



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LA INDUSTRIA DE DETERGENTE DE
LAVADO TEXTIL CON ESTUDIO DE CASO EMPRESA ENVATEC

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

NICOLE GABRIELA SEIFFERT NEUMANN

PROFESOR GUÍA
MANUEL DÍAZ ROMERO

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
RAÚL URIBE DARRIGRANDI
JOSÉ ARELLANO VAGANAY

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por Fundación Chile

SANTIAGO DE CHILE
2014

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL
TITULO DE: Ingeniero Civil Industrial
POR: Nicole Seiffert Neumann
FECHA: 10/07/2014
PROFESOR GUIA: Manuel Díaz R.

ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LA INDUSTRIA DE DETERGENTE DE LAVADO TEXTIL CON ESTUDIO DE CASO EMPRESA ENVATEC

La creciente conciencia por la protección ambiental ha generado la necesidad de desarrollar formas de medición que evidencien las alteraciones causadas por la actividad humana. En este contexto se enmarca este trabajo, el cual pretende caracterizar mediante la utilización de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), el impacto ambiental generado por el detergente de lavado textil. Para cumplir con este objetivo se analiza la huella causada por el ciclo de vida de los detergentes de las empresas Envatec, productora de la marca propia de Walmart, y Unilever.

Con el deseo de contextualizar a Chile frente a la realidad internacional, se realiza un *benchmark* de la normativa y los ACV realizados en otros países. Además de una regulación considerablemente más estricta, se halla que el mayor impacto del ciclo de vida se concentra en la etapa de uso, y en menor medida, durante la elaboración de las materias primas. Los resultados de este trabajo, sin embargo, arrojan resultados distintos. La diferencia radica en el consumo energético durante el proceso de lavado; los consumidores nacionales utilizan agua fría, mientras que en los otros países ésta se calienta.

Para la empresa Envatec se realiza un ACV de los productos en formato en polvo y líquido. Con un par de diferencias, ambos arrojan que la última etapa del ciclo de vida, el desecho, tiene asociado significativamente el mayor impacto, generando el 82% para el caso del polvo, y el 95% para el líquido. El impacto que resalta es ecotoxicidad, causada por el descarte del químico Nonilfenol Etoxilado utilizado en la formulación. Este químico, debido a su alta toxicidad para el ambiente, es fuente de análisis y regulación en el extranjero.

El caso de Unilever es distinto, asemejándose al resto de los ACV examinados. El mayor impacto de su producto en polvo está asociado a la etapa de elaboración y transporte de materias primas, generando el 39% del total. Le sigue la etapa de uso, la cual conlleva el 29% del impacto por conceptos de consumo hídrico.

Adicional a la evaluación de la huella actual de Envatec, se estudian escenarios de mitigación, donde se analizan cambios en materias primas, empaque y concentración del producto. Al considerar las medidas propuestas, se logra una reducción total de un 86% en el producto en polvo, y un 96% para el líquido.

Agradecimientos

Junto con el término de esta memoria se cierra una etapa que no solo marca el comienzo de mi vida profesional, si no que significa la cúspide de una serie de caminos que me permitieron llegar al punto donde estoy. Estos caminos, con sus piedras, pendientes y declives, estuvieron rodeados por una serie de manos que siempre estuvieron ahí para ayudar a levantarme o darme la fuerza necesaria para seguir. Muchas gracias, todas ellas marcan donde estoy, y lo más importante, quién soy.

Ante todo, gracias a mis padres, Horst y Ana Aurora, que me dieron siempre todo lo que necesitaba, aunque esto a veces significara un remezón. Veo tanto de ustedes en mí, que es inevitable notar que todo lo que soy se lo debo a ustedes. Gracias por su continuo apoyo y amor, por las buenas enseñanzas y consejos, y por sobre todo, por ser como son.

Agradezco al resto de mi familia, mis hermanos y sobrinos, por estar siempre conmigo. Miguel Antonio, por todo su cariño y apoyo incondicional. Carolina gracias por tus consejos y las alegrías que me has dado, entre ellas esa tan grande y tan pequeña, Ana Carolina, que me motiva a ser mejor. Gracias a mi amiga y hermana Evelyn, que siempre ha tenido una oreja, una mano, una carcajada y un consejo para mí. Mati, gracias por enseñarme lo importante que es tener un gran corazón.

Tanto que agradecer a mis amigos, los de Temuco, Santiago y de todos los rincones. A los de la U, en especial a Carolina Bascuñán, Trinidad Rettig y Natalia Valdivia, junto a quienes viví todas las alegrías y sinsabores de la U. A Felipe Muñoz, le debo todas las enseñanzas que me mostró de un mundo distinto al que había considerado. A los temuquenses, en especial a mi amiga del corazón, Heidi, que a pesar de la distancia nunca ha dejado de estar a mi lado. Gracias a los tutores y a mi equipo de vóley, grupos de los cuales más que aprendizaje he sacado grandes amistades. Javiera Broussain, gracias por ser mi hermana grande, y por aquello tan importante que me has presentado.

Sebastián Püschel, tengo tanto por agradecerte, que ni si quiera sé por dónde comenzar. Creo que puedo resumirlo a gracias por hacer mi vida mejor de lo que nunca pensé que podría ser, prometiendo además que aún se pondrá mejor. Particularmente gracias por ayudarme a sacar esto adelante, eres el eléctrico, el estándar, la fuerza y apoyo de esta memoria.

Aprovecho de agradecer a la gente de Fundación Chile, a los del área Energía y Cambio Climático, en especial a Catalina Giraldo. No puedo dejar de mencionar a mis profesores guía y co guía, Manuel Díaz y Raúl Uribe, quienes han sido una guía y apoyo constante en este trabajo.

Tabla de Contenido

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2 | DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO | 3 |
| 2.1 | Justificación y Descripción del proyecto..... | 3 |
| 2.2 | Objetivos | 5 |
| 2.2.1 | Objetivo General..... | 5 |
| 2.2.2 | Objetivos Específicos | 5 |
| 2.3 | Marco conceptual..... | 5 |
| 2.3.1 | Análisis de Ciclo de Vida | 5 |
| 2.3.2 | Normalización de impactos..... | 7 |
| 2.3.3 | Ponderación de categorías de impactos | 8 |
| 2.3.4 | Categorías de Impacto Ambiental | 10 |
| 2.4 | Metodología y actividades | 11 |
| 2.5 | Alcances..... | 13 |
| 2.6 | Resultados Esperados | 14 |
| 3 | INDUSTRIA DEL DETERGENTE | 16 |
| 3.1 | Descripción de la categoría de producto detergente de lavado textil..... | 16 |
| 3.1.1 | Ciclo de vida del detergente | 16 |
| 3.1.2 | Componentes..... | 17 |
| 3.2 | Antecedentes ambientales..... | 18 |
| 3.2.1 | Hotspots | 18 |
| 3.3 | Normativa..... | 22 |
| 3.3.1 | Chile..... | 24 |
| 3.4 | Industria nacional | 27 |
| 4 | ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA | 29 |
| 4.1 | Descripción del sistema y unidad funcional..... | 29 |
| 4.1.1 | Base de datos y requisitos de calidad de la data | 30 |
| 4.2 | Análisis de Inventario | 31 |
| 4.3 | Análisis del impacto de ciclo de vida | 31 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 4.4 | Interpretación de resultados..... | 32 |
| 4.4.1 | Envatec..... | 32 |
| 4.4.2 | Unilever..... | 64 |
| 5 | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 70 |
| 5.1 | Consideraciones metodológicas..... | 74 |
| | GLOSARIO..... | 76 |
| | BIBLIOGRAFÍA..... | 77 |
| | ANEXO 1: DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LOS DETERGENTES | 81 |
| | ANEXO 2: IMPACTOS PROMEDIO POR CHILENO..... | 88 |
| | ANEXO 3: PONDERACIÓN POR CATEGORÍAS DE IMPACTO | 89 |
| | ANEXO 4: IMAGEN DE SOFTWARE SIMAPRO..... | 90 |
| | ANEXO 5: CLASIFICACIÓN DE QUÍMICOS..... | 91 |
| | ANEXO 6: METODOLOGÍA DE CÁLCULO..... | 96 |
| | ANEXO 7: ENTRADAS Y SALIDAS DE DETERGENTE POLVO ENVATEC.. | 104 |
| | ANEXO 8: DETALLE CONSUMO POR MÁQUINA..... | 106 |
| | ANEXO 9: ENTRADAS Y SALIDAS DETERGENTE LÍQUIDO ENVATEC | 107 |
| | ANEXO 10: RESULTADOS MODELACIÓN DE DETERGENTE EN POLVO ENVATEC | 109 |
| | ANEXO 11: RESULTADOS MODELACIÓN DE DETERGENTE LÍQUIDO ENVATEC | 110 |

| | |
|---|------------|
| ANEXO 12: ENTRADAS Y SALIDAS DE DETERGENTE EN POLVO | |
| UNILEVER..... | 111 |
| | |
| ANEXO 13: RESULTADOS MODELACIÓN DE DETERGENTE EN POLVO | |
| UNILEVER..... | 113 |

Índice de Ilustraciones

| | |
|---|----|
| Ilustración 1: Proceso de Cálculo de Puntaje de eco-impacto diario | 9 |
| Ilustración 2: Distribución de categorías de impacto por etapa de ciclo de vida | 19 |
| Ilustración 3: Ecotoxicidad de descarte y demás categorías de impacto total del ciclo | 34 |
| Ilustración 4: Distribución de impacto total por materia prima de polvo | 35 |
| Ilustración 5: Reducción por reemplazo de materias primas polvo por etapa | 37 |
| Ilustración 6: Distribución de impactos en procesamiento polvo | 39 |
| Ilustración 7: Distribución de impacto entre procesos productivos | 39 |
| Ilustración 8: Cambios en impacto total por alternativas de empaque | 41 |
| Ilustración 9: Reducción por etapa de ciclo de vida por producto 3 veces más concentrado (dosis de 67 grs.) | 43 |
| Ilustración 10: Distribución de categorías en impacto en uso | 44 |
| Ilustración 11: Agotamiento hídrico durante ciclo de vida..... | 44 |
| Ilustración 12: Comparación del impacto total por medidas de abatimiento en polvo | 45 |
| Ilustración 13: Distribución de impactos por etapa de escenario 4 de polvo | 46 |
| Ilustración 14: Variación tras medidas de escenario 4, respecto a escenario original por etapa..... | 46 |
| Ilustración 15: Comparación de distribución de categorías de impacto entre escenario 4 y original | 47 |
| Ilustración 16: Variación del impacto de escenario 4 respecto al original..... | 48 |
| Ilustración 17: Distribución de impacto por etapa de detergente líquido..... | 49 |
| Ilustración 18: Categorías de impacto más relevantes en ciclo total..... | 49 |
| Ilustración 19: Categorías de Impacto en etapa elaboración y transporte de materias primas de líquido..... | 50 |
| Ilustración 20: Distribución de impactos por etapa de líquido al reemplazar NPE | 52 |
| Ilustración 21: Distribución de impactos en producción de líquido | 53 |
| Ilustración 22: Reducción por botella retornable en categorías de impacto de etapa producción..... | 55 |
| Ilustración 23: Comparación de detergente actual y 3 veces más concentrado (dosis de 52 grs.) por etapa..... | 56 |

| | |
|---|----|
| Ilustración 24: Porcentaje del impacto original tras medidas de abatimiento de líquido..... | 58 |
| Ilustración 25: Distribución de impactos por etapa de escenario 5 de líquido..... | 58 |
| Ilustración 26: Variación de impacto por etapa tras medidas de escenario 5 | 59 |
| Ilustración 27: Variación por categoría de impacto respecto a escenario original .. | 59 |
| Ilustración 28: Comparación de escenario 5 y original por distribución de categorías de impacto | 60 |
| Ilustración 29: Comparación de impacto total por etapa de líquido y polvo..... | 60 |
| Ilustración 30: Comparación del impacto de líquido y polvo por categoría | 61 |
| Ilustración 31: Comparación líquido y polvo por etapa tras medidas de abatimiento | 62 |
| Ilustración 32: Comparación categorías de impacto de líquido y polvo tras medidas de abatimiento..... | 62 |
| Ilustración 33: Distribución del impacto total por etapa y categoría de impacto de polvo Unilever | 65 |
| Ilustración 34: Distribución de impacto en etapa Materias Primas de Unilever..... | 66 |
| Ilustración 35: Impactos de materias primas durante su elaboración. | 67 |
| Ilustración 36: Distribución de impactos en etapa productiva | 68 |
| Ilustración 37: Agotamiento hídrico por etapas del ciclo de vida | 69 |
| Ilustración 38: Distribución de cargas de impacto durante el uso..... | 69 |
| Ilustración 39: Impactos en la etapa de fin de ciclo de vida..... | 69 |

Acrónimos

ACV: Análisis de Ciclo de Vida

AE: Alcohol Etoxilado

AICV: Análisis del Impacto de Ciclo de Vida

CONAMA: Comisión Nacional del Medio Ambiente

EPA: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (Environmental Protection Agency)

HDPE: Polietileno de alta densidad (High Density Polyethylene)

ICV: Inventario de Ciclo de Vida

IFRA: Asociación Internacional de Fragancias (International Fragrance Association)

NP: Nonilfenol

NPE: Nonilfenol Etoxilado

OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico

ONG: Organización no Gubernamental

PDP: Programa de Proveedores

PET: Tereftalato de polietileno (Polyethylene Terephthalate)

REACH: Agencia Europea de Químicos (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals)

REP: Responsabilidad Extendida al Productor

STP: Tripolifosfato de Sodio

TLC: Tratado de Libre Comercio

TSC: Consorcio por la Sustentabilidad (The Sustainability Consortium)

1 Introducción

Existen diversos métodos para estudiar los impactos que una actividad genera al medio ambiente. Algunos de ellos son los listados de revisión, los diagramas de redes o las matrices de causa y efecto, entre las cuales se encuentran la Matriz de Leopold. La ventaja de algunos de estos métodos es su simpleza, pero al mismo tiempo cargan con varias desventajas, tales como la falta de consideración de relaciones indirectas, o que al ser cualitativos no proporcionan un valor que cuantifique la magnitud del impacto [1]. Otros métodos utilizados son la huella de carbono y la hídrica, los cuales a pesar de entregar resultados concretos, sólo proporcionan información respecto al impacto en un aspecto o categoría ambiental en particular, como niveles de CO₂ emitidos o el consumo de agua, respectivamente.

Existe una herramienta que ha sido cada vez más utilizada a nivel internacional debido al exhaustivo análisis que comprende, entregando información muy completa. Este método es el Análisis de Ciclo de Vida, el cual considera los aspectos e impactos ambientales a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto desde la adquisición de la materia prima, pasando por la producción, utilización, tratamiento final, reciclado, hasta su deposición final (es decir, de la cuna a la tumba) [2]. Al considerar todo el ciclo de vida del producto, y no evaluar etapas aisladas como su producción o uso, es posible apreciar el impacto total generado por el mismo, dando la posibilidad de realizar acciones correctivas en los procesos donde realmente sea significativo realizarlas.

Con el objetivo de preservar el medio ambiente, idealmente se debería realizar una medición del impacto ambiental generado por todos los productos y servicios realizados por el hombre, de manera de conocer cuáles de ellos tienen alternativas más amigables con el entorno y para cuáles se debería buscar un sustituto. Uno de tantos productos que genera un importante daño ambiental es el detergente de lavado textil, producto que se encuentra prácticamente en todos los hogares de Chile [3]. Debido a los componentes químicos que lo conforman, además de generar distintos impactos debido a su producción y uso, es -en particular- causante de eutrofización y toxicidad de las aguas a las que es desechado, afectando a seres vivos y cultivos [4].

Para realizar una correcta estimación del impacto total generado por un producto, se deben considerar todas las etapas que intervienen en forma directa o indirecta en su producción, uso y fin del ciclo de vida. La literatura internacional muestra que particularmente en el caso del detergente, el proceso que significa la mayor carga ambiental corresponde al uso del mismo, debido a la energía y al agua que se utilizan. Sin embargo, este impacto también está relacionado con las recomendaciones de uso

entregadas por el productor, las que a su vez dependerán de la formulación y materias primas escogidas. De esta forma, a pesar de que ciertas etapas concentran el mayor impacto, éste puede ser mitigado a través de una intervención en otra distinta, cambiando finalmente el escenario general.

En el presente trabajo de título se realiza un análisis del impacto ambiental generado por el detergente de lavado textil. La metodología que se utiliza es la de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y los resultados son obtenidos a través de la modelación de los datos en el software SimaPro. Este instrumento es una herramienta profesional usada para el cálculo de los impactos ambientales, sociales y económicos, asociados a un producto o servicio a lo largo de todo su ciclo de vida.

