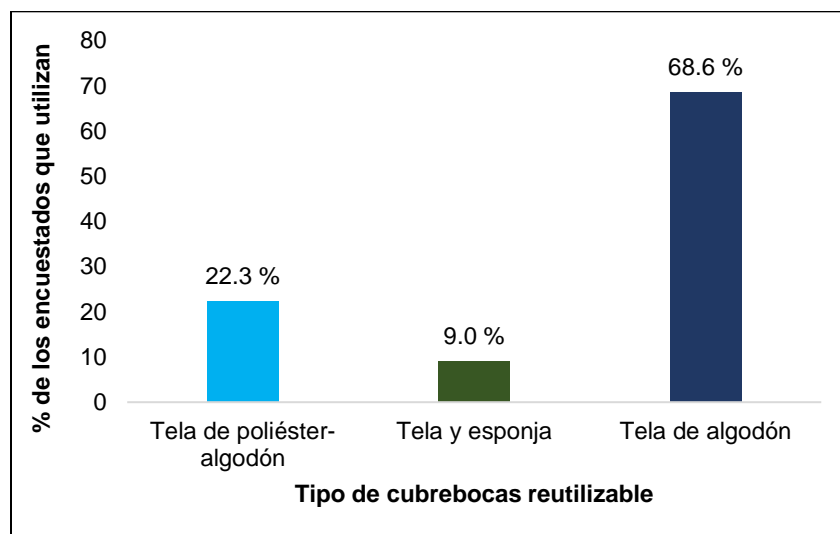


Figura 9.1. Tipo de tela de cubrebocas reutilizable

El 41 % de los participantes en la encuesta indicaron lavar a diario su cubrebocas de tela y el 19 % señaló que lo hace cada tercer día, sin embargo, 11 personas (1.54 %) mencionaron nunca realizar limpieza a su cubrebocas.

En el caso del cubrebocas desechable, los KN95 son los de mayor uso, como se muestra en la Figura 9.2.

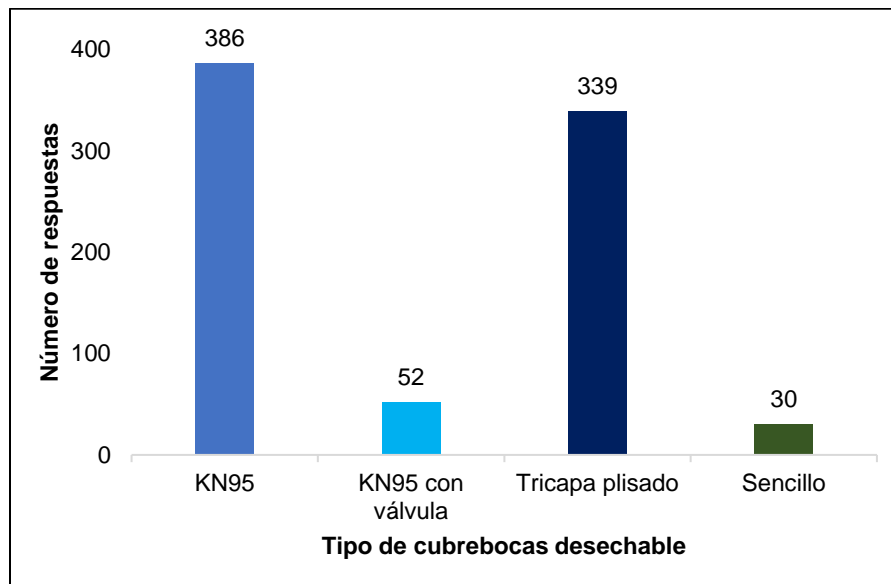


Figura 9.2. Tipo de cubrebocas desechables usados

El 29 % de la población que utiliza el KN95, refiere que lo desecha cada semana, lo que permite inferir que lo reutilizan a pesar de no tener la característica de ser reutilizable. Por otro lado, de los que mencionan portar un tricapa plisado el 35 % menciona desecharlo diario, es decir, se reutiliza con mayor frecuencia el KN95.

Una vez que los cubrebocas se convierten en residuo, existen diferentes alternativas para ser desechados, que como se observa en la Figura 9.3: cortarlos antes de desecharlos es la principal elección (recomendaciones del gobierno), algunos participantes de la encuesta mencionaron dos o incluso tres técnicas combinadas para disponerlos.

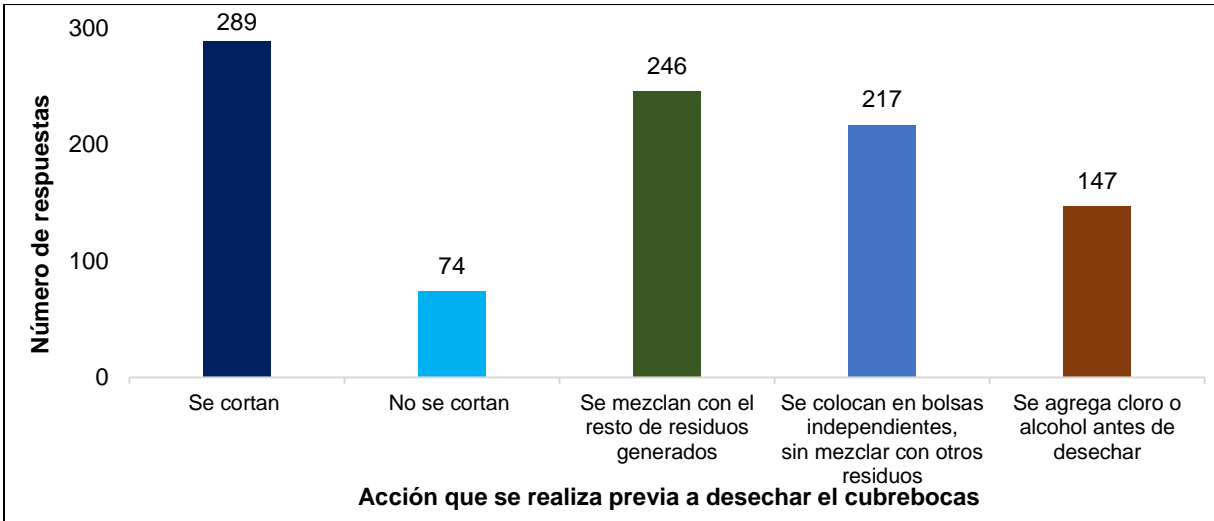


Figura 9.3. Diferentes formas de desechar los cubrebocas

Respecto al origen de los cubrebocas que portan, 38.4 % dijo que son hechos en México, 33.1 % mencionaron que su cubrebocas es extranjero y el resto desconoce el origen. Debe resaltarse que, la procedencia de un producto puede variar su impacto ambiental de ser nacional o importado por los impactos asociados al transporte.

9.2. ACV de cubrebocas reutilizable

Se realizó en análisis de ciclo de vida de un cubrebocas reutilizable, con el fin de conocer la etapa del proceso que tiene mayor contribución a los impactos ambientales e identificar, de acuerdo con el inventario, la categoría de impacto con mayor aporte.

9.2.1. Definición de las fronteras y alcance

La empresa A con sede en México proporcionó la información necesaria para la elaboración del ACV de un cubrebocas reutilizable. Se recopiló la información del ciclo de vida, en el que se consideran las siguientes siete etapas:

- Adquisición de materias primas
- Producción
- Embalaje para venta
- Transporte al centro de distribución
- Uso
- Transporte al relleno sanitario
- Relleno sanitario

9.2.1.1. Unidad funcional y flujo de referencia

De acuerdo con la información proporcionada por la empresa y con el fin de garantizar la eficiencia del cubrebocas reutilizable, se definió la unidad funcional como: proteger las vías respiratorias con 95 % de eficiencia de filtración bacteriana durante 12 horas al día.

El flujo de referencia se estableció como 1 cubrebocas reutilizable para 20 días. Se establece esta temporalidad porque es el número máximo de veces que el fabricante recomienda su uso.

De acuerdo con el fabricante las características del cubrebocas son: reutilizable, lavable, elaborado en México de tres capas de hilos de polipropileno y termosellado con ultrasonido, con dimensiones de 20 cm de largo x 13 cm de ancho, de 5.5426 g de peso. Además, es hidrofóbico, impermeable y con sujetador elástico ajustable e intercambiable (Figura 9.4).

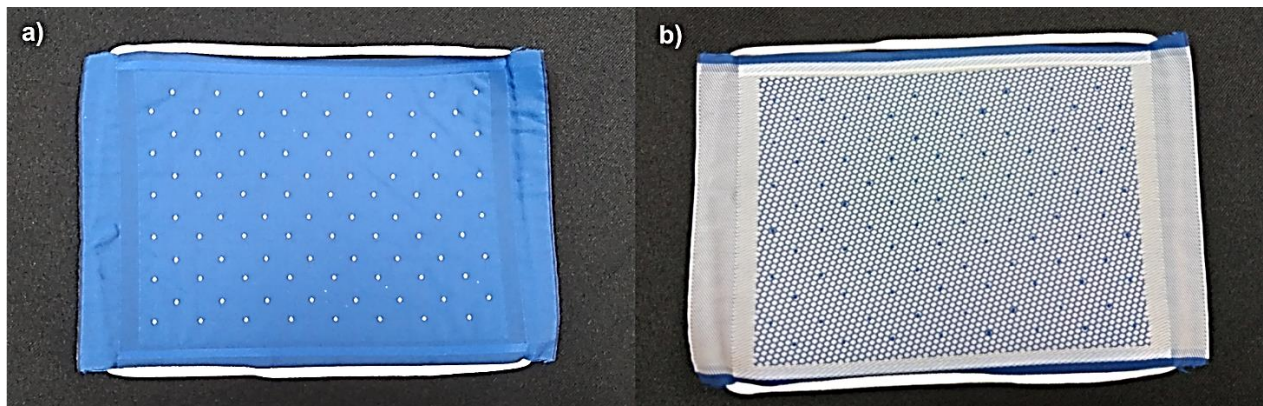


Figura 9.4. Cubrebocas reutilizable a) Cara externa b) Cara interna

9.2.2. Inventario del ciclo de vida (ICV)

Para el ICV del cubrebocas se recopiló la información para las siete etapas de acuerdo con el diagrama de flujo de la Figura 9.5.

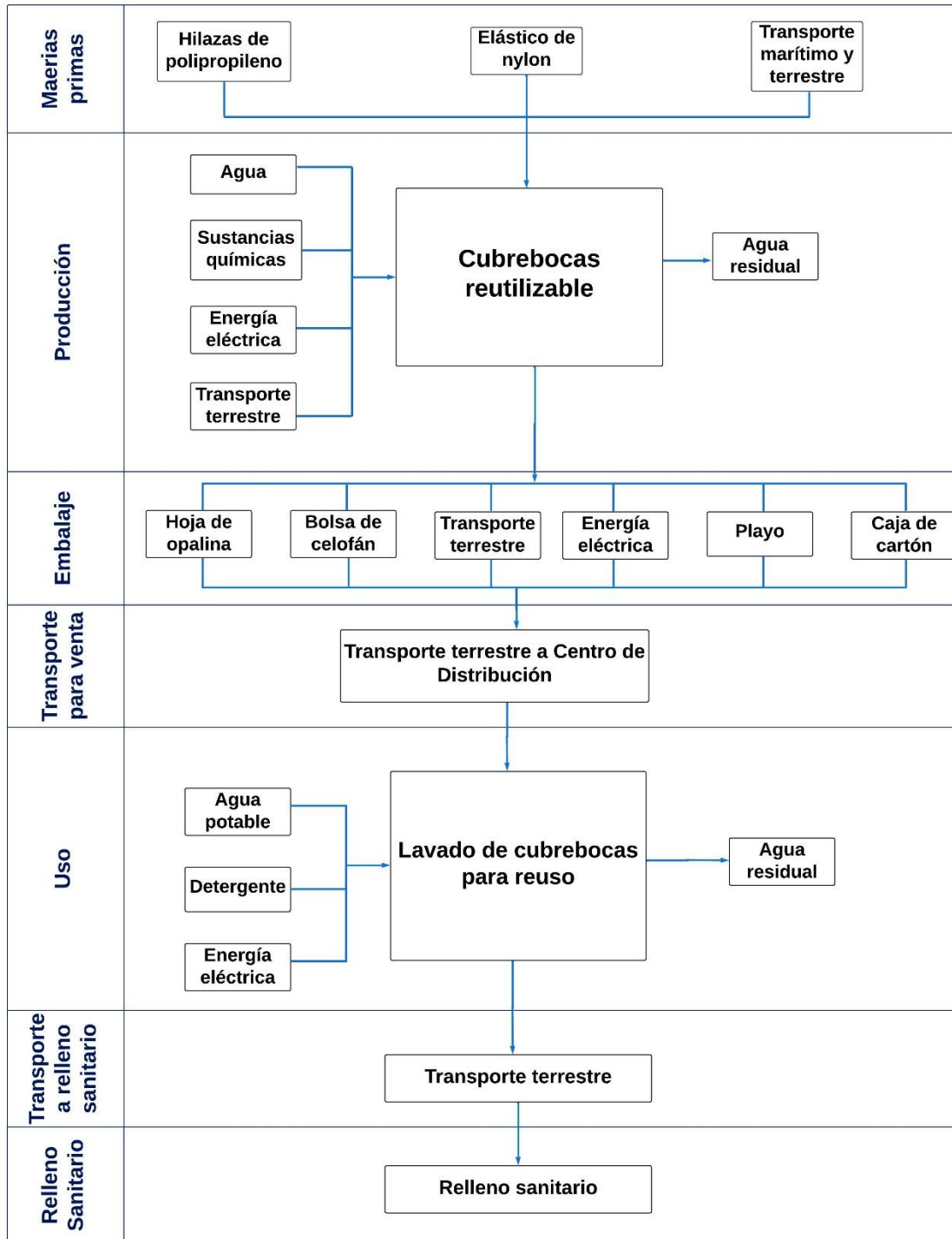


Figura 9.5. Diagrama de flujo del ciclo de vida de un cubrebocas reutilizable

Para desarrollar el ICV se realizaron cuatro visitas a la planta de fabricación, con el fin de conocer el proceso de adquisición de materias primas, producción, embalaje y transporte al centro de distribución, tanto de manera física como administrativa o documental, que dan veracidad de la

información. En lo correspondiente a las etapas de uso se realizó una búsqueda de información teórica para complementar las recomendaciones proporcionadas por el fabricante y, finalmente, para el transporte a relleno sanitario y disposición en relleno sanitario se consideró un escenario de fin de vida de acuerdo con la gestión de residuos de la Ciudad de México, para lo cual se consultó la información pública de la Secretaría del Medio Ambiente (SEMARNAT 2020) respecto a la ruta que lleva un residuo desde su generación en la fuente hasta que se dispone en un relleno sanitario.

El ciclo de vida del cubrebocas reutilizable inicia con la importación de las materias primas de las hilazas o hilos y los elásticos para sujetar, que son importados desde dos ciudades diferentes de China. El principal medio de transporte a México es marítimo. Una vez que se encuentran en la planta de fabricación, primero se teje la tela del cubrebocas, que consiste en tres capas entretrejidas de hilos de polipropileno (hilazas). Al concluir el proceso de tejeduría la tela ingresa al área que se encarga de colocar los químicos a los cubrebocas, estas sustancias están principalmente elaboradas con fluoruro de hidrógeno, isocianato de fenilo y plata, y su objetivo es incrementar la resistencia de la tela al desgaste por el lavado, proporcionar permeabilidad al agua y aceite y continuar con la función bactericida en al menos 20 ocasiones después de ser lavado. Concluida la aplicación de químicos el material pasa a un segundo túnel para el secado de la tela. Una vez que ésta está lista, se cortan los cubrebocas y se sellan los cuatro extremos, de acuerdo con la información proporcionada mediante certificados por la empresa A y lo que se observó en la planta de fabricación.

De forma independiente se corta de manera manual el elástico que se coloca en el cubrebocas y funciona para sujetar.

La tela de los cubrebocas una vez seca se corta cada pieza y se sellado en los entremos con una máquina de corte sónico para posterior colocar el elástico para tener una pieza completa de este EPP. Posteriormente se supervisa la calidad y los cubrebocas son embalados en bolsas de celofán que contiene 5 piezas reutilizables, que es la presentación de venta al público. Este producto se transporta en cajas de cartón del Centro de Distribución (CEDI) del cliente, quien se encarga de hacer la distribución al país México. La descripción y recomendaciones de uso son impresas en una hoja de opalina que se coloca en cada paquete de 5 piezas e incluyen: protección garantizada en al menos 20 lavados, se puede lavar en máquina, puede ser utilizado detergente, los elásticos pueden ser intercambiados, recomendaciones para el uso correcto, información del fabricante.

Para la etapa de fin de vida se seleccionó el escenario en el que el CEDI también fuera el sitio de generación, esto ya que es la ubicación donde se concentran todos los cubrebocas antes de ser distribuidos a nivel nacional y de esta manera simular la ubicación donde se encontrará el cliente, y con ello establecer una ruta a seguir al centro de transferencia y posteriormente al relleno sanitario, de acuerdo con la gestión de residuos de la Ciudad de México.

En la Tabla 9.1 se describe el inventario de las siete etapas de ciclo de vida del cubrebocas reutilizable, así como las consideraciones que se mencionan. El inventario a detalle que indica la cantidad y flujos de cada elemento en SimaPro, puede ser consultado en el Anexo B.1.

Tabla 9.1. Descripción simplificada del inventario del ciclo de vida de cubrebocas reutilizable

Adquisición de materias primas

Hilazas

Entrada	Descripción
Hilazas	Hilos de polipropileno importados.
Transporte	Descripción
Transporte en camioneta tipo Van	Se recorre una distancia de 7.4 km por vía terrestre en un vehículo comercial ligero desde el punto de venta hasta el puerto marítimo de Hong Kong en China.
Transporte marítimo	Se recorre una distancia de 14673.93 km en transporte comercial marítimo, desde el puerto marítimo de Hong Kong, China, hasta el puerto marítimo de Manzanillo, Colima, México.
Transporte en camioneta de 3.5 Ton	Se considera que recorre una distancia de 814 km desde el puerto de Manzanillo hasta la planta de fabricación, en un transporte de 3.5 a 7.5 toneladas métricas tipo EURO 3.

Elástico

Entrada	Descripción
Hilo	Material de nylon 06 texturizado.
Lycra	Poliuretano 100 % flexible.
Transporte	Descripción
Transporte en camioneta tipo Van	Se recorre una distancia de 74.5 km por vía terrestre en un vehículo comercial ligero desde el punto de venta hasta el puerto marítimo de Ningbo, China.
Transporte marítimo	Se recorre una distancia de 13401.88 km en transporte comercial marítimo, desde el puerto marítimo de Ningbo, China, hasta el puerto marítimo de Manzanillo, Colima, México.
Transporte en camioneta de 3.5 Ton	Se considera que recorre una distancia de 814 km desde el puerto de Manzanillo hasta la planta de fabricación, en un transporte de 3.5 a 7.5 toneladas métricas tipo EURO 3.

Tabla 9.1. Descripción simplificada del inventario del ciclo de vida de cubrebocas reutilizable

Adquisición de materias primas

Materia prima

Entrada de materiales	Descripción
Hilaza	Creado como hilaza en materiales.
Elástico	Creado como hilaza en materiales, del cual el 68 % es nylon y 32 % lycra.

Producción o transformación

Transformación

Entrada de materiales	Descripción
Materias primas	Creado, contempla la hilaza y el elástico.
Agua para aplicación de químicos	Agua para dilución de reactivos químicos que se aplica al cubrebocas como mezcla antibacteriana, se utilizan 20 L de agua para la mezcla de 28 L. Cada cubrebocas utiliza un volumen de 3.849 ml de la mezcla.
Entrada de materiales	Descripción
Turbiguard 30F	Sustancia aniónica a base de fluorocarbonos para producir efecto repelente al agua y aceite, que se adiciona a la mezcla antibacteriana en un volumen de 3 L.
Turbiguard Fix H26	Incrementa las propiedades de solidez al lavado, este reactivo se aplica en una proporción de 10 g/kg de tela, de acuerdo con las instrucciones del proveedor.
HeiQ Viroblock NPJ03	Agente de acabado textil para fibras, recomendado para equipo médico como cubrebocas o batas quirúrgicas por su efecto bactericida. Se aplica en una proporción de 10 % del peso de la tela.
Entrada electricidad	Descripción
Hilado	Maquinaria con consumo energético teórico de 6 kWh/ kg (MGM International 2015) para elaboración de cubrebocas de tela, donde se crean tres capas de hilos de polipropileno y se fabrican 8 piezas cada 2.5 minutos.
Túnel de lavado	Maquinaria con consumo energético de 41 kWh, en la que se aplica la mezcla de compuestos químicos para cumplir con la función de protección. Se procesan 4 m de tela por minuto.
Túnel de secado	Maquinaria de consumo energético de 18 kWh, en la cual ingresa el cubrebocas para el secado, posterior a la aplicación de químicos en el túnel de lavado, donde, se secan 240 cubrebocas en 40 segundos.
Corte y sellado sónico	Maquinaria con consumo energético en la que se realiza el corte de cada cubrebocas y el sellado de los extremos, una velocidad de 40 cubrebocas/minuto.
Transporte de químicos en camioneta tipo van	Se considera el transporte terrestre de las sustancias químicas en camioneta tipo Van, desde el punto de venta a la planta de fabricación para aplicación al cubrebocas, se recorre en total una distancia de 65.7 km y las tres sustancias (Turbiguard 30F, Turbiguard Fix H26 y HeiQ Viroblock NPJ03) se adquieren con el mismo proveedor.

Tabla 9.1. Descripción simplificada del inventario del ciclo de vida de cubrebocas reutilizable

Salida	Descripción
Agua residual	Residuo como vapor de la mezcla de agua con Turbiguard 30F, Turbiguard Fix H26 y HeiQ Viroblock NPJ03, asociado a la aplicación de sustancias químicas que funcionan como agentes antibacterianos en el cubrebocas.

Embalaje

Embalaje para venta

Entrada de materiales	Descripción
Celofán	El embalaje para venta al público consiste en un paquete de 5 cubrebocas reutilizables en una bolsa sellada de celofán (polipropileno), de dimensiones de 30.0 cm de largo x 19.8 cm de ancho.
Opalina	Cada bolsa de celofán con cubrebocas contiene una hoja de opalina de dimensiones de 26.0 cm de largo x 14.9 cm de ancho, la cual tiene impresas las recomendaciones del fabricante, instrucciones de uso y características del contenido.
Entrada de materiales	Descripción
Caja de cartón	Los paquetes de cubrebocas se transportan al centro de distribución del cliente en cajas de cartón de dimensiones de 13.0 x 16.5 x 26.5 cm, cada caja contiene 500 piezas, es decir, 100 paquetes con 5 piezas cada uno.
Playo	Cada caja para ser transportada al centro de distribución se cubre con 100 g de playo.
Entrada electricidad	Descripción
Transporte de opalina	Transporte vía terrestre de hoja de opalina para impresión de información, desde el punto de venta a la planta de fabricación en camioneta tipo van, la cual recorre 13.5 km. Se realiza en un vehículo de transporte comercial ligero.
Transporte de celofán	Transporte terrestre de bolsas de celofán para embalaje de 5 cubrebocas para venta al público, se recorren 28.9 km desde el punto de venta a la planta de fabricación. Se realiza en un vehículo de transporte comercial ligero.
Transporte de playo	Se consideró el transporte terrestre del playo para embalaje de cajas de cartón, desde el sitio de venta a la planta de fabricación de cubrebocas. Se realiza en un vehículo de transporte comercial ligero y recorre una distancia de 28.9 km.
Sellado de bolsas	Se contabilizó el consumo energético de la máquina selladora de bolsas de celofán o de un paquete de 5 cubrebocas, la cual lo realiza a una velocidad de 1 paquete cada 3 segundos. Esta maquinaria tiene un consumo de 0.110 kWh.

Tabla 9.1. Descripción simplificada del inventario del ciclo de vida de cubrebocas reutilizable

Transporte a centro de distribución (CEDI)

Transporte para venta

Transporte	Descripción
Transporte en camioneta de 3.5 T	Se contabiliza el consumo de combustible en la distancia recorrida desde la planta de fabricación al centro de distribución del cliente principal., la cual es de 25.6 km en un vehículo tipo EURO 3 de capacidad de 3.5-7.5 toneladas métricas. Solo se considera esta distancia, dado que el cliente desde el CEDI distribuye a todas sus tiendas existentes en México, donde utiliza diferentes medios de transporte, además esa información corresponde exclusivamente al cliente, por lo tanto, la empresa A desconoce el proceso.

Creación como uso

Uso del cubrebocas

Entrada	Descripción
Agua	De acuerdo con las recomendaciones del fabricante sobre el número máximo de veces de lavado del cubrebocas y con la consideración de que se realiza en lavadora, se estimó el consumo de 198.5 L de agua para una carga de 19 kg de ropa, esto de acuerdo con valores teóricos que publicó la Procuraduría Federal del Consumidor (PROFECO) en el estudio relacionado con lavadoras automáticas (PROFECO 2019)
Entrada de materiales	Descripción
Detergente	Para el cálculo de la cantidad de uso de detergente se consideró valores teóricos de consumo en un ciclo de lavado de acuerdo con un estudio de la PROFECO (PROFECO 2018), en el que se indica que se utiliza 120 g de detergente en polvo para 3 kg de ropa.
Electricidad	Se cuantifica el consumo energético del uso promedio de una lavadora de acuerdo con datos de PROFECO (2019) que señalan un consumo energético de 203.5 Wh para una carga de 19 kg y que en promedio el ciclo de lavado dura 102 min.
Salida	Descripción
Agua residual	El uso de agua potable para el lavado del cubrebocas reutilizable también se consideró como agua residual doméstica.

Transporte a relleno sanitario

Transporte a relleno sanitario

Entrada	Descripción
Transporte a estación de transferencia	Se consideró un escenario de gestión de residuos en la Ciudad de México, para lo que se registró como punto de partida del generador el CEDI del cliente y el traslado de 4 km a la estación de transferencia de Iztapalapa, Ciudad de México en un transporte de 3.5 a 7 toneladas y (SEMARNAT 2020).

Tabla 9.1. Descripción simplificada del inventario del ciclo de vida de cubrebocas reutilizable

Entrada	Descripción
Transporte a relleno sanitario	De acuerdo con la gestión, el siguiente punto de la ruta posterior a la estación de transferencia es el relleno sanitario "El Milagro", para lo que se estimó la distancia recorrida de 36.5 km en un transporte de 16 a 32 toneladas.

Fin de vida útil (residuo)

Relleno sanitario

Escenario de residuos	Descripción
Relleno sanitario	Se seleccionó un relleno sanitario como escenario de fin de vida del cubrebocas reutilizable, el cual contempla 17 tipos de materiales como residuo, los cuales son: acero, vidrio, metales, aluminio, papel, embalaje de papel, periódicos, pinturas, cartulina, plásticos, polietileno, tereftalato de polietileno, polipropileno, poliestireno, poliuretano, policloruro de vinilo y madera.

Notas:

- Se consideró un transporte EURO 3 en los transportes terrestres de 3.5 toneladas, porque son las características de los automóviles que se asemejan a los que se utilizan en México, características como indicadores del límite máximo permisible de emisiones y el combustible que se usa.
- La energía eléctrica que se utiliza proviene de fuentes mixtas, es decir energía convencional y limpia y es de alto voltaje, de acuerdo con la Comisión Federal de Electricidad (SENER 2018) y lo indicado por la empresa.

Todas las distancias se calcularon en el navegador Google Earth Pro, donde se ubicaron los puntos de partida y llegada que corresponde en cada caso, de acuerdo con la información proporcionada por la administración de la empresa A.

Con el fin de garantizar la calidad y fiabilidad de los datos se puede observar en la Tabla 9.2 la información correspondiente para cada información que se consideró en el ICV.

Tabla 9.2. Requisitos de calidad de datos del cubrebocas reutilizable

Etapa de proceso	Datos	Tiempo	Geografía	Tecnología	Precisión	Integridad (%)	Representatividad	Coherencia	Reproducibilidad	Fuente de los datos	Incertidumbre
Adquisición de materias primas	Hilazas	2021	China	Incluye histórico de producción	Buena	100	Buena	✓	✓	Agri-foodprint 5.0	Baja
	Elástico: hilo	2021	China	Nivel 0	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja
	Elástico: lycra	2021	China	Nivel 3	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja
	Transporte marítimo de hilazas	2021	Internacional	Nivel 0	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja
	Transporte terrestre de hilazas	2021	México	Nivel 0	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja
	Transporte marítimo de elástico	2021	Internacional	Nivel 0	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja
	Transporte terrestre de elástico	2021	México	Nivel 4	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja
Producción	Agua para aplicación de químicos	2021	México	Nivel 3	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja
	Turbiguard 30F	2021	México	Nivel 3	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja
	Turbiguard Fix H26	2021	México	Nivel 3	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja
	HelQ Viroblock NPJ03	2021	México	Nivel 0	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja
	Electricidad transformación	2021	México	Nivel 3	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja
	Electricidad aplicación de químicos	2021	México	Nivel 3	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja
	Electricidad corte y sellado sónico	2021	México	Nivel 3	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja
	Transporte de entradas	2021	México	Nivel 0	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja

Tabla 9.2. Requisitos de calidad de datos del cubrebocas reutilizable

Etapa de proceso	Datos	Tiempo	Geografía	Tecnología	Precisión	Integridad (%)	Representatividad	Coherencia	Reproducibilidad	Fuente de los datos	Incertidumbre
	Agua residual	2021	México	No aplica	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja
Embalaje para venta	Celofán	2021	México	Inyección de moldeo	Buena	100	Buena	✓	✓	Plastics Europe 2005	Baja
	Opalina	2021	México	Combinación de tecnologías	Buena	100	Buena	✓	✓	LCANAP and WPP	Baja
	Caja de cartón	2021	México	Combinación de tecnologías	Buena	100	Buena	✓	✓	LCANAP and WPP	Baja
	Playo	2021	México	Nivel 3	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja
	Transporte terrestre de opalina	2021	México	Nivel 0	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja
	Transporte terrestre de celofán	2021	México	Nivel 0	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja
	Transporte terrestre de playo	2021	México	Nivel 0	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja
	Electricidad para sellado de bolsas de celofán	2021	México	Nivel 3	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja
	Transporte a centro de distribución	Transporte terrestre desde el punto de fabricación al centro de distribución	2021	México	Nivel 4	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*
Uso	Consumo de agua para lavado	2019	México	Nivel 3	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja
	Detergente	2018	México	Nivel 3	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja

Tabla 9.2. Requisitos de calidad de datos del cubrebocas reutilizable

Etapa de proceso	Datos	Tiempo	Geografía	Tecnología	Precisión	Integridad (%)	Representatividad	Coherencia	Reproducibilidad	Fuente de los datos	Incertidumbre
	Electricidad para funcionamiento de lavadora	2019	México	Nivel 3	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja
	Agua residual asociada al lavado	2019	México	No aplica	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja
Transporte a relleno sanitario	Transporte terrestre desde el centro de distribución a la estación de transferencia de residuos	2022	México	Nivel 4	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja
	Transporte terrestre desde la estación de transferencia hasta el relleno sanitario	2022	México	Nivel 4	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja
Escenario de residuos	Fin de vida del cubrebocas en un relleno sanitario	2022	México	No aplica	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja

Nota:

Ecoinvent versión 3.7.1

LCANAP and WPP: Life Cycle Assessment of North American Printing and Writing Paper Products/2010

9.2.3. Evaluación e interpretación de los impactos del ciclo de vida (EICV)

Como se mencionó, la información del ICV fue proporcionada por la Empresa A de manera personal y directamente en la planta de producción, así mismo ya se mencionaron las suposiciones realizadas y algunas limitantes.

Una vez que se concluyó con el desarrollo del ICV se realizó el cálculo de los impactos ambientales con la metodología ReCiPe de puntos medios (Midpoint) en versión jerárquica (H).

9.2.3.1. Evaluación de impactos ambientales con ReCiPe

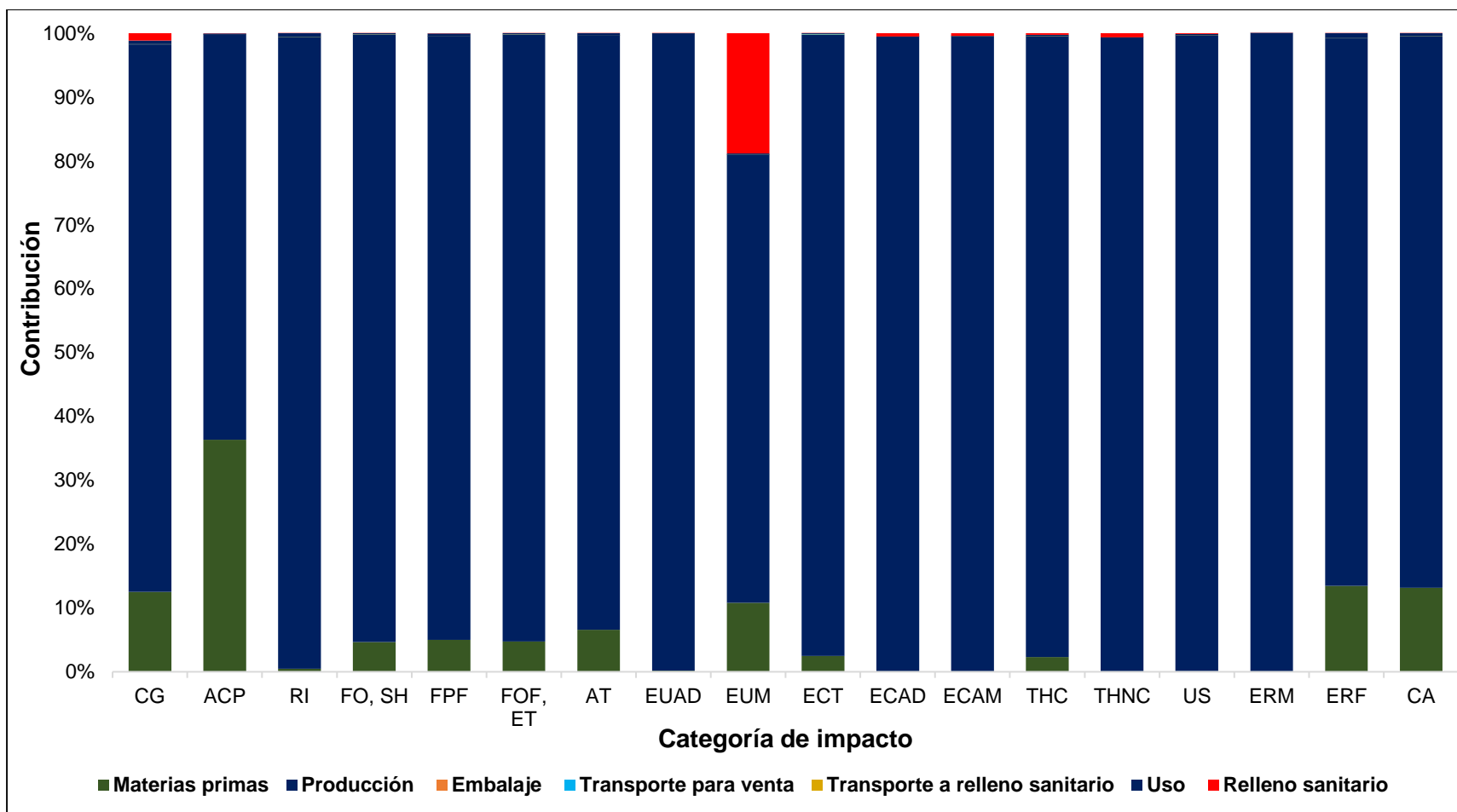
Los resultados de la evaluación con la metodología ReCiPe se muestran en la Tabla 9.3 y en la Figura 9.6, en la que se observa la contribución de cada una de las etapas del proceso en todo el ciclo de vida.

Tabla 9.3. Evaluación de impactos en el ciclo de vida de un cubrebocas reutilizable con base en el flujo de referencia

Categoría de impacto	Unidades	Materias primas	Producción	Embalaje	Transporte para venta	Transporte a relleno sanitario	Uso	Relleno sanitario	Total
Calentamiento global	kg CO ₂ eq	4.49E-02	3.08E-01	7.16E-06	5.93E-05	3.78E-05	1.96E-03	4.18E-03	0.36
	%	12.49	85.77	1.99E-03	0.02	0.01	0.54	1.16	100
Agotamiento de la capa de ozono	kg CFC11 eq	3.08E-07	5.38E-07	3.70E-12	1.88E-11	1.22E-11	1.95E-09	2.68E-10	8.49E-07
	%	36.33	63.41	4.35E-04	2.21E-03	1.44E-03	0.23	0.03	100
Radiación ionizante	kBq Co-60 eq	1.19E-04	2.51E-02	2.49E-08	4.66E-07	2.99E-07	1.51E-04	5.27E-06	2.54E-02
	%	0.47	98.92	9.79E-05	1.83E-03	1.18E-03	0.59	0.02	100
Formación de ozono, salud humana	kg NOx eq	1.09E-04	2.22E-03	2.04E-08	3.92E-07	2.71E-07	3.74E-06	4.62E-07	2.34E-03
	%	4.65	95.14	8.75E-04	0.02	0.01	0.16	0.02	100
Formación de partículas finas	kg PM2.5 eq	4.33E-05	8.19E-04	1.23E-08	7.71E-08	5.47E-08	4.13E-06	2.31E-07	8.67E-04
	%	5.00	94.48	1.42E-03	0.01	0.01	0.48	0.03	100
Formación de ozono fotoquímico, Ecosistemas terrestres	kg NOx eq	1.13E-04	2.25E-03	2.08E-08	3.96E-07	2.73E-07	3.85E-06	4.67E-07	2.37E-03
	%	4.74	95.05	8.76E-04	0.02	0.01	0.16	0.02	100
Acidificación terrestre	kg SO ₂ eq	1.27E-04	1.80E-03	4.16E-08	2.04E-07	1.37E-07	7.07E-06	4.77E-07	1.93E-03
	%	6.58	93.01	2.15E-03	0.01	0.01	0.37	0.02	100
Eutroficación de agua dulce	kg P eq	1.41E-06	7.27E-04	3.16E-10	1.13E-09	7.26E-10	7.89E-07	8.34E-08	7.29E-04
	%	0.19	99.69	4.34E-05	1.55E-04	9.96E-05	0.11	0.01	100
Eutroficación marina	kg N eq	2.62E-06	1.70E-05	6.08E-11	9.34E-11	6.13E-11	5.58E-08	4.56E-06	2.42E-05
	%	10.82	70.13	2.51E-04	3.86E-04	2.53E-04	0.23	18.82	100
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DCB	3.45E-02	1.35E+00	3.95E-06	7.58E-04	6.88E-04	1.88E-03	6.57E-05	1.39
	%	2.48	97.28	2.84E-04	0.05	0.05	0.13	4.72E-03	100

Tabla 9.3. Evaluación de impactos en el ciclo de vida de un cubrebocas reutilizable con base en el flujo de referencia

Categoría de impacto	Unidades	Materias primas	Producción	Embalaje	Transporte para venta	Transporte a relleno sanitario	Uso	Relleno sanitario	Total
Ecotoxicidad de agua dulce	kg 1,4-DCB	1.42E-04	4.66E-01	1.69E-08	1.73E-07	1.39E-07	3.09E-05	2.39E-03	4.69E-01
	%	0.03	99.45	3.61E-06	3.68E-05	2.96E-05	0.01	0.51	100
Ecotoxicidad de agua marina	kg 1,4-DCB	2.11E-04	7.44E-01	2.45E-08	6.21E-07	5.38E-07	4.26E-05	3.14E-03	0.75
	%	0.03	99.55	3.27E-06	8.31E-05	7.20E-05	0.01	0.42	100
Toxicidad humana cancerígena	kg 1,4-DCB	7.40E-04	3.10E-02	8.76E-07	1.92E-07	1.32E-07	6.46E-05	8.51E-05	3.19E-02
	%	2.32	97.21	2.75E-03	6.02E-04	4.15E-04	0.20	0.27	100
Toxicidad humana no cancerígena	kg 1,4-DCB	3.70E-03	7.87E+00	2.35E-06	1.52E-05	1.27E-05	1.10E-03	5.15E-02	7.92E+00
	%	0.05	99.29	2.96E-05	1.92E-04	1.60E-04	0.01	0.65	100
Uso de suelo	m ² a crop eq	5.10E-06	5.26E-03	2.43E-09	3.19E-08	2.04E-08	1.08E-05	8.01E-06	5.28E-03
	%	0.10	99.55	4.60E-05	6.03E-04	3.87E-04	0.21	0.15	100
Escasez de recursos minerales	kg Cu eq	3.77E-06	4.44E-02	1.90E-09	7.76E-09	4.98E-09	1.79E-06	1.09E-08	4.44E-02
	%	0.01	99.99	4.27E-06	1.75E-05	1.12E-05	4.03E-03	2.46E-05	100
Escasez de recursos fósiles	kg aceite eq	1.33E-02	8.47E-02	2.81E-06	1.94E-05	1.24E-05	7.50E-04	1.84E-05	9.88E-02
	%	13.44	85.75	2.84E-03	0.02	0.01	0.76	0.02	100
Consumo de agua	m ³	4.09E-04	2.69E-03	2.34E-07	1.95E-08	1.25E-08	1.43E-05	3.22E-07	3.11E-03
	%	13.14	86.38	0.01	6.26E-04	4.01E-04	0.46	0.01	100



CG: Calentamiento global	FPF: Formación de partículas finas	EUM: Eutroficación marina	THC: Toxicidad humana cancerígena	ERF: Escasez de recursos fósiles
ACP: Agotamiento de la capa de ozono	FOF, ET: Formación de ozono fotoquímico, Ecosistemas terrestres	ECT: Ecotoxicidad terrestre	THNC: Toxicidad humana no cancerígena	CA: Consumo de agua
RI: Radiación ionizante	AT: Acidificación terrestre	ECAD: Ecotoxicidad de agua dulce	US: Uso de suelo	
FO, SH: Formación de ozono, salud humana	EUAD: Eutroficación de agua dulce	ECAM: Ecotoxicidad de agua marina	ERM: Escasez de recursos minerales	

Figura 9.6. Caracterización de los impactos ambientales asociados a las etapas del ciclo de vida del cubrebocas reutilizable. Método ReCiPe

Como se observa en los resultados, la etapa de producción es la que tiene mayor porcentaje de contribución en las 18 categorías de impacto evaluadas. De acuerdo con el análisis de todas las etapas productivas el proceso “Drying, natural gas {GLO}| market for | Cut-off, U” (nombre en SimaPro) y en español la deshidratación para la producción de gas natural, está asociado a todo el ciclo de vida y es la actividad a la que se le atribuye la mayor contribución, sin embargo no es el que más afecta en todas las etapas del ACV, por lo que para determinar en cada una los procesos asociados que más afectan se evaluaron con la metodología ReCiPe las siete etapas para determinar que:

- La deshidratación para la producción del gas natural (Drying, natural gas {GLO}| market for | Cut-off, U) contribuye de manera significativa en las etapas de adquisición de materias primas, producción, transporte a CEDI, transporte a relleno sanitario y disposición final en relleno sanitario.
- La extracción de gas natural (Natural gas, at extraction site/US) aporta el mayor impacto en la etapa de embalaje.
- El gas natural a presión alta para venta al mercado (Natural gas, high pressure {RoW}| market for | Cut-off, U) es el principal elemento de contribución en la etapa de uso.

La deshidratación del gas natural no es una entrada del ICV, sin embargo, se encuentra asociada a diferentes procesos industriales en los que se utiliza el gas natural como materia prima para transformación, como es el caso de la producción de combustibles para transporte marítimo y terrestre.

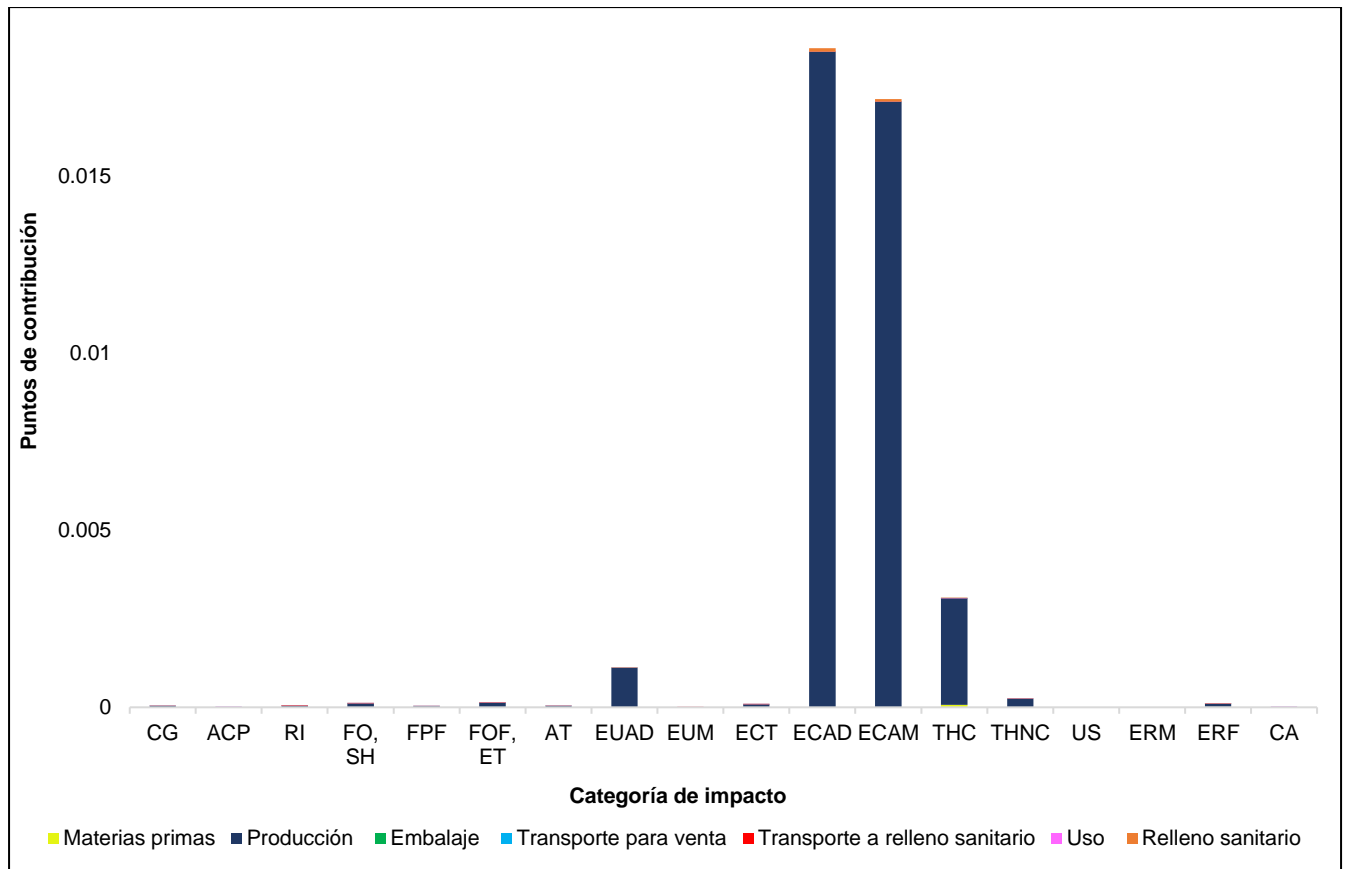
El gas natural a presión alta que se usa en el mercado no se encuentra mencionado en el ICV, pero está asociado a la producción de energía eléctrica consumida por las maquinarias que se encuentran en las entradas del ICV.

En general el proceso de producción del gas natural y sus diferentes etapas son las que se asocian principalmente y de forma indirecta al ciclo de vida del cubrebocas, por lo que, para conocer más al respecto se puede consultar el Anexo C.

La segunda etapa con mayor contribución es en la que se menciona la adquisición de materias primas (hilazas y elástico), esto se observa en 12 de las 18 categorías de impacto, excepto en radiación ionizante (RI), ecotoxicidad de agua dulce (ECAD), ecotoxicidad de agua marina (ECAM), eutroficación marina (EUM), toxicidad humana no cancerígena (THNC) y uso de suelo

(US). En esta etapa la adquisición del elástico para sujetar el cubrebocas es al que se le atribuyen estos resultados y los procesos de producción asociados.

Se normalizaron los indicadores de la evaluación del ciclo de vida para determinar de las 18 categorías de impacto la que tiene mayor afectación, lo cual se observa en la Figura 9.7.

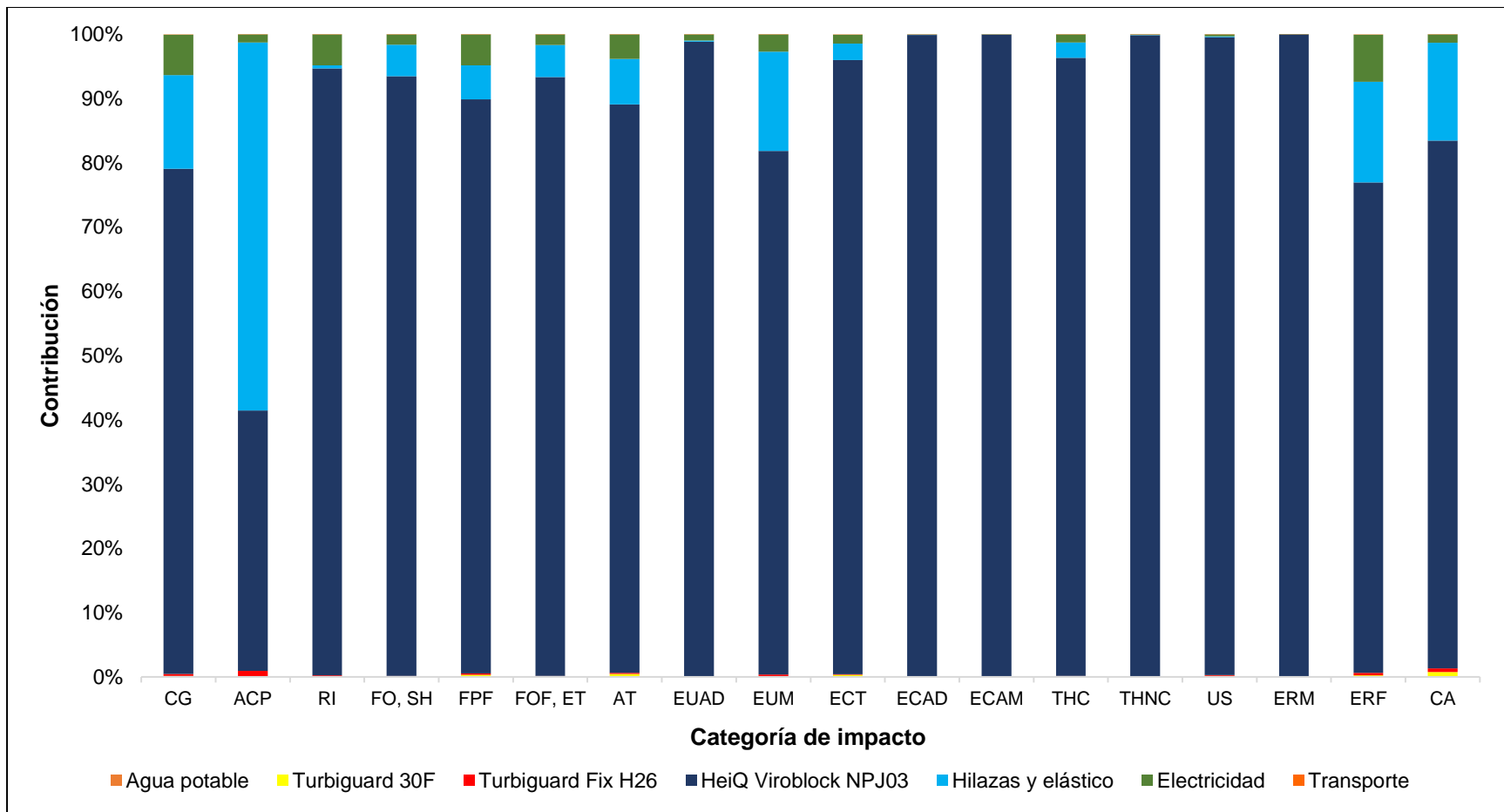


CG: Calentamiento global	AT: Acidificación terrestre	THC: Toxicidad humana cancerígena
ACP: Agotamiento de la capa de ozono	EUAD: Eutroficación de agua dulce	THNC: Toxicidad humana no cancerígena
RI: Radiación ionizante	EUM: Eutroficación marina	US: Uso de suelo
FO, SH: Formación de ozono, salud humana	ECT: Ecotoxicidad terrestre	ERM: Escasez de recursos minerales
FPF: Formación de partículas finas	ECAD: Ecotoxicidad de agua dulce	ERF: Escasez de recursos fósiles
FOF, ET: Formación de ozono fotoquímico, Ecosistemas terrestres	ECAM: Ecotoxicidad de agua marina	CA: Consumo de agua

Figura 9.7. Normalización de los impactos ambientales asociados a las etapas del ciclo de vida del cubrebocas reutilizable

La ecotoxicidad de agua dulce es la categoría de impacto más representativa asociada al uso del cubrebocas reutilizable, la segunda con mayor contribución es la ecotoxicidad de agua marina y la tercera es la toxicidad humana cancerígena. En estas tres categorías, la producción es la principal etapa que contribuye a estos resultados.

Se calculó de forma individual la etapa de producción con metodología ReCiPe para conocer las contribuciones correspondientes a las entradas y salidas de esta etapa, misma que es la de mayor impacto (Figura 9.8).