La modelación entrega información muy completa respecto a la vida del producto y los impactos asociados a éste: es posible conocer en detalle la magnitud de distintas categorías de impacto con sus respectivas unidades de referencia para cada proceso por el que pasa el producto. Por ejemplo, es posible conocer la cantidad de CO₂ liberada específicamente durante el proceso de mezclado de las materias primas, información que se interpreta como el aporte que genera este proceso al cambio climático (ejemplo de categoría de impacto). Además es posible obtener valores normalizados que permiten comparar entre procesos, etapas y categorías de impacto.

Para llevar a cabo la evaluación de los impactos ambientales causados por el ciclo de vida de detergente, en este estudio se utilizan Ecopuntos, medición compuesta desarrollada por *Edge Environment*. Esta medida es normalizada según el impacto promedio que genera cada ciudadano en cada categoría, y luego, para fines comparativos, las distintas categorías de impacto son ponderadas según la significancia que le da la sociedad [5]. Esta ponderación solo entrega información complementaria para utilizarla en el análisis dentro de los alcances del mismo estudio y, no es representativa de toda la población ni tampoco entrega valores comparables con otros estudios ponderados de forma distinta.

La finalidad última de este trabajo es caracterizar el impacto ambiental generado por la industria del detergente de lavado textil en Chile. Para esto se examina la producción de dos empresas del país en el rubro, siendo una de ellas líder de mercado por una diferencia considerable. En forma adicional se toma como estudio de caso la empresa Envatec, en la que se analiza en detalle el impacto generado por sus productos, determinando sus puntos críticos y analizando escenarios productivos que los mitiguen. En todos los casos se consideran todas las etapas del ciclo de vida del producto, entre las cuales se encuentran la elaboración y transporte de materias primas, producción, distribución, almacenamiento, uso y desecho.

2 Descripción del Proyecto

2.1 Justificación y Descripción del proyecto

El proyecto de título está inmerso en un contexto de búsqueda de un mejor desempeño de sustentabilidad de productos, servicios y hábitos de consumo. Con este mismo objetivo existe el Consorcio por la Sustentabilidad (TSC por sus siglas en inglés), organización internacional compuesta por empresas, universidades, ONG y organismos de gobierno, el cual además promueve la investigación científica y el desarrollo de herramientas para la toma de decisiones informadas, a lo largo de toda la cadena de valor. El trabajo de título es realizado para Fundación Chile, secretario ejecutivo de esta organización, quien está actualmente trabajando con Walmart, también miembro del consorcio y uno de los principales precursores para la llegada de la institución a Chile. La investigación realizada abarca parte de un estudio que Fundación Chile está realizando para Walmart analizando y mejorando la sustentabilidad de sus productos propios a través de la medición y mejora de sus proveedores. El estudio de caso del trabajo es realizado en la empresa Envatec, proveedor de detergente en polvo de Walmart.

El trabajo de título consiste en un análisis del impacto medioambiental del uso y producción de detergente de lavado textil, caracterizando en este enfoque a la industria nacional al analizar los ciclos de vida de los productos de las empresas Envatec y Unilever. Particularmente, se desarrolla un análisis detallado de los productos de Envatec, considerando alternativas productivas y analizando los cambios en el impacto ambiental que generan. Cabe destacar que el estudio no toma en consideración aspectos sociales ni económicos asociados a la sustentabilidad de la industria.

Con este objetivo se estudia la documentación existente a nivel internacional, revisando las distintas alternativas productivas y los impactos que éstas generan, para luego comparar y analizar la industria chilena. Para esto se mide el impacto ambiental generado por dos actores del mercado, de manera de obtener un rango real del lugar en el que se encuentra esta industria en temas de contaminación. Particularmente se analiza el caso de Envatec, examinando la factibilidad de implementar alternativas más amigables con el medioambiente mediante el uso de análisis paramétrico de distintos escenarios.

Es relevante hacer un análisis en este contexto, ya que los detergentes pueden generar graves impactos en el medioambiente. Esto es debido principalmente a las materias primas utilizadas y a su uso, por lo que en gran parte dependerá de la formulación que se escoja. Las sustancias químicas que los componen finalmente terminan siendo arrojadas a los cuerpos de agua de nuestro país, de los cuales varios se encuentran en estados críticos de contaminación [6]–[8].

Se planea que tras la investigación y el análisis desarrollado se demuestre cuáles son los costos ambientales de la producción actual de detergente en Chile, revelando que hay alternativas de diseño, formulación y elaboración de detergente que podrían ayudar a obtener un escenario más sustentable.

Este tipo de análisis es importante, además, porque atiende a una creciente preocupación por parte de la población general y particularmente de los consumidores. Distintas encuestas revelan que los chilenos prefieren productos que provengan de empresas que estén comprometidas con el ahorro de energía o que tengan un sello que garantice la protección del medioambiente, incluso por sobre factores como la marca [9], [10]. La disposición a pagar por productos amigables con el medioambiente también es mayor, estando dispuestos a desembolsar, dependiendo de su N.S.E.¹, entre 8,8% y 1,2% más por productos reciclables y que sean CO₂ neutrales² [11]. Esto está respaldado por estudios internacionales, como el realizado por Nielsen que indica que el 46% de los consumidores alrededor del mundo están dispuestos a pagar extra por productos pertenecientes a empresas que hayan implementado programas para retribuir a la sociedad [12].

Pero no solo los consumidores están exigiendo medidas y productos ecoamigables, si no que la normativa también está siguiendo el mismo rumbo. Factores como pertenecer a la OCDE, o participar en TLCs, presionan al país a trabajar en pos de la sustentabilidad de sus productos y servicios. Las consecuencias ya se observan con el nuevo proyecto de ley marco para la gestión de residuos y responsabilidad extendida del productor, la cual obligaría a los productores de distintas categorías de productos a preocuparse por la disposición final de los mismos. El trabajo realizado se adelanta a los cambios que se deberán hacer una vez aprobado este tipo de regulaciones, proponiendo alternativas que respondan a la misma categoría de requerimientos.

Por otro lado, la metodología utilizada tiene pocos casos de aplicación en Chile, por lo que con este trabajo se busca entregar una forma de analizar el impacto de un producto, proceso o actividad entregando una visión internacional y considerando todos los procesos “de la cuna a la tumba”.

¹ Nivel socio económico.

² Cuando las emisiones de un producto, servicio, actividad u organización en su conjunto se han “descontado” comprando un número equivalente de compensaciones [11].

2.2 Objetivos

2.2.1 Objetivo General

Caracterizar mediante ACV el impacto ambiental generado por la industria nacional de detergente de lavado textil, evaluando medidas de mitigación en la empresa productora Envatec.

2.2.2 Objetivos Específicos

1. Identificar los puntos críticos de impacto ambiental (*Hotspots*) del ciclo de vida del producto, y las alternativas de producción con menores impactos ambientales.
2. Caracterizar la industria nacional comparando los ciclos de vida y normativa con la realidad internacional.
3. Caracterizar la producción de detergente de lavado textil nacional tomando como referencias las empresas Unilever y Envatec.
4. Evaluar el desempeño ambiental en la fabricación de detergente de las empresas mencionadas usando Análisis de Ciclo de Vida.
5. Proponer alternativas más favorables ambientalmente, a través del análisis de distintos escenarios productivos para Envatec.

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Análisis de Ciclo de Vida

La ISO 14044:2005 da la siguiente definición del ACV: “Recopilación y evaluación de las entradas, resultados y los impactos ambientales potenciales de un sistema del producto durante su ciclo de vida.”

El siguiente extracto fue sacado de la norma ISO 14044:2006 [2]:

“El ACV trata los aspectos e impactos ambientales potenciales³ (por ejemplo la utilización de recursos y las consecuencias ambientales de las emisiones y vertidos) a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto desde la adquisición de la materia prima, pasando por la producción, utilización, tratamiento final, reciclado, hasta su disposición final (es decir, de la cuna a la tumba).

Hay cuatro fases en un estudio de ACV:

a) la fase de definición del objetivo y el alcance,

³ La expresión impactos ambientales potenciales es relativa, ya que está relacionada con la unidad funcional de un sistema del producto.

- b) la fase de análisis del inventario,*
- c) la fase de evaluación del impacto ambiental, y*
- d) la fase de interpretación.”*

La explicación de las distintas etapas fue extraída de la versión original en inglés de la norma ISO 14040:2006 [13]:

2.3.1.1 Objetivo y alcance del estudio

En el objetivo se establece el tema de estudio, los motivos que llevan a realizarlo, el público objetivo del estudio y si los resultados serán utilizados con fines comparativos para ser luego revelados al público. Por otro lado, el alcance especifica todos los detalles de la metodología, como el sistema del producto, la unidad funcional y los límites del sistema. La unidad funcional describe la función principal del sistema analizado, proporcionando una referencia respecto a la cual las entradas y salidas del sistema pueden ser normalizadas en un sentido matemático. El flujo de referencia, relacionado a la unidad funcional, es la cantidad de producto en el que se basan los resultados del estudio. Los límites del sistema determinan qué procesos unitarios deberán incluirse dentro del ACV.

También se debe aclarar en esta etapa cuál es el procedimiento de asignación de cargas ambientales y las categorías de impactos ambientales que se considerarán, junto con la forma de interpretación que se les dará.

2.3.1.2 Análisis del Inventario del Ciclo de Vida (ICV)

El segundo paso es recolectar y cuantificar las entradas y salidas de materia y energía correspondientes al sistema durante su ciclo de vida.

Esta fase comprende la obtención de datos y los procedimientos de cálculo para identificar y cuantificar todas las cargas ambientales asociadas a la unidad funcional.

El ICV es un proceso iterativo, ya que a medida que se obtienen datos y se aprende más del sistema, van apareciendo nuevos requerimientos o limitaciones que demandan un cambio en los procedimientos de manera que el objetivo aún se pueda lograr.

2.3.1.3 Análisis del Impacto del Ciclo de Vida (AICV)

La estructura de esta fase distingue entre elementos obligatorios y elementos opcionales.

Los elementos considerados obligatorios son:

- i. Selección de las categorías de impacto, indicadores de categoría⁴ y modelos.
- ii. Clasificación: en esta fase se asignan los datos procedentes del inventario a cada categoría de impacto según el tipo de efecto ambiental esperado. Una categoría de impacto es una clase que representa las consecuencias ambientales generadas por los procesos o sistemas de productos.
- iii. Caracterización: consiste en la modelación, mediante los factores de caracterización⁵, de los datos del inventario para cada una de dichas categorías de impacto.

Los elementos opcionales son la normalización de los indicadores de categoría, su agrupación y la ponderación de los mismos.

2.3.1.4 Interpretación del Ciclo de Vida

En esta fase se consideran en forma conjunta los hallazgos del ICV y AICV. Los resultados que se obtengan deben ser consistentes con el objetivo y alcances definidos, llegando a conclusiones, explicando limitaciones y proveyendo recomendaciones.

2.3.2 Normalización de impactos

Este proceso consiste en llevar los indicadores de categoría de impacto a unidades adimensionales, utilizando una referencia común. Una manera de lograr esto es normalizando cada categoría de impacto con el impacto promedio total (de la misma categoría) que genera un chileno al año [5]. Esto permite eliminar las unidades científicas de cada categoría de impacto e identificar cuáles son las categorías más significativas respecto a la referencia utilizada. Los valores promedio por chileno utilizados para normalizar los resultados obtenidos en este trabajo corresponden a aquellos utilizados por Fundación Chile para este fin, los cuales fueron a su vez extraídos de distintas fuentes de información [14].

Otras metodologías utilizadas para normalizar, y así poder comparar entre categorías de impacto, es dividir cada categoría por la generación y consumo total de un país, en vez del promedio. O también, si se desea comparar entre distintos productos, normalizar por los impactos que uno de ellos genera, realizando comparaciones entre los restantes [15], [16].

⁴ Indicador de categoría es la representación cuantitativa de una categoría de impacto.

⁵ Los factores de caracterización, o factores equivalentes, se usan para convertir diferentes intervenciones ambientales que corresponden a la misma categoría de impacto, por ejemplo emisiones de gases, a unidades del indicador de la categoría.

2.3.3 Ponderación de categorías de impactos

A pesar de que la normalización lleva toda la data a una misma escala, los resultados aún no son comparables entre categorías ya que la sociedad no juzga a todas con la misma prioridad. Algunas categorías de impacto serán consideradas más o menos importantes dependiendo del entorno en el que se estén analizando. Por esta razón, los valores obtenidos de la normalización son multiplicados por ponderadores que ajusten la escala de valores a las prioridades que la sociedad les entrega [5]. Este proceso permite además obtener un puntaje ambiental único, mediante la realización de una suma ponderada de los resultados normalizados.

Cabe destacar que la ponderación en ACV está asociada a un alto grado de subjetividad y no existe consenso en la comunidad científica entre la mejor manera de ponderar las diversas categorías de impacto. No obstante, esto se realiza debido a que puede haber impactos que tengan una mayor relevancia que otros debido a factores geográficos, demográficos, etc. Cierta emisión puede tener impactos muy distintos en dos entornos diferentes, por lo que la ponderación busca atrapar el efecto que tiene el ambiente dentro del impacto asociado al producto. Este proceso también permite realizar comparaciones con otros productos que pueden tener impactos relevantes en categorías distintas a las del producto estudiado.

Existen diversos métodos de ponderación. Algunos de ellos definen sus factores a partir de la distancia entre los niveles de emisión de la zona geográfica correspondiente, y un nivel de emisión designado como crítico. Mientras mayor sea la diferencia entre los niveles, más severa se considerará la emisión, y por lo tanto mayor ponderación tendrá. Los métodos Ecoscacity 97 y EDIP pertenecen a este grupo.

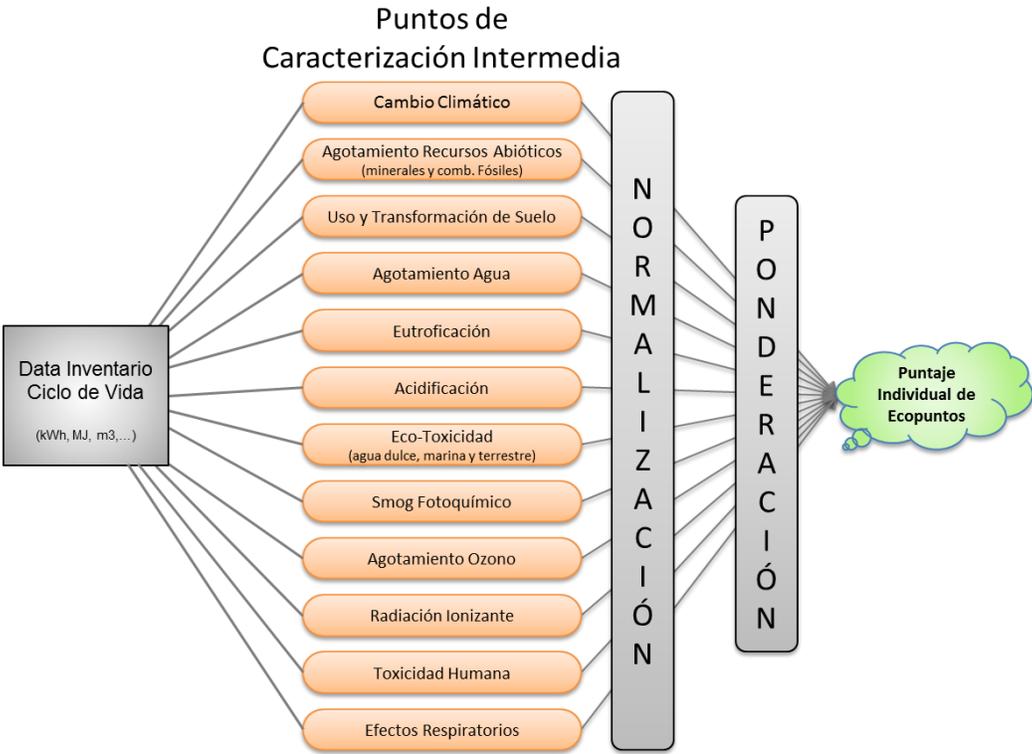
Otros métodos se basan en la consideración del daño existente para modelar las consecuencias medioambientales de cierta emisión. Para esto se puede realizar una encuesta a un panel de expertos y usuarios de ACV que deben ponderar los daños, como en Ecoindicator 99. Otra alternativa es EPS 2000d, que considera la disposición de pago de la sociedad por mantener ciertos estándares [17].

La ponderación utilizada en Fundación Chile se basa en tres talleres pilotos realizados junto a Prochile en septiembre de 2011. En estos se encuestaron a un total de 73 personas pertenecientes a distintas universidades, empresas, asociaciones industriales y organismos del gobierno, la mayoría de ellos trabajando en áreas relacionadas con sustentabilidad y medioambiente. La encuesta consistió en repartir 100 puntos entre 19 categorías de impacto, según la importancia que éstas tenían para ellos. Los resultados obtenidos se muestran en el Anexo 3 y corresponden, además, a las ponderaciones utilizadas para este trabajo [18].