CG: Calentamiento global	FPF: Formación de partículas finas	EUM: Eutroficación marina	THC: Toxicidad humana cancerígena	ERF: Escasez de recursos fósiles
ACP: Agotamiento de la capa de ozono	FOF, ET: Formación de ozono fotoquímico, Ecosistemas terrestres	ECT: Ecotoxicidad terrestre	THNC: Toxicidad humana no cancerígena	CA: Consumo de agua
RI: Radiación ionizante	AT: Acidificación terrestre	ECAD: Ecotoxicidad de agua dulce	US: Uso de suelo	
FO, SH: Formación de ozono, salud humana	EUAD: Eutroficación de agua dulce	ECAM: Ecotoxicidad de agua marina	ERM: Escasez de recursos minerales	

Figura 9.8. Caracterización de los impactos ambientales asociados a la etapa de producción del cubrebocas reutilizable

En la etapa de producción se observa que la principal aportación está asociada al uso del reactivo HeiQ Viroblock NPJ03, mismo que de acuerdo con la descripción en el ICV, se utiliza como agente de recubrimiento para protección bacteriana y que está preparado principalmente con sales de plata. Asociado al uso de este antibacterial es posible que influya en 81.1 % la deshidratación del gas natural en alguna etapa del proceso de obtención de este reactivo.

La plata es utilizada como antibacterial por sus propiedades naturales biocidas, razón por la que tiene uso en diferentes industrias, como en la medicina u ortodoncia, así como en la alimenticia para purificar el agua (Williams 2015). Sin embargo, su toxicidad al ser humano aún está en estudio, ya que de acuerdo con la forma de exposición (oral, inhalación, vía sistémica o contacto) y el tiempo podrían presentarse diferentes efectos tóxicos que (del Rocío, Ávila, y Arroyo 2017). En el medio acuático se considera que tiene alta toxicidad, ya que se ha observado alta sensibilidad en peces, crustáceos y algas (de Sales, 2019).

De acuerdo con lo mencionado, existe concordancia en el hecho de que las categorías de impacto más afectadas sean la ecotoxicidad de agua dulce, agua de mar y a los humanos y la asociación al uso del antibacterial en la etapa de producción del cubrebocas reutilizable.

Contribución por categoría de impacto

En la Tabla 9.4 se puede observar cuál es el proceso y entrada o salida que tienen el principal impacto en cada categoría de ReCiPe, en las que la producción fue la de mayor contribución en todas.

Tabla 9.4. Contribución en cada categoría de impacto del ACV del cubrebocas reutilizable

Categoría de impacto	Etapa	Proceso Ecoinvent asociado	Sustancia Ecoinvent asociada
Calentamiento global	Producción	Producción de Nylon 6	Emisiones de CO ₂ al aire
	85.8 %	50.0 %	90.0 %
Agotamiento de la capa de ozono	Producción	Producción de Nylon 6	Emisiones de N ₂ O al aire
	63.4 %	50.0 %	62.5 %
Radiación ionizante	Producción	Tratamiento de residuos de mollienda de uranio	Emisiones al aire de Radón-222
	98.9 %	99.3 %	99.3 %
Formación de ozono, salud humana	Producción	Quema de diésel en generador eléctrico de 10 MW en la producción	Emisiones de CO ₂ al aire
	95.1 %	100.0 %	90.0 %

Tabla 9.4. Contribución en cada categoría de impacto del ACV del cubrebocas reutilizable

Categoría de impacto	Etapa	Proceso Ecoinvent asociado	Sustancia Ecoinvent asociada
Formación de partículas finas	Producción	Quema de diésel en generador eléctrico de 10 MW en la producción	Partículas < 2.5 µm
	94.5 %	100.0 %	97.5 %
Formación de ozono fotoquímico, Ecosistemas terrestres	Producción	Quema de diésel en generador eléctrico de 10 MW en la producción	Emisión a la atmósfera de NOx
	95.0 5	100 %	95.4 %
Acidificación terrestre	Producción	Proceso de voladura	Emisión a la atmósfera de SO ₂
	93.0 %	100 %	88.6 %
Eutroficación de agua dulce	Producción	Tratamiento de relaves sulfurosos en la operación de minas de plata	Emisión de fosfato al agua
	99.7 %	100 %	99.8 %
Eutroficación marina	Producción	Tratamiento en relleno sanitario de escombros de la minería de lignito	Emisión de nitrato al agua
	70.1 %	98.9 %	81.8 %
Ecotoxicidad terrestre	Producción	Extracción de zinc en mina	Emisión de cobre al aire
	97.3 %	100.0 %	97.7 %
Ecotoxicidad de agua dulce	Producción	Tratamiento en relleno sanitario de escombros de la minería de lignito	Emisión de cobre al agua
	99.5 %	100.0 %	99.6 %
Ecotoxicidad de agua marina	Producción	Tratamiento en relleno sanitario de escombros de la minería de lignito	Emisión de cobre al agua
	99.5 %	100.0 %	99.7 %
Toxicidad humana cancerígena	Producción	Tratamiento en relleno sanitario de escombros de la minería de lignito	Emisión al agua de cromo VI
	97.2 %	100.0 %	96.9 %
Toxicidad humana no cancerígena	Producción	Tratamiento en relleno sanitario de escombros de la minería de lignito	Emisión de zinc al agua
	99.3 %	100.0 %	99.2 %
Uso de suelo	Producción	Tratamiento en relleno sanitario de escombros de la minería de lignito	Espacio ocupado del relleno sanitario para el tratamiento
	99.5 %	100.0 %	99.7 %
Escasez de recursos minerales	Producción	Extracción y refinación de plata	Residuo de plata asociada a la producción de esta
	100.0	100.0 %	100.0 %
Escasez de recursos fósiles	Producción	Extracción y preparación de hulla en mina	Uso de gas natural para el procesamiento de la hulla
	85.7 %	99.5 %	81.0 %

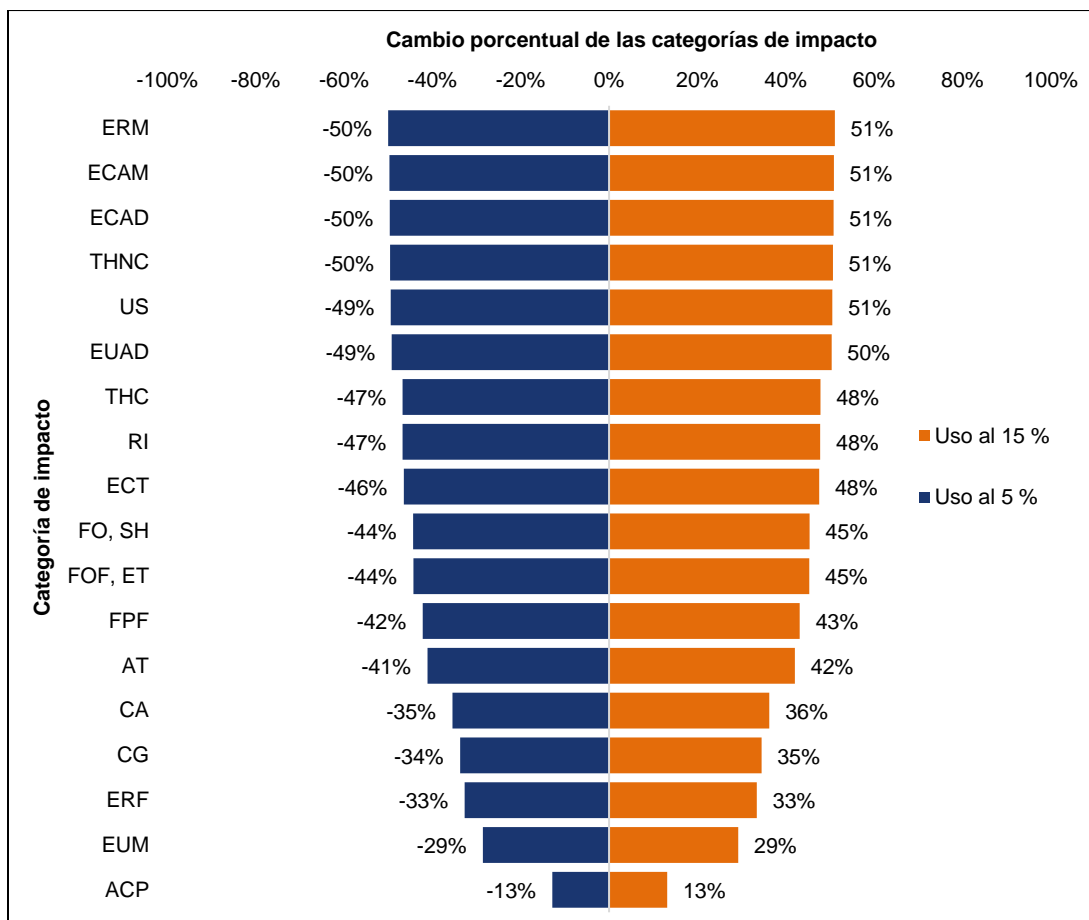
Tabla 9.4. Contribución en cada categoría de impacto del ACV del cubrebocas reutilizable

Categoría de impacto	Etapa	Proceso Ecoinvent asociado	Sustancia Ecoinvent asociada
Consumo de agua	Producción	Producción primaria de zinc para uso en plata	Uso de agua para producir energía eléctrica a partir de energía hidráulica
	86.4 %	100.0 %	95.1 %

Los procesos asociados a la minería que se vincula con la producción de plata (base del HeiQ Viroblock NPJ03) son los que tiene el mayor impacto en 12 de las 18 categorías y se destacan como salidas las emisiones al aire o al agua de subproductos de este proceso minero.

9.2.3.2. Análisis de sensibilidad

Se realizó el análisis de sensibilidad del cubrebocas reutilizable, para el que se varió de la cantidad que se utiliza de HeiQ Viroblock NPJ03, el cual se estableció en 5 y 15 % respecto al peso de la tela y considerando las recomendaciones del proveedor que establece esos valores como mínimo y máximo, actualmente se utiliza al 10 %. El HeiQ Viroblock NPJ03 es la entrada que tiene la mayor contribución, por lo tanto, fue el que se seleccionó para este análisis; los resultados se pueden observar en la Figura 9.9.



CG: Calentamiento global	AT: Acidificación terrestre	THC: Toxicidad humana cancerígena
ACP: Agotamiento de la capa de ozono	EUAD: Eutroficación de agua dulce	THNC: Toxicidad humana no cancerígena
RI: Radiación ionizante	EUM: Eutroficación marina	US: Uso de suelo
FO, SH: Formación de ozono, salud humana	ECT: Ecotoxicidad terrestre	ERM: Escasez de recursos minerales
FPF: Formación de partículas finas	ECAD: Ecotoxicidad de agua dulce	ERF: Escasez de recursos fósiles
FOF, ET: Formación de ozono fotoquímico, Ecosistemas terrestres	ECAM: Ecotoxicidad de agua marina	CA: Consumo de agua

Figura 9.9. Análisis de sensibilidad de cubrebocas desechables

Las categorías que tendrían mayor variación en el impacto son la escasez de recursos minerales, la ecotoxicidad de agua marina, la ecotoxicidad de agua dulce y la toxicidad humana no cancerígena, las cuales presentan en todo el ciclo de vida en promedio 50 % de diferencia más o menos según el caso de aplicación del reactivo.

Es importante mencionar que con este análisis de sensibilidad se observó que al reducir la cantidad de agente antibacterial se reducen los impactos ambientales sin afectar la función principal del cubrebocas reutilizable.

Interpretación general de resultados

La producción de gas natural es el proceso que tiene mayor impacto en el ACV. En este contexto particular, el proceso de extracción y procesamiento del gas natural para ser utilizado contiene los siguientes procesos: ubicación de yacimiento, perforación y extracción de gas, eliminación de petróleo y condensados, secado o deshidratación, eliminación de gas ácido y líquidos naturales, la eliminación de azufre y dióxido de carbono (AMPO, 2016), transporte por gasoducto y/o almacenamiento, distribución y finalmente el consumo (Energía y Sociedad, 2017a). Los principales usos o aplicaciones del gas natural durante el ciclo de vida del cubrebocas son (API, 2021):

- Generación de electricidad
- Calefacción
- En cogeneración y trigeneración
- Transporte
- Vapor para aplicación en producción de acero y papel
- Producción de petroquímicos, los cuales son incorporados en plásticos, fertilizantes, fibras sintéticas, cosméticos y medicamentos

Por estas aplicaciones del gas natural, es que se encuentra asociado de forma indirecta en las siguientes entradas:

- Transporte de hilazas
- Producción del poliuretano y nylon del elástico, así como su respectivo transporte.
- Todo el proceso asociado a la adquisición de plata.
- Transporte de los materiales para embalaje
- Transporte del producto al CEDI
- Transporte del residuo al relleno sanitario
- Consumo de energía eléctrica

En el segundo proceso (secado o deshidratación) de la producción de gas natural el que tiene la mayor contribución en todo el ciclo de vida; cabe destacar que no se indica o forma parte del ICV, sin embargo, está asociado de forma indirecta a diferentes entradas. El método de deshidratación más común es por absorción de vapor de agua con desecante Trietilenglicol (Zambrano *et al.*, 2019).

Otro uso asociado al impacto por el gas natural es en la producción de energía eléctrica. En México la demanda principal del gas natural es para esta aplicación, que consume el 55 % de la cantidad total importada, sin embargo, su empleo como combustible vehicular ha incrementado (Deloitte, 2019).

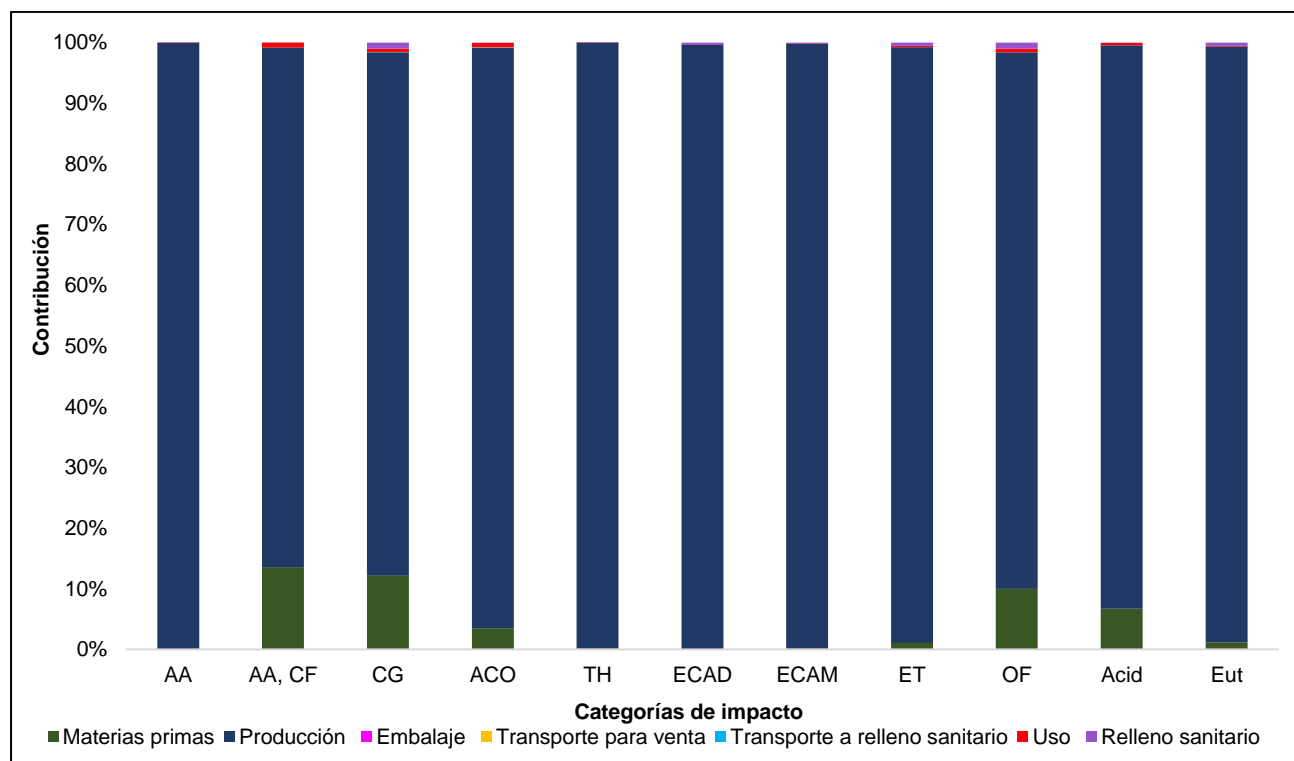
Algunas recomendaciones que se pueden mencionar son:

- Respecto a la adquisición de materias primas, buscar proveedores o fabricantes con ubicación geográfica más cerca de la planta de producción, con el fin de disminuir de forma indirecta el uso de gas natural asociado a la producción combustibles utilizados para transporte.
- En la etapa de uso de cubrebocas y de acuerdo con la recomendación al consumidor, es mejor lavar el EPP de manera manual, para eliminar el uso de energía eléctrica asociado a la lavadora.
- En general la producción es la principal etapa de contribución y en esta misma es el uso del HeiQ Viroblock NPJ03 el que presenta la mayor aportación, por lo que se recomienda buscar un sustituto antimicrobiano que no sea a base de plata y evaluar nuevamente el impacto ambiental del ciclo de vida o probar la funcionalidad sin aplicar aditivos químicos y optar por productos biodegradables para disminuir el impacto ambiental al agua dulce y marina (Hou *et al.*, 2022), además el análisis de sensibilidad nos indica la disminución de los impactos en estas categorías, lo que podría ayudar a disminuirlos. Existen en el mercado diferentes mezclas antibacteriales como el óxido de zinc y óxido de cobre (Bolaina-Lorenzo *et al.*, 2022) o radiación ultravioleta (Ye *et al.*, 2022), sin embargo, se tendría que realizar nuevamente un ACV, análisis de sensibilidad y un estudio económico para saber la viabilidad de alguno de ellos.

De realizar modificaciones en el proceso del ciclo de vida, es importante recalcular los impactos ambientales para observar los cambios en los resultados.

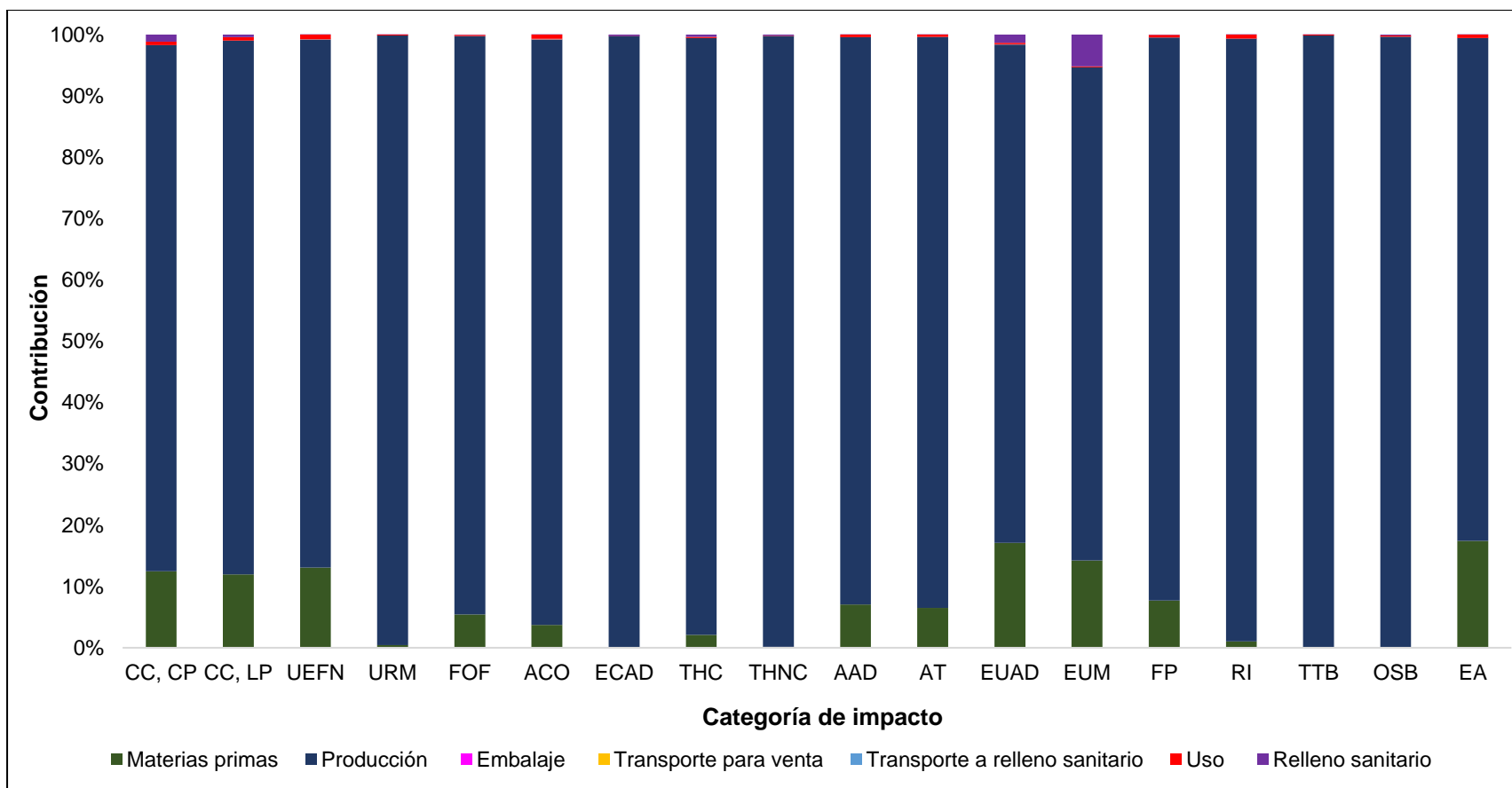
9.2.3.3. Aplicación de otras metodologías de evaluación de impacto

Cada metodología de evaluación tiene sus características y categorías de impacto específicas, sin embargo, algunas categorías coinciden con las que evalúa otra metodología, cabe resaltar que es poco viable hacer una comparación entre ellas, ya que varían las unidades en las que se miden los impactos. Se evaluó el ACV del cubrebocas reutilizable con las metodologías CML IA base línea (Figura 9.10) e IMPACT World+ Midpoint (Figura 9.11).



AA: Agotamiento abiótico	TH: Toxicidad humana	OF: Oxidación fotoquímica
AA, CF: Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	ECAD: Ecotoxicidad de agua dulce	Acid: Acidificación
CG: Calentamiento global (100años)	ECAM: Ecotoxicidad de agua marina	Eut: Eutroficación
ACO: Agotamiento de la capa de ozono	ET: Ecotoxicidad terrestre	

Figura 9.10. Caracterización de los impactos ambientales asociados a la producción del cubrebocas reutilizable. Método CML



CC, CP: Cambio climático, corto plazo	FOF: Formación de oxidantes fotoquímicos	THNC: Toxicidad humana no cancerígena	EUM: Eutroficación marina	OSB: Ocupación del suelo, biodiversidad
CC, LP: Cambio climático, largo plazo	ACO: Agotamiento de la capa de ozono	AAD: Acidificación de agua dulce	FP: Formación de partículas	EA: Escasez de agua
UEFN: Uso de energías fósiles y nucleares	ECAD: Ecotoxicidad en agua dulce	AT: Acidificación terrestre	RI: Radiación ionizante	
URM: Uso de recursos minerales	THC: Toxicidad humana cancerígena	EUAD: Eutroficación de agua dulce	TTB: Transformación de la tierra, biodiversidad	

Figura 9.11. Caracterización de los impactos ambientales asociados a la producción del cubrebocas reutilizable. Método IMPACT World+ Midpoint

Los resultados de ambas metodologías coinciden con los de ReCiPe, ya que, en las tres, la etapa de producción es la que tiene la principal contribución en todas las categorías de impacto. La principal contribución en ambos casos está asociada a la producción de gas natural y específico al secado de este, al igual que en ReCiPe.

Como se había mencionado, no todas las categorías de impacto coinciden en las diferentes metodologías, pero en las que, si existe similitud, es posible comparar los resultados (Tabla 9.5).

Tabla 9.5. Comparación de resultados con diferentes metodologías

Categoría de impacto	Unidades	ReCiPe	CML	IMPACT WORLD+
Calentamiento global	kg CO2 eq	0.36	0.35	0.36
Agotamiento de la capa de ozono	kg CFC11 eq	8.5E-07	2.0E-08	2.59E-08
Acidificación terrestre	kg SO2 eq	1.9E-03	2.4E-03	-
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DCB	1.39	1.5E-03	-
Ecotoxicidad de agua dulce	kg 1,4-DCB	0.47	2.98	-
Ecotoxicidad de agua marina	kg 1,4-DCB	0.75	3902.68	-

Se observa que las principales diferencias existen en el cálculo que realizan para ecotoxicidad de agua mariana y de agua dulce, dado que la caracterización de CML es diferente y tiene más elementos que la contemplan, a diferencia de ReCiPe. Sin embargo, cuando se normalizan los resultados, en ambas metodologías estas ecotoxicidades son las que resultan ser las más afectadas, lo que está asociado a la producción del cubrebocas. Así que, aunque exista diferencia de contribución y por ende de resultado, coinciden en términos generales de afectación.

Las diferencias que se observan están asociadas principalmente a la forma de cálculo de utiliza cada una de las metodologías, ya que no existe homologación entre ellas de cómo realizarlo y no consideran la misma cantidad de sustancias en sus inventarios, por ejemplo, en el calentamiento global la categoría CML IA solo considera 23 sustancias, a diferencia de las otras 2 metodologías de consideran más de 200 (Ver anexo D).

9.2.3.4. Comparación con la literatura

Se consultó en la bibliografía un artículo con resultados de los impactos ambientales producidos por el uso de un cubrebocas reutilizable, mismos que se muestran en la Tabla 9.6

Tabla 9.6. Comparación de impactos ambientales entre la bibliografía y este trabajo

Categoría de impacto	Cubrebocas Reutilizable		
	Esta investigación	Wei <i>et al.</i> , 2021	Variación (%)
Calentamiento global (kg CO ₂ eq)	0.359	0.338	5.8
Eutroficación de agua dulce (kg P eq)	7.29E-04	1.30E-04	82.2
Eutroficación marina (kg N eq)	2.42E-05	9.00E-04	3619.0
Ecotoxicidad de agua dulce (kg 1,4-DCB)	4.69E-01	2.20E-02	95.3
Ecotoxicidad de agua marina (kg 1,4-DCB)	7.47E-01	1.40E-02	98.1
Toxicidad humana cancerígena (kg 1,4-DCB)	3.19E-02	9.80E-02	207.2
Escasez de recursos fósiles (kg aceite eq)	9.88E-02	8.30E-02	16.0
Consumo de agua (m ³)	3.11E-03	1.16E-01	3629.9

Se observa que hay concordancia en sus órdenes de magnitud en la mayoría de las categorías. Las diferencias observadas pueden deberse a características como el país en donde se desarrollaron los estudios (México y Singapur), la adquisición de materias primas, producción de energía eléctrica y combustibles, en el caso del cubrebocas reutilizable la materia prima es poliéster y polipropileno y el de un solo uso solo polipropileno. Sin embargo, Wei y colaboradores (2021) establecieron la unidad funcional de un cubrebocas para 31 días, a diferencia de este trabajo que la establece un cubrebocas en 20, si fuera de interés conocer con mayor exactitud las diferencias y similitudes, sería importante establecer una temporalidad similar, lo que implicaría un cambio en el flujo de referencia.

9.3. ACV de cubrebocas de un solo uso

Se realizó en análisis de ciclo de vida de 20 cubrebocas reutilizables, con el fin de conocer la etapa del proceso que tiene mayor contribución a los impactos ambientales señalados en la Tabla 2.9 e identificar, de acuerdo con el inventario, el elemento con mayor aporte.

9.3.1. Definición de las fronteras y alcance.

La empresa B ubicada en México, proporcionó la información necesaria para la elaboración del ACV de un cubrebocas reutilizable. Se recopiló la información del ciclo de vida, el cual se establece desde la adquisición de materias primas por parte del fabricante hasta la disposición final en un relleno sanitario después de ser desechado por el consumidor. El sistema consiste en 6 etapas:

- Adquisición de materias primas
- Producción
- Embalaje para venta
- Transporte al centro de distribución
- Transporte al relleno sanitario
- Relleno sanitario

9.3.1.1. Unidad funcional y flujo de referencia

De acuerdo con la información proporcionada por la empresa y con el fin de garantizar la eficiencia del cubrebocas reutilizable, se definió la unidad funcional como: proteger las vías respiratorias con 95 % de eficiencia de filtración bacteriana durante 12 horas al día, por 20 días.

El flujo de referencia se definió como 20 cubrebocas desechable.

De acuerdo con el fabricante las características son: cubrebocas plano elaborado en México, termosellado con ultrasonido y desechable de tres capas de tela de polipropileno no tejido tipo SMS; primera y tercera capa tipo spunbond (S) para alta eficiencia de filtración a fluidos y segunda capa tipo meltblown (M) para filtración bacteriana, este cubrebocas tiene dimensiones de 17.5 cm de largo x 9.5 cm de ancho, de 3.514 g de peso, hidrofóbico, impermeable, con soporte nasal y sujetador elástico (Figura 9.12).

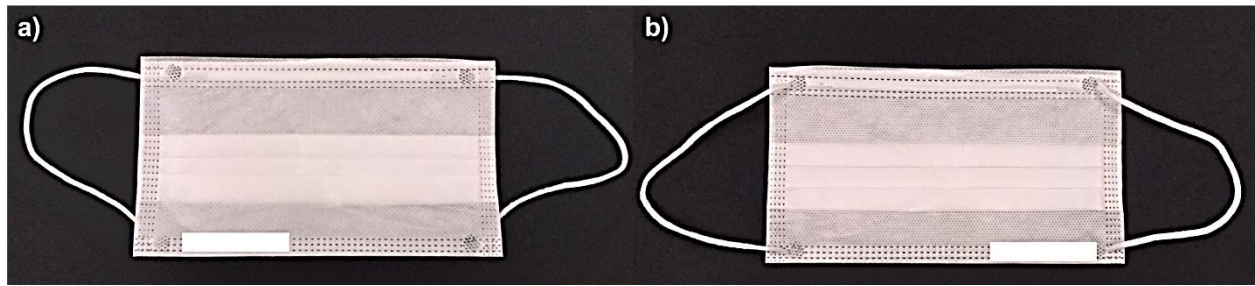


Figura 9.12. Cubrebocas desechable. a) Cara externa b) Cara interna

9.3.2. Inventario del ciclo de vida (ICV)

Para el ICV del cubrebocas se recopiló la información sobre las seis etapas de acuerdo con el diagrama de flujo de la Figura 9.13.

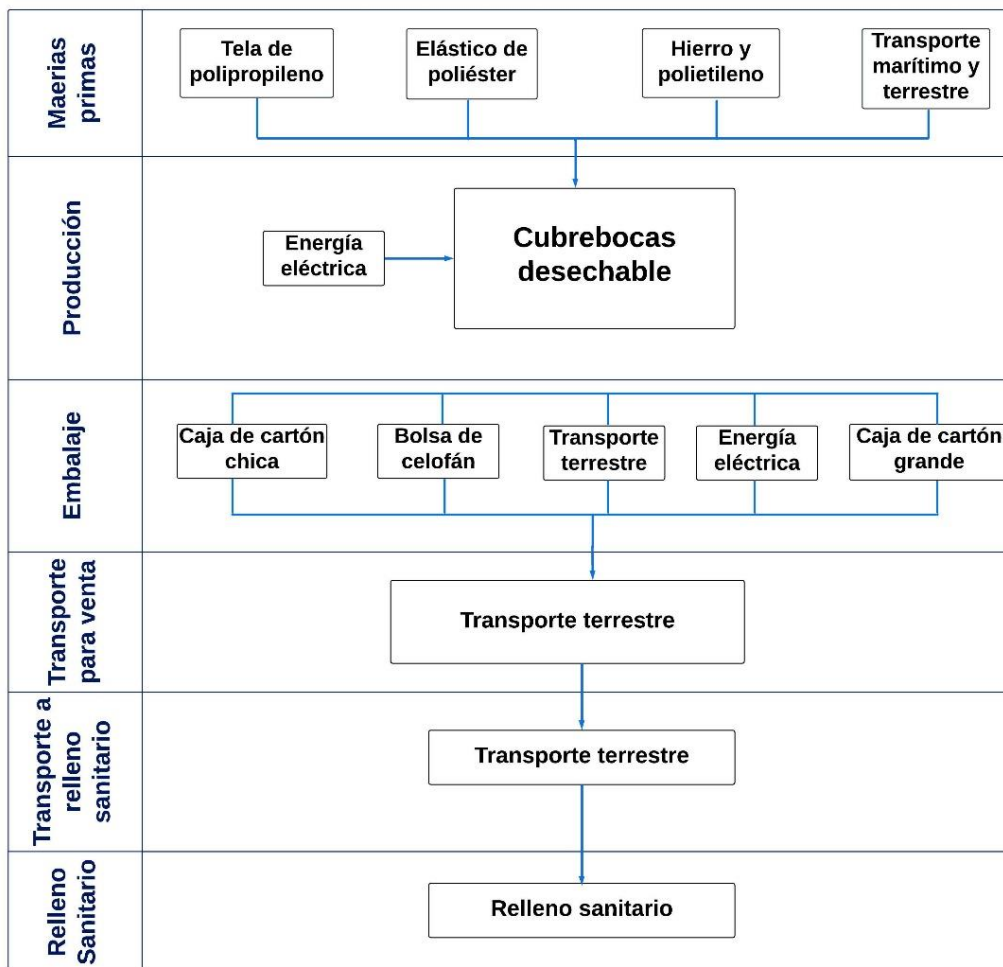


Figura 9.13. Diagrama de flujo del ciclo de vida de un cubrebocas desechable

Para desarrollar el ICV se realizó una visita a la planta de fabricación para conocer el proceso de adquisición de materias primas, producción, embalaje y transporte al cliente, tanto de manera física como la parte administrativa o documental. No se cuantificó una etapa de uso porque no se requiere, ya que el cubrebocas es de un solo uso y desechado. Para la etapa de fin de vida se contempló el transporte a relleno sanitario y su disposición en relleno sanitario, se consideró como escenario de gestión de residuos la Ciudad de México, para lo cual se consultó la información pública de la Secretaría del Medio Ambiente (SEMARNAT 2020) respecto a la ruta que lleva un residuo desde su generación en la fuente hasta que se dispone en un relleno sanitario

El ciclo de vida general del cubrebocas desechable inicia con la importación de las materias primas hasta la planta de fabricación; el soporte nasal se importa desde China, las telas y elástico son importaciones nacionales desde San Luis Potosí y Nuevo León, respectivamente.

En la planta de producción, el proceso inicia en la máquina refiladora, que es aquella en la que se coloca el rollo de tela y se va marcando el ancho de cada cubrebocas. Posteriormente pasa ese rollo de tela marcado a la confeccionadora, máquina donde se cortan simultáneamente las tres capas de tela, para formar la estructura general del cubrebocas, después pasa a la máquina punteadora, en donde se sellan todos los extremos del EPP.

De forma independiente se cortan los resortes que estarán adheridos al cubrebocas, con la finalidad de sujetar. Ya que ha pasado por punteado, al cubrebocas se le coloca cada elástico y se sella.

Una vez que el cubrebocas está listo, pasa a la máquina de estuchado, en donde se elabora y sella la bolsa de embalaje de cada uno. De forma manual se realiza el embalaje de 25 cubrebocas en una caja (la presentación al público) y para ser transportados al cliente se utiliza una caja grande cartón que contiene 500 piezas o 20 cajas de cartón con 25 piezas cada una.

La empresa B distribuye los cubrebocas de un solo uso a una lista específica de clientes, por lo que se obtuvo la información de los 10 principales. Se calculó la distancia desde la planta de fabricación a cada uno de los clientes y se determinó la distancia promedio, para conformar un escenario de transporte. Se seleccionó al cliente más cercano a la distancia promedio y con ello se calculó la distancia, que se tomó como punto de referencia para el escenario de gestión de residuos.

Por lo tanto, para la gestión de residuos, se seleccionó el escenario en el que la dirección del cliente también fuera el sitio de generación, para establecer una ruta a seguir al centro de transferencia y posterior al relleno sanitario, de acuerdo como se lleva a cabo en la CDMX.

En la Tabla 9.7 se describe el inventario de las seis etapas del ciclo de vida, así como las consideraciones necesarias. El inventario a detalle que indica la cantidad y flujos de cada elemento en SimaPro puede ser consultado en el Anexo B.2.

Tabla 9.7. Descripción del inventario del ciclo de vida de cubrebocas desechable

Crear como material

Tela

Entrada	Descripción
Tela	Tela no tejida de polipropileno, el cubrebocas está elaborado con tres capas de este material.
Transporte	Descripción
Transporte en camioneta de 3.5 Ton	Se calculó la distancia de 383 km recorridos por una camioneta de transporte de capacidad de 3.5 a 7 toneladas, desde el punto de venta en San Luis Potosí hasta la planta de fabricación.

Elástico

Entrada	Descripción
Poliéster	El 85 % del material para elaboración de elástico de sujeción es de poliéster tubular.
Elastómero	15 % del material y que se utiliza como recubrimiento es un elastómero, estireno.
Transporte	Descripción
Transporte en camioneta tipo Van	Se considera el transporte del elástico desde el punto de venta en Nuevo León hasta la planta de fabricación del cubrebocas, en una camioneta tipo Van de comercio ligero que recorrió 905 km.

Adquisición de materias primas

Soporte nasal

Entrada	Descripción
Hierro	El soporte nasal está elaborado en 42 % de una pequeña varilla de hierro.
Polietileno	La varilla de hierro tiene un recubrimiento de polietileno, el cual corresponde al 58 % del peso del soporte nasal ya terminado.
Transporte	Descripción
Transporte en camioneta tipo Van	Se considera el transporte para la importación del soporte nasal desde China hasta la planta de fabricación en Morelia, Michoacán.
Transporte marítimo	
Transporte en camioneta de 3.5 Ton	
Transporte en camioneta tipo Van	
Transporte en camioneta tipo Van	Una camioneta tipo Van de carga ligera transporta el material por 74.5 km desde el punto de venta hasta el Puerto marítimo Ningbo en China
Transporte marítimo	Se recorre una distancia de 13456 km en transporte comercial marítimo, desde el puerto marítimo de Ningbo, China, hasta el puerto marítimo de Manzanillo, Colima, México.

Tabla 9.7. Descripción del inventario del ciclo de vida de cubrebocas desechable

Transporte	Descripción
Transporte en camioneta de 3.5 Ton	Se considera que recorre una distancia de 1091 km desde el puerto de Manzanillo hasta la empresa de venta del producto, esto se realiza en un transporte de 3.5 a 7.5 toneladas métricas tipo EURO 3.
Transporte en camioneta tipo Van	Una camioneta tipo Van de carga ligera transporta el material desde el punto de venta hasta la planta de fabricación, recorre una distancia de 841 km.

Adquisición de materias primas

Materias primas

Entrada de materiales	Descripción
Tela	Creado como tela
Soporte nasal	Creado como soporte nasal, 42 % corresponde a hierro y 58 % a polietileno.
Elástico	Creado como elástico, 85 % del material es poliéster y 15 % es estireno.

Producción o transformación

Producción

Entrada de materiales	Descripción
Materias primas	Creado
Entrada electricidad	Descripción
Confeccionadora de cubrebocas	La empresa B reportó un consumo energético de la confeccionadora de cubrebocas de 2171.99 Wh, la cual genera 60 piezas por minuto.
Cortadora de resorte	El consumo energético de la cortadora de resortes para sujetar un cubrebocas es de 65 Wh, lo cual se realiza a una velocidad de 212 piezas por minuto, para confeccionar un cubrebocas se requieren 2 piezas, por lo tanto, por minuto se cortan las piezas requeridas para 106 cubrebocas.
Maquina punteadora	Maquinaria de consumo energético de 780 wh, la que se encarga de dar detalles de unión y sello a las tres capas del cubrebocas, la cual lo realiza a velocidad de 9 cubrebocas por minuto.
Refiladora	El consumo energético de esta maquinaria es de 1524.21 Wh, la cual está relacionada con la parte final de la elaboración del cubrebocas, es decir, para tener un producto terminado, lo cual sucede a 60 cubrebocas por minuto.

Embalaje

Embalaje para venta

Entrada de materiales	Descripción
Celofán	Cada cubrebocas es estuchado en una bolsa de celofán de 21.4 cm x 10.8 cm.
Caja de cartón 25 piezas	Para venta al público se forman paquetes de 25 piezas de cubrebocas contenidos en una caja de cartón.

Tabla 9.7. Descripción del inventario del ciclo de vida de cubrebocas desechable

Entrada de materiales	Descripción
Caja de cartón 500 piezas	Para transporte al cliente se envía una caja grande de cartón que contiene 20 cajas pequeñas de cartón con 25 cubrebocas cada una, por lo tanto, se emban 500 piezas.
Entrada electricidad	Descripción
Transporte de celofán	Transporte en camioneta tipo van de carga ligera, del rollo de celofán para el embalaje de cada cubrebocas, presentación en la que se vende al público, desde el punto de venta a la planta de fabricación del cubrebocas, lo cual representa una distancia de 285 km.
Entrada electricidad	Descripción
Transporte de cajas de cartón chica y grande	Transporte de cajas de cartón, para embalar 25 y 500 cubrebocas, desde el punto de venta a la planta de fabricación en camioneta de transporte ligero, la cual recorre una distancia de 11.9 km.
Máquina estuchadora	Se contabilizó el consumo energético de 484 Wh de la máquina que estucha un cubrebocas de un solo uso lo cual ocurre a velocidad de 70 cubrebocas por minuto. .

Transporte a cliente

Transporte para venta

Transporte	Descripción
Transporte en camioneta de 3.5 T	El fabricante proporcionó la lista de los 10 principales clientes, se calculó la distancia desde el punto de fabricación hasta la localización del cliente y finalmente se calculó la distancia promedio de estos clientes. Se calculó el uso de combustible de una camioneta de 3.5 toneladas para transportar los cubrebocas desde la planta de fabricación hasta la distancia promedio calculada de 406.33 km, que se sitúa en la Ciudad de México.

Uso

Uso del cubrebocas

Entrada	Descripción
	No se desarrolló esta etapa ya que este cubrebocas es de un solo uso.

Transporte a relleno sanitario

Transporte a relleno sanitario

Entrada	Descripción
Transporte a estación de transferencia	Se consideró un escenario de gestión de residuos en la Ciudad de México, para lo que se registró como punto de partida del generador el CEDI del cliente y el traslado a la estación de transferencia de Álvaro Obregón en un vehículo de 3.5 a 7 toneladas, donde se recorrió una distancia de 6.5 km (SEMARNAT, 2020).
Transporte a relleno sanitario	De acuerdo con la gestión el siguiente punto de la ruta posterior a la estación de transferencia es el relleno sanitario "VIGUE", para lo que se estimó la distancia recorrida de 70.6 km por un transporte de 16 a 32 toneladas.

Tabla 9.7. Descripción del inventario del ciclo de vida de cubrebocas desechable

Fin de vida útil (residuo)

Relleno sanitario

Escenario de residuos	Descripción
Relleno sanitario	Se seleccionó un relleno sanitario como escenario de fin de vida del cubrebocas reutilizable, el cual contempla 17 tipos de materiales como residuo, los cuales son: acero, vidrio, metales, aluminio, papel, embalaje de papel, periódicos, pinturas, cartulina, plásticos, polietileno, tereftalato de polietileno, polipropileno, poliestireno, poliuretano, policloruro de vinilo y madera.

Notas:

- Se consideró un transporte EURO 3 en los transportes terrestres de 3.5 toneladas, porque son las características de los automóviles que se asemejan a los que se utilizan en México, características como indicadores del límite máximo permisible de emisiones y el combustible que se usa
- La energía eléctrica que se utiliza proviene de fuentes mixtas, es decir energía convencional y limpia y es de alto voltaje, de acuerdo con la Comisión Federal de Electricidad (SENER, 2018) y lo indicado por la empresa.

Todas las distancias se calcularon en el navegador de Google Earth Pro, donde se ubicaron los puntos de partida y llegada de acuerdo con la información proporcionada por la administración de la empresa B.

Con el fin de garantizar la calidad y fiabilidad de los datos se puede observar en la Tabla 9.8 la información correspondiente para cada información que se consideró en el ICV.

Tabla 9.8. Requisitos de calidad de datos del cubrebocas de un solo uso

Etapa de proceso	Datos	Tiempo	Geografía	Tecnología	Precisión	Integridad (%)	Representatividad	Coherencia	Reproducibilidad	Fuente de los datos	Incertidumbre
Adquisición de materias primas	Tela de polipropileno	2021	México	Nivel 3	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja
	Transporte terrestre de tela	2021	México	Nivel 4	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja
	Soporte nasal: hierro	2021	China	Nivel 0	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja
	Soporte nasal: polietileno	2021	China	Nivel 3	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja
	Transporte terrestre de soporte nasal	2021	China	Nivel 0	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja
	Transporte marítimo de soporte nasal	2021	Internacional	Nivel 0	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja
	Elástico para sujetar: poliestireno	2021	México	Nivel 3	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja
	Elástico para sujetar: elastómero	2021	México	Nivel 3	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja
	Transporte terrestre de elástico para sujetar	2021	México	Nivel 0	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja
Producción	Energía eléctrica para confeccionar el cubrebocas	2021	México	Nivel 3	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja
	Energía eléctrica para cortar el elástico	2021	México	Nivel 3	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja
	Energía eléctrica para puntear el cubrebocas	2021	México	Nivel 3	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja
	Energía eléctrica para máquina refiladora	2021	México	Nivel 3	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja

Tabla 9.8. Requisitos de calidad de datos del cubrebocas de un solo uso

Etapas de proceso	Datos	Tiempo	Geografía	Tecnología	Precisión	Integridad (%)	Representatividad	Coherencia	Reproducibilidad	Fuente de los datos	Incertidumbre
Embalaje para venta	Celofán: polipropileno	2021	México	Inyección de moldeo	Buena	100	Buena	✓	✓	Plastics Europe 2005	Baja
	Caja de cartón chica	2021	México	Combinación de tecnologías	Buena	100	Buena	✓	✓	LCANAP and WPP	Baja
	Caja de cartón grande	2021	México	Combinación de tecnologías	Buena	100	Buena	✓	✓	LCANAP and WPP	Baja
	Transporte terrestre de cajas desde el punto de venta al punto de fabricación	2021	México	Nivel 0	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja
	Energía eléctrica para estuchar cada cubrebocas	2021	México	Nivel 3	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja
Transporte a cliente	Transporte terrestre desde el punto de fabricación a un cliente	2021	México	Nivel 0	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja
Transporte a relleno sanitario	Transporte terrestre desde el domicilio del cliente a la estación de transferencia de residuos	2022	México	Nivel 0	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja
	Transporte terrestre desde la estación de transferencia hasta el relleno sanitario	2022	México	Nivel 4	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja

Tabla 9.8. Requisitos de calidad de datos del cubrebocas de un solo uso

Etapas de proceso	Datos	Tiempo	Geografía	Tecnología	Precisión	Integridad (%)	Representatividad	Coherencia	Reproducibilidad	Fuente de los datos	Incertidumbre
Escenario de residuos	Fin de vida del cubrebocas en un relleno sanitario	2022	México	No aplica	Buena	100	Buena	✓	✓	Ecoinvent*	Baja

Nota:

Ecoinvent versión 3.7.1

LCANAP and WPP: Life Cycle Assessment of North American Printing and Writing Paper Products/2010

9.3.3. Evaluación e interpretación de los impactos del ciclo de vida (EICV)

Como se mencionó, la información del ICV fue proporcionada por la Empresa B de manera personal y directamente en la planta de producción. En el Inventario se mencionan las suposiciones realizadas, así como algunas limitantes.

9.3.3.1. Evaluación de impactos con ReCiPe

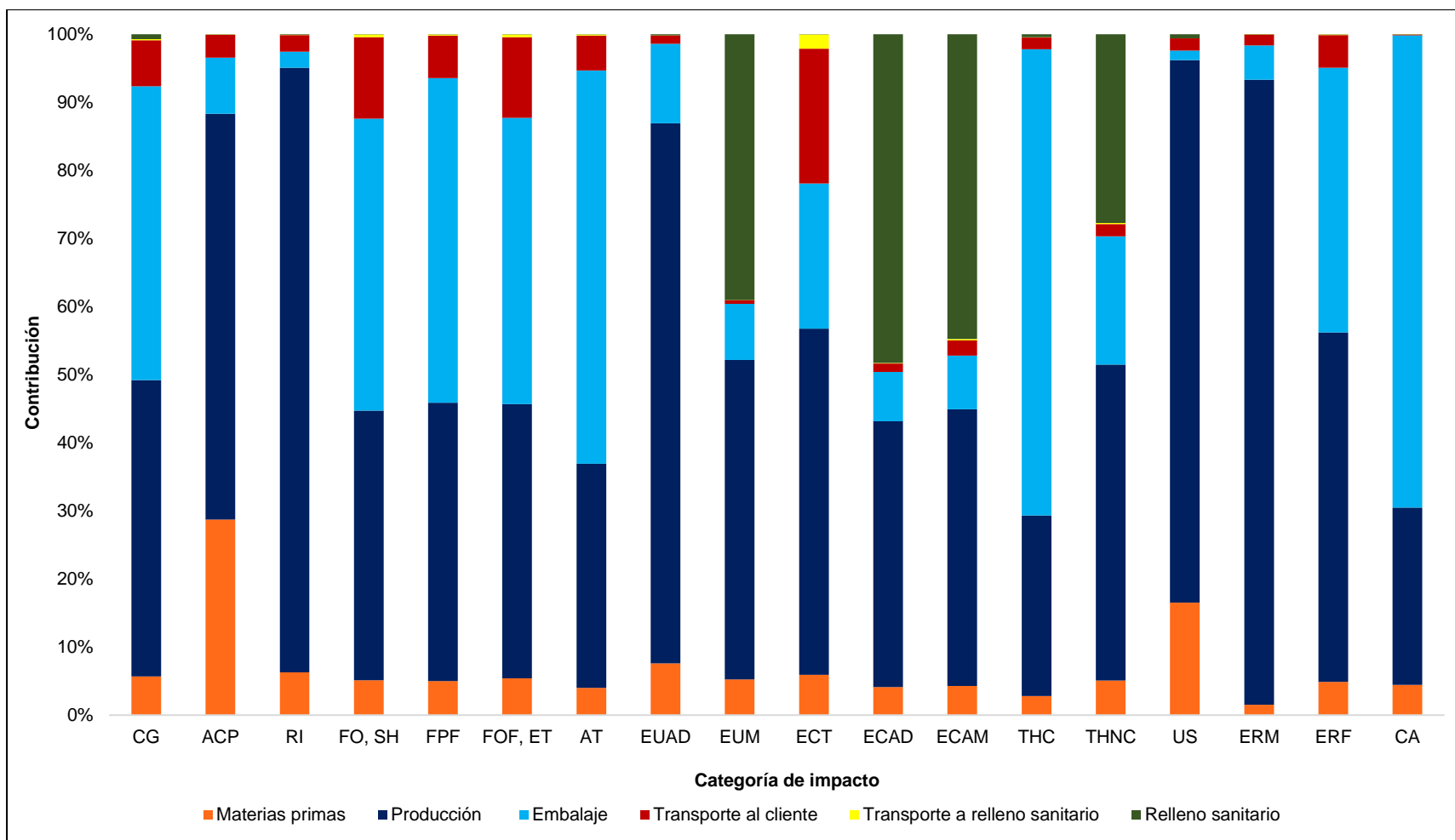
Los resultados de la evaluación se muestran en la Tabla 9.9 en donde se observa en color verde la etapa de mayor contribución en cada categoría de impacto y en la Figura 9.14 se observa la contribución de cada una de las etapas del proceso en todo el ciclo de vida.