El puntaje ambiental ponderado se calcula de manera que el 100% corresponda al eco-impacto medioambiental diario de un ciudadano chileno promedio. La Ilustración 1 muestra los pasos a seguir para calcular el “Puntaje de eco-impacto diario”.

Como se mencionó, para este trabajo se utiliza el software SimaPro, el cual contiene bases de datos con ACV de distintos productos y actividades. Esto entrega la posibilidad de analizar el ciclo de vida de un producto considerando a su vez el impacto de los productos y actividades que intervienen en su ciclo de vida. Este programa contiene además la información de normalización y ponderación chilena, por lo que es posible apreciar los resultados en sus tres estados: según caracterización de categorías de impacto (con sus respectivas unidades), normalizado por promedios chilenos y ponderado según consideraciones chilenas.

Ilustración 1: Proceso de Cálculo de Puntaje de eco-impacto diario



Fuente: Fundación Chile

2.3.4 Categorías de Impacto Ambiental

A continuación se muestran las categorías de impacto utilizadas para el análisis de impacto ambiental. La justificación de la elección de estas categorías se encuentra en el capítulo 4.3.

Las siguientes definiciones fueron extraídas de [4].

Cambio Climático: Causado por los efectos del calentamiento global y la consiguiente alza de la temperatura promedio de la Tierra. Consecuencia de esto es la mayor frecuencia de desastres naturales y el aumento del nivel del mar.

Agotamiento de la Capa de Ozono: Es la disminución del volumen total de ozono presente en la estratósfera, lo que produce un aumento en la cantidad de radiación UVB que llega a la superficie del planeta. Es generalmente aceptado que ésta contribuye a la formación de cáncer de piel, cataratas y un decaimiento en los rendimientos de cultivos y plancton.

Daño a la Salud Humana (material particulado y agotamiento de la capa de ozono): Esto es causado por la contaminación atmosférica producto del esmog fotoquímico⁶, elemento causante de enfermedades respiratorias y daños a la vegetación. También es causado por la emisión de material particulado, el cual es dañino para el sistema respiratorio de las personas.

Radiación Ionizante: Se define como la emisión de sustancias radioactivas y/o la exposición directa a la radiación. Produce daño a la salud tanto de humanos como de animales.

Acidificación: Es el proceso donde los contaminantes son convertidos en sustancias ácidas que degradan el entorno en el que se encuentran. Entre los efectos más comunes se encuentran la acidificación de ríos y lagos, lixiviación de metales tóxicos y la corrosión acelerada de metales, estructuras de concreto y piedra caliza.

Eutrofización: Es el aumento en los niveles de nutrientes (especialmente fosfatos, nitratos y cloruros) presentes en el medio ambiente. Un resultado común de esto es una actividad biológica inusualmente alta, lo que puede conducir a un agotamiento de oxígeno en el medio. Asimismo tiene un impacto significativo en la calidad del agua, afectando a la flora y fauna presente en ella.

⁶ Producto de una reacción entre óxido de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles, catalizada por la luz solar.

Toxicidad: Es el efecto causado por la emisión de ciertas sustancias dañinas para la salud humana y el ecosistema. Se divide en las subcategorías toxicidad humana cancerígena, no cancerígena y ecotoxicidad, que corresponde a toxicidad para el medioambiente.

Impactos en el Uso de Suelos (agrícolas, urbanos y transformación de suelos naturales): Se define como la perturbación del medio ambiente natural a través de cambios en la tierra. Esto puede traer como consecuencia pérdida de biodiversidad y disminución de la capacidad de sustento vital de los ecosistemas.

Agotamiento Hídrico: Se relaciona con el agotamiento de este recurso crítico para el medioambiente y la economía Chilena.

Agotamiento de recursos minerales y fósiles: Esto incluye la extracción de recursos naturales inertes y no renovables. Actualmente estos recursos son esenciales para el desarrollo humano y la mayoría de ellos están siendo extraídos a tasas insostenibles.

2.4 Metodología y actividades

La metodología que se utiliza abarca desde la investigación inicial, recopilando información secundaria, hasta la cuantificación de indicadores medioambientales. La primera parte de la investigación consiste en estudiar la información recopilada por El Consorcio por la Sustentabilidad, el cual a través de la metodología SMRS (Sistema de medición y reporte) basada en ACV, ha levantado información muy completa sobre el ciclo de vida del producto estudiado. Esta información servirá como referencia y apoyo para el resto de la investigación.

El siguiente paso consiste en estudiar información sobre la industria internacional de detergente, abarcando procesos productivos, alternativas de productos y normativa, además de revisar ACV realizados en torno al producto. Parte crucial de este estudio es la identificación de *Hotspots* y la familiarización con los procesos y conceptos que intervienen en el ciclo de vida. La información recopilada en esta investigación además permite marcar una pauta de referencia y comparación frente a los escenarios que se observan en Chile.

Por otro lado, se utilizará ACV para obtener la información cuantitativa primaria del impacto ambiental de las empresas analizadas. Esto se realiza en forma acorde a la normativa ISO 14040.

La metodología ACV plantea la ventaja de que es posible conocer todos los impactos ambientales asociados e identificar su origen y magnitud. Esta información permite determinar en qué etapas o procesos existen oportunidades de mejora, eliminando las soluciones aparentes que realmente re direccionan el problema a otro lugar. Esto

permite tener más opciones de repuesta ante alguna necesidad de reducción de impacto ambiental, ya sea ésta por iniciativa propia, o por regulación estatal.

Esta metodología ha alcanzado cada vez mayor relevancia desde sus inicios hace varias décadas atrás. Ejemplo de esto es el gran número de certificaciones ambientales que basan su forma de análisis en el ACV [19]. Entre ellas encontramos a Green Seal y DfE de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés), a La Asociación Española de Normalización y Certificación (Aenor), a European Ecolabel en la Unión Europea, Green Mark en Taiwan, Eco Mark en Japón, y Ecologo en Canadá, por nombrar algunos ejemplos. Estas certificaciones permiten a las empresas tener una ventaja competitiva en una industria que valora la responsabilidad ambiental.

La necesidad de un software especializado para el análisis de los datos recopilados plantea una dura barrera de entrada para los interesados en esta metodología. Se destaca además que el ACV no es recomendable en cualquier estudio, puesto que requiere bastante tiempo para su correcto desarrollo y puede involucrar altos costos. Parte crucial del proceso es la recolección detallada de información sobre materiales y procesos, la cual puede no estar disponible. Tampoco se recomienda su utilización en productos complejos que deriven en múltiples actividades, resultando en grados de complejidad incompatibles con un análisis fiable.

Considerando que los desafíos que plantea el ACV son abordables para este caso particular, se muestra a continuación la estructura de las etapas consideradas para este trabajo junto con una breve descripción de cada una:

1. Análisis y entendimiento de la industria

Consiste en comprender los distintos tipos de detergentes disponibles en el mercado, investigando e identificando sus diferencias en producción, uso y consecuencias ecológicas.

2. Investigación sobre la categoría de producto

Identificación de *Hotspots* a lo largo de la cadena de abastecimiento del producto. Esta investigación se basa en literatura científica (ACV y otros estudios) publicada a nivel internacional, además de entrevistas a expertos y publicaciones de otros actores relevantes (por ej. ONG).

3. Caracterización de la industria nacional

Involucra identificar las principales empresas de la industria nacional según su participación de mercado y volúmenes de producción. También considera identificar los principales consumidores, levantando información respecto al uso que éstos le dan al producto.

4. Identificar los objetivos y alcances del estudio

Consiste en establecer la unidad funcional a analizar y decidir los límites del sistema que serán parte del estudio.

5. Recopilación de información sobre procesos, iniciativas y prácticas más relevantes en la producción de detergente en la empresa Envatec y Unilever, lo cual corresponde a la etapa de análisis del inventario del ciclo de vida

Involucra visitas a terreno y revisión de información entregada por la empresa recolectando todas las entradas y salidas del proceso productivo, poniendo especial énfasis en aquellas etapas catalogadas como *Hotspots* en la investigación inicial.

6. Análisis de la información recopilada

Modelación mediante software SimaPro. El método de análisis se describe en el capítulo 4.2.

Análisis de los resultados obtenidos con la modelación, identificando procesos unitarios de mayor impacto y los motivos de esto, examinando además su relación con los puntos críticos de la categoría.

7. Investigación sobre alternativas de producción y sus impactos

Consiste en investigar alternativas para el diseño, formulación y producción de detergentes de lavado textil que tengan bajos niveles de impactos medioambientales y al mismo tiempo sean atractivos para el consumidor final. A través de esta investigación se construyen distintos escenarios de ciclo de vida, los cuales son modelados en SimaPro para cuantificar eventuales reducciones en impacto ambiental.

8. Elaboración de recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos en la etapa anterior, se construye una lista de alternativas productivas de Envatec, las cuales son presentadas a la gerencia de la empresa analizando la factibilidad de su implementación. A partir de los resultados de la modelación y del *feedback* recibido se realiza la elaboración de una propuesta final.

2.5 Alcances

Este trabajo comprende fuentes de información primaria y secundaria. Por un lado se estudia información respecto a la producción de detergente a nivel nacional e internacional, abarcando distintos diseños, fórmulas y métodos productivos con sus respectivas cargas ambientales. Por otro lado, con el objetivo de caracterizar la industria chilena, se realiza una investigación en terreno.

Para la investigación teórica se considera toda la información recopilada por TSC respecto a la categoría de producto. En forma complementaria se ahonda en base a

estudios previos que versen sobre la materia, lo que exige indagar respecto a los análisis realizados.

Para la caracterización de la industria nacional se investiga el funcionamiento de la industria nacional, además de recopilar y analizar la información respecto a los procesos productivos de las dos empresas consideradas en el estudio.

Se analiza el ciclo de vida del formato de detergente en polvo, ya que es el tipo de producto mayormente consumido por los chilenos [3]. En forma adicional, con el objetivo de comparar ambos formatos, se considera el ciclo del detergente líquido de Envatec, formato que además está creciendo en participación de mercado.

El análisis se realiza mediante el software SimaPro, programa que permite analizar el impacto generado tanto por un producto como por un servicio gracias a que contiene una importante base de datos con análisis de ciclo de vida de distintos productos y operaciones, los cuales a su vez pueden ser utilizados como entradas y salidas del inventario de ciclo de vida del objeto de estudio. El software tiene además la capacidad de agregar nueva información en pos de la modelación, permitiendo así agregar nuevos ACV de materias primas o procesos a utilizar. A modo de ejemplo, en el Anexo 4 se puede observar una imagen del software y la forma en que éste presenta las alternativas de modelación.

Las propuestas para mejorar el desempeño de sustentabilidad de la empresa Envatec se basan en los dos caminos de investigación mencionados y cubre desde prácticas de ahorro de energía, hasta recomendaciones para la formulación y diseño del producto. Para la elección de estas propuestas se realizará un análisis de sensibilidad considerando distintos escenarios productivos.

2.6 Resultados Esperados

A continuación se exponen los resultados que se esperan del trabajo realizado, los cuales se definen a partir del cumplimiento de los objetivos planteados:

- *Benchmark* internacional que entrega el estado del arte de esta industria, entregando información sobre los *Hotspots*, estudiando las distintas regulaciones a las que se enfrenta y mostrando alternativas de formulación, producción, uso y descarte.
- Estudio sobre la industria nacional, identificando principales actores y sus formas productivas. Análisis sobre el impacto ambiental generado en las distintas etapas del ciclo de vida del principal productor nacional: Unilever.

- Análisis comparativo entre la realidad de la industria chilena versus la internacional.
- Cuantificación de los impactos generados por la empresa Envatec y análisis de escenarios productivos de la misma. En base a esto se entregan una serie de recomendaciones que involucran la formulación, producción y presentación del producto.
- Conclusiones que abarquen los distintos puntos analizados, además de mostrar los beneficios finales que la implementación de las recomendaciones podría producir.

3 Industria del detergente

3.1 Descripción de la categoría de producto detergente de lavado textil⁷

Según la institución de clasificación global de productos, la definición de detergente de lavado textil incluye todo producto que pueda ser descrito como detergente especialmente diseñado para limpiar tejidos, removiendo depósitos y olores no deseados de la ropa y el lino, y que debe ser añadido o aplicado durante el proceso de lavado.

Se excluye de esta categoría los ablandadores de agua y productos para el cuidado de la ropa, y se incluyen aquellos productos con propiedades protectoras de tejidos y/o colores.

Las alternativas dependen del tipo de lavado (máquina o a mano), los niveles de concentración del producto, beneficios secundarios y si éstas tienen sistemas de drenaje sustentable. Los formatos varían entre barras, gránulos, líquidos, polvos y geles. Además se pueden encontrar distintas alternativas según su objetivo de aplicación: espacial para telas de colores, blancas o delicadas.

3.1.1 Ciclo de vida del detergente

El ciclo de vida de los detergentes de lavado textil comienza con la extracción y refinación de las materias primas, entre las cuales se encuentran combustibles fósiles, minerales, metales, productos agrícolas y agua. Estos materiales son refinados para obtener distintos químicos, los cuales, entre distintos usos, son aplicados en la formulación de detergentes [20].

Las materias primas son transportadas hasta la planta productora, donde la formulación de detergente comienza. Las principales técnicas utilizadas en los procesos productivos son mezcla y bombeo, sin embargo, los procesos productivos cambian dependiendo del formato de producto deseado, y del tipo de producción, existiendo mezclado en frío o a altas temperaturas, al igual que distintos métodos de secado en el caso de detergente en polvo.

Una vez que el producto está terminado, las botellas, bolsas o cajas son llenadas con el detergente correspondiente y luego agrupadas en unidades de envío con film retráctil, para finalmente ser colocadas en pallets. Los detergentes son luego

⁷ El punto 3.1 fue extraído de [4].

transportados a centros de distribución o directamente a tiendas de retail, donde se mantienen hasta ser comprados por el consumidor.

La fase de uso de los detergentes de lavado textil incluye el lavado y quizás secado de una carga de ropa. La energía consumida durante esta fase del ciclo de vida puede ser dividida en tres partes: energía necesaria para el calentamiento del agua, en el caso en que esta opción sea utilizada, energía usada por la lavadora, y energía utilizada por la secadora. Adicional a la energía, en esta fase es consumida una gran cantidad de agua.

Durante las fases del ciclo de vida hay varias etapas que generan tanto desperdicios sólidos como aguas residuales. Los residuos generados antes de la etapa de uso son generalmente tratados, sin embargo, los materiales de empaque, descartados al final del ciclo de vida, son generalmente incinerados o arrojados a un vertedero, y en menor medida, reciclados [21]. Las aguas residuales provenientes del proceso de lavado son tratadas en plantas de tratamiento de aguas o en sistemas de fosos sépticos.

3.1.2 Componentes

Los detergentes tienen distintos componentes con funciones específicas que en conjunto determinan la efectividad del lavado. Estos componentes se exponen a continuación [22], [23]:

- Agentes Tensoactivos: Tienen la labor de limpiar y desengrasar los tejidos.
- Builders: Facilitan y mejoran la acción de los tensoactivos.
- Agentes antiredeposición: Evitan que la suciedad vuelva a colocarse en los tejidos.
- Agentes espumantes y antiespumantes.
- Agentes suavizantes
- Agentes blanqueadores
- Mejoradores ópticos fluorescentes
- Enzimas
- Perfumes
- Otros componentes que cumplen funciones específicas.

Para la descripción y mayor explicación sobre los componentes y las funciones que estos cumplen, remítase a Anexo 1: Descripción de los componentes de los detergentes.

3.2 Antecedentes ambientales

Cabe destacar que cuando se consideran todas las etapas de un ciclo de vida, los resultados son representativos del sistema como un todo; en este caso éste corresponde a la acción de limpiar ropa, en vez de ser sólo un producto individual.