Tabla 9.9. Evaluación de impactos en el Ciclo de Vida de 20 cubrebocas reutilizables con base en el flujo de referencia

Categoría de impacto	Unidad	Materias primas	Embalaje	Producción	Transporte al cliente	Transporte a relleno sanitario	Relleno sanitario	Total
Calentamiento global	kg CO ₂ eq	3.40E-02	0.258	0.26	4.06E-02	8.90E-04	4.18E-03	0.60
	%	5.69	43.17	43.51	6.78	0.15	0.70	100
Agotamiento de la capa de ozono	kg CFC11 eq	2.16E-07	6.19E-08	4.48E-07	2.52E-08	2.88E-10	2.68E-10	7.51E-07
	%	28.73	8.24	59.59	3.36	0.04	0.04	100
Radiación ionizante	kBq Co-60 eq	8.28E-04	3.10E-04	1.17E-02	3.22E-04	7.04E-06	5.27E-06	1.32E-02
	%	6.29	2.35	88.83	2.44	5.35E-02	4.00E-02	100
Formación de ozono, salud humana	kg NO _x eq	8.28E-05	6.92E-04	6.38E-04	1.93E-04	6.40E-06	4.62E-07	1.61E-03
	%	5.14	42.90	39.59	11.95	0.40	2.86E-02	100
Formación de partículas finas	kg PM _{2.5} eq	4.06E-05	3.89E-04	3.33E-04	5.07E-05	1.29E-06	2.31E-07	8.15E-04
	%	4.99	47.69	40.91	6.22	0.16	2.83E-02	100
Formación de ozono fotoquímico, Ecosistemas terrestres	kg NO _x eq	8.98E-05	7.01E-04	6.72E-04	1.98E-04	6.45E-06	4.67E-07	1.67E-03
	%	5.38	42.05	40.29	11.86	0.39	2.80E-02	100
Acidificación terrestre	kg SO ₂ eq	8.92E-05	1.28E-03	7.31E-04	1.14E-04	3.24E-06	4.77E-07	2.22E-03
	%	4.02	57.78	32.90	5.13	0.15	2.15E-02	100
Eutroficación de agua dulce	kg P eq	5.21E-06	7.98E-06	5.43E-05	8.50E-07	1.71E-08	8.34E-08	6.85E-05
	%	7.60	11.66	79.35	1.24	2.50E-02	0.12	100
Eutroficación marina	kg N eq	6.13E-07	9.61E-07	5.49E-06	6.65E-08	1.45E-09	4.56E-06	1.17E-05
	%	5.25	8.22	46.94	0.57	1.24E-02	39.01	100
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DCB	4.65E-02	0.17	0.40	0.156	1.64E-02	6.57E-05	0.79
	%	5.92	21.30	50.86	19.83	2.09	8.36E-03	100
Ecotoxicidad de agua dulce	kg 1,4-DCB	2.05E-04	3.59E-04	1.94E-03	6.19E-05	3.29E-06	2.39E-03	4.96E-03
	%	4.14	7.23	39.05	1.25	0.07	48.26	100

Tabla 9.9. Evaluación de impactos en el Ciclo de Vida de 20 cubrebocas reutilizables con base en el flujo de referencia

Categoría de impacto	Unidad	Materias primas	Embalaje	Producción	Transporte al cliente	Transporte a relleno sanitario	Relleno sanitario	Total
Ecotoxicidad de agua marina	kg 1,4-DCB	3.00E-04	5.55E-04	2.85E-03	1.56E-04	1.28E-05	3.14E-03	7.01E-03
	%	4.27	7.92	40.64	2.23	0.18	44.76	100
Toxicidad humana cancerígena	kg 1,4-DCB	5.43E-04	1.33E-02	5.14E-03	3.37E-04	3.13E-06	8.51E-05	1.94E-02
	%	2.80	68.48	26.53	1.74	1.61E-02	0.44	100
Toxicidad humana no cancerígena	kg 1,4-DCB	9.47E-03	3.50E-02	8.62E-02	3.29E-03	3.01E-04	5.15E-02	0.19
	%	5.10	18.86	46.39	1.77	0.16	27.72	100
Uso de suelo	m ² a crop eq	2.34E-04	1.96E-05	1.13E-03	2.54E-05	4.82E-07	8.01E-06	1.42E-03
	%	16.51	1.38	79.72	1.79	0.03	0.56	100
Escasez de recursos minerales	kg Cu eq	5.79E-06	1.89E-05	3.45E-04	5.93E-06	1.17E-07	1.09E-08	3.76E-04
	%	1.54	5.03	91.81	1.58	0.03	2.91E-03	100
Escasez de recursos fósiles	kg aceite eq	1.34E-02	1.07E-01	1.41E-01	1.32E-02	2.93E-04	1.84E-05	0.27
	%	4.88	38.87	51.34	4.80	0.11	6.71E-03	100
Consumo de agua	m ³	3.93E-04	6.11E-03	2.29E-03	1.10E-05	2.94E-07	3.22E-07	8.81E-03
	%	4.46	69.36	26.04	0.13	3.34E-03	3.66E-03	100



CG: Calentamiento global	FPF: Formación de partículas finas	EUM: Eutroficación marina	THC: Toxicidad humana cancerígena	ERF: Escasez de recursos fósiles
ACP: Agotamiento de la capa de ozono	FOF, ET: Formación de ozono fotoquímico, Ecosistemas terrestres	ECT: Ecotoxicidad terrestre	THNC: Toxicidad humana no cancerígena	CA: Consumo de agua
RI: Radiación ionizante	AT: Acidificación terrestre	ECAD: Ecotoxicidad de agua dulce	US: Uso de suelo	
FO, SH: Formación de ozono, salud humana	EUAD: Eutroficación de agua dulce	ECAM: Ecotoxicidad de agua marina	ERM: Escasez de recursos minerales	

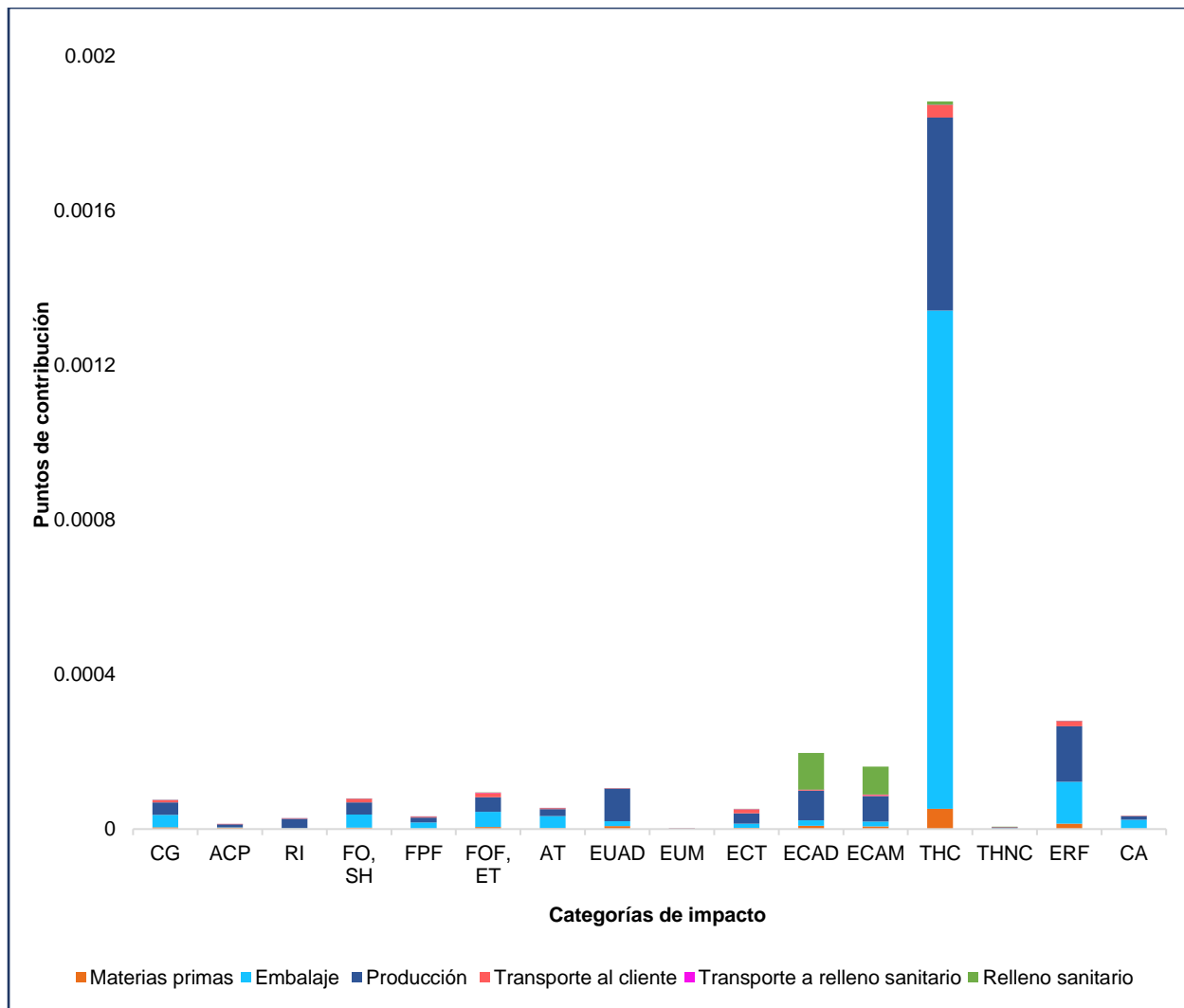
Figura 9.14. Caracterización de los impactos ambientales asociados a las etapas del ciclo de vida del cubrebocas desechable

De acuerdo con los resultados, la etapa de producción es la que tiene el mayor porcentaje de contribución en 10 de 18 categorías de impacto: calentamiento global (CG), agotamiento de la capa de ozono (ACP), radiación ionizante (RI), eutroficación de agua dulce (EUAD), eutroficación marina (EUM), ecotoxicidad terrestre (ECT), toxicidad humana no cancerígena (THNC), uso de suelo (US), escasez de recursos minerales (ERM) y escasez de recursos fósiles (ERF). Por otro lado, la etapa de embalaje presenta la segunda mayor contribución y sobresale en el 33.3 % de las categorías, las cuales son formación de ozono, salud humana (FO, SH), formación de partículas finas (FPF), ecosistemas terrestres (FOF, ET), acidificación terrestre (AT), toxicidad humana cancerígena (THC) y consumo de agua (CA).

De acuerdo con el análisis de contribución y lo que indica SimaPro “Natural gas, at extraction site/US” la extracción del gas natural es el principal elemento que aporta negativamente al ciclo de vida, sin embargo, este se atribuye en mayor proporción a la etapa de embalaje, pero en las etapas de materias primas, transporte al cliente, transporte al relleno sanitario y relleno sanitario al igual que en el caso del cubrebocas reutilizable el “Drying, natural gas {GLO}| market for | Cut-off, U”, secado en la producción del gas natural es el principal contribuyente. En la etapa de producción el gas natural a presión alta para venta o al mercado (Natural gas, high pressure {RoW}| marque for | Cut-off, U) es el principal elemento de contribución.

En general el proceso de producción del gas natural y sus diferentes etapas son las que se asocian principalmente y de forma indirecta al ciclo de vida del cubrebocas, por lo que, para conocer más al respecto consultar el Anexo C.

Se normalizó la evaluación de ciclo de vida para la categoría de impacto que tiene mayor afectación, lo cual se observa en la Figura 9.15.



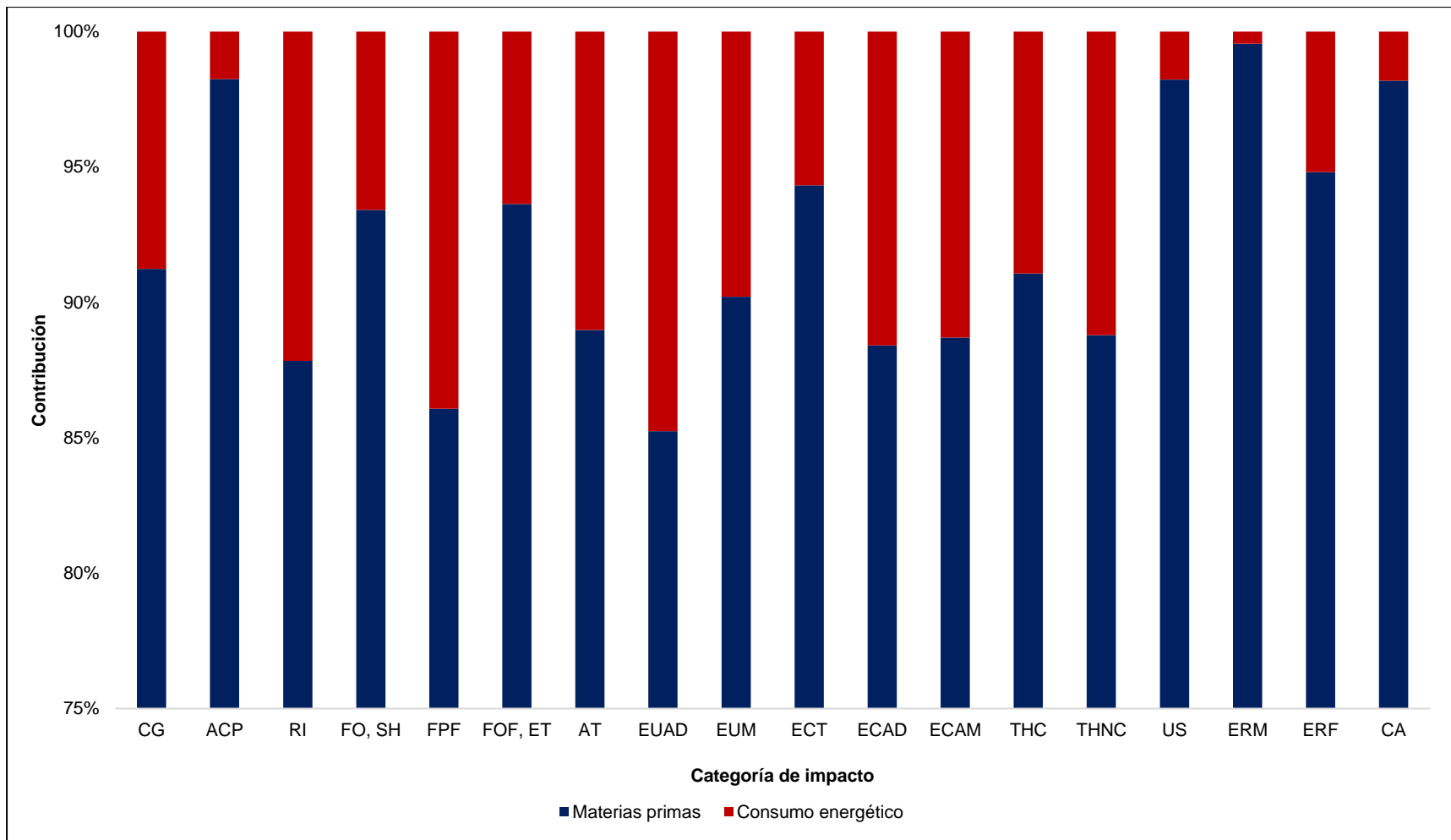
CG: Calentamiento global	AT: Acidificación terrestre	THC: Toxicidad humana cancerígena
ACP: Agotamiento de la capa de ozono	EUAD: Eutroficación de agua dulce	THNC: Toxicidad humana no cancerígena
RI: Radiación ionizante	EUM: Eutroficación marina	US: Uso de suelo
FO, SH: Formación de ozono, salud humana	ECT: Ecotoxicidad terrestre	ERM: Escasez de recursos minerales
FPF: Formación de partículas finas	ECAD: Ecotoxicidad de agua dulce	ERF: Escasez de recursos fósiles
FOF, ET: Formación de ozono fotoquímico, Ecosistemas terrestres	ECAM: Ecotoxicidad de agua marina	CA: Consumo de agua

Figura 9.15. Normalización de los impactos ambientales asociados a las etapas del ciclo de vida del cubrebocas de un solo uso

La toxicidad humana cancerígena es la principal categoría de impacto afectada y el 68 % está asociada a la etapa de embalaje del cubrebocas desechable, la segunda categoría más impactada es la escasez de recursos fósiles y en ella el 51 % de la contribución se asocia a la etapa de producción. La ecotoxicidad de agua es la tercera categoría con mayor impacto

negativo, vinculado al fin de vida de los cubrebocas desechables en un relleno sanitario y el espacio que este ocupa. Estas toxicidades se asocian principalmente a las emisiones al aire, agua y suelo asociadas a la mezcla de residuos presentes en el relleno sanitario, tales como plásticos, papel, metales pesados, flúor, nitratos, entre otros.

Se realizó la evaluación individual de la etapa de producción con metodología ReCiPe para conocer qué elemento del inventario tiene la mayor contribución, los resultados se pueden observar en la Figura 9.16.



CG: Calentamiento global	FPF: Formación de partículas finas	EUM: Eutroficación marina	THC: Toxicidad humana cancerígena	ERF: Escasez de recursos fósiles
ACP: Agotamiento de la capa de ozono	FOF, ET: Formación de ozono fotoquímico, Ecosistemas terrestres	ECT: Ecotoxicidad terrestre	THNC: Toxicidad humana no cancerígena	CA: Consumo de agua
RI: Radiación ionizante	AT: Acidificación terrestre	ECAD: Ecotoxicidad de agua dulce	US: Uso de suelo	
FO, SH: Formación de ozono, salud humana	EUAD: Eutroficación de agua dulce	ECAM: Ecotoxicidad de agua marina	ERM: Escasez de recursos minerales	

Figura 9.16. Caracterización de los impactos ambientales asociados a la etapa de producción de cubrebocas desechables

La etapa de producción es la que tiene la mayor contribución en el 55.6 % de las categorías de impacto de todo el ciclo de vida y de acuerdo con la Figura 9.16, las materias primas y los procesos asociados a la extracción de materiales y transporte son lo que tienen la principal contribución en esta etapa, misma que se asocia a la extracción de gas natural, a pesar de no ser mencionado en el ICV, sin embargo, es vinculado a la producción del cartón.

Contribución por categoría de impacto

En la Tabla 9.10 se puede observar el proceso y entrada o salida que tiene el principal impacto en cada categoría.

Tabla 9.10. Contribución a cada categoría del ACV del cubrebocas de un solo uso

Categoría de impacto	Etapas	Proceso Ecoinvent asociado	Sustancia Ecoinvent asociada
Calentamiento global	Producción	Producción de polipropileno	Emisiones de CO ₂ a la atmósfera
	43.5 %	97.0 %	54.9 %
Agotamiento de la capa de ozono	Producción	Producción de ácido adípico	Emisiones de N ₂ O al aire
	59.6 %	64.8 %	61.0 %
Radiación ionizante	Producción	Tratamiento de residuos de molienda de uranio	Emisiones al aire de Radón-222
	88.8 %	92.5 %	92.4 %
Formación de ozono, salud humana	Embalaje	Inyección de polipropileno para moldear	Emisión a la atmósfera de NO _x
	42.9 %	100.0 %	40.0 %
Formación de partículas finas	Embalaje	Inyección de polipropileno para moldear	Emisión a la atmósfera de SO ₂
	47.7 %	100.0 %	61.8 %
Formación de ozono fotoquímico, Ecosistemas terrestres	Embalaje	Inyección de polipropileno para moldear	Emisión a la atmósfera de NO _x
	42.1 %	100.0 %	40.0 %
Acidificación terrestre	Embalaje	Inyección de polipropileno para moldear	Emisión a la atmósfera de SO ₂
	57.8 %	100.0 %	61.8 %
Eutroficación de agua dulce	Producción	Tratamiento en relleno sanitario de escombros de la minería de lignito	Emisión de fosfatos al agua
	79.3 %	92.5 %	88.3 %
Eutroficación marina	Producción	Tratamiento en relleno sanitario de escombros de la minería de lignito	Emisión de nitratos al agua
	46.9 %	92.5 %	70.1 %
Ecotoxicidad terrestre	Producción	Emisión de residuos por la fragmentación de metales en el tratamiento	Emisión de cobre al aire
	50.9 %	87.7 %	47.3 %

Tabla 9.10. Contribución a cada categoría del ACV del cubrebocas de un solo uso

Categoría de impacto	Etapa	Proceso Ecoinvent asociado	Sustancia Ecoinvent asociada
Ecotoxicidad de agua dulce	Disposición final en relleno sanitario	Disposición final en relleno sanitario	Emisiones de zinc al agua
	48.3 %	99.8 %	45.6 %
Ecotoxicidad de agua marina	Disposición final en relleno sanitario	Disposición final en relleno sanitario	Emisiones de zinc al agua
	44.8 %	99.8 %	45.6 %
Toxicidad humana cancerígena	Embalaje	Quema en caldera para la producción de pulpa de papel	Emisiones de 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-dioxina (TCDD)
	68.5 %	100.0 %	100 %
Toxicidad humana no cancerígena	Producción	Tratamiento en relleno sanitario de escombros de la minería de carbón duro	Emisiones de zinc al agua
	46.4 %	84.5 %	43.0 %
Uso de suelo	Producción	Producción y aprovechamiento sostenible la tala de madera	Espacio ocupado por la mina de extracción
	79.7 %	82.1 %	77.5 %
Escasez de recursos minerales	Producción	Operación de mina para la extracción de hierro	Extracción de hierro
	91.8 %	100.0 %	97.6 %
Escasez de recursos fósiles	Producción	Producción de polipropileno	Extracción petróleo
	51.3 %	97.0 %	69.4 %
Consumo de agua	Embalaje	Producción de papel mecánico	Uso de agua para producir energía eléctrica a partir de energía hidráulica
	69.4 %	100.0 %	4.8 %

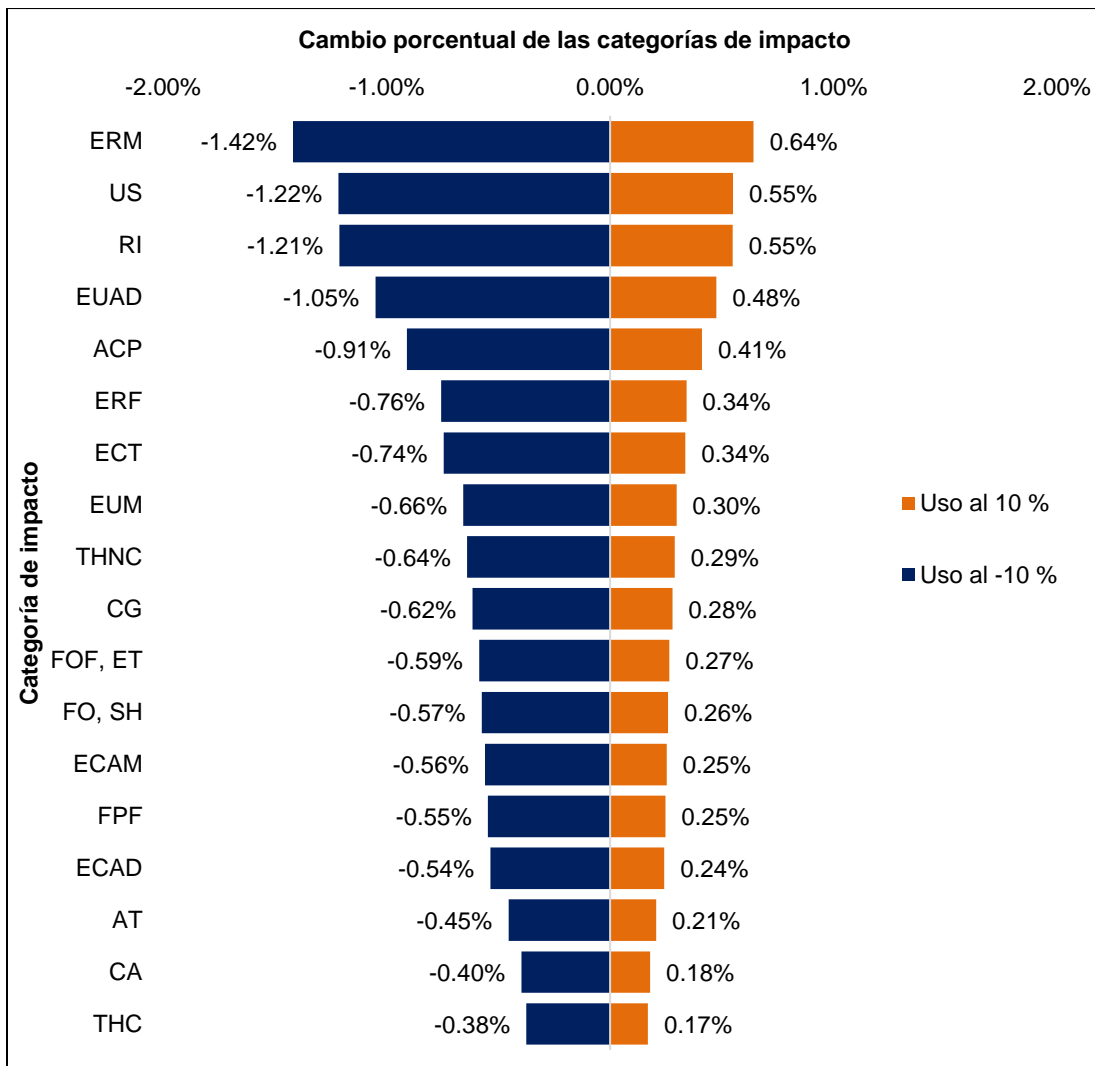
Los procesos asociados a la producción de polipropileno son los que tienen la principal aportación en 8 de las 17 categorías de impacto, mientras que en 6 categorías el impacto se asocia a los procesos metalúrgicos. Por otro lado, se puede observar que la ecotoxicidad de agua dulce y de mar son las categorías con mayor afectación y éstas se encuentran asociadas al uso de relleno sanitario como sitio de disposición final.

Los rellenos sanitarios son sitios potenciales de contaminación asociados principalmente a la lixiviación de sustancias inorgánicas, las cuales pueden permear al suelo e incluso al manto freático, estas sustancias pueden ser metales pesados (Wu *et al.*, 2022), nitrógeno, fosfatos, cloruros, entre otras, también sustancias orgánicas que pueden ser emitidas al aire como ácidos grasos volátiles, hidrocarburos aromáticos, sustancias halogenadas y microorganismos patógenos como coliformes fecales (Anand y Palani, 2022), que pueden resultar dañinos a los

ecosistemas a los que lleguen, mismo que pueden ser relacionados con la ecotoxicidad de agua dulce y marina.

9.3.3.2. Análisis de sensibilidad

Se realizó el análisis de sensibilidad de este cubrebocas en todo el ciclo de vida, donde se consideró un cambio porcentual de $\pm 10\%$ de la tela respecto a la masa base de 54.6 g, es decir, que su tamaño sea más grande o chico sin afectar su función. Los resultados se pueden observar en la Figura 9.17. La fabricación de tela es la etapa que tiene el mayor impacto en toda la evaluación.



CG: Calentamiento global	AT: Acidificación terrestre	THC: Toxicidad humana cancerígena
ACP: Agotamiento de la capa de ozono	EUAD: Eutroficación de agua dulce	THNC: Toxicidad humana no cancerígena
RI: Radiación ionizante	EUM: Eutroficación marina	US: Uso de suelo
FO, SH: Formación de ozono, salud humana	ECT: Ecotoxicidad terrestre	ERM: Escasez de recursos minerales
FPF: Formación de partículas finas	ECAD: Ecotoxicidad de agua dulce	ERF: Escasez de recursos fósiles
FOF, ET: Formación de ozono fotoquímico, Ecosistemas terrestres	ECAM: Ecotoxicidad de agua marina	CA: Consumo de agua

Figura 9.17. Análisis de sensibilidad de cubrebocas desechable

El incremento o disminución de masa que se indicó genera cambios menores a $\pm 1.5\%$ en todas las categorías de impacto, lo cual puede no ser un cambio significativo; sin embargo, se observa que, si se disminuye la masa, el cambio porcentual es mayor que respecto al incremento, por ejemplo, en el caso de la escasez de recursos minerales al disminuir 10 % de la masa el impacto decrece en 1.42 %, del aumento de 0.64 % asociado al incremento de masa. Las categorías de

impacto que presentan mayor cambio en esta evaluación son; la escasez de recursos minerales, el uso de suelo y la radiación ionizante.

Es importante mencionar que en este análisis de sensibilidad se observó que es posible reducir la cantidad de tela del cubrebocas y cambia su tamaño en 10 % y así mismo los impactos ambientales también disminuyen o aumentan según el caso, pero no se afecta la función de este EPP lo que implica también un cambio en los costos por consumo de cantidad de tela.

Interpretación de resultados

La principal contribución en todo el ciclo de vida del cubrebocas desechable está asociado a la extracción del gas natural y específico en Estados Unidos, a pesar de que esta evaluación se realizó en México y esto ocurre porque existen otros procesos vinculados o el software SimaPro contiene en sus bases de datos información de diferentes países, en este caso con la producción del gas natural (gas natural, anexo C).

Actualmente el 27 % de la producción global de gas natural se realiza en Estados Unidos (Energía y Sociedad, 2017b), por lo que puede estar asociado de forma indirecta a este ICV.

Se observa que la deshidratación del gas natural en su proceso de producción contribuye principalmente en la etapa de adquisición de materias primas (MP), transporte al cliente y transporte al relleno sanitario, por lo que puede asociarse al uso de combustibles en los diferentes medios de transporte terrestre y marítimo. Para el caso del cubrebocas reutilizable también se observó que, en la adquisición de materias primas y su respectivo transporte, existe esta misma contribución.