3.2.1 Hotspots

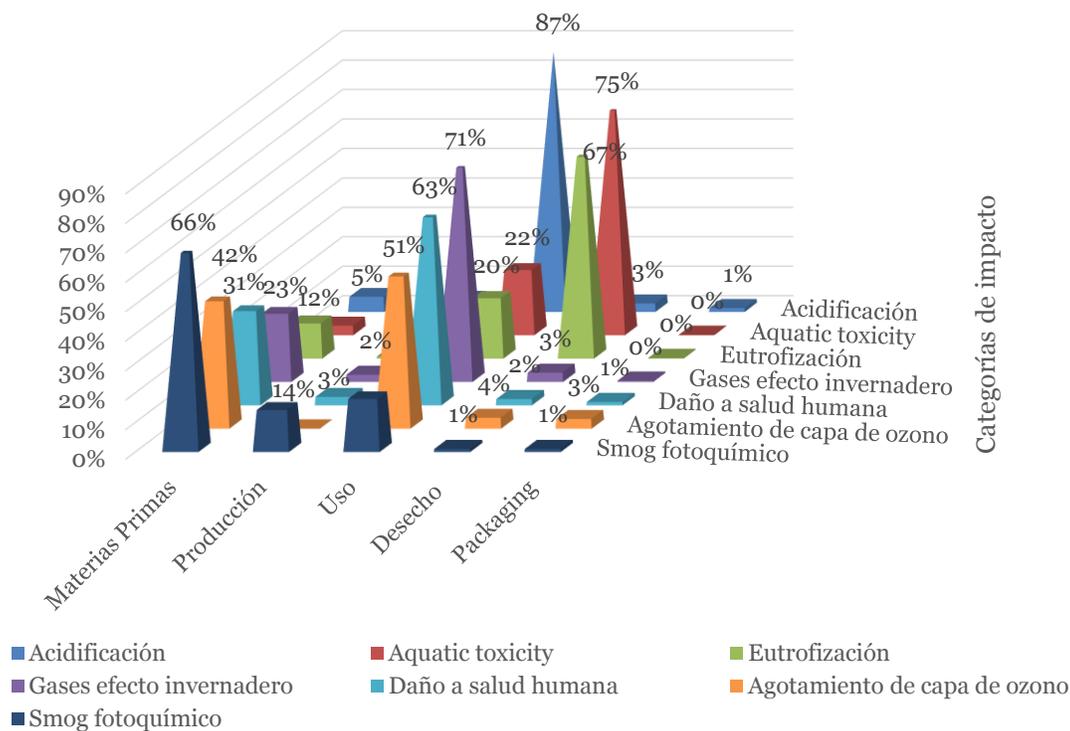
Distintos estudios de ciclo de vida de detergentes evidencian que hay unos pocos procesos claves del detergente de lavado textil que son los principales contribuyentes al impacto ambiental de todo el ciclo de vida del producto. Estas etapas son la fase de producción de las materias primas, la de uso y el descarte o fin del ciclo de vida [4], [15], [16], [24], [25].

Los mayores factores de impacto, provienen de los hábitos de consumo independiente del detergente escogido, especialmente aquellos relacionados con la dosis y temperatura del agua utilizados, y de cambios en el diseño del producto. Cambios en la matriz de generación de energía o en los procesos de facturación no significan una reducción importante en términos relativos a todo el ciclo de vida del producto [15], [16], [24], [25].

En la Ilustración 2 se puede apreciar un ejemplo de una distribución típica de los impactos generados por el ciclo de un detergente en polvo. El gráfico muestra cómo se distribuye cada categoría de impacto a lo largo del ciclo de vida. Puntualmente estos datos corresponden a un análisis de ciclo de vida realizado en Bélgica por la empresa Procter&Gamble.

En relación a los formatos de productos, no existen diferencias significativas entre la versión líquida o el polvo. Dependiendo de los productos estudiados (principalmente en su formulación), varía cuál genera la mayor huella. Sin embargo, el impacto generado por detergentes compactos, ya sea en formato líquido o en polvo, es significativamente menor. En la producción de estos tipos de detergentes se utilizan tecnologías más eficientes, donde la mezcla es calentada a temperaturas menores y secada (en el caso del polvo) con procesos más eficientes que la tradicional torre de aspersión, consumiendo menor energía. Debido al distinto proceso de secado, las densidades de estos productos son mucho mayores (33% más aproximadamente) que los formatos regulares, provocando un ahorro en materiales de empaque. Además la huella ambiental generada en el transporte también disminuye, puesto que se necesita una menor capacidad y número de viajes para un mismo número de lavados. Finalmente en la etapa de uso, al utilizar una dosis menor de químicos, los impactos en toxicidad acuática, eutrofización, disminución de la capa de ozono y esmog fotoquímico generados también disminuyen [15], [25].

Ilustración 2: Distribución de categorías de impacto por etapa de ciclo de vida



Fuente: Elaboración propia, datos extraídos de [24]

Dentro de la clasificación de detergentes compactos se encuentran también los de formato en tabletas para el polvo y cápsulas para el líquido. Ambas se disuelven durante el lavado, conteniendo solo materias primas que cumplen una función activa en la limpieza, optimizando el uso de químicos y, al mismo tiempo, simplificando considerablemente el proceso de dosificación. A pesar de que estos productos resuelven el conflicto generado por la percepción de que por cada lavado se paga más por los productos compactos que por los regulares y la dosificación mejora, estudios revelan que el impacto total que generan es mayor que los detergentes compactos tradicionales.

El mayor impacto generado por las tabletas se debe principalmente a la tecnología adicional necesaria para mantener el balance entre una disolución rápida (para un buen desempeño) y una consistencia adecuada que asegure que el producto no se rompa o quiebre, lo que requiere de un mayor consumo energético con sus consecuentes impactos en el ambiente. Además, al contener mayores concentraciones de perfume requeridas para sentir el aroma, dados los formatos en que se encuentran, generan mayor toxicidad acuática. Por otro lado, como los formatos requieren de empaques especializados para proteger la integridad del producto, se observa un aumento en el uso de material de empaque.

3.2.1.1 Materias primas

Estudios revelan que los principales causantes de ecotoxicidad acuática dentro de la formulación de detergentes son los perfumes y tensoactivos utilizados [16]. Los antiespumantes siliconados, por otro lado, son considerados como agentes de formación de esmog fotoquímico. Los detergentes líquidos requieren menor control de espuma debido a los otros químicos utilizados en su formulación, por lo que la cantidad de antiespumantes que estos requieren es menor [15], teniendo como consecuencia una menor generación de esmog fotoquímico.

Un análisis de ciclo de vida realizado por Procter&Gamble comparando 3 tipos de detergente en polvo distintos (regular, compacto y super compacto) expone que debido a una mayor cantidad de ciertas materias primas utilizadas en la formulación, el detergente super compacto genera mayor eutrofización, acidificación y esmog [25]. Esto significa que un producto cada vez más compacto no necesariamente es mejor.

En Francia en 1990 se estudió el nivel de biodegradabilidad última, es decir, el porcentaje de detergentes que es eliminado por microorganismos al cabo de 28 días, convirtiéndose en agua, anhídrido carbónico, sales minerales y biomasa. El resultado fue que la biodegradabilidad total se sitúa generalmente entre el 60 y 80%. En otras palabras, cerca de un tercio del detergente persiste más allá de 28 días [26].

El uso de enzimas en la formulación entrega la ventaja de poder disminuir la temperatura del agua sin afectar la eficacia del lavado, lo que es un cambio significativo considerando que el principal impacto ambiental es generado por la energía necesaria para calentar el agua. Además, las enzimas son biodegradables, por lo que al ser usadas como reemplazo de otras materias primas los resultados indican que la toxicidad de las aguas residuales del proceso de lavado puede disminuir considerablemente [27].

Los fosfatos son uno de los elementos del detergente que ha generado mayor controversia. Su uso genera como principal riesgo un sobre exceso de nutrientes en el medio ambiente acuático, lo que puede producir problemas de eutrofización.

La eutrofización se ha definido como: «el aumento de nutrientes en el agua, especialmente de los compuestos de nitrógeno y/o fósforo, que provoca un crecimiento acelerado de algas y especies vegetales superiores, con el resultado de trastornos no deseados en el equilibrio entre organismos presentes en el agua y en la calidad del agua a la que afecta». La eutrofización es un fenómeno complejo en el que los fosfatos desempeñan frecuentemente, aunque no siempre, una función principal. La creciente preocupación por la contribución del STTP a la eutrofización ha llevado a numerosos países a usar más detergentes sin fosfatos para la ropa. La

Comunidad Europea estima que una prohibición del uso de detergentes basados en fosfatos puede reducir la cantidad de fósforo hasta en un 40% [28].

La proporción de Tripolifosfato de Sodio (STP) procedente de detergentes vertida en el medio ambiente acuático varía según el grado de tratamiento terciario de las aguas residuales. Este tratamiento es costoso y no es obligatorio para todos los vertidos de aguas residuales. Sin embargo, a pesar de las diferencias en concentración, los detergentes con fosfatos son la principal fuente de fósforo en los medios acuáticos [28].

3.2.1.2 Uso por parte de los consumidores

El impacto ambiental generado durante las etapas de uso y desecho dependerá del modo de uso del producto. Más del 80% de los requerimientos energéticos de un lavado a 60°C, proviene de calentar el agua, y lavar a 90°C consume 5 veces más energía que a 30°C. Estudios revelan además, que a medida que aumenta la temperatura del lavado, se consume una mayor cantidad de agua [16].

Las lavadoras automáticas de eje vertical (carga superior) tienen una carga ambiental considerablemente mayor que las de eje horizontal, debido principalmente a un mayor consumo de agua. Por otro lado, el uso de secadoras eléctricas, debido a la energía que requiere, es mucho más dañino que la utilización de colgadores [4], [29].

La dosis utilizada también contribuirá con el impacto generado. Los productores especifican la dosis que se debe usar dependiendo de la concentración del producto, sin embargo, no hay certeza de que los consumidores sigan las instrucciones. El uso de una mayor dosis genera una mayor necesidad de elaboración de producto, transporte y mayores volúmenes de químicos a los cuerpos de agua, lo que tiene toda una serie de impactos asociados. Por otro lado, también ocurre que el consumidor utiliza una dosis menor a la recomendada, generando el efecto contrario. Por tanto la dosificación dependerá tanto del producto y su instructivo de uso, como de las necesidades y hábitos de cada usuario.

Finalmente el detergente llega a las aguas residuales, las cuales deben ser tratadas, aumentando la demanda química de oxígeno⁸ [30]. En forma adicional, las reservas de aguas que reciben los residuos de detergentes pueden sufrir de toxicidad y eutrofización.

⁸ La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro utilizado para medir la contaminación de las aguas evaluando los niveles de concentración de sustancias que alteran el balance de oxígeno en las reservas de agua (Pisarevsky, Polozova, Hockridge, 2005)

3.3 Normativa

Al analizar una industria de un país es importante considerar como ésta se manifiesta en otros países, examinando las regulaciones a las que se enfrenta y las razones por las que estas fueron erigidas. Esta comparación permite adelantarse a eventuales cambios en la normativa local, además de obtener los beneficios que permite contar con mayor información sobre prácticas productivas, lo que finalmente puede reflejarse en mejorar la calidad, seguridad y confiabilidad de los productos.

En el caso de los detergentes, se destacan las regulaciones con respecto a las sustancias descargadas al alcantarillado público y las utilizadas para la formulación del producto. Sin embargo, estas regulaciones varían mucho dependiendo del país en que es producido o comercializado, llegando a ser inexistentes en muchos casos.

Al ser un agente notoriamente dañino para el medioambiente, los fosfatos han sido desde hace décadas fuente de regulación en los detergentes. La mayoría de los países pertenecientes a Europa Occidental ha tomado medidas para reducir el uso de este componente, exigiendo restricciones a su uso que van desde un 1% a 20% de la formulación, o vetando totalmente su utilización [31],[32].

Pero no solo Europa está tomando medidas respecto a esta situación, en Japón varias provincias han prohibido la venta y uso de limpiadores sintéticos que contengan fosfatos. Canadá prohibió en inicios de 1973 la venta de detergentes que contengan más del 2,2% del elemento. En Estados Unidos, más de 27 estados han prohibido ya sea completa o parcialmente el uso de fosfatos en detergentes de lavado textil [31].

En Latinoamérica también existen países que están regulando el uso de fosfatos: en Agosto del 2011 Paraguay resolvió prohibir la utilización de STP (el fosfato más utilizado en la industria) en productos domisanitarios nacionales y/o extranjeros en todo su territorio [33].

Sin embargo, los fosfatos no son los únicos elementos que generan alteraciones al medio ambiente, un gran número de químicos tienen características peligrosas o pueden causar consecuencias que dañen el ecosistema. Más allá de las regulaciones, es recomendable consultar estudios de riesgo o certificaciones de los productos usados. En el caso de los perfumes, por ejemplo, existe la Asociación Internacional de Fragancias (IFRA), institución cuyos estándares de manejo de riesgos asociados al uso de ingredientes de fragancias son reconocidos y aceptados en forma mundial [34].

Respecto a regulaciones generales sobre la producción y venta de detergentes, la Unión Europea implementa el Reglamento (CE) N° 648/2004 del Parlamento

Europeo y del Consejo de 31 de marzo de 2004 sobre detergentes. Este reglamento establece normas destinadas a lograr la libre circulación de los detergentes y tensoactivos en el mercado interior, garantizando al mismo tiempo que cumplan con los estándares de seguridad necesarias al regular los siguientes puntos [35]:

- La biodegradabilidad de los tensoactivos en detergentes.
- Restricciones o prohibiciones aplicables a tensoactivos por motivos de biodegradabilidad.
- Etiquetado adicional en detergentes, incluyendo perfumes alergénicos.
- Información que los fabricantes deben tener a disposición de las autoridades competentes y del personal médico de los Estados Miembros.
- La obligación por parte de los fabricantes de proporcionar al personal médico, previa solicitud, una hoja informativa de ingredientes, que deberá ser publicada en una página web.
- Se debe indicar con claridad en la etiqueta la lista de ingredientes presentes en el producto.
- Instrucciones de dosificación, y si contuviera un vaso para este fin, éste debe llevar marcada su capacidad en miligramos o gramos.

Con el fin de demostrar que el producto cumple con la regulación, los fabricantes deben realizar y entregar los resultados de una serie de ensayos, los cuales se encuentran especificados junto con sus métodos respectivos en la normativa europea. En esta se especifica la biodegradabilidad, peligrosidad y toxicidad permitida de las sustancias. Además expone que se realizarán medidas de control de los productos comercializados cada vez que estimen pertinente.

La normativa considera como sustancias prioritarias que exigen estrategias para limitar el riesgo de exposición al cloruro de bi(alquil sebo hidrogenado) dimetilamonio (Dtdmac) y el nonilfenol (incluidos los derivados etoxilados APE) [35]. Este último químico en particular, ha sido objeto de análisis y discusión tanto por iniciativas privadas como gubernamentales, demostrando que es un químico de alta persistencia en el ambiente y sumamente tóxico para los organismos acuáticos.

El Nonilfenol Etoxilado (NPE) es un tensoactivo no iónico que al ser metabolizado en mamíferos, o al degradarse en el ambiente, se descompone como Nonilfenol (NP), un químico más tóxico y persistente. Los estudios indican que este compuesto es altamente tóxico para peces, invertebrados acuáticos y algas. No existe información exacta disponible sobre los efectos que tiene sobre las personas, sin embargo existen productos que lo contienen que podrían ser potencialmente dañinos para mujeres y niños. NP tiene actividad estrogénica, y se ha observado que tras exposición durante varias generaciones existen ligeros cambios sexuales en animales de laboratorio [36].

Existe además exposición indirecta a través de fuentes ambientales debido al consumo de pescados y mariscos, existiendo una correlación entre el consumo de estos y los niveles de NPE en la leche materna. La mayor exposición estimada, sin embargo, fue debido a vivir cerca de una empresa textil que utilizaba NP y NPE [36].

Debido a las características expuestas, la EPA ha establecido un criterio de calidad del agua de 6,6 µg/L para exposiciones agudas y 1,7 µg/L para exposiciones crónicas. Canadá, por su lado, ha establecido un nivel de preocupación de 0,7 µg/L para exposiciones crónicas que se prolonguen indefinidamente [36]. La REACH⁹, por otro lado, especifica que no se puede comercializar ni usar productos que contengan concentraciones de NPE mayores a 0,1% de la masa total [37].

Estados Unidos tiene regulaciones similares a las europeas, teniendo variaciones en cada estado. En el estado de Nueva York por ejemplo, ninguna persona puede vender, ofrecer o exponer para la venta ningún producto para el cuidado del hogar que no contenga una lista con los ingredientes que puedan ser considerados dañinos para la salud o el ambiente, debiendo indicar sus respectivos porcentajes sobre el peso total y los niveles máximo recomendados [38].

3.3.1 Chile

A diferencia de otros países, en Chile no existe ningún tipo de regulación en cuanto a los ingredientes que pueden ser utilizados dentro de su formulación. Por lo mismo, existen varios químicos peligrosos tanto para el medio ambiente como la salud humana que son utilizados durante su elaboración. A continuación se exponen las normativas actualmente vigentes en materia de detergentes.

Con respecto a la rotulación, no existe una regulación que los productos detergentes deban cumplir, sin embargo el gobierno presenta una normativa voluntaria que especifica los siguientes requisitos [39]:

- Información legible, visible e indeleble, escrita en español, impresa en la caja o primer envase externo, o bien en el segundo interno, (si es que viene con dos), o en una etiqueta adherida al mismo.
- No podrá tener ninguna leyenda de significado ambiguo, ilustraciones o adornos que induzcan a engaño, ni descripción de características del producto que no se puedan comprobar, según metodología debidamente validada, incluidos los protocolos del fabricante.
- Incluir: marca comercial y dirección del fabricante o distribuidor responsable, bajo cuya marca se expende el producto, de manera que el consumidor sepa

⁹ Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH), estableciendo una agencia europea de químicos

donde reclamar o dirigirse. País de origen. Identificación del lote de fabricación o fecha de elaboración, lo que permite identificar responsables en la cadena de producción en caso de fallas.