Esto concuerda con los principales usos o aplicaciones del gas natural, que son (API, 2021):

- Generación de electricidad
- Calefacción
- En cogeneración y trigeneración
- Transporte
- Vapor para aplicación en producción de acero, papel
- Producción de petroquímicos, los cuales son incorporados en plásticos, fertilizantes, fibras sintéticas, cosméticos y medicamentos

Por estas aplicaciones del gas natural, es que se encuentra asociado de forma indirecta en las siguientes entradas:

- Producción del polipropileno para la tela, poliuretano para el soporte nasal y el poliéster y estireno para el elástico, así como su respectivo transporte.
- Producción de cartón y celofán par embalaje
- Transporte de los materiales para embalaje
- Transporte del producto al CEDI
- Transporte del residuo al relleno sanitario

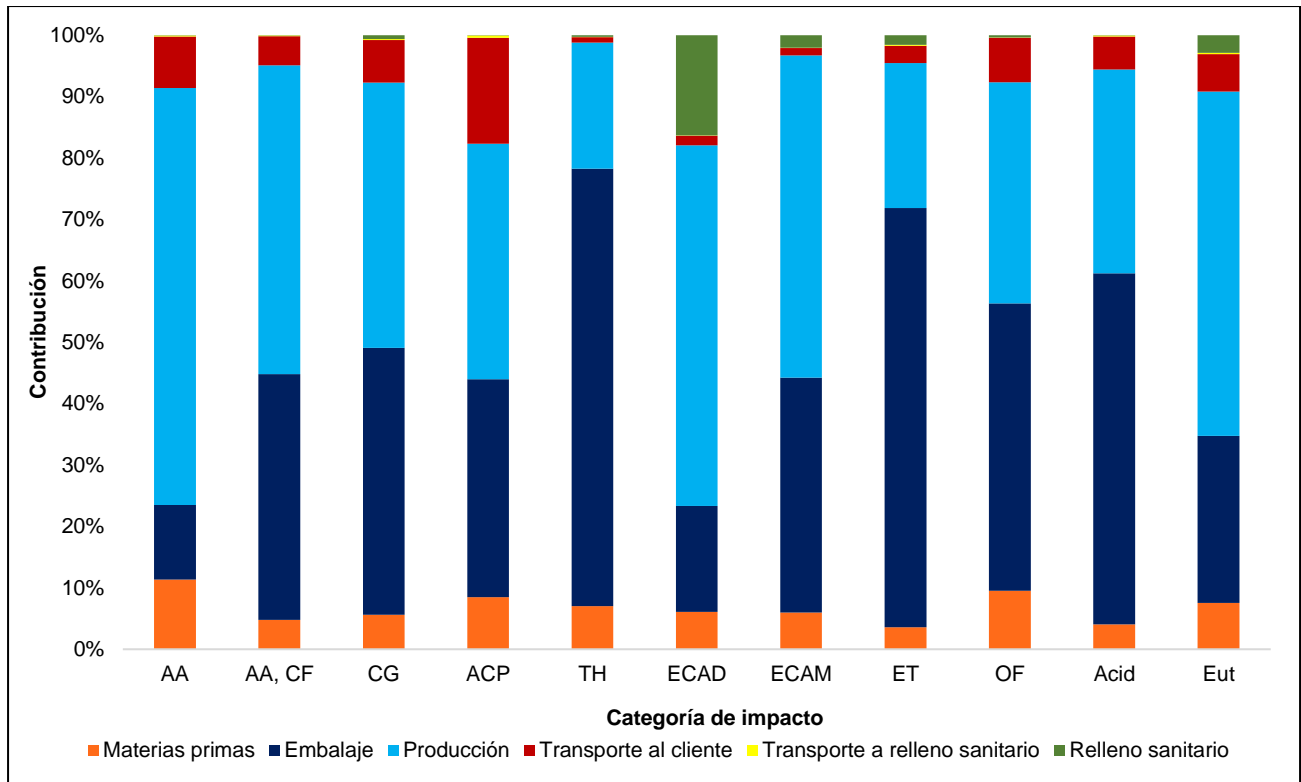
De acuerdo con el inventario de SimaPro, a la producción del cartón se asocia no solo la extracción de gas natural, sino también el gas natural como combustible para secado, por los procesos de combustión; además de ser usado como combustibles en calderas en planta de producción de celulosa y papel.

La quema del gas natural se asocia a la toxicidad humana cancerígena por las emisiones a la atmósfera de metales como arsénico, plomo, mercurio, selenio, cromo entre otros y algunos compuestos orgánicos volátiles que se asocian al proceso (Ecoinvent, 2020).

Algunas recomendaciones que pueden surgir, es principalmente disminuir el uso de polímero para el embalaje, es decir, evaluar la viabilidad de distribuir cada cubrebocas sin una bolsa de celofán, es decir, que solo se provean en las cajas de 25 piezas, buscar proveedores de materias primas con ubicación más cercana a la planta de producción. El análisis de sensibilidad indica que es viable reducir la cantidad de tela en el cubrebocas sin que se afecte su función, además de que también existiría una disminución de los impactos ambientales y costo económico.

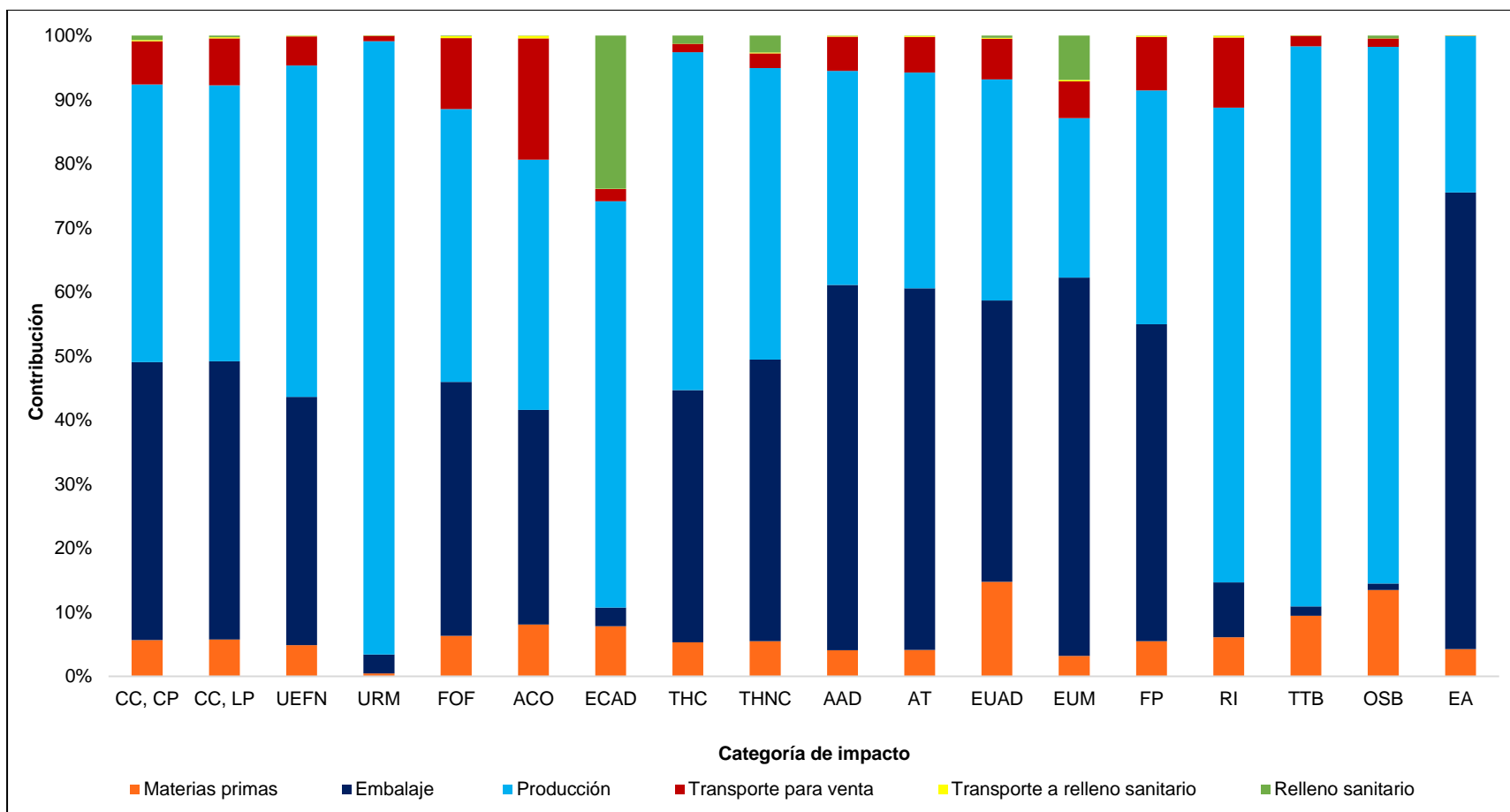
9.3.3.3. Aplicación de otras metodologías de evaluación de impacto

Del mismo modo que con los cubrebocas reutilizables, se evaluó el ACV del cubrebocas desechable con las metodologías CML IA base línea (Figura 9.18) e IMPACT World+ Midpoint (Figura 9.19).



AA: Agotamiento abiótico	TH: Toxicidad humana	OF: Oxidación fotoquímica
AA, CF: Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	ECAD: Ecotoxicidad de agua dulce	Acid: Acidificación
CG: Calentamiento global (100años)	ECAM: Ecotoxicidad de agua marina	Eut: Eutroficación
ACO: Agotamiento de la capa de ozono	ET: Ecotoxicidad terrestre	

Figura 9.18. Caracterización de los impactos ambientales asociados a la producción de cubrebocas desechables. Método CML



CC, CP: Cambio climático, corto plazo	FOF: Formación de oxidantes fotoquímicos	THNC: Toxicidad humana no cancerígena	EUM: Eutroficación marina	OSB: Ocupación del suelo, biodiversidad
CC, LP: Cambio climático, largo plazo	ACO: Agotamiento de la capa de ozono	AAD: Acidificación de agua dulce	FP: Formación de partículas	EA: Escasez de agua
UEFN: Uso de energías fósiles y nucleares	ECAD: Ecotoxicidad en agua dulce	AT: Acidificación terrestre	RI: Radiación ionizante	
URM: Uso de recursos minerales	THC: Toxicidad humana cancerígena	EUAD: Eutroficación de agua dulce	TTB: Transformación de la tierra, biodiversidad	

Figura 9.19. Caracterización de los impactos ambientales asociados a la producción de cubrebocas desechables. Método IMPACT World+

En el caso de las metodologías CML IA baseline e IMPACT World+ la producción es la etapa que tiene la mayor contribución. Estos, resultados coinciden con los de ReCiPe, en donde la etapa de producción también es la que tiene la principal contribución.

Como se mencionó anteriormente, no todas las categorías de impacto coinciden en las diferentes metodologías, pues realizan los cálculos con unidades diferentes, pero en las que si existe similitud es posible comparar los resultados (Tabla 9.11).

Tabla 9.11. Comparación de resultados con diferentes metodologías

Categoría de impacto	Unidades	ReCiPe	CML	IMPACT WORLD+
Calentamiento global	kg CO ₂ eq	0.60	0.58	0.60
Agotamiento de la capa de ozono	kg CFC11 eq	7.51E-07	4.17E-08	5.03E-08
Acidificación terrestre	kg SO ₂ eq	2.22E-03	2.75E-03	-
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DCB	7.86E-01	4.95E-04	-
Ecotoxicidad de agua dulce	kg 1,4-DCB	4.96E-03	6.61E-02	-
Ecotoxicidad de agua marina	kg 1,4-DCB	7.01E-03	260.14	-

Se observa que las principales diferencias existen en el cálculo que realizan para ecotoxicidad de agua marina situación similar se observó en el cálculo de los impactos del cubrebocas reutilizable, dado que en los elementos que forman la caracterización de CML es diferente y tiene más elementos que la contemplan a diferencia de ReCiPe.

Las diferencias que se observan están asociadas principalmente a la forma de cálculo de utiliza cada una de las metodologías, ya que no existe homologación entre ellas de como realizarlo y no consideran la misma cantidad de sustancias en sus inventarios, por ejemplo, en el calentamiento global la categoría CML IA solo considera 23 sustancias, a diferencia de las otras 2 metodologías de consideran más de 200 (Ver anexo D).

9.3.3.4. Comparación con la literatura

Se consultó en la bibliografía un artículo con resultados de los impactos ambientales producidos por el uso de un cubrebocas desechable, mismos que se muestran en la Tabla 9.12.

Tabla 9.12. Comparación de impactos ambientales entre la bibliografía y este trabajo

Categoría de impacto	Cubrebocas Desechable		
	Esta investigación	Wei <i>et al.</i> , 2021	Variación (%)
Calentamiento global (kg CO ₂ eq)	0.598	0.580	3.0
Eutroficación de agua dulce (kg P eq)	6.85E-05	-1.20E-04	275.2
Eutroficación marina (kg N eq)	1.17E-05	1.00E-04	754.7
Ecotoxicidad de agua dulce (kg 1,4-DCB)	4.96E-03	3.30E-02	565.3
Ecotoxicidad de agua marina (kg 1,4-DCB)	7.01E-03	2.90E-02	313.7
Toxicidad humana cancerígena (kg 1,4-DCB)	1.94E-02	3.40E-02	75.3
Escasez de recursos fósiles (kg aceite eq)	0.274	0.308	12.4
Consumo de agua (m ³)	8.81E-03	6.00E-03	31.9

La principal diferencia que se observa es en la categoría impacto de eutroficación de agua dulce, ya que de acuerdo con los resultados de Wei y colaboradores (2021) tienen un impacto positivo, a diferencia del resultado de este trabajo, donde el impacto es negativo, esto se atribuye principalmente al fin de vida que no se lleva a cabo en relleno sanitario sino se realiza incineración. En el análisis de dicho escenario se consolida la cantidad de fosfato, fósforo y ácido fosfórico que se emite y esto podría atribuirse a la ausencia de estas sustancias en la mayor parte del material que se incinera, según lo indicado en la base de datos Ecoinvent, así como la presencia de sustancias que ayuden a su eliminación

Se observa concordancia entre los resultados de ambos estudios, a pesar de existir diferencias significativas como se comentó en el numeral 9.2.4.1, que corresponde al análisis del cubrebocas reutilizable. De la misma forma, Wei y colaboradores (2021) establecieron una temporalidad diferente para el flujo de referencia, si fuera de interés conocer con mayor exactitud las diferencias y similitudes, sería importante establecer una misma UF.

10. Conclusiones

El uso de cubrebocas fue una medida obligatoria a partir de la declaración de pandemia derivada de la propagación del virus SARS-CoV-2, por lo que hubo un incremento en la fabricación de cubrebocas; el 90 % de este EPP termina su fin de vida en un relleno sanitario al ser desechado por el consumidor. La demanda de cubrebocas propició la fabricación de diferentes tipos, por lo que, en el mercado con diferentes características, una de ellas es que pueda ser reutilizable o desechable.

En este proyecto se realizaron los análisis de ciclo de vida de un cubrebocas reutilizable y de un cubrebocas desechable, con la finalidad de identificar los impactos ambientales generados y los más significativos, así como las etapas que presentan mayor contribución para cada uno.

El incremento en el uso de cubrebocas debido a la pandemia inherentemente aumenta los impactos ambientales debidos a la producción masiva de este equipo de protección personal, sin embargo, no existe hasta lo mejor de nuestro conocimiento una extensa literatura que aborde dicha temática, por lo que este trabajo contribuyó de manera significativa para conocer que parte del análisis de ciclo de vida tiene mayor impacto y por ende proponer mejoras que propicien la disminución de estos impactos en el caso particular de dos tipos de cubrebocas en México.

De manera general en ambos casos la etapa de producción es la que tiene los mayores impactos asociados, lo que se opone a la hipótesis establecida, donde se consideró que la extracción de materias primas era la que sería la etapa de principal contribución. Sin embargo, algunos procesos asociados al ICV como la extracción de otros materiales por ejemplo el gas natural y el petróleo para producción de polímero y algunos minerales, sí figuran en diferentes categorías de impacto como los principales procesos de contribución.

Cubre bocas reutilizable

El resultado de la evaluación de ciclo de vida de los cubrebocas reutilizables indicó que la etapa de producción contribuye en mayor medida a la generación de impactos ambientales en las 18 categorías considerada. Además, el uso de un agente antimicrobiano en esta etapa de producción genera la mayor aportación en todas las categorías.

La categoría de impacto de ecotoxicidad de agua dulce es la que presenta el principal impacto ambiental, seguido de la ecotoxicidad marina y la toxicidad humana cancerígena. Esto está, asociado a la producción y aplicaciones del gas natural; la categoría que tiene el menor impacto es el consumo de agua.

La deshidratación del gas natural es el proceso que tiene la principal contribución en todo el ciclo de vida. Aunque no forma parte del ICV de forma directa, de manera indirecta está asociado a procesos de producción de plásticos, uso de combustible para transporte, generación de energía eléctrica, combustible en procesos de transformación, entre otros.

En el proceso de producción del cubrebocas reutilizable se puede suplir el uso de sustancias químicas como agentes antimicrobianos por otros reactivos y realizar un ACV para evaluar si existe la viabilidad de que tengan menos efectos negativos al ambiente. Lo que evidencia con el análisis de sensibilidad es que reduce un 50 % de impacto al disminuir en un 10 % el uso del antimicrobiano.

Cubre bocas desechable

En la evaluación del ciclo de vida se observó que la etapa de producción es que la genera la mayor cantidad de impactos ambientales en 10 de 18 categorías de impacto. Esto está asociado principalmente en la adquisición de las materias primas (tela, soporte nasal y resorte) y el correspondiente transporte.

La toxicidad humana cancerígena es la categoría con mayor impacto, asociado a las materias primas y los procesos indirectos relacionados, como es el uso de gas natural para la fabricación de polímeros como el poliéster y el polipropileno, así como el uso de combustible para transporte. Por lo tanto, como sucede con el ACV del cubrebocas reutilizable, los impactos ambientales están asociados principalmente al proceso de producción del gas natural, en este caso particular a la etapa de extracción.

Se disminuyó 10 % la cantidad de tela para la fabricación de este cubrebocas para evaluar si existe reducción de los impactos ambientales y el análisis de sensibilidad mostró que se disminuyen en general 1.5 %, sin embargo, no hay afectación en la función de este EPP.

Referencias

- 3M. 2020. "Tips for Wearing a 3M. Daily Face Mask". 1. Recuperado (<https://multimedia.3m.com/mws/media/1888011O/how-to-wear-3m-daily-face-mask-article.pdf>).
- 60 Foro Nuclear. 2020. "¿Qué Es El Gas Natural y Qué Usos Tiene?" Recuperado el 22 de diciembre de 2022 (<https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-distintas-fuentes-de-energia/que-es-el-gas-natural-y-que-usos-tiene/>).
- AAI, Arizton Advisory and Intelligence. 2020. "Medical Face Mask Market - Global Outlook and Forecast 2020-2025". P. 349 en *Market Research.com*.
- Agri-footprint. 2021. "Agri-Footprint: LCA Food Database". Recuperado (<https://www.agri-footprint.com/>).
- Akber Abbasi, Saddam, Amjad B. Khalil, y Muhammad Arslan. 2020. "Extensive Use of Face Masks during COVID-19 Pandemic: (Micro-)Plastic Pollution and Potential Health Concerns in the Arabian Peninsula". *Saudi Journal of Biological Sciences* 27(12):3181–86. doi: 10.1016/j.sjbs.2020.09.054.
- Alba, G. 2020. "La Diferencia Entre Las Mascarillas N95, Las Mascarillas Quirúrgicas y Las Mascarillas de Tela". *Massachusetts General Hospital*. Recuperado (<https://www.massgeneral.org/es/coronavirus/la-diferencia-entre-las-mascarillas-N95-las-mascarillas-quirurgicas-y-las-mascarillas-de-tela>).
- AMPO, Commitment Made of Steel. 2016. "Natural Gas Processing". Recuperado el 27 de agosto de 2022 (<https://www.ampo.com/category/industries/natural-gas-processing/>).
- Anand, N., y Sankar Ganesh Palani. 2022. "A Comprehensive Investigation of Toxicity and Pollution Potential of Municipal Solid Waste Landfill Leachate". *Science of The Total Environment* 838:155891. doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2022.155891.
- Antón, Vallejo Ma. A. 2004. "Capítulo 3. Metodología Del Análisis Del Ciclo de Vida". Universitat Politècnica de Catalunya.

API, American Petroleum Institute. 2021. "What Is Natural Gas Used For?" Recuperado el 27 de agosto de 2022 (<https://www.api.org/news-policy-and-issues/natural-gas-solutions/natural-gas-used>).

Aydin, O., Emon B., Cheng S., Hong LI., Chamorro L. P., y Saif M. T. A. 2020. "Performance of Fabrics for Home-Made Masks against the Spread of COVID-19 through Droplets: A Quantitative Mechanistic Study". *Extreme Mechanics Letters* 40:100924. doi: 10.1016/j.eml.2020.100924.

Benson, Nsikak U., Basse E. David, y Palanisami Thavamani. 2021. "COVID Pollution: Impact of COVID-19 Pandemic on Global Plastic Waste Footprint". *Heliyon* 7(2):9. doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e06343.

Bolaina-Lorenzo, Ena, Bertha Alicia Puente-Urbina, Roberto Espinosa-Neira, Antonio Ledezma, Oliverio Rodríguez-Fernández, y Rebeca Betancourt-Galindo. 2022. "A Simple Method to Improve Antibacterial Properties in Commercial Face Masks via Incorporation of ZnO and CuO Nanoparticles through Chitosan Matrix". *Materials Chemistry and Physics* 287:126299. doi: 10.1016/J.MATCHEMPHYS.2022.126299.

CADIS, Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable. 2011. "Bases de Datos". Recuperado (<https://www.simapro.mx/datos.html>).

CADIS, Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable. 2018. "About SimaPro". Recuperado (<https://simapro.com/about/>).

CADIS, Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable. 2021. "SimaPro Global Partner". Recuperado el 17 de agosto de 2021 (<http://simapro.mx/index.html>).

CDC, Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades. 2021a. "Improve How Your Mask Protects You". Recuperado (<https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/your-health/effective-masks.html>).

CDC, Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades. 2021b. "Tipos de Mascarillas". Recuperado (<https://espanol.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/prevent-getting-sick/types-of-masks.html>).

CDC, Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades. 2021c. "Your Guide to Masks". Recuperado el 17 de agosto de 2021 (<https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/prevent-getting-sick/about-face-coverings.html>).

CICEG, Cámara de la Industria del Calzado del Estado de Guanajuato. 2020. *Propuesta Técnica. Protocolo Para La Manufactura de Cubrebocas.*

Comunidad de Madrid, Gas Natural, Dirección General de Industria, Energía y Minas, Consejería de Economía e Innovación Tecnológica. 2002. *El Gas Antural. El Recorrido de La Energía.*

Cortés, M. A. 2015. "El Análisis de Ciclo de Vida y Sus Principales Softwares Como Herramientas de Cálculo". *Revista Digital INESEM*. Recuperado (<https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/el-analisis-de-ciclo-de-vida-y-sus-principales-softwares-como-herramientas-de-calculo/>).

Deloitte Touche Tohmatsu Limited. 2019. *Gas Natural En México Oportunidades Para Su Uso Industrial y Vehicular.*

Ecoinvent. 2020. "Natural Gas". Recuperado el 27 de septiembre de 2022 (<https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/sectors/natural-gas/#1592220812641-df7fe628-a0f21598366392497161457800423616316306069771643713184668>).

Ecoinvent. 2021. "Database". Recuperado (<https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/>).

Energía y Sociedad. 2017a. "3.1. La Cadena de Valor Del Gas Natural". *Manual de La Energía. Gas 20–23.*

Energía y Sociedad. 2017b. "3.2. Reservas, Extracción y Producción". *Manual de La Energía. Gas 24–31.*

Energía y Sociedad. 2017c. "3.5. Transporte Del Gas Natural Por Gasoducto". *Manual de La Energía. Gas 38–41.*

Energía y Sociedad. 2017d. "3.6. Distribución de Gas Natural". *Manual de La Energía. Gas 42–43.*

Eurofins, Envira Ingenieros Asesores. 2021a. “Antecedentes”. Pp. 12–14 en *Cradle to Cradle. Rediseño y Re-evolución*.

Eurofins, Envira Ingenieros Asesores. 2021b. “ISO 14040: Análisis Del Ciclo de Vida. Principios y Marco de Referencia”. Recuperado (<https://envira.es/es/iso-14040-principios-relacionados-gestion-ambiental/>).

Fernández-Arribas, J., T. Moreno, R. Bartrolí, y E. Eljarrat. 2021. “COVID-19 Face Masks: A New Source of Human and Environmental Exposure to Organophosphate Esters”. *Environment International*.

Fidan, F., Aydoğan E. K., y Uzal N. 2021. “An Integrated Life Cycle Assessment Approach for Denim Fabric Production Using Recycled Cotton Fibers and Combined Heat and Power Plant”. *Journal of Cleaner Production* 287:125439. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.125439.

FIILE, Fundación Instituto Internacional de la Lengua Española. 2020. “Cubreboca y Tapaboca, En Una Sola Palabra”. Recuperado (<https://fundeu.fiile.org.ar/page/recomendaciones/id/365/title/-cubreboca--y--tapaboca-%2C-en-una-sola-palabra>).

Fischer, A. 2021. “Así Es Como Toneladas de Cubrebocas Usados Están Afectando a La Vida Salvaje En Todo El Mundo”. *National Geographic*. Recuperado (<https://www.ngenespanol.com/ecologia/asi-es-como-toneladas-de-cubrebocas-usados-estan-afectando-a-la-vida-salvaje-en-todo-el-mundo/>).

Garduño, M. 2020. “Cubrebocas: Una Nueva Forma de Contaminación Mundial”. *Forbes*. Recuperado (<https://www.forbes.com.mx/noticias-mascarillas-nueva-forma-contaminacion-mundial/>).

GOB, Gobierno de México. 2020. “¿Qué Es El Coronavirus?” Recuperado (<https://coronavirus.gob.mx/covid-19/>).

Golsteijn, L. 2017. “Updated Impact Assessment Methodology ReCiPe2016”. *Simapro, Sistema Integral de Medición y Avance de La Productividad*. Recuperado (<https://simapro.com/2017/updated-impact-assessment-methodology-recipe-2016/>).

Golsteijn, L. 2020. "Life Cycle Assessment (LCA) Explained". Recuperado (<https://pre-sustainability.com/articles/life-cycle-assessment-lca-basics/>).

Haya, E. I. 2016. "Análisis de Ciclo de Vida". *EOI, Escuela de Organización Industrial* 1:43.

Hoffmann, B. S., Morais J. de S., y Fonseca T. P. 2020. "Life Cycle Assessment of Innovative Circular Business Models for Modern Cloth Diapers". *Journal of Cleaner Production* 249:119364. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119364.

Hou, Erh-Jen, Yun-Yu Hsieh, Ting-Wei Hsu, Chi-Shih Huang, Ying-Chou Lee, Yu-San Han, y Hsueh-Ting Chu. 2022. "Using the Concept of Circular Economy to Reduce the Environmental Impact of COVID-19 Face Mask Waste". *Sustainable Materials and Technologies* 33:e00475. doi: 10.1016/J.SUSMAT.2022.E00475.

Huijbregts, M., Z. J. N. Steinmann, P. M. F. M. Elshout, G. Stam, F. Verones, M. D. M. Vieira, M. Zijp, y R. van Zelm. 2016. "ReCiPe 2016 - A Harmonized Life Cycle Impact Assessment Method at Midpoint and Endpoint Level. Report I: Characterization". *National Institute for Public Health and the Environment* 194.

IES, Institute for Environment and Sustainability. 2010. "International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook: Analysing of Existing Environmental Impact Assessment Methodologies for Use in Life Cycle Assessment". *European Commission* 115.

Illés, B., y Gordon P. 2021. "Filtering Efficiency Measurement of Respirators by Laser-Based Particle Counting Method". *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation* 176:109173. doi: 10.1016/j.measurement.2021.109173.

IMNC, Instituto Mexicano de Normalización y Certificación A. C. 2008a. "NMX-SAA-14040-IMNC-2008. Gestión Ambiental - Análisis Del Ciclo de Vida - Principios y Marco de Referencia". 36.

IMNC, Instituto Mexicano de Normalización y Certificación A. C. 2008b. "NMX-SAA-14044-IMNC-2008. Gestión Ambiental - Análisis Del Ciclo de Vida - Requisitos y Directrices". 68.

ISO, International Organization for Standardization. 2006. "ISO 14040 - Environmental Management — Life Cycle Assessment — Principles and Framework". 10.

Jolliet, O., M. Saadé-Sbeih, S. Shaked, A. Jolliet, y P. Crettaz. 2014. "6.7 LCA Software". Pp. 179–80 en *Environmental life cycle assessment*.

Konda, A., A. Prakash, G. A. Moss, M. Schmoltdt, G. D. Grant, y S. Guha. 2020. "Aerosol Filtration Efficiency of Common Fabrics Used in Respiratory Cloth Masks". *ACS Nano* 14(5):6339–47. doi: 10.1021/acsnano.0c03252.

Kumar, Harender, Amaanuddin Azad, Ankit Gupta, Jitendra Sharma, Hemant Bherwani, Nitin Kumar Labhsetwar, y Rakesh Kumar. 2021. "COVID-19 Creating Another Problem? Sustainable Solution for PPE Disposal through LCA Approach". *Environment, Development and Sustainability* 23(6):9418–32.

LCA Consultans. 2020. "Input-Output Databases for LCA". Recuperado (<https://lca-net.com/services-and-solutions/input-output-databases-life-cycle-assessment/>).

Leiva, E. H. 2012. "Análisis de Ciclo de Vida". *Deloitte* 43. doi: 10.13140/RG.2.1.2207.3689.

Liang, Hao, Ya Ji, Wei Ge, Juan Wu, Ningning Song, Zidie Yin, y Chao Chai. 2021. "Release Kinetics of Microplastics from Disposable Face Masks into the Aqueous Environment". *Science of The Total Environment* 151650. doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2021.151650.

Marenco, Julio, y Raphaele Ortiz. 2020. "Waste Collectors Are Coronavirus Frontliners, Too". *IDB, Inter-American Development Bank*. Recuperado (<https://www.iadb.org/en/improvinglives/waste-collectors-are-coronavirus-frontliners-too>).

Mendoza, J. M. F., F. D'Aponte, D. Gualtieri, y A. Azapagic. 2019. "Disposable Baby Diapers: Life Cycle Costs, Eco-Efficiency and Circular Economy". *Journal of Cleaner Production* 211:455–67. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.11.146.

Mendoza, M. de J. C. 2020. "Tela No Tejida de Polipropileno". *Biosmann*. Recuperado (<https://biossmann.com/tela-no-tejida-de-polipropileno.html>).

Mertens, Leonard. 2009. *Formación y Productividad. Guía SIMAPRO: Participar - Aprender - Innovar - Mejorar*. Montevideo.

MGM International. 2015. "Manual Para La Evaluación de Inversiones En Eficiencia Energética En El Sector Textil". *CAF, Banco de Desarrollo de América Latina* 17.

Minsalud, Ministerio de Salud y Protección Social. 2020. "Lineamientos Mínimos Para La Fabricación de Tapabocas y Otros Insumos En El Marco de La Emergencia Sanitaria Por Enfermedad COVID-19". *OPS, Organización Panamericana de La Salud*. Recuperado (<https://covid19-evidence.paho.org/handle/20.500.12663/1280?locale-attribute=en>).

Moretti, Christian, Lorie Hamelin, Line Geest Jakobsen, Martin H. Junginger, Maria Magnea Steingrimsdottir, Linda Høiby, y Li Shen. 2021. "Cradle-to-Grave Life Cycle Assessment of Single-Use Cups Made from PLA, PP and PET". *Resources, Conservation and Recycling* 169(February). doi: 10.1016/j.resconrec.2021.105508.

MSP, Ministerio de Salud de Perú. 2020. "Recomendaciones Para El Uso Apropiado de Mascarillas y Respiradores Por El Personal de Salud". 17.

NATURGAS, Asociación Colombiana de Gas Natural. 2021. "Del Subsuelo a Tu Hogar: Así Se Extrae El Gas Natural". Recuperado el 23 de diciembre de 2022 (<https://naturgas.com.co/asi-se-extrae-el-gas-natural/>).

NIPHE, National Institute for Public Health and the Environment. 2017. "ReCiPe 2016 A Harmonized Life Cycle Impact Assessment Method at Midpoint and Endpoint Level. Report I: Characterization". *RIVM Report 2016-0104 201*.

NREL, National Renewable Energy Laboratory. 2012. "U.S. Life Cycle Inventory Database". Recuperado (<https://www.nrel.gov/lci/>).

OMS, Organización Mundial de la Salud. 2020a. *Advice on the Use of Masks in the Community, During*. Vol. 1.

OMS, Organización Mundial de la Salud. 2020b. "Brote de Enfermedad Por Coronavirus (COVID-19): Orientaciones Para El Público". Recuperado (<https://www.who.int/es/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public>).

OMS, Organización Mundial de la Salud. 2020c. "Coronavirus Disease (COVID-19) Pandemic". Recuperado el 9 de agosto de 2021 (https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019?gclid=CjwKCAjwi9-HBhACEiwAPzUhHNtSjtDPgG94wMkGIY8FVnHpRwIMfXh_52jTxkM6shRhZ-D2XLxgeRoCQQ0QAvD_BwE).

OMS, Organización Mundial de la Salud. 2020d. "Listings of WHO's Response to COVID-19". Recuperado (<https://www.who.int/es/news-room/detail/29-06-2020-covidtimeline>).

OMS, Organización Mundial de la Salud. 2020e. *Mask Use in the Context of COVID-19*. Vol. 1.

OMS, Organización Mundial de la Salud. 2020f. "Modes of Transmission of Virus Causing COVID-19: Implications for IPC Precaution Recommendations". Recuperado (<https://www.who.int/news-room/commentaries/detail/modes-of-transmission-of-virus-causing-covid-19-implications-for-ipc-precaution-recommendations>).

OMS, Organización Mundial de la Salud. 2020g. *Recomendaciones Sobre El Uso de Mascarillas En El Contexto de La COVID-19*.

ONU, Organización de Naciones Unidas. 2020a. "Information for UN Personnel Worldwide". Recuperado (<https://www.un.org/en/coronavirus/info-for-un-staff>).

ONU, Organización de Naciones Unidas. 2020b. "La Nueva Guía de La OMS Sobre El Uso de Mascarillas Contra El COVID-19". Recuperado (<https://news.un.org/es/story/2020/12/1485002>).

OSL Iberia. 2015. "Deshidratación De Gas". Recuperado el 23 de diciembre de 2022 (<https://www.osl-iberia.com/es/areas-de-negocio/deshidratacion-de-gas>).

Parker-Pope, T. 2020. "¿Cuál Es El Mejor Material Para Un Cubrebocas?" *The New York Times*, agosto 12.

PRé. 2020. *SimaPro Database Manual Methods Library*.

PROFECO, Procuraduría Federal del Consumidor. 2018. "Lavar La Ropa, Fuera o Dentro de Casa: Una Decisión Que Puede Deslavar El Bolsillo". *Gobierno de México*. Recuperado el 7 de agosto de 2022 (<https://www.gob.mx/profeco/documentos/lavar-la-ropa-fuera-o-dentro-de-casa-una-decision-que-puede-deslavar-el-bolsillo?state=published>).

PROFECO, Procuraduría Federal del Consumidor. 2019. "Lavadoras Automáticas". *El Consumidor*, 44–53.

del Rocío, Coutiño E. M., Lagunes L. Ávila, y Helguera O. Arroyo. 2017. “Las Nanopartículas de Plata: Mecanismos de Entrada, Toxicidad y Estrés Oxidativo”. *Revista de Educación Bioquímica (REB)* 36(2):39–54.

Rodríguez, N. B., Formentini G., Favi C., y Marconi M. 2021. “Environmental Implication of Personal Protection Equipment in the Pandemic Era: LCA Comparison of Face Masks Typologies”. *Procedia CIRP* 98:306–11. doi: 10.1016/j.procir.2021.01.108.

Romero, Blanca. 2003. “El Análisis Del Ciclo de Vida y La Gestión Ambiental”. *Tendencias Tecnológicas* 91–97.

de Sales, Ibiza M. 2019. “Nanopartículas de Plata, ¿un Riesgo Para Nuestra Salud? - ACTUALIDAD AIDIMME”. *AIDIMME, Instituto Tecnológico Metalmeccánico, Mueble, Madera, Embalaje y Afines*. Recuperado el 27 de septiembre de 2022 (<https://actualidad.aidimme.es/2019/10/08/nanoparticulas-plata-riesgo-nuestra-salud/>).

SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2020. *Diagnóstico Básico Para La Gestión Integral de Los Residuos 2020*. México. doi: Recuperado el: 20 de julio de 2021.

SENER, Secretaría de Energía. 2018. *PRODESEN, Programa de Desarrollo Del Sistema Eléctrico Nacional 2018 - 2032*.

Shen, Maocai, Zhuotong Zeng, Biao Song, Huan Yi, Tong Hu, Yaxin Zhang, Guangming Zeng, y Rong Xiao. 2021. “Neglected Microplastics Pollution in Global COVID-19: Disposable Surgical Masks”. *Science of the Total Environment* 790:148130. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.148130.

SimaPro. 2018. “Industry Data LCA Library”. Recuperado (<https://simapro.com/databases/industry-data-lca-library/>).

Sphera. 2015. “Description of the IMPACT 2002+ Method”. Recuperado (<http://www.gabi-software.com/international/support/gabi/gabi-lcia-documentation/impact-2002/>).

- Sphera. 2017. "Environmental Priority Strategies (EPS)". Recuperado (<http://www.gabi-software.com/international/support/gabi/gabi-lcia-documentation/environmental-priority-strategies-eps/>).
- van Straten, Bart, Ligtelijn S., Droog L., Putman E., Dankelman J., Weiland N. H.Sperna, y Horeman T. 2021. "A Life Cycle Assessment of Reprocessing Face Masks during the Covid-19 Pandemic". *Scientific Reports* 11(1).
- Teasing, G. R., B. van Straten, P. de Man, y T. Horeman-Franse. 2020. "Is There an Adequate Alternative to Commercially Manufactured Face Masks? A Comparison of Various Materials and Forms". *Journal of Hospital Infection* 106(2):246–53. doi: 10.1016/j.jhin.2020.07.024.
- UNE, Asociación Española de Normalización. 2019. "Mascarillas Quirúrgicas. Requisitos y Métodos de Ensayo. UNE-EN 14683:2019+AC:2019". Recuperado (<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0062987/>).
- Valdez, Rocio, y Héctor Castillo-Berthier. 2020. "Manejo Inadecuado de Insumos Como Cubrebocas, Riesgoso Para Trabajadores de Limpia". *UNAM, Universidad Nacional Autónoma de México Boletín UNAM-DGCS-581*.
- Vural Gursel, Iris, Christian Moretti, Lorie Hamelin, Line Geest Jakobsen, Maria Magnea Steingrimsdottir, Martin Junginger, Linda Høibye, y Li Shen. 2021. "Comparative Cradle-to-Grave Life Cycle Assessment of Bio-Based and Petrochemical PET Bottles". *Science of The Total Environment* 793:148642. doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2021.148642.
- Wang, Q., H. Tang, Q. Ma, R. Mu, X. Yuan, J. Hong, J. Zhang, J. Zuo, Z. Mu, S. Cao, y F. Liu. 2019. "Life Cycle Assessment and the Willingness to Pay of Waste Polyester Recycling". *Journal of Cleaner Production* 234:275–84. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.06.123.
- Wei, A., Lee L., Ren E., Neo K., Khoo Z., Yeo Z., Tan Y. S., Chng S., Yan W., Lok B. K., Sze J., y Low C. 2021. "Life Cycle Assessment of Single-Use Surgical and Embedded Filtration Layer (EFL) Reusable Face Mask". *Resources, Conservation & Recycling* 170(September 2020):12. doi: 10.1016/j.resconrec.2021.105580.
- Williams, Bridgette C. 2015. "Plata a Nanoescala Para El Control de Infecciones". *Nursing (Ed. Española)* 32(1):59–60. doi: 10.1016/J.NURSI.2015.02.017.

Wu, Gaofeng, Lili Wang, Ran Yang, Wenxing Hou, Shanwen Zhang, Xiaoyu Guo, y Wenji Zhao. 2022. "Pollution Characteristics and Risk Assessment of Heavy Metals in the Soil of a Construction Waste Landfill Site". *Ecological Informatics* 70:101700. doi: 10.1016/J.ECOINF.2022.101700.

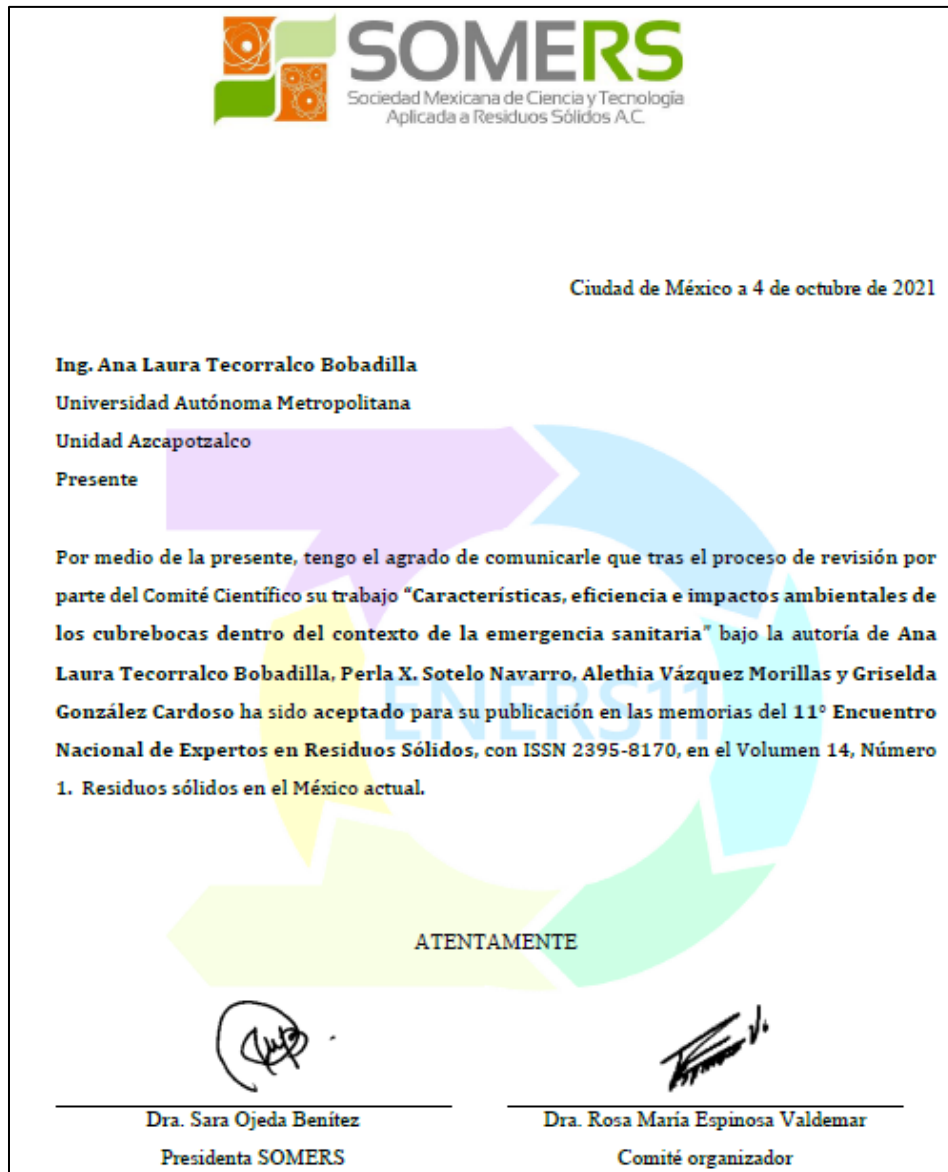
Ye, Shengjun, Yiheng Li, Haibao Huang, Yanbin Xu, Shaoping Du, Fenlong Wan, Ruijie Xie, Pingli Huang, Biyuan Liu, Tao Dong, Zhili He, y Dennis Y. C. Leung. 2022. "Fast and Deep Disinfection for Face Masks Recycle Using Vacuum Ultraviolet Irradiation". *Journal of Cleaner Production* 368:133221. doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2022.133221.

Zambrano, Eddie, Yezabel Rivera, Henry Garmendia, y John Ramírez. 2019. "Simulation of the Natural Gas Dehydration Using TEG from the Plant: Bajo Alto El Oro-Ecuad". *Ciencia e Ingeniería* 40(3):273–83.

Productos de trabajo

A lo largo del desarrollo de este proyecto se trabajó en generar los siguientes productos para la difusión de la información obtenida:

- Trabajo de divulgación titulado “Características, eficiencia e impactos ambientales de los cubrebocas dentro del contexto de la emergencia sanitaria” publicado en las memorias del 11° Encuentro Nacional de Expertos en Residuos Sólidos.



- Trabajo de divulgación titulado “Análisis de ciclo de Vida como herramienta de evaluación de impacto ambiental” publicado en el libro de resúmenes del Coloquio de posgrado en Ciencias e Ingeniería XXII aniversario.


Universidad
Autónoma
Metropolitana 
Casa abierta al tiempo **Azcapotzalco**


Otorga la presente
Constancia


a: **Tecorralco Bobadilla Ana Laura**


Por la presentación oral
Análisis de ciclo de Vida como herramienta de evaluación de impacto ambiental
dentro del Ciclo de Conferencias del XXII Aniversario del Posgrado en Ciencias e
Ingeniería (ambientales y de materiales), realizado del 29 de noviembre al 2 de
diciembre de 2021.

Ciudad de México, a 1 de diciembre de 2021.


Dra. Teresa Merchand Hernández
Directora de la
División de Ciencias Básicas e Ingeniería


Dra. Mabel Vaca Mier
Coordinadora
Divisonal


Dra. Mónica Liliana Salazar Peláez
Coordinadora de la Maestría en
Ciencias e Ingeniería: Línea de Ambiental


Dra. Deyanira Angeles Beltrán
Coordinador de la Maestría en
Ciencias e Ingeniería: Línea de Materiales

- Desarrollo del capítulo 25: Life cycle assesment (LCA) of bioplastics, del libro Handbook of Bioplastics and Biocomposites Engineering Applications (en proceso de edición)

Life cycle assessment (LCA) of bioplastics

Tecorralco-Bobadilla, A. L.¹; Vázquez-Morillas, A.¹; González-Cardoso, G.¹; Sotelo-Navarro, P. X.^{2,*}

¹Área de Investigación Tecnologías Sustentables, Universidad Autónoma Metropolitana, Av. San Pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas, Alcaldía Azcapotzalco, C.P. 02200, México.

²Cátedra CONACyT – CINVESTAV -DCTS, Av. Instituto Politécnico Nacional 2508, San Pedro Zacatenco, Gustavo A. Madero, 07360 Ciudad de México, CDMX, tel. +521-5532436974

*Corresponding author: perla.sotelo@cinvestav.mx

Abstract

The use of plastics is intrinsically linked to daily activities; however, their indiscriminate use generates negative consequences to the environment, such as the depletion of fossil resources and accumulation of waste. In this context, it is necessary to create more sustainable alternatives to replace them. For this reason, new materials called biobased have been developed, which can be biobased, biodegradable or both. However, it is necessary to evaluate whether these replacements decrease environmental impacts compared to plastics of fossil origin. The life cycle analysis is a helpful tool for assessing this behavior. Therefore, this chapter is focused on the systematic study of 53 scientific articles where the environmental impact of


First Name	Perla Xochitl
Second Name	Sotelo
Last Name	Navarro
Designation	Corresponding author
Edition Title	"Handbook of Bioplastics and Biocomposites Engineering Applications"
Chapter Title	"Life cycle assessment of bioplastics and biocomposites"
Full Corresponding Address (As you write in your publications)	Cátedra Conacyt-CINVESTAV-DCTS, Av. Instituto Politécnico Nacional 2508, Col. San Pedro Zacatenco, Delegación Gustavo A. Madero, Ciudad de México, Código Postal 07360, Apartado Postal: 14-740, 07000 Ciudad de México Tel: +52 (55) 5747 3800
Country	Mexico
Email Address of Corresponding Author	perla.sotelo@cinvestav.mx
The expected date for the submission of chapter	Jan 10, 2022
Mobile Number	5532436974
Whatsapp Number	5532436974

This PDF is generated with the [Google Forms Notification](#) add-on.

To generate customized PDFs from Google Forms, download [Document Studio \(video demo\)](#).

These messages are not added in the [premium version](#).

- Trabajo de divulgación titulado “Análisis de ciclo de vida de un cubrebocas reutilizable” publicado en el XXXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de AIDIS, Punta Cana, República Dominicana



Asociación Dominicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Inc. (ADIS)
Sede- Ing. Emilio Almonte Jiménez
Tel: (809) 363-0999 | (809) 367-1241 Ext. 11120
Email: adisasociacion@gmail.com
RNC: 430048267



Santo Domingo, D.N.
12 de agosto de 2022

Señora
Ing. Ana Laura Tecorralco Bobadilla
Universidad Autónoma Metropolitana (UAM)
Ciudad de México, México

Distinguida ingeniera Tecorralco Bobadilla:

Por este medio, la Asociación Dominicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (ADIS) tiene a bien informarle que los trabajos técnicos enviados por usted para optar por su participación como expositora en el XXXVIII Congreso de la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS), a celebrarse a partir del día 13 y hasta el día 17 de noviembre de 2022, en Bávaro-Punta Cana, República Dominicana, fueron aceptados por los revisores oficiales.

En tal sentido, tanto el trabajo técnico titulado: **ID-170 “ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE UN CUBREBOCAS REUTILIZABLE”**, como el titulado: **ID-171 “USO Y GESTIÓN DE MASCARILLAS EN UNA INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR”**, pueden optar por su exposición en el Congreso bajo la modalidad oral.

Finalmente, queremos recordarle que la fecha límite de pago para autores de Trabajos Técnicos es el 14 de octubre de 2022.

Saludos cordiales,



Ing. José Alberto Infante
Presidente de ADIS



Ing. Guadalupe de Lora
Vicepresidente de ADIS



Ing. Abelardo Díaz
Director Técnico XXXVIII Congreso





CONGRESO AIDIS 2022
Calle Cuarcocuya, edf. INAPA (Ala este, 1era Planta) Sto. Dgo. Tel: 809-363-0999
congresoaids2022@smartcongressrd.com | www.congresoaids2022.com

- Trabajo de divulgación titulado “Uso y gestión de mascarillas en una institución de educación superior” publicado en el XXXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de AIDIS, Punta Cana, República Dominicana.



Asociación Dominicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Inc. (ADIS)
Sede- Ing. Emilio Almonte Jiménez
Tel: (809) 363-0999 | (809) 367-1241 Ext. 11120
Email: adisasociacion@gmail.com
RNC: 430048267



Santo Domingo, D.N.
12 de agosto de 2022

Señora
Ing. Ana Laura Tecorralco Bobadilla
Universidad Autónoma Metropolitana (UAM)
Ciudad de México, México

Distinguida ingeniera Tecorralco Bobadilla:

Por este medio, la Asociación Dominicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (ADIS) tiene a bien informarle que los trabajos técnicos enviados por usted para optar por su participación como expositora en el XXXVIII Congreso de la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS), a celebrarse a partir del día 13 y hasta el día 17 de noviembre de 2022, en Bávaro-Punta Cana, República Dominicana, fueron aceptados por los revisores oficiales.

En tal sentido, tanto el trabajo técnico titulado: **ID-170 “ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE UN CUBREBOCAS REUTILIZABLE”**, como el titulado: **ID-171 “USO Y GESTIÓN DE MASCARILLAS EN UNA INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR”**, pueden optar por su exposición en el Congreso bajo la modalidad oral.

Finalmente, queremos recordarle que la fecha límite de pago para autores de Trabajos Técnicos es el 14 de octubre de 2022.

Saludos cordiales,




Ing. José Alberto Infante
Presidente de ADIS



Ing. Guadalupe de Lora
Vicepresidente de ADIS



Ing. Abelardo Díaz
Director Técnico XXXVIII Congreso





CONGRESO AIDIS 2022

Calle Cuarcocuya, edf. INAPA (Ala este, 1era Planta) Sto. Dgo. Tel: 809-363-0999
congresoaidis2022@smartcongressrd.com | www.congresoaidis2022.com

Anexos

En este capítulo se puede consultar los anexos mencionados a lo largo del trabajo.

A. Encuesta “Uso de cubrebocas”

Visualización de la encuesta difundida.

The image displays a survey interface with three sections, each in a light green container. The first section, 'Sección 1 de 6', is titled 'USO DE CUBREBOCAS' and contains two paragraphs of introductory text. The second section, 'Sección 2 de 6', is titled '1. Datos generales' and includes a placeholder for a description. The third section, 'Sección 3 de 6', is titled 'Uso de cubrebocas' and contains a question with two radio button options.

Sección 1 de 6

USO DE CUBREBOCAS

Durante la contingencia actual que vivimos generada por el virus SARS-CoV-2 el uso de cubrebocas se ha vuelto parte de la vida cotidiana, por ello, el objetivo de esta encuesta es obtener información sobre el uso de cubrebocas por parte de la población. Los resultados serán utilizados para determinar cuál es el cubrebocas de mayor uso y, posteriormente, estimar los impactos ambientales que conlleva su utilización, a lo largo de su ciclo de vida.

El tiempo estimado para responder la encuesta es de 5 minutos. En todo momento se garantiza la confidencialidad de la información que proporcione. Agradecemos tu participación, y podemos responder cualquier duda en el correo alethia@correo.azc.uam.mx

Después de la sección 1 Ir a la siguiente sección

Sección 2 de 6

1. Datos generales

Descripción (opcional)

Sección 3 de 6

Uso de cubrebocas

Descripción (opcional)

2.1. Durante la pandemia actual, ¿en su rutina diaria utiliza cubrebocas? *

Sí

No

2.4. ¿Qué tipo de cubrebocas utiliza? Puede seleccionar más de una opción. *

KN95



KN95 con válvula



Tricapa plisado



Sencillo



Tela quirúrgica

Sección 4 de 6

Lavado y desecho de cubrebocas

Descripción (opcional)

3.1. Si utiliza cubrebocas reutilizables de tela, ¿Con qué frecuencia los lava? *

	Diario	Cada terc...	2 veces a...	1 vez a la...	1 vez cad...	1 vez al ...	Nunca	No uso e...
Tela quir...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tela y es...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tela	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Sección 5 de 6

Protección personal



Descripción (opcional)

4.1 ¿Sabe de donde proviene el cubrebocas que utiliza? *

- México
- Extranjero
- No sé

Sección 6 de 6

Comentarios



Descripción (opcional)

Muchas gracias por su participación. Si desea añadir algún comentario, por favor utilice este espacio para hacerlo:

Texto de respuesta largo

B. ICV detallado

A continuación, se muestran los inventarios de ciclo de vida detallados de cada tipo de cubrebocas.