- Precauciones e identificación de una entidad con quien comunicarse, para asistencia las 24 horas, en caso de accidente, ya sea por ingestión o contacto con el producto.
- El rótulo debe tener como mínimo la palabra Detergente.
- Indicar el contenido neto (corresponde a la cantidad del producto sin incluir el envase o envoltorio).
- Instrucciones de uso.

Independiente de la rotulación, La Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) y distintos ministerios del país presentan una serie de instrumentos legales que establecen las regulaciones relacionadas a la gestión de sustancias peligrosas. Muchas materias primas utilizadas en la elaboración de detergentes están clasificadas como productos peligrosos, siendo varios de ellos nocivos para el hombre y/o el medio ambiente. Estas normativas establecen los procedimientos de regularización, control y manejo de estas sustancias, con el objetivo de proteger a la ciudadanía y el medio ambiente [40].

Con respecto a la reglamentación de residuos líquidos, el Ministerio de Obras públicas establece a través del decreto supremo 609 una norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos industriales líquidos a sistemas de alcantarillado. Restringe a una cantidad máxima de contaminante que es posible descargar a los servicios públicos de recolección de aguas e indica que los residuos industriales líquidos no podrán contener sustancias peligrosas. Esta norma especifica además las concentraciones permitidas dependiendo del tipo de sustancia y del lugar de descarga [41].

Existen además otros mecanismos de control de residuos, donde se busca responsabilizar al productor en vez de al consumidor que realiza el descarte del producto. Son más de 45 los países que utilizan instrumentos de cantidad para promocionar la valorización de residuos a través del mecanismo conocido como Responsabilidad Extendida al Productor (REP). La REP corresponde a un régimen conforme al cual los productores son responsables de la gestión de los residuos de productos definidos como prioritarios en el país que se comercialicen [42].

En agosto de 2013 se lanza en Chile la propuesta de ley marco para la gestión de residuos y responsabilidad extendida del productor. Esta iniciativa surge como respuesta a las recomendaciones realizadas por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) con respecto a la baja valorización de residuos generados en Chile, la cual se encuentra en el orden del 10% [42].

Esta política comparte la visión de ciclo de vida utilizada en este trabajo, incorporando la necesidad de contar con una gestión integral de residuos que abarque todas las etapas de un producto, desde que es elaborado hasta su eliminación. Resalta además, que cuando se habla de gestión de residuos debe tener presente que el primer objetivo es evitar la generación; si esta no es posible de evitar, se debe procurar su minimización; si esto no es posible, entonces se debe recién evaluar su potencial disposición final. Este principio de jerarquía en la gestión de residuos, reconocido en gran parte de los países desarrollados, ha probado su efectividad en el tiempo.

La REP implica que los productores¹⁰ de productos prioritarios¹¹ deben cumplir con obligaciones asociadas a la gestión de residuos de sus productos, cumpliendo metas de recolección y valorización y asegurándose que el tratamiento de los residuos recolectados se realice por gestores autorizados. Particularmente los productores de detergentes de lavado textil estarían bajo la regulación de la REP con los envases y embalajes que utilicen en sus productos [42].

La REP persigue de esta forma dos objetivos principales: promover el diseño de productos que procuren el aumento de su vida útil y potencial valorización, e incentivar la reutilización y valorización de productos al final de su vida útil.

Entre los distintos puntos especificados en el proyecto de ley, se destaca que se establece que todo distribuidor o comercializador de productos prioritarios cuyas instalaciones tengan una superficie suficiente, deberá aceptar sin costo la entrega de los residuos de parte de los consumidores. Además estarán obligados a entregar en forma gratuita todos los residuos recibidos a los gestores contratados por el respectivo sistema de gestión.

Tanto la REP como la comparación con la normativa de países más desarrollados, permiten comprender que en Chile existe un espacio considerable para acciones que busquen mejorar la protección y seguridad a la sociedad y el medioambiente. El rango abarca desde mejorar la información entregada a los consumidores, hasta medidas que aseguren productos inocuos para el ecosistema, haciéndose además responsable de los impactos que generan a lo largo de todo su ciclo de vida.

¹⁰ Se entiende como productor al primer actor en el ciclo de vida del residuo, pudiéndose definir como la persona que vende un producto por primera vez en el mercado nacional, vende bajo marca propia un producto adquirido de un tercero que no es el primer distribuidor o importa un producto prioritario para su propio uso profesional.

¹¹ Según criterios de volumen, peligrosidad, potencial de valorización y experiencia comparada.

3.4 Industria nacional

La siguiente sección fue extraída de [3].

Las ventas de detergente en Chile ascendieron a US\$435 millones el año 2011, mientras que durante el primer semestre de 2012 alcanzaron US\$224 millones. El origen de estos productos proviene tanto de producción local como de importación.

Existen diversos formatos de producto, sin embargo en Chile se pueden encontrar solo 3: polvo, líquido y cápsulas. Ésta última clase ingresó al mercado solo hace unos pocos meses.

El formato preponderante en la categoría de detergentes es el formato en polvo. Los líquidos, sin embargo, han mostrado un importante desarrollo en los últimos años, aumentando su participación desde un 13,1% a 16,7% sólo entre marzo de 2011 y marzo de 2012.

Los detergentes en polvo se clasifican según el mecanismo de lavado: detergente para lavado a mano y detergente para lavado a máquina automática o semiautomática. En la actualidad, estudios revelan que sólo el 2% de los consumidores utilizarían detergentes para lavado a mano.

La industria nacional del detergente para lavado textil es altamente concentrada, existiendo un actor principal, Unilever, con una participación aproximada de entre el 80-85% en el canal tradicional y entre un 68-72% en el canal supermercadista. La empresa que le sigue es Procter and Gamble Chile, cuya participación alcanza entre un 13 y un 17% en el canal tradicional y entre un 23 y 27% en supermercados. El resto del mercado se reparte entre cinco actores de menor tamaño: Maritano Industria de Jabones, Industrias Cleaner, Ecotec, Industria Brillex y Laboratorios Ballerina. Estos últimos participan en la industria con marcas independientes o como proveedores de marcas propias de diferentes cadenas de supermercados. Además, se observa la entrada itinerante de marcas como Sapolio y otras para nichos específicos (como Noril o Persil), mostrando una participación marginal y esporádica en el tiempo. En la Tabla 1 se puede observar la evolución de las participaciones de mercado de los distintos actores desde 2007 hasta el 2012.

El mercado de detergentes se caracteriza por su madurez y altísimos índices de penetración, llegando a niveles cercanos al 100%. Se trata de un insumo de primera necesidad que es parte de la canasta básica, y que representa, después de los lácteos, el producto de mayor gasto para los hogares chilenos.

Tabla 1: Participaciones de mercado en la industria de detergentes

| Proveedor | Participación | | | | | | |
|------------------------------------|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
| Unilever | 70%-75% | 70%-75% | 70%-75% | 70%-75% | 75%-80% | 70%-75% | 70%-75% |
| P&G | 15%-20% | 15%-20% | 15%-20% | 15%-20% | 15%-20% | 20%-25% | 20%-25% |
| Maritano | 0%-5% | 0%-5% | 0%-5% | 0%-5% | 0%-5% | 0%-5% | 0%-5% |
| Cleaner | 0%-5% | 0%-5% | 0%-5% | 0%-5% | 0%-5% | 0%-5% | 0%-5% |
| Ecotec | | | | | 0%-5% | 0%-5% | 0%-5% |
| Brillex | | | | | 0%-5% | 0%-5% | 0%-5% |
| Ballerina | | | | | 0%-5% | 0%-5% | 0%-5% |
| Marcas propias¹² | 0%-5% | 0%-5% | 0%-5% | 0%-5% | | | |
| Otros | 0%-5% | 0%-5% | 0%-5% | 0%-5% | | | |

Fuente: Fiscalía Nacional Económica, 2013

¹² Para los años 2010 a 2012, las marcas propias están incorporadas en las participaciones de los proveedores que las producen, como Ecotec y Cleaner.

4 Análisis de ciclo de vida

4.1 Descripción del sistema y unidad funcional

El presente estudio es un ACV “de la cuna a la tumba”, que incluye las siguientes etapas del ciclo de vida de un detergente de lavado textil: elaboración y transporte de materias primas (“materias primas”); fabricación del producto (“producción”), la cual incluye la etapa de envasado; distribución desde la planta a los puntos de venta (“distribución”); almacenamiento en el punto de venta o retail y proceso de compra por parte del consumidor (“retail y compra”); proceso de lavado (“uso”); y fin del ciclo de vida, que considera el descarte del empaque y del producto a través de las aguas residuales (“fin de ciclo de vida”). La descripción y límites por etapa se muestran en Tabla 2.

Tabla 2: Etapas del Ciclo de Vida

| Etapas del Ciclo de Vida | Inicia | Finaliza |
|---|--|--|
| Elaboración y transporte de materiales | Extracción de recursos de la naturaleza. | Los insumos ingresan a la fábrica donde se elaborará el producto final. |
| Producción | Los insumos ingresan a la fábrica del producto final. | Cuando el producto final sale de la fábrica. |
| Distribución | El producto final deja la fábrica. | El producto llega a los puntos de venta |
| Retail y compra | El producto llega a los puntos de venta (retail). | El producto sale del retail en las manos del comprador. |
| Uso del Producto | Cuando el consumidor compra el producto. | Cuando el producto y/o sus residuos y desechos son recogidos por la empresa responsable de su gestión. |
| Fin del ciclo de vida | Cuando el producto y/o sus residuos y desechos son recogidos por la empresa responsable de su gestión. | Cuando el producto retorna a la naturaleza o reincorporado al ciclo de vida de otro producto. |

La unidad funcional que se utilizó en la modelación de la línea base y en los distintos escenarios considerados fue un lavado de ropa promedio en Chile. Esto considera el uso de una lavadora de carga superior, considerada como poco eficiente ante su alternativa, la lavadora de carga frontal. Los parámetros considerados durante el lavado se basan en el comportamiento de la gran mayoría de chilenos y los consumos de agua y energéticos de una lavadora tradicional de carga superior. Estos valores se

especifican en el apartado “Uso” del Anexo 6: Metodología de Cálculo. Se consideraron los parámetros de agua y electricidad necesarios para una carga grande de ropa. El uso de esta unidad funcional significa que las entradas y salidas de la etapa de uso no sufren ninguna modificación en los distintos escenarios analizados.

El flujo de referencia, a partir de la unidad funcional, es la dosis de producto recomendada para un lavado tradicional (sin tratamientos previos), la cual se utiliza como referencia para el análisis y comparación de las distintas etapas del ciclo de vida. Esto significa que las etapas son modeladas para que el resultado de su impacto signifique la huella generada para la realización de un lavado de ropa, considerando la producción de detergente necesaria para esto.

El estudio abarca el ciclo de vida actual de los detergentes en polvo y líquido de la empresa Envatec, análisis de alternativas de mitigación con enfoque de ciclo de vida, y las respectivas variaciones del ACV por la implementación de estas medidas. Además se analiza el ciclo de vida del producto en polvo de la empresa Unilever. Para todos los análisis se considera la misma unidad funcional: el lavado de una carga de ropa, sin embargo el flujo de referencia varía según la alternativa analizada.

Se realizó un intento por capturar todos los flujos en cada etapa del ciclo de vida, sin embargo, pequeños flujos fueron estimados u omitidos cuando la data no estaba disponible. Para la elaboración de una tonelada de detergente, cantidades menores a 100 gramos, o su símil en otras unidades, no fueron consideradas dentro de los cálculos. Se considera que estos flujos, al ser comparativamente tan bajos y no significar uno de los *hotspots* planteados, no deberían afectar los resultados.

Del total de la masa del producto, se modeló más del 95% de sus componentes, lo que supone una cantidad suficiente para considerar los resultados del análisis como significativos. Todos los procesos relevantes que intervienen de alguna forma en la transformación del producto, desde la elaboración de sus materias primas, hasta el fin de su ciclo de vida, fueron considerados.

Para aquellos procesos que se dividían en distintos tipos, como producción de distintos formatos de producto o diferentes materiales de empaque, se utilizó un promedio ponderado según volumen de producción o participación de mercado.

4.1.1 Base de datos y requisitos de calidad de la data

Los primeros avances en Envatec fueron realizados por parte del área Energía y Cambio Climático de Fundación Chile en el contexto del PDP de Walmart durante el 2012. Se realizaron visitas a la planta, donde se conocieron los procesos productivos del detergente en polvo y se completó el inventario de ciclo de vida del mismo, trabajo en el cual también participó la alumna Nicole Seiffert.

Posteriormente se entregó una serie de recomendaciones en base a lo observado en términos sociales, energéticos y ambientales. También se modeló la información de ciclo de vida “de la cuna a la puerta” del producto en polvo (desde la elaboración de materias primas hasta que el producto sale de la planta) a través del software Simapro, con lo cual se obtuvo información respecto al impacto ambiental generado durante su producción. Esta data fue posteriormente actualizada, realizando además una recolección de información más detallada.

Toda la data entregada por Envatec corresponde a valores obtenidos durante el año 2012. En el caso de Unilever, la información fue completamente recolectada para el presente trabajo, y considera la data productiva actualmente utilizada en la empresa. Estos datos fueron ingresados en SimaPro como las entradas y salidas de materiales y energía de cada proceso unitario considerado.

Para mayor detalle sobre los alcances y metodologías de cálculo considerados, remítase al Anexo 6: Metodología de Cálculo.

4.2 Análisis de Inventario

El métodos de cálculo para reportar los resultados del inventario sigue las recomendaciones del TSC, usando como principal método de evaluación ReCiPe Midpoint (H) version 1.05 with USEtox Recommended V1.01 for toxicity characterisation. Éste método es una de las alternativas de presentación de resultados que entrega Simapro, y a través de éste se pueden analizar las categorías de impacto de interés.

4.3 Análisis del impacto de ciclo de vida

Las categorías de impacto ambiental que se consideran para el análisis son Cambio Climático (kg CO₂ eq), Agotamiento de la Capa de Ozono (kg CFC-11 eq), Esmog Fotoquímico (kg NMVOC), Formación de Material Particulado (kg PM₁₀ eq), Radiación Ionizante (kg U235 eq), Acidificación Terrestre (kg SO₂ eq), Eutrofización de agua fresca (kg P eq), Eutrofización marina (kg N eq), Toxicidad humana cancerígena (CTUh), Toxicidad Humana no cancerígena (CTUh), Ecotoxicidad (CTUe), Uso de suelo agrícola (m²a), Uso de suelo urbano (m²a), Transformación de suelo natural (m²), Agotamiento hídrico (m³), Agotamiento de recursos minerales (kg Fe eq) y Agotamiento de recursos fósiles (kg oil eq).

Eutrofización y los indicadores de toxicidad representan una preocupación clave por parte de la sociedad hacia los detergentes, por lo que su inclusión es de suma importancia. Las categorías relacionadas a transformación de suelo fueron

consideradas debido a que existen algunas materias primas de origen agrícola que pueden resultar importantes en estos indicadores.

El resto de las categorías son un conjunto de indicadores comúnmente usados para productos, y están justificados por la data de inventario del presente estudio.

Los resultados del análisis de la cuna a la tumba (caracterización) se muestran en Anexo 10: Resultados modelación de detergente en polvo Envatec, Anexo 11: Resultados modelación de detergente líquido Envatec y Anexo 13: Resultados modelación de detergente en polvo Unilever.

4.4 Interpretación de resultados

A continuación se exponen los resultados de la modelación del inventario de análisis de ciclo de vida, analizando en profundidad las etapas que conllevan el mayor impacto ambiental. Aquellos resultados que son expresados como porcentajes de impactos totales, son calculados a partir de los ecopuntos que la modelación arroja.

Los resultados son presentados en forma desagregada por cada empresa y formato de producto. Con el fin de contextualizar, se inicia con una pequeña descripción de cada empresa.

Los procesos modelados con sus elementos y respectivas unidades se muestran en anexos. No se detallan las cantidades ya que es información altamente confidencial.

4.4.1 Envatec

La empresa se encuentra representada por dos razones sociales, Envatec, cuya responsabilidad es el envasado de detergentes, y Ecotec, responsable de la contratación del personal administrativo [43].

Con la ayuda de 140 trabajadores esta empresa produce y envasa productos de cuidado del hogar tales como lavalozas, detergente líquido, detergente en polvo y ablandador (coadyuvante), entre otros.

Actualmente la planta cuenta con dos certificaciones, ISO 14001 e ISO 9001. Los detergentes que en la planta se producen, además, están libres de fosfatos.

Diariamente se producen 15 toneladas de polvo y 4 de líquido. Los procedimientos de manufactura se realizan sin el requerimiento de temperatura adicional, y consisten principalmente en distintas etapas de mezclado, y granulado y tamizado

para el producto en polvo. Los procesos detallados de producción se pueden encontrar en el ítem “Producción” del Anexo 6: Metodología de Cálculo.

Los resultados del ACV muestran un comportamiento distinto al obtenido en los ACV recopilados como información secundaria. La principal diferencia reside en la data utilizada, ya que en el resto de los estudios se contabilizó que el agua era calentada para el lavado, muchas veces a altas temperaturas, mientras que los estudios chilenos muestran que se utiliza agua fría. Esto genera diferencias importantes, puesto que los impactos ambientales van estrechamente relacionados con el consumo energético, el cual disminuye considerablemente al utilizar agua fría.

Adicional al análisis de los escenarios actuales, con un enfoque en los puntos críticos obtenidos en la modelación, se intentaron buscar alternativas factibles que los productores pudiesen implementar para mitigar el impacto del producto. Los *hotspots* y resultados de sus modelaciones se muestran a continuación del análisis del escenario real, los cuales están separados por tipo de producto y etapa. Se concluye, sin embargo, con comentarios respecto a etapas en las que ambos formatos comparten características, como son los procesos productivos y su uso.

4.4.1.1 Detergente en Polvo

La etapa que es significativamente más relevante en cuanto impacto ambiental es el fin de ciclo de vida, reflejando alrededor de un 82% de la huella total. Esto se debe a que el componente NPE utilizado en la formulación conlleva un 80,4% del impacto total debido a su alta ecotoxicidad.

Las etapas que le siguen son producción y transporte de materias primas, con un 8,6%, y uso por parte del consumidor, que representa el 8,2%.

Las categorías de impacto que destacan como más altas son ecotoxicidad, cambio climático y agotamiento hídrico, representando del impacto total un 80,4%, 4,9% y 4,3% respectivamente. Específicamente las etapas que conllevan el mayor aporte para estos resultados son: fin del ciclo de vida para ecotoxicidad, producción y transporte de materias primas para cambio climático, y etapa de uso en agotamiento hídrico.

El consumo hídrico de todo el ciclo de vida para un lavado de ropa equivale a 135,57 litros de agua. Solo los procesos en fábrica, considerando el agua requerida en la formulación, consume 95,58 litros de agua por tonelada de producto. En un día de producción, donde se elaboran alrededor de 20 toneladas de detergente, se consumen 224,3 metros cúbicos de agua en la producción en fábrica, considerando la carga asociada a las materias primas utilizadas con este fin. Dentro de los procesos contenidos por la etapa producción, la elaboración de los estuches de empaque primario es la que tiene asociado el mayor consumo de agua. Entre los químicos para

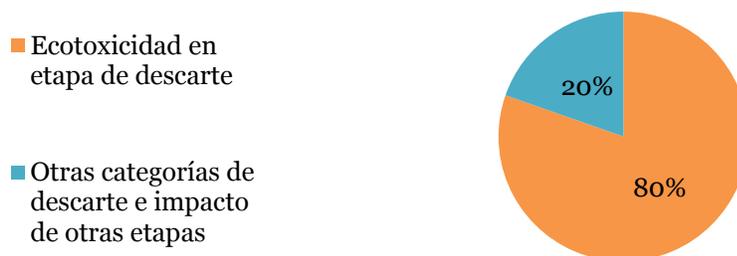
la formulación, el silicato de sodio, carbonato de sodio y la zeolita, requieren cada uno entre el 17% y 25% del consumo total de agua para la elaboración de materias primas.

La huella de carbono de un lavado de ropa es de 0,41 kg de CO₂ eq. En un día de producción, la fábrica de detergente libera 392,9 kg de CO₂ eq, considerando solo la energía para procesarlo y no la carga asociada a las materias primas utilizadas. Por otro lado, si se aísla la producción y transporte de materias primas, estas emiten 22.131,43 kg de CO₂ equivalente por tonelada de detergente.

Elaboración y Transporte de Materias Primas

Esta etapa considera la producción y transporte de los químicos utilizados como materia prima para la formulación de detergente. Esta etapa es la que genera el segundo mayor impacto, significando el 8,6% del ciclo de vida total, y el 48% si es que no se considera el fin del ciclo de vida.

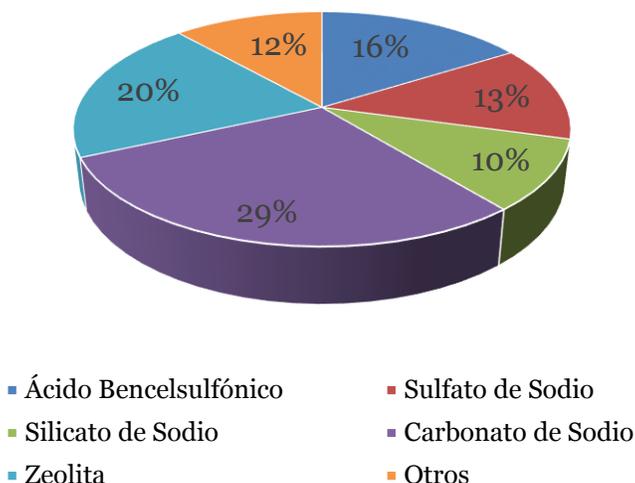
Ilustración 3: Ecotoxicidad de descarte y demás categorías de impacto total del ciclo



Las materias primas que generan el mayor impacto son el Carbonato de Sodio, la Zeolita, el Ácido Bencensulfónico y el Sulfato de Sodio. Cabe destacar que el 67% del impacto del Sulfato de Sodio corresponde a su transporte, ya que proviene de China. La distribución de impacto entre los químicos se muestra en la Ilustración 4.

Las categorías de impacto que ponderan más alto en esta etapa corresponden a cambio climático con un 28,4%, agotamiento de combustibles fósiles, 19,6%, y agotamiento de recursos minerales con 12,8%. Esto se debe al uso de electricidad y gas natural para la producción de los químicos y al transporte de estos, el cual en forma aislada significa un 22,4% del impacto de la etapa y un 2% del total, lo cual es significativo considerando que la mayor parte de la carga ambiental es debido al fin del ciclo de vida, quitando relevancia al resto de los procesos.

Ilustración 4: Distribución de impacto total por materia prima de polvo



Ya que las materias primas son un foco importante tanto en el impacto generado durante su producción y traslado, como en el fin del ciclo de vida a través de las aguas residuales, parte considerable de la investigación se basó en recopilar y modelar alternativas que puedan reemplazar a los químicos con mayor huella ambiental. Los químicos fueron escogidos acorde a la función que estos cumplen en el lavado, buscando alternativas que cumplan los mismos objetivos que los actuales. La lista total de químicos se muestra en el Anexo 5: Clasificación de químicos. Se modelaron las alternativas halladas y se plantean aquellas que tienen la menor carga.

Con respecto a la modelación de las alternativas, solo se alteró el compuesto utilizado, dejando las cantidades y el transporte de éstas intactas. Con esto se busca aislar la mitigación con relación a la producción y desecho de las materias primas, sin incluir otros efectos como cambios en las concentraciones de los químicos o la importación de materias primas desde orígenes más cercanos.

Se modelaron las materias primas que aparecen en el Anexo 5, y, tras presentar las alternativas con menor impacto al gerente de la planta para analizar la factibilidad de implementación, se concluyó que las siguientes alternativas pueden ser utilizadas.

- Secuestrantes: Silicato de Sodio, Carbonato de Sodio y Zeolita

Alternativas:

- Policarboxilato
- Bisilicato de Sodio (SKS-6)
- Ácido Acrílico

Cabe destacar que a pesar de que el Policarboxilato es una muy buena alternativa a la Zeolita, su precio es mayor, por lo que para que se utilice en forma eficiente, la formulación completa debe cambiar, o el precio del producto debe subir.

- Surfactante No Iónico: NPE

Alternativas:

- Éster oxietilénico
- Alcoholes grasos etoxilados (AE)

Entre las alternativas planteadas se escogió la que generaba el menor impacto y se modeló como reemplazo del componente actual. De esta forma para los secuestrantes se consideró Policarboxilato como reemplazo del Silicato y Carbonato de Sodio, y el Bisilicato de Sodio en vez de la Zeolita. Para reemplazar el NPE se utilizó su alternativa natural según distintas fuentes y comentarios de expertos: los alcoholes etoxilados. Particularmente se usó el de origen petroquímico, puesto que es el que genera menor impacto. En forma adicional se reemplazó el abrillantador óptico con base de estilbena utilizado por el DAS-1, ya que a pesar de que no era un componente crítico, sí tenía un impacto considerablemente mayor frente a su alternativa.

Cabe destacar que las alternativas de químicos fueron reemplazadas tanto en la etapa “Materias Primas”, que contiene la carga por la elaboración y transporte de estas, como en la etapa de fin del ciclo de vida. De esta forma se verifica que la alternativa planteada sea globalmente mejor que la original.

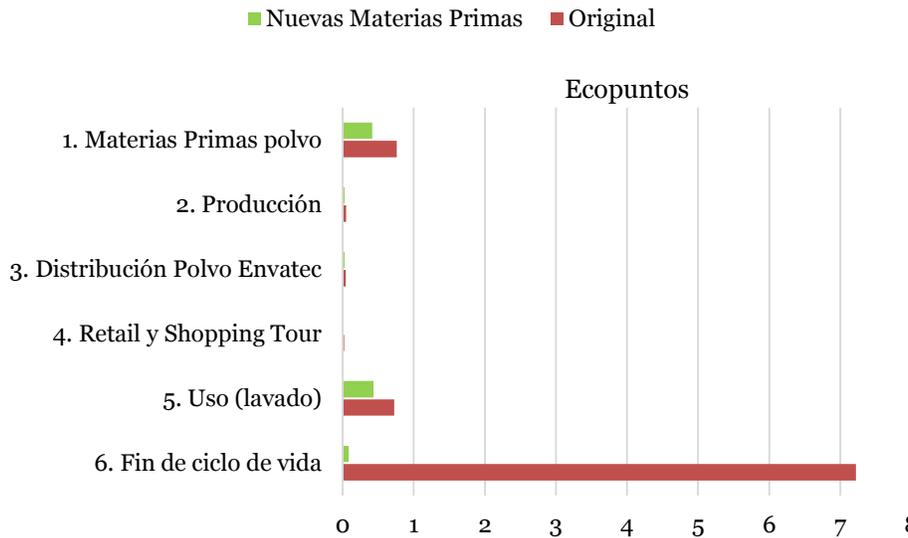
Debido a que el impacto en el descarte del NPE es tan significativo dentro del ciclo de vida, los resultados de su modelación se muestran a continuación en forma independiente del resto.

Al reemplazar el NPE por Alcohol Etoxilado de origen petroquímico, el impacto total del ciclo de vida se redujo en un 80%, esto principalmente porque el impacto en la categoría ecotoxicidad, la cual tenía la mayor carga, se redujo en un 99,98%.

Cambiando esta materia prima, la distribución de carga ambiental por cada etapa del ciclo de vida cambia considerablemente. La etapa de fin del ciclo de vida pasa de representar el 82% a solo un 8%. Con este cambio las etapas de mayor impacto son las de materias primas, con un 43,8%, y uso, 42,8%. La elaboración y transporte de materias primas tiene asociado un alto impacto en las categorías cambio climático y agotamiento de recursos fósiles y minerales, mientras que en el uso, a pesar de tener impactos considerables en estas categorías, destaca en el agotamiento hídrico. Estas 4 categorías coinciden con tener el mayor puntaje en ecopuntos en este nuevo escenario de ciclo de vida.

Al considerar además las otras alternativas en materias primas de polvo, la reducción del ciclo de vida completo aumenta en un 1%. Particularmente la etapa materias primas reduce su impacto en un 8% y la de fin del ciclo de vida un 98%, como se observa en la Ilustración 5.

Ilustración 5: Reducción por reemplazo de materias primas polvo por etapa



Las categorías de impacto que sufren una mayor reducción son ecotoxicidad, toxicidad humana, eutrofización marina, agotamiento de la capa de ozono y formación de material particulado, reduciéndose en 99,98%, 42,6%, 27,7%, 15% y 10% respectivamente. Esto se puede observar en la Tabla 3, en la que además se aprecia que en agotamiento de recursos fósiles y radiación ionizante existe un aumento. Este efecto, sin embargo, se ve compensado por el resto, siendo el resultado total positivo.

Producción

La etapa productiva considera 3 subprocesos: procesos productivos, que considera la fabricación de producto en relación a su mezcla, tamizado y granulado; empaque; y servicios a la producción que representa el consumo de GLP y electricidad en iluminación.

El mayor impacto en este proceso proviene del proceso de envasado, representando el 85% del total. Este proceso tiene un aporte significativo en las categorías de cambio climático y agotamiento de combustibles fósiles, las cuales consecuentemente son las que tienen los mayores valores en ecopuntos de la etapa. Ambas categorías están relacionadas a la electricidad y gas natural utilizados para la fabricación de los estuches de cartulina para el empaque primario, y el cartón corrugado para el empaque secundario. Adicional a este consumo, el transporte de

del empaque, aunque en menor medida, también influye en la generación de CO₂ y consumo de combustibles fósiles. Estos factores conducen a que la producción y transporte de estos materiales represente el 48,2% y 25,7% respectivamente del impacto total de la formulación o etapa de producción del detergente en polvo de Envatec. Esto significa que luego de la elección de materias primas, el siguiente *hotspot* para la empresa son los materiales de empaque de origen de cartón. Estos valores se exponen en la Ilustración 6.

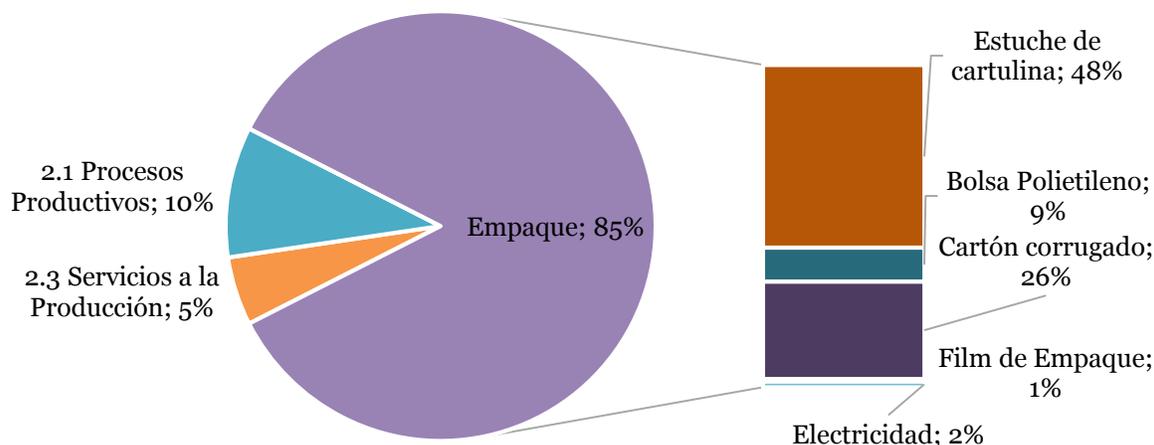
Tabla 3: Variación en categorías de impacto por reemplazo de materias primas

| Categoría de impacto | Unidad | Variación |
|--|------------------------|------------------|
| Cambio Climático | kg CO ₂ eq | -2% |
| Agotamiento Capa de Ozono | kg CFC-11 eq | -15% |
| Esmog Fotoquímico | kg NMVOC | -3% |
| Formación de material particulado | kg PM ₁₀ eq | -10% |
| Radiación Ionizante | kg U ₂₃₅ eq | 32% |
| Acidificación Terrestre | kg SO ₂ eq | -7% |
| Eutrofización de agua fresca | kg P eq | -7% |
| Eutrofización marina | kg N eq | -27,7% |
| Toxicidad humana cancerígena | CTUh | -29,8% |
| Toxicidad humana no cancerígena | CTUh | -12,8% |
| Ecotoxicidad | CTUe | -99,98% |
| Uso de suelo agrícola | m ² a | -3,9% |
| Uso de suelo urbano | m ² a | -6% |
| Transformación de suelo natural | m ² | -10% |
| Agotamiento Hídrico | m ³ | -1% |
| Agotamiento de recursos minerales | kg Fe eq | -10% |
| Agotamiento de recursos fósiles | kg oil eq | 11% |

A pesar de que los procesos productivos no son críticos dentro de la etapa de producción, se exponen sus resultados en la Ilustración 7 con la finalidad de que la empresa pueda saber cuáles son los procesos que consumen mayor energía, para que así pueda intervenir buscando mejorar su eficiencia energética.

Considerando que los materiales de empaque son un punto crítico en la etapa y en el ciclo de vida completo, se analizó en forma comparativa las alternativas de empaque en las que se presenta actualmente el producto en polvo, el cual se vende en bolsas de polietileno y estuches de cartón.