Es importante mencionar que el flujo de referencia de cada elemento se colocó en el idioma original (inglés) del software SimaPro, con el fin de poder recrear este inventario.

B.1. ICV de cubrebocas reutilizable

En la Tabla B.1 se desglosa el ICV del cubrebocas reutilizable.

Tabla B.1. Inventario del ciclo de vida de cubrebocas reutilizable

Crear como material

Hilazas 4.7526 g

Entrada	Cantidad	Unidad	Flujo de referencia	Base de datos	Observaciones
Hilazas	4.7526	g	Polypropylene fibres (PP), crude oil based, production mix, at plant, PP granulate without additives EU-27 S System - Copied from ELCD	Agri-foodprint 5.0	Hilos de polipropileno para formar la tela
Transporte	Cantidad	Unidad	Flujo de referencia	Base de datos	Observaciones
Transporte en camioneta tipo Van	0.035	kgkm	Transport, freight, light commercial vehicle {GLO} market group for transport, freight, light commercial vehicle Cut-off, U	Ecoinvent 3.7.1	Transporte del punto de venta al puerto marítimo en China
Transporte marítimo	69.74	kgkm	Transport, freight, sea, bulk carrier for dry goods {GLO} market for transport, freight, sea, bulk carrier for dry goods Cut-off, U	Ecoinvent 3.7.1	Transporte marítimo desde el puerto de China a México
Transporte en camioneta de 3.5 Ton	3.87	kgkm	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {RoW} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 Cut-off, U	Ecoinvent 3.7.1	Transporte del puerto marítimo en México a la planta de fabricación

Tabla B.1. Inventario del ciclo de vida de cubrebocas reutilizable

Elástico		0.7900	g			
Entrada	Cantidad	Unidad	Flujo de referencia		Base de datos	Observaciones
Hilo	0.5372	g	Nylon 6 {RoW} production Cut-off, U		Ecoinvent 3.7.1	68 % del material del elástico es nylon
Lycra	0.2528	g	Polyurethane, flexible foam {RoW} market for polyurethane, flexible foam Cut-off, U		Ecoinvent 3.7.1	32 % del elástico es lycra de poliuretano
Transporte	Cantidad	Unidad	Flujo de referencia		Base de datos	Observaciones
Transporte en camioneta tipo Van	0.059	kgkm	Transport, freight, light commercial vehicle {GLO} market group for transport, freight, light commercial vehicle Cut-off, U		Ecoinvent 3.7.1	Transporte del punto de venta en Hong Kong al puerto marítimo ubicado en la misma ciudad
Transporte marítimo	10.59	kgkm	Transport, freight, sea, bulk carrier for dry goods {GLO} market for transport, freight, sea, bulk carrier for dry goods Cut-off, U		Ecoinvent 3.7.1	Transporte marítimo desde el puerto de China al puerto marítimo en Manzanillo, México
Transporte en camioneta de 3.5 Ton	0.64	kgkm	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {RoW} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 Cut-off, U		Ecoinvent 3.7.1	Transporte del puerto marítimo en Manzanillo, México a la planta de fabricación

Adquisición de materias primas

Materia prima		5.5426	g			
Entrada de materiales	Cantidad	Unidad	Flujo de referencia		Base de datos	Observaciones
Hilaza	4.753	g	Hilaza		Creado	Creado como hilaza
Elástico	0.790	g	Elástico		Creado	Creado como elástico

Producción o transformación

Tabla B.1. Inventario del ciclo de vida de cubrebocas reutilizable

Producción		5.5426	g			
Entrada de materiales	Cantidad	Unidad	Flujo de referencia		Base de datos	Observaciones
Materias primas	5.5426	g	Materias primas		Creado	Corresponde a la hilaza y elástico
Agua para aplicación de químicos	2.750	g	Tap water {RoW} tap water production, conventional treatment Cut-off, U		Ecoinvent 3.7.1	Agua para dilución de reactivos químicos antibacteriales
Turbiguard 30F	0.412	g	Hydrogen fluoride {RoW} hydrogen fluoride production Cut-off, U		Ecoinvent 3.7.1	Sustancia aniónica a base de fluoro carbonos para producir efecto repelente al agua y aceite
Turbiguard Fix H26	0.137	g	Phenyl isocyanate {RoW} production Cut-off, U		Ecoinvent 3.7.1	Incrementa las propiedades de solidez al lavado
HelQ Viroblock NPJ03	0.550	g	Silver {GLO} market for Cut-off, U		Ecoinvent 3	Agente de acabado textil para fibras, por su efecto bactericida
Entrada electricidad	Cantidad	Unidad	Flujo de referencia		Base de datos	Observaciones
Hilado	0.0333	kWh	Electricity, high voltage {MX} production mix Cut-off, U		Ecoinvent 3.7.1	Datos teóricos de fichas técnicas de los respectivos equipos para el proceso de la transformación del cubrebocas
Secado	0.0019	kWh				
Túnel de lavado	0.0012	kWh				
Corte y sellado sónico	0.0009	kWh				
Total	0.0373	kWh				
Transporte de químicos en camioneta tipo Van	0.0723	kgkm	Transport, freight, light commercial vehicle {GLO} market group for transport, freight, light commercial vehicle Cut-off, U		Ecoinvent 3.7.1	Transporte de sustancias químicas hacia la empresa
Salida	Cantidad	Unidad	Flujo de referencia		Base de datos	Observaciones
Agua residual	2.750	g	Water (evapotranspiration)		Sustancia	Emisión como vapor de agua, la cual se usó en el proceso de mezclado de sustancias químicas y aplicación al cubrebocas

Embalaje

Tabla B.1. Inventario del ciclo de vida de cubrebocas reutilizable

Embalaje para venta		5.5426	g		
Entrada de materiales	Cantidad	Unidad	Flujo de referencia	Base de datos	Observaciones
Celofán	0.666	g	Polypropylene injection moulding E	Plastics Europe 2005	Bolsa de celofán para empaquetado de cubrebocas para venta al público
Opalina	1.681	g	Paper, bag and sack, unbleached kraft, average production, at mill/kg/RNA	Life Cycle Assessment of North American Printing and Writing Paper Products/2010	Hoja para impresión de información general del producto
Caja de cartón	1.716	g	Paper, mechanical, uncoated, average production, at mill/kg/RNA	Life Cycle Assessment of North American Printing and Writing Paper Products/2010	Caja de cartón para embalaje y transporte de paquetes de cubrebocas al centro de distribución del cliente
Playo	0.200	g	Polyvinylchloride, bulk polymerised {RoW} polyvinylchloride production, bulk polymerisation Cut-off, U	Ecoinvent 3.7.1	Cada caja para ser transportada al centro de distribución se cubre con playo.
Entrada electricidad	Cantidad	Unidad	Flujo de referencia	Base de datos	Observaciones
Transporte de opalina	0.023	kgkm	Transport, freight, light commercial vehicle {GLO} market group for transport, freight, light commercial vehicle Cut-off, U	Ecoinvent 3.7.1	Transporte de hoja de opalina, celofán y playo, desde el punto de venta a la planta de fabricación en camioneta tipo van.
Transporte de celofán	0.049	kgkm			
Transporte de playo	0.006	kgkm			
Total	0.077	kgkm			
Sellado de bolsas	0.0000187	kWh	Electricity, high voltage {MX} production mix Cut-off, U	Ecoinvent 3.7.1	Se contabilizó el consumo energético de la máquina selladora de bolsas de celofán o de un paquete de 5 cubrebocas

Transporte a centro de distribución

Distribución **5.5426** **g**

Tabla B.1. Inventario del ciclo de vida de cubrebocas reutilizable

Transporte	Cantidad	Unidad	Flujo de referencia	Base de datos	Observaciones
Transporte en camioneta de 3.5 T	0.169	tkm	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {RoW} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 Cut-off, U	Ecoinvent 3.7.1	Se contabiliza el consumo de combustible en la distancia recorrida desde la planta de fabricación al centro de distribución del cliente principal.

Crear como uso

Uso **5.5426** **g**

Entrada	Cantidad	Unidad	Flujo de referencia	Base de datos	Observaciones
Agua	1.1580	kg	Tap water {RoW} tap water production, conventional treatment Cut-off, U	Ecoinvent 3.7.1	Agua potable para lavado de cubrebocas
Detergente	0.2217	g	Alkylbenzene sulfonate, linear, petrochemical {RoW} production Cut-off, U	Ecoinvent 3.7.1	Detergente requerido para lavado de cubrebocas
Electricidad	0.0020	kWh	Electricity, low voltage {MX} electricity voltage transformation from medium to low voltage Cut-off, U	Ecoinvent 3.7.1	Consumo energético por el uso de lavadora
Salida	Cantidad	Unidad	Flujo de referencia	Base de datos	Observaciones
Agua residual	1.1580	kg	Waste water	Sustancia	Agua residual del lavado

Fin de vida útil (residuo)

Transporte a relleno sanitario **5.5426** **g**

Tabla B.1. Inventario del ciclo de vida de cubrebocas reutilizable

Entrada	Cantidad	Unidad	Flujo de referencia	Base de datos	Observaciones
Transporte a estación de transferencia	0.0222	kgkm	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {RoW} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 Cut-off, U	Ecoinvent 3.7.1	Se consideró un escenario de gestión de residuos en la CDMX
Transporte a relleno sanitario	0.2023	kgkm	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3 {RoW} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3 Cut-off, U	Ecoinvent 3.7.1	

Relleno sanitario **5.5426** **g**

Escenario de residuos	Flujo de referencia	Observaciones
Relleno sanitario	Municipal solid waste (waste scenario) {RoW} Treatment of municipal solid waste, landfill Cut-off, U	Disposición final en relleno sanitario

B.2. ICV de cubrebocas desechable

En la Tabla B.2 se detalla el ICV del cubrebocas desechable

Tabla B.2. Inventario del ciclo de vida de cubrebocas desechable

Crear como material

Telas 54.6000 g

Entrada	Cantidad	Unidad	Flujo de referencia	Base de datos	Observaciones
Tela	54.6000	g	Textile, non-woven polypropylene {RoW} textile production, non woven polypropylene, spun bond Cut-off, U	Ecoinvent 3.7.1	Telas tipo non woven para elaboración de cubrebocas
Transporte	Cantidad	Unidad	Flujo de referencia	Base de datos	Observaciones
Transporte en camioneta de 3.5 Ton	20.9118	kgkm	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {RoW} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 Cut-off, U	Ecoinvent 3.7.1	Transporte de tela desde San Luis Potosí a la planta de fabricación

Soporte nasal 6.9600 g

Entrada	Cantidad	Unidad	Flujo de referencia	Base de datos	Observaciones
Hierro	4.0360	g	Iron pellet {GLO} market for Cut-off, U	Ecoinvent 3.7.1	43 % del material del soporte nasal es un pequeño alambre de hierro
Polietileno	2.9240	g	Polyethylene, low density, granulate {RoW} production Cut-off, U	Ecoinvent 3.7.1	58 % del soporte nasal es polietileno, el cual recubre a la varilla de hierro
Transporte	Cantidad	Unidad	Flujo de referencia	Base de datos	Observaciones
Transporte en camioneta tipo Van	0.8282	kgkm	Transport, freight, light commercial vehicle {GLO} market group for transport, freight, light commercial vehicle Cut-off, U	Ecoinvent 3.7.1	Transporte desde el punto de fabricación en la ciudad de Ningbo al puerto marítimo de esta ciudad
Transporte marítimo	93.6538	kgkm	Transport, freight, sea, bulk carrier for dry goods {GLO} market for transport, freight, sea, bulk carrier for dry goods Cut-off, U	Ecoinvent 3.7.1	Transporte marítimo desde Ningbo, China hasta el puerto marítimo de Manzanillo en México
Transporte en camioneta de 3.5 Ton	7.5934	kgkm	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {RoW} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 Cut-off, U	Ecoinvent 3.7.1	Transporte del puerto marítimo a la empresa de distribución del producto

Tabla B.2. Inventario del ciclo de vida de cubrebocas desechable

Transporte en camioneta tipo Van	5.8534	kgkm	Transport, freight, light commercial vehicle {GLO} market group for transport, freight, light commercial vehicle Cut-off, U	Ecoinvent 3.7.1	Transporte desde el punto de venta a la planta de fabricación del cubrebocas
----------------------------------	--------	------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------	------------------------------------------------------------------------------

Elástico **8.7200** **g**

Entrada	Cantidad	Unidad	Flujo de referencia	Base de datos	Observaciones
Poliéster	7.4112	g	Polyester resin, unsaturated {RoW} market for polyester resin, unsaturated Cut-off, U	Ecoinvent 3.7.1	85 % del material del elástico es poliéster
Elastómero	1.3080	g	Styrene {RoW} production Cut-off, U	Ecoinvent 3.7.1	15 % de la pieza de elástico es estireno
Transporte	Cantidad	Unidad	Flujo de referencia	Base de datos	Observaciones
Transporte	7.8916	kgkm	Transport, freight, light commercial vehicle {GLO} market group for transport, freight, light commercial vehicle Cut-off, U	Ecoinvent 3.7.1	Transporte desde el punto de venta en Nuevo León a la planta de fabricación

Montaje

Materias primas **70.28** **g**

Entrada	Cantidad	Unidad	Flujo de referencia	Base de datos	Observaciones
Telas	54.6000	g	Telas	Creado	Materias primas para la elaboración del cubrebocas desechable
Soporte nasal	6.9600	g	Soporte nasal	Creado	
Elástico	8.7200	g	Elástico	Creado	

Producción

Producción **70.2800** **g**

Entrada	Cantidad	Unidad	Flujo de referencia	Base de datos	Observaciones
Materias primas	70.2800	g	Materias primas	Creado	Materias primas previamente creadas: telas, soporte nasal y elástico
Energía	Cantidad	Unidad	Flujo de referencia	Base de datos	Observaciones

Tabla B.2. Inventario del ciclo de vida de cubrebocas desechable

Confeccionadora de cubrebocas	12.0700	Wh	Electricity, high voltage {MX} production mix Cut-off, U	Ecoinvent 3.7.1	Consumo energético asociado a la maquinaria necesaria para producir la unidad funcional
Cortadora de elástico	0.2000				
Máquina punteadora	28.8900				
Refiladora	2.6700				
Total	0.04383	KWh			

Embalaje

Empaquetado para venta 70.2800 g

Entrada de materiales	Cantidad	Unidad	Flujo de referencia	Base de datos	Observaciones
Celofán	30.0180	g	Polypropylene injection moulding E	Plastics Europe 2005	Cada cubrebocas es estuchado en una bolsa de celofán
Caja de cartón 25 piezas	38.9757	g	Paper, mechanical, uncoated, average production, at mill/kg/RNA	Life Cycle Assessment of North American Printing and Writing Paper Products/2010	Para venta al público se forman paquetes de 25 piezas de cubrebocas contenidos en una caja de cartón.
Caja de cartón 500 piezas	44.0000	g			Para transporte al cliente se envía una caja grande de cartón que contiene 20 cajas pequeñas de cartón con 25 cubrebocas cada una, por lo tanto, se embalan 500 piezas.
Total	82.9757	g			
Entrada electricidad	Cantidad	Unidad	Flujo de referencia	Base de datos	Observaciones
Cajas de cartón	0.8363	kgkm	Transport, freight, light commercial vehicle {GLO} market group for transport, freight, light commercial vehicle Cut-off, U	Ecoinvent 3.7.1	Es el mismo punto de venta de ambas cajas
Celofán	20.0298	kgkm			
Total	20.8661	kgkm			
Estuchadora	0.0023	kWh	Electricity, high voltage {MX} production mix Cut-off, U	Ecoinvent 3.7.1	Consumo energético de la maquinaria para la unidad funcional de cubrebocas desechables

Crear como transporte a cliente

Tabla B.2. Inventario del ciclo de vida de cubrebocas desechable

Transporte a cliente		70.2800		g	
Transporte	Cantidad	Unidad	Flujo de referencia	Base de datos	Observaciones
Transporte en camioneta	28.5569	kgkm	Transport, freight, light commercial vehicle {GLO} market group for transport, freight, light commercial vehicle Cut-off, U	Ecoinvent 3.7.1	Se calculó el uso de combustible de una camioneta de 3.5 toneladas para transportar los cubrebocas desde la planta de fabricación hasta la distancia promedio calculada, el cual se sitúa en la CDMX.

Fin de vida útil (residuo)

Transporte a relleno sanitario

Transporte a relleno sanitario		70.28		g	
Transporte	Cantidad	Unidad	Flujo	Base de datos	Observaciones
Transporte a estación de transferencia	0.4568	kgkm	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {RoW} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 Cut-off, U	Ecoinvent 3.7.1	Se consideró un escenario de gestión de residuos en la CDMX.
Transporte a relleno sanitario	4.9618	kgkm	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3 {RoW} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3 Cut-off, U	Ecoinvent 3.7.1	

Relleno sanitario

70.2800

g

Escenario de residuos	Flujo	Observaciones
Relleno sanitario	Municipal solid waste (waste scenario) {RoW} Treatment of municipal solid waste, landfill Cut-off, U	Se seleccionó un relleno sanitario como escenario de fin de vida del cubrebocas reutilizable.

C. Gas Natural

El gas natural es una mezcla de gases, en el que predomina el metano (75 a 95 %) y en menor proporción se encuentra presente el butano, propano, helio, etano, dióxido de carbono, nitrógeno, sulfuro de hidrógeno y argón (60 Foro Nuclear, 2020).

La cadena de valor del gas natural está compuesta por (Energía y Sociedad, 2017a):

- Exploración
- Extracción
- Tratamiento: licuefacción, transporte en buques y regasificación
- Transporte a gasoducto
- Almacenamiento
- Distribución
- Consumo

Exploración y extracción

Una vez que se encuentra un yacimiento se realiza una exploración de viabilidad para explotación, composición química y presión del gas. Cuando se inicia el trabajo de explotación el gas puede salir de manera natural o por extracción y elevación mecánica hacia la superficie. En ocasiones puede estar mezclado con petróleo y requiere procesos adicionales de separación (Comunidad de Madrid, 2002). Una de las técnicas más utilizadas es la rotación directa, también se utiliza fracturación de las rocas, mejor conocido como fracking, depende de la ubicación, profundidad, estructura del suelo, entre otras, es la técnica para seleccionar (Energía y Sociedad, 2017b).

Irán es el país que posee la mayor reserva de gas natural en el mundo, con un 18 % y Norte América (donde se sitúa México) cuenta con el 6 % mundial. México se encuentra en el lugar 6 de recuperación de gas natural y Estados Unidos es el principal productor mundial (Energía y Sociedad, 2017b).

Tratamiento

El gas es transportado a la planta de tratamiento, en donde sigue principalmente tres etapas (NATURGAS, 2021):

Separación primaria: del fluido gaseoso se requiere separar el agua de formación y los hidrocarburos líquidos.

Deshidratación del gas: en esta fase son separadas las moléculas de agua que se encuentran en forma gaseosa (OSL Iberia, 2015) Existen principalmente tres técnicas:

- Uso de glicol, el cual absorbe el agua en la corriente de gas y prosigue la refrigeración mecánica, en la que es posible extraer hidrocarburos pesados.
- Se utiliza gel sílice es usado como desecante. Se extrae el agua e hidrocarburos pesados al pasar por un lecho de adsorción. Es posible reutilizar el gel sílice al ser regenerado a alta presión y temperatura.
- Tamiz molecular: se utilizan aluminosilicatos, que tienen función similar a la sílice gel, pero la retención de agua es menor, por lo que se requiere un lecho más grade.

Condensación: se eliminan partículas de hidrocarburos que puedan provocar que el gas cambie a estado líquido.

Transporte a gasoducto y almacenamiento

La principal forma de transporte es el gasoducto, lo cual son tuberías de acero con carbono de elevada elasticidad, esto sucede a grandes profundidades en tierra o en el fondo del océano, la capacidad de transporte depende de las características de las tuberías, tales como diámetro o presión en extremos (Energía y Sociedad, 2017c).

La infraestructura correspondiente para el transporte comprende de gasoductos, estación de compresión, estaciones de regulación y medida y centros de control. La red de transporte se divide en (Energía y Sociedad, 2017c):

- Primario: gasoductos diseñados para presión superior a 60 bar.
- Secundario: presión de trabajo entre 16 y 60 bar.

Distribución

Los gasoductos derivan en redes de distribuciones, las cuales tienen presión y diámetro menor que los gasoductos y son las que se encargan de distribuir el gas natural al consumidor. Las

redes de distribución y los gasoductos se unen a través estaciones de regulación de presión y caudal (Energía y Sociedad, 2017d).

Consumo

Las principales aplicaciones que tiene son (API, 2021):

- Generación de electricidad: uso principal
- Calefacción
- Cogeneración y trigeneración
- Transporte
- Combustible para vehículos terrestres y transporte marítimo
- Vapor para aplicación en producción de acero, papel
- Producción de petroquímicos, los cuales son incorporados en plásticos, fertilizantes, fibras sintéticas, cosméticos y medicamentos

D. Métodos

D.1. ReCiPe

A continuación, se especifican las formas de cálculo para las categorías de impacto de agotamiento de la capa de ozono y toxicidad (NIPHE, 2017).

Categoría de impacto: Agotamiento de la capa de ozono

La base de datos considera 213 sustancias para la caracterización de esta categoría de impacto.

Unidad: kg CFC11 eq

Impacto a la salud humana

De manera general

$$CFe_{x,c} = ODP_{x,c} \times F_{M \rightarrow e, OD, c}$$

Donde:

$ODP_{x,c}$ = potencial de agotamiento del ozono de la sustancia x (en CFC11-eq / kg)

$F_{M \rightarrow e, OD, c}$ = factor de punto medio a punto final para el agotamiento de ozono agotamiento (DALY / kg CFC11-eq) para la perspectiva cultural c.

Daño a la salud humana de acuerdo con la incidencia de tres tipos de cáncer de piel, carcinoma de células basales y carcinoma de células escamosas debido a la exposición a UVB.

$$F_{M \rightarrow e, OD, c} = \Delta EESC_{CFC-11} \times \sum_i \sum_q \sum_j \Delta UVB_{i,q} \times EF_{i,q,j,c} \times DF_j$$

Donde:

$\Delta UVB_{i,q}$ = es el aumento de la radiación UVB (kJ / m^2) del ancho de banda q en la región i

$EF_{i,q,j,c}$ = describe la incidencia adicional de la enfermedad j en la región i causado por la radiación UVB de banda ancha q de perspectiva cultural c.

DF = describe el daño a la salud humana causado por la incidencia de la enfermedad j.

Categoría de impacto: Toxicidad

La base de datos considera 13,550 sustancias para la caracterización de esta categoría de impacto.

Toma en cuenta horizonte de tiempo, rutas de exposición, ecotoxicidad marina, Carcinogenicidad y número mínimo de especies probadas para ecotoxicidad.

Unidad: kg 1,4-DCB

Ecotoxicidad

Los criterios de valoración ecotoxicológicos incluidos son agua dulce, marina y ecotoxicidad terrestre.

$$CFeco_{x,i,j,c} = ETP_{x,i,j,c} \times F_{M \rightarrow E,ETOX,j,c}$$

Donde:

$ETP_{x,i,j,c}$ = potencial de ecotoxicidad para el punto final ambiental j (agua dulce, marina, terrestre) de sustancia x a emisión en el compartimento i relacionado con la perspectiva cultural c (en 1,4DCB-eq / kg)

$F_{M \rightarrow E,ETOX,j,c}$ = punto medio al factor de punto final para la toxicidad relacionada con el punto final ambiental j relacionado con la perspectiva cultural c.

El punto medio a los factores de punto final para la ecotoxicidad es igual a la caracterización de los factores del punto final para 1,4DCB emitidos a agua dulce respectivamente (ecotoxicidad de agua dulce), agua de mar (ecotoxicidad marina) y suelo industrial (ecotoxicidad terrestre), incluidas las densidades de especies.

$$F_{M \rightarrow E,ETOX,j,c} = \sum_g SD_j \times FF_{DCB,ref,j,g,c} \times EF_{DCB,j,c}$$

Donde:

SD_j = densidad de especies relacionada con el punto final ambiental j (ecosistemas terrestres: 1.48×10^{-8} especies/ m^2 , ecosistemas de agua dulce: $7,89 \times 10^{-10}$ especies / m^3 y ecosistemas marinos: $3,46 \times 10^{-12}$ especies / m^3).

D.2. CML IA base line

A continuación, se mencionan las formas de cálculo de las categorías de impacto de agotamiento de la capa de ozono y ecotoxicidad (Antón, 2004).

Categoría de impacto: Agotamiento de la capa de ozono

La base de datos considera 23 sustancias para la caracterización de esta categoría de impacto. Se calcula como la suma de los potenciales de agotamiento de ozono, ODPs, para las diferentes sustancias multiplicados por la masa en kg de cada una de ellas. El agotamiento de ozono (ODI) se expresa en unidades relativas al efecto que produce 1 kg de CFC-11

$$ODI = \sum_i ODP_i * m_i$$

Donde:

ODP es la relación entre la descomposición del ozono en el estado de equilibrio debido a las emisiones anuales, flujo en $kg \cdot a^{-1}$ de una cantidad de una sustancia, i , emitida a la atmósfera y la descomposición del ozono en estado de equilibrio debido a una cantidad igual de CFC-11.

$$ODP_i = \frac{\delta[O_3]_i}{\delta[O_3]_{CFC-11}}$$

Categoría de impacto: Toxicidad

La base de datos considera 853 sustancias para la caracterización de la ecotoxicidad de agua dulce, 851 para la ecotoxicidad de agua marina y 845 datos para la ecotoxicidad terrestre.

Se consideran efectos sobre los humanos y ecosistemas terrestres y acuáticos por las sustancias tóxicas presentes en el ambiente. Una determinada sustancia puede incluso ser más dañina en un medio diferente al de su emisión.

El cálculo del impacto de toxicidad en humanos vendrá determinado por la siguiente ecuación:

$$HTI = \sum_n \sum_i HTP_{i,n} * f_{i,n} * m_i$$

Donde:

HTP el factor de caracterización, cuyas unidades van a depender del método utilizado para su caracterización, $f_{i,n}$ la fracción de la sustancia i que se transporta desde el invernadero al compartimento ambiental n , adimensional y m la masa emitida de cada contaminante. De igual manera el cálculo de la ecotoxicidad acuática, ATI, se calculará mediante la expresión:

$$ATI = \sum_n \sum_i ATP_{i,n} * f_{i,n} * m_i$$

y la ecotoxicidad terrestre, TTI:

$$TTI = \sum_n \sum_i TTP_{i,n} * f_{i,n} * m_i$$

Donde:

ATP y TTP los factores de caracterización para la toxicidad de los ecosistemas acuático y terrestre respectivamente.

D.3. IMPACT World + Midpoint

Categoría de impacto: Agotamiento de la capa de ozono

La base de datos considera 215 sustancias para la caracterización de esta categoría de impacto. Se expresa la forma de cálculo de la siguiente manera:

$$FC_{int} = \frac{FC_{daño_i}}{FC_{daño_{SR}}}$$

Donde:

i =sustancia correspondiente

SR= sustancia de referencia (Carbon-14 al aire)