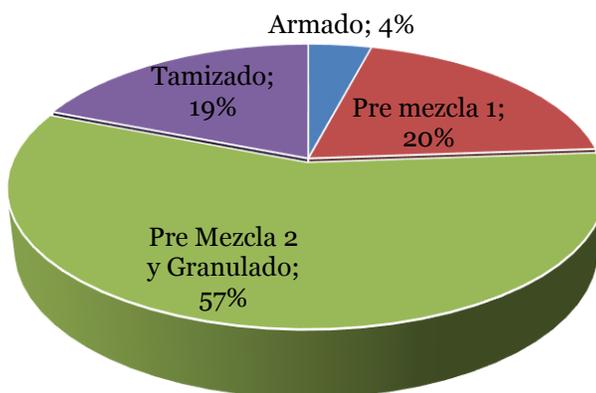
Ilustración 6: Distribución de impactos en procesamiento polvo



Para comparar las dos alternativas de empaque, con el objetivo de verificar cual tiene un menor impacto asociado, se modificaron los valores de manera que toda la producción sea empaquetada en bolsa o estuche manteniendo los distintos tipos de formato por gramaje según alternativa.

Se compararon las etapas envasado y fin del ciclo de vida, que son las únicas que se alterarían con el cambio. Los resultados arrojaron que el formato bolsa es significativamente mejor en cuanto a su elaboración, reflejado en la etapa envasado. En el descarte, en cambio, ambos materiales tienen asociado un impacto similar.

Ilustración 7: Distribución de impacto entre procesos productivos



Analizando y modelando el consumo de material de empaque primario y secundario para los distintos formatos de gramaje en estuches, se concluyó que la alternativa

menos dañina es el formato de un 1kg. En general, los formatos de mayor gramaje tienen un menor peso de material de empaque por cantidad de producto, lo que lógicamente conlleva un menor impacto. Hay que vigilar, sin embargo, que la mayor cantidad de producto envasado no signifique un aumento significativo en el grosor del empaque.

Al comparar el formato de 1 kg con la bolsa de polietileno, esta última sigue manteniéndose superior.

Otra alternativa es reducir la cantidad de empaque por formato. En Envatec ya habían hecho un cambio en el empaque de algunos productos: aquellos estuches de 1 kg que pesaban 43 gr, pasaron a pesar 40, las cajas de 390, 294, y las que pesaban 407, 390. Las reducciones fueron de: 11, 8 y 4% respectivamente.

Se realizó un análisis de una reducción de un 10% del gramaje por unidad, tanto de estuches de cartulina como de cartón corrugado para las cajas empaquetadoras. El resultado es que el promedio ponderado de cartulina cambia de 48,48 a 43,63 gramos por estuche, y de 29,08 a 25,87 por kilo en las cajas del empaque secundario. Al modelarlo no arrojó resultados significativos en el ciclo de vida total, sin embargo genera una reducción de un 9% para la etapa de envasado, lo que significa una reducción de un 4% en la etapa producción total.

Al comparar el empaque en bolsas de polietileno con el modo de empaque actual pero con una reducción de 10% en cartones y estuches, la modelación arroja que la primera alternativa sigue siendo mejor.

Los beneficios que otorga el uso de la bolsa se deben por un lado a que el gramaje de esta, en comparación con los estuches, es considerablemente menor. Por otro lado la electricidad utilizada para la elaboración de la cartulina de los estuches es considerablemente mayor que la necesaria para las bolsas, por lo que su aporte en cambio climático es menor.

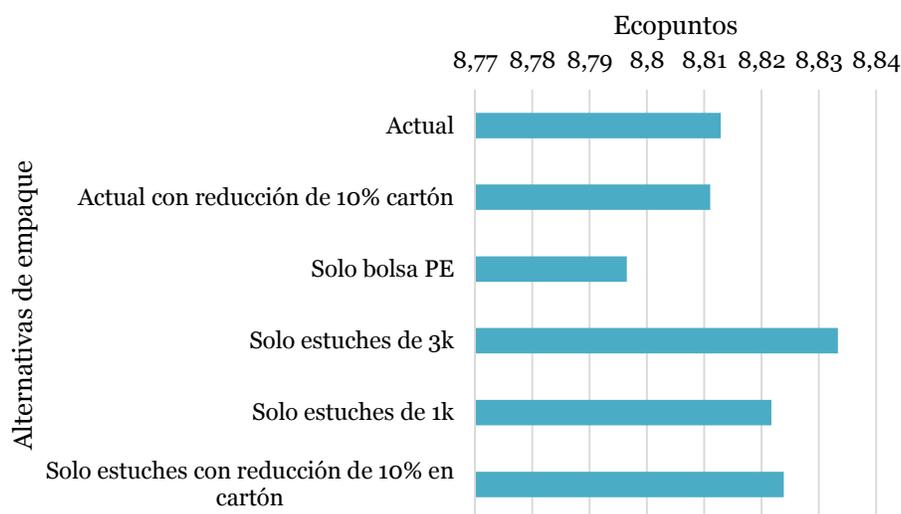
Considerando que el uso de distintos formatos de presentación de producto puede ser importante para el consumidor, y que la bolsa puede presentar problemas por falta de comodidad, se supone poco factible envasar todo el producto en este formato. Es por esto que se plantea una reutilización de empaque, utilizando la bolsa como formato de relleno. Una alternativa a la bolsa, es la de utilización de envases retornables comprando detergente al detalle. Esta es una opción concebida por los creadores del emprendimiento “Algramo”, quienes ofrecen un sistema de dosificación con el uso de máquinas dispensadoras en almacenes de barrio.

En el caso probable que se siga utilizando estuches de cartón a modo de empaque, es importante es que se optimice el uso de estos. Dado que la densidad del producto cambia entre cada lote, el empaque puede quedar con un espacio ocioso considerable. Por lo mismo se plantea analizar el máximo de volumen utilizado, a

partir de las densidades más bajas obtenidas por el área de control de calidad, y a partir de estos resultados diseñar un empaque a la medida.

En la Ilustración 8 se exponen los cambios en el impacto del ciclo total al considerar las distintas alternativas de empaque analizadas. Tal como se ha mencionado, la mejor alternativa es el uso de bolsa de polietileno, sin embargo si se desea mantener las alternativas de formato, es recomendable disminuir el uso de cartón, siendo éste escenario la segunda mejor alternativa.

Ilustración 8: Cambios en impacto total por alternativas de empaque



Históricamente los ACV de detergentes de lavado realizados alrededor del mundo muestran que concentrar el producto, reduciendo su dosificación, genera importantes beneficios ambientales a lo largo del ciclo de vida. Particularmente, la dosis recomendada para los productos de Envatec es comparativamente más alta que la de otros productos utilizados en otros países, prueba de lo poco compactos que son [4], [15], [24], [25].

Con el fin de analizar la sensibilidad en el impacto total ante cambios en la concentración y su correspondiente dosificación, se consideran dos escenarios: concentrando el producto en 2/3 del original, y en 1/3, quedando 3 veces más compacto. Para lograr un producto más concentrado se debe modificar la formulación, por lo que se consultó con expertos que recomendaron aumentar los componentes activos en la misma medida que la concentración total, reduciendo en una cantidad igual la dosis de Sulfato de Sodio utilizado.

Para modelar el ciclo de vida con productos más concentrados se cambió, además de la formulación, la dosis a utilizar en el lavado. Consecuente con la formulación y dosis, se modificó la cantidad de químicos descartados.

En el caso del producto un tercio más concentrado, la dosis varió de 200 grs. a 133 grs. Estos cambios causan una variación de un 2% menos de impacto en el ciclo de vida total.

Realizar cambios en la concentración del producto refleja beneficios en distintos puntos del ciclo de vida: al necesitar menor cantidad de materias primas para lavar la misma cantidad de ropa, se reduce el impacto en la etapa de elaboración y transporte de estas; como la dosis es menor, en el mismo volumen de producto se pueden aprovechar más lavados, lo que significa una reducción relativa en empaque, transporte y energía durante la producción; finalmente al utilizar menos químicos para la formulación y uso, la cantidad de químicos descartados también se reduce. Estos cambios se reflejan en la huella de carbono (cambio climático), en la eutrofización y exotoxicidad de las aguas, en una reducción de toxicidad humana, y causando un menor impacto en el uso y transformación de suelo, el cual está relacionado con el material de empaque y la elaboración de algunas materias primas.

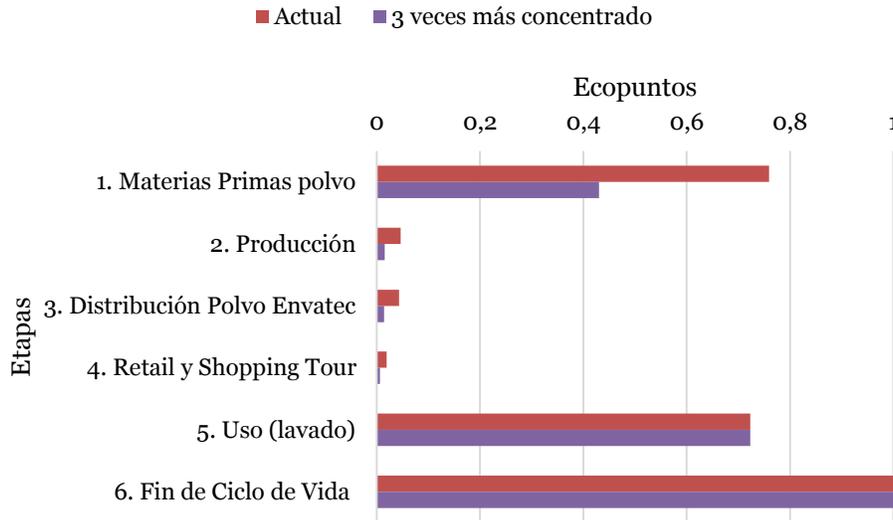
Al concentrar el producto al triple, siendo la nueva dosis 67 grs. por lavado, la reducción del ciclo total aumenta a 5%. Esta reducción puede considerarse no relevante, pero se debe a que no existió reducción en el fin del ciclo de vida, que es la etapa más significativa del ciclo. Esto es porque a pesar de que la cantidad de químicos por lavado es menor, la cantidad de activo, entre ellos NPE, no cambia, puesto que es la cantidad necesaria para cumplir con la calidad del lavado. El producto se concentra, reduciendo su dosis, porque se disminuye la cantidad de material inerte, o poco relevante dentro de la formulación.

En las otras etapas, sin embargo, existió una reducción significativa, como lo muestra la Ilustración 9.

Uso

Esta etapa genera el 8,2% del ciclo total del producto, y el 45% si no se considera el fin del ciclo de vida. Tradicionalmente, en los ACV de detergentes de lavado textil, esta es la etapa que significativamente conlleva el mayor impacto. Esto se debe a que para una pequeña dosis de producto, se debe consumir comparativamente una gran cantidad de agua y energía para poder calentarla. En Chile sin embargo, los lavados se realizan con agua fría, por lo que el impacto se debe al volumen de agua potable que se utiliza en las máquinas lavadoras no eficientes que la mayoría de los chilenos posee.

Ilustración 9: Reducción por etapa de ciclo de vida por producto 3 veces más concentrado (dosis de 67 grs.)



Consecuente a lo planteado en el párrafo anterior, la categoría que destaca en esta etapa es el agotamiento hídrico, el cual representa un 51% del impacto total de la categoría. En relación al ciclo total, el consumo de agua durante el uso equivale al 98% de la huella hídrica total del ciclo. Estos resultados se muestran en la Ilustración 10 e Ilustración 11.

Adicional al agua utilizada, la electricidad necesaria para el funcionamiento de la máquina lavadora significa el 36,8% de la etapa y 3% del impacto total. A pesar de que otros procesos del ciclo de vida consumen una mayor cantidad de energía en forma global, este consumo resulta comparativamente alto debido a la baja cantidad de detergente relacionado. Como la dosis recomendada es el flujo de referencia del análisis, todo consumo queda en forma respectiva relacionado a este.

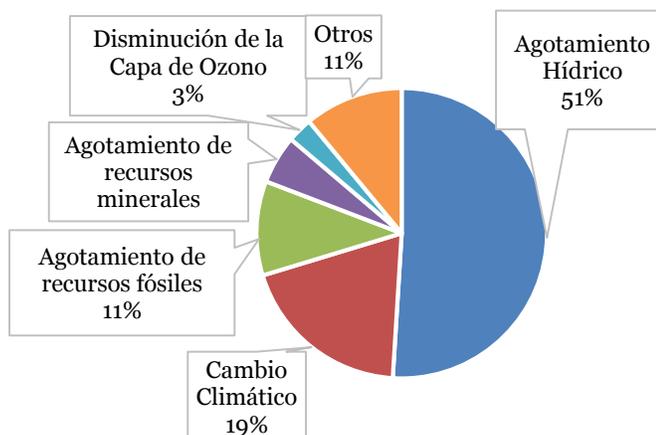
Fin del ciclo de vida

Esta etapa es la más significativa en cuanto a impacto ambiental de todo el ciclo de vida del detergente en polvo producido por Envatec. Esto se debe a que el producto NPE es sumamente tóxico para la flora y fauna acuática, y por lo mismo su descarte tiene asociado un muy alto impacto en la categoría ecotoxicidad, generando que el impacto asociado al descarte de este químico, solo en esta categoría, signifique el 80% del impacto total del ciclo de vida (considerando el total de categorías de impacto). Particularmente, este químico aporta en un 99,97% de la ecotoxicidad del ciclo de vida del producto.

Ilustración 11: Agotamiento hídrico durante ciclo de vida



Ilustración 10: Distribución de categorías en impacto en uso



Resultados agregados de modelación de alternativas para polvo

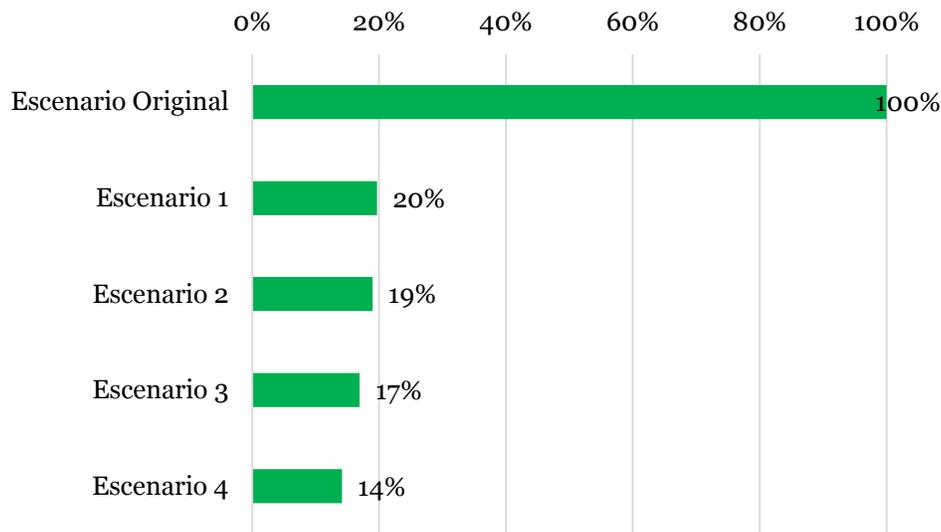
Al modelar las alternativas de materias primas, reducción en empaque y una concentración 3 veces mayor, se obtiene una reducción total del ciclo de vida de un 86%. La mayor brecha proviene del cambio en el químico NPE, seguido por la concentración del producto y finalmente la reducción del empaque. Estos resultados se pueden observar en la Ilustración 12, la cual muestra el porcentaje remanente del impacto del ciclo de vida original, tras realizar las alteraciones propuestas.

Los escenarios que se consideran en las ilustraciones son los siguientes:

Tabla 4: Descripción de escenarios de mitigación de polvo

| Escenario | Descripción |
|---------------------------|---|
| Escenario Original | Impacto actual del detergente en polvo de Envatec |
| Escenario 1 | Reemplazo de NPE por Alcohol Etoilado |
| Escenario 2 | Reemplazo de materias primas con mayores impacto por nuevas alternativas, considerando el cambio de NPE |
| Escenario 3 | Escenario 2 además concentrando el producto a 2/3, llegando a una dosis de 133 grs. por lavado |
| Escenario 4 | Escenario 2 concentrando el producto a 1/3 del original, llegando a una dosis de 67 grs. |

Ilustración 12: Comparación del impacto total por medidas de abatimiento en polvo



En particular la reducción por cada etapa del ciclo de vida fue de un 98% en fin del ciclo de vida, 68% en producción, 66% en distribución y retail y compra, y 54% en materias primas.

La distribución de impactos entre las etapas de ciclo de vida cambió a una forma más tradicional acorde a otros ACV de detergentes. La etapa de uso significa el mayor impacto ambiental, teniendo el 58% del impacto total asociado. Le sigue la de materias primas con el 27,8%, fin del ciclo de vida con 11,3%, y luego la producción, distribución, y retail y compra con valores menores al 1,2%. En la Ilustración 13 se puede apreciar la nueva distribución y en la Ilustración 14 las reducciones por etapa del ciclo de vida.

Las categorías de impacto más relevantes son las mismas que al cambiar el NPE: agotamiento hídrico, cambio climático y agotamiento de recursos fósiles y minerales. Las etapas que conllevan el mayor impacto, tanto en estas categorías como en el resto, son materias primas y uso. Estos valores se pueden apreciar en la Ilustración 15.

Ilustración 13: Distribución de impactos por etapa de escenario 4 de polvo

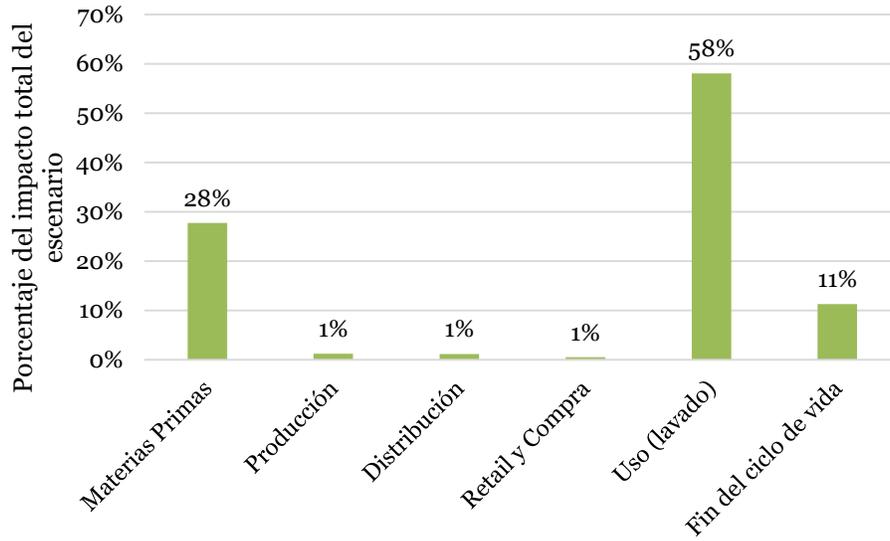


Ilustración 14: Variación tras medidas de escenario 4, respecto a escenario original por etapa

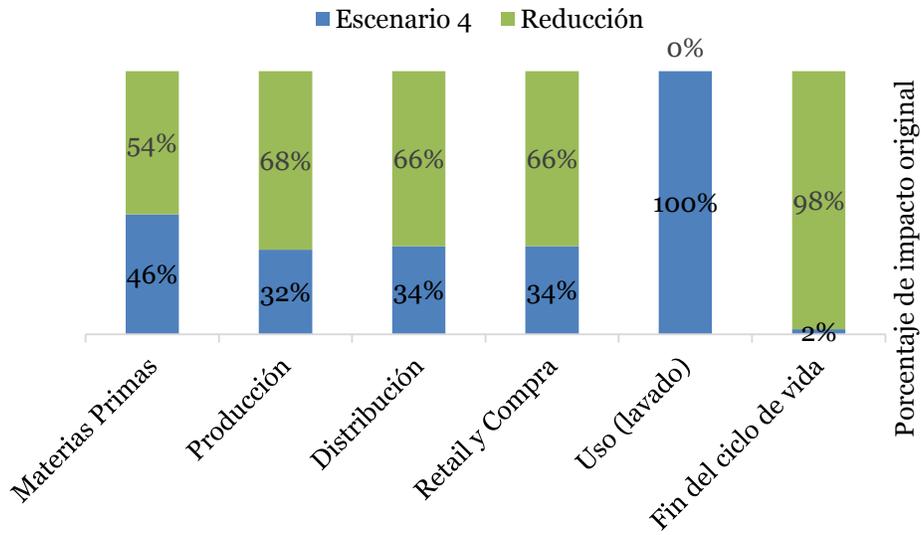
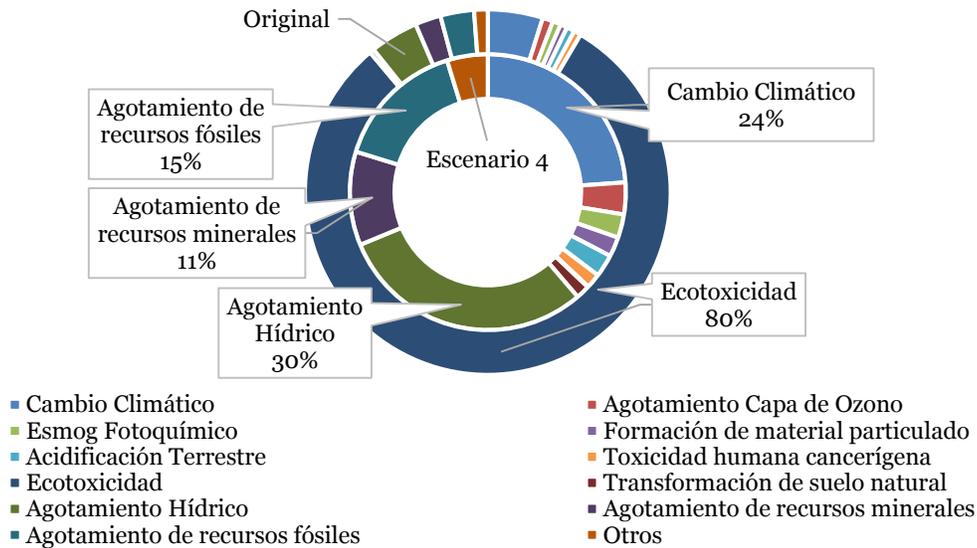


Ilustración 15: Comparación de distribución de categorías de impacto entre escenario 4 y original



En la Ilustración 16 se pueden observar las reducciones finales por categoría de impacto.

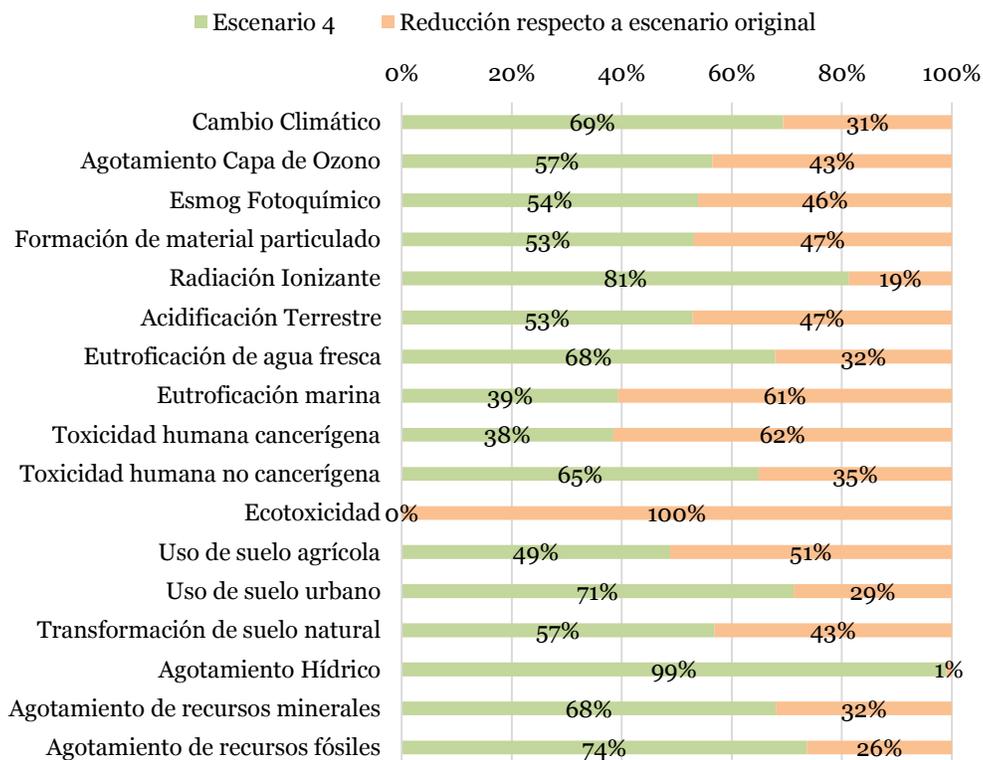
4.4.1.2 Detergente Líquido

Al igual que en el caso del producto en polvo, también se usa NPE dentro de su formulación, por lo que la etapa que tiene asociado el mayor impacto es el descarte del agua de lavado. Sin embargo, la versión líquida contiene una mayor cantidad de este químico, por lo que la carga en esta etapa es aún mayor, significando un 95,1% del impacto el ciclo total. La ecotoxicidad solo en esta etapa, representa el 94,2% del impacto total del ciclo, y es causada casi en su totalidad por el NPE.

Las etapas que le siguen son el uso con el 2,5% y la elaboración y traslado de las materias primas, con un 2% de la carga total del ciclo. Estas etapas provocan que el puntaje en ecopuntos sea alto en cambio climático, agotamiento hídrico y agotamiento de recursos fósiles. Esto es debido al consumo eléctrico y de gas durante la elaboración de las materias primas, y de agua y electricidad durante el lavado. A diferencia del detergente en polvo, las materias primas utilizadas para esta formulación causan un elevado costo en transformación de suelo natural. Este fenómeno es causado principalmente por el uso de aceite de coco.

La Ilustración 17 muestra la distribución del impacto total por etapa del ciclo de vida. La Ilustración 18 expone las categorías de impacto más relevantes en el ciclo de vida del detergente líquido.

Ilustración 16: Variación del impacto de escenario 4 respecto al original



A pesar de que la formulación de detergente líquido requiere una cantidad considerablemente mayor de agua que el polvo, su huella hídrica es menor. Esto se puede explicar debido a que la dosis del líquido es menor. Por lo tanto, aun usando una cantidad mayor de agua, esta se divide entre más lavados, puesto que una tonelada de líquido rinde más que una de polvo.

La huella hídrica de todo el ciclo de vida de un lavado con detergente líquido es 134,6 litros. Para elaborar el producto, en la planta se consumen 48,54 litros por tonelada de detergente. Sin embargo, si dentro de la producción se considera el consumo durante la elaboración de las materias primas, el valor aumenta a 8.241,7 litros por tonelada. El mayor consumo de agua de estas etapas está asociado a la elaboración de NPE y de los materiales de empaque.

El detergente líquido tiene una huella de carbono igual a 0,3 kg CO₂ eq por lavado, y 1,96 ton CO₂ eq por tonelada de producto. De esta cantidad, 30,63 kg CO₂ eq corresponden a lo emitido en la planta productora, y 761 a la producción considerando la elaboración de materias primas.

Ilustración 17: Distribución de impacto por etapa de detergente líquido

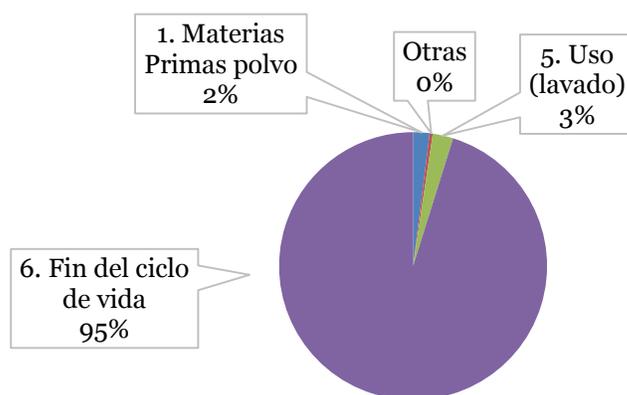
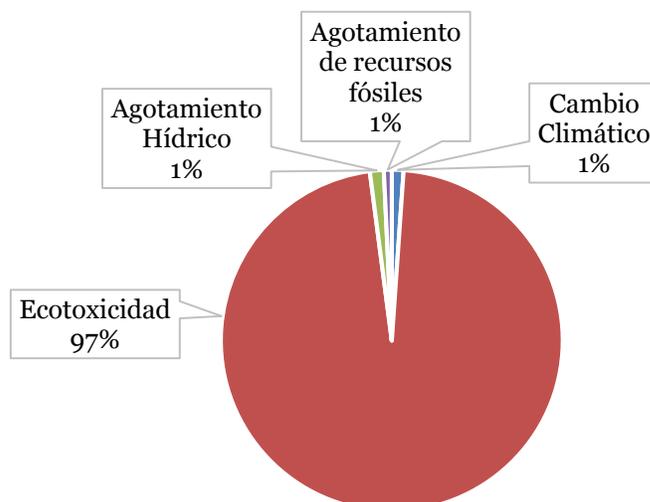


Ilustración 18: Categorías de impacto más relevantes en ciclo total

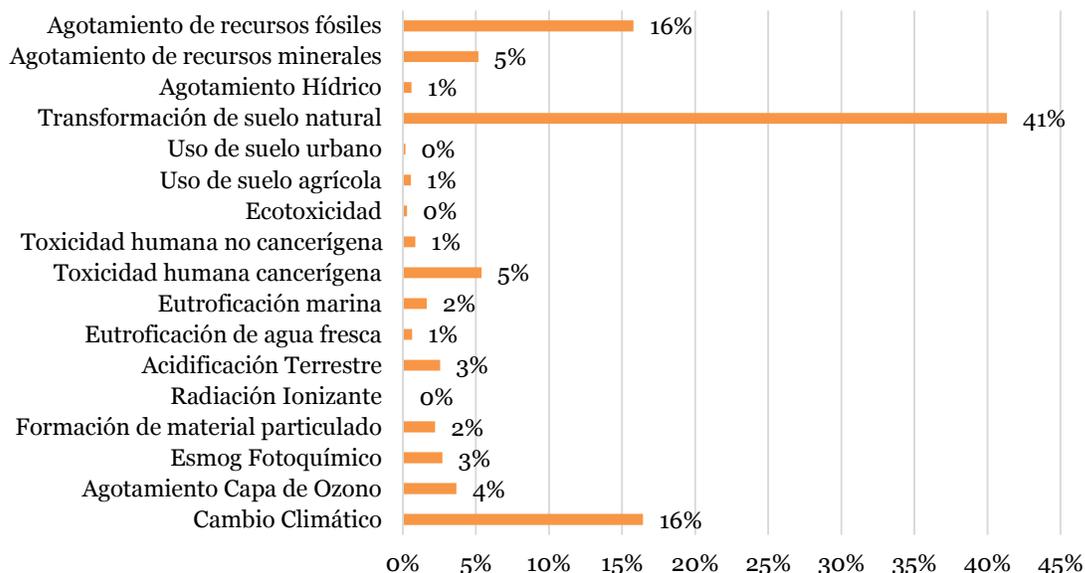


Elaboración y Transporte de Materias Primas

Esta etapa aporta con un 2% al impacto del ciclo total del producto, sin embargo si no se considera el descarte, el cual está sobredimensionado por el uso de NPE, su carga es del 41%.

Las categorías de impacto más relevantes en la elaboración y transporte de los químicos utilizados para la formulación, son transformación de suelo natural, asociado al 41,3% del impacto de la etapa, cambio climático siendo el 16,4%, y agotamiento de recursos fósiles, 15,8%, como se aprecia en la Ilustración 19.

Ilustración 19: Categorías de Impacto en etapa elaboración y transporte de materias primas de líquido



Prácticamente todo el impacto en transformación de suelo natural es debido al uso de aceite de coco, mientras que el impacto en cambio climático y agotamiento de recursos fósiles se debe principalmente al uso de Ácido Dodecil Bencelsulfónico y Urea. Esto se debe a que en la elaboración del primer químico se necesita benceno, y para la Urea, amoniaco, el cual necesita una alta cantidad de gas natural para su elaboración. Además para la misma elaboración de la Urea, se necesita electricidad y gas natural.

Al igual que en el caso del detergente en polvo, se consideraron las materias primas que generan mayor impacto y se plantean alternativas para su reemplazo:

- Secuestrantes: Borax
 - Alternativas:
 - Policarboxilato
 - Bisilicato de Sodio (SKS-6)
 - Ácido Acrílico
- Ácidos Grasos: Aceite de Coco
 - Alternativas:
 - Aceite de Palma
 - Aceite de Soya

Estos ácidos son utilizados para formar jabón. Cualquier aceite, tanto de origen vegetal como animal puede ser utilizado con este fin. El proceso que se realiza es el de extraer los triglicéridos al aceite, quedando el ácido graso.

La alternativa que se plantea es usar aceite de palma o petroquímicos.

- Surfactantes Aniónicos: Ácido Dodecil Bencensulfónico

Alternativas:

- Éster metílicos sulfonados

La relación precio calidad del Ácido Bencensulfónico es difícil de reemplazar. Una alternativa es agregar mayor cantidad de químicos que forman jabón y utilizar otro aniónico de mayor costo.

- Surfactante No Iónico: Nonilfenol Etoxilado

Alternativas:

- Éster oxietilénico
- Alcoholes grasos etoxilados (AE)

A continuación se muestra los resultados al reemplazar los químicos de la formulación por aquellos de menor impacto y factibles de implementar según opinión de los productores.

Al reemplazar el NPE por Alcohol Etoxilado de origen petroquímico, se produjo una reducción total de un 94%. Casi la totalidad de esta reducción fue por disminución prácticamente completa de la exotoxicidad.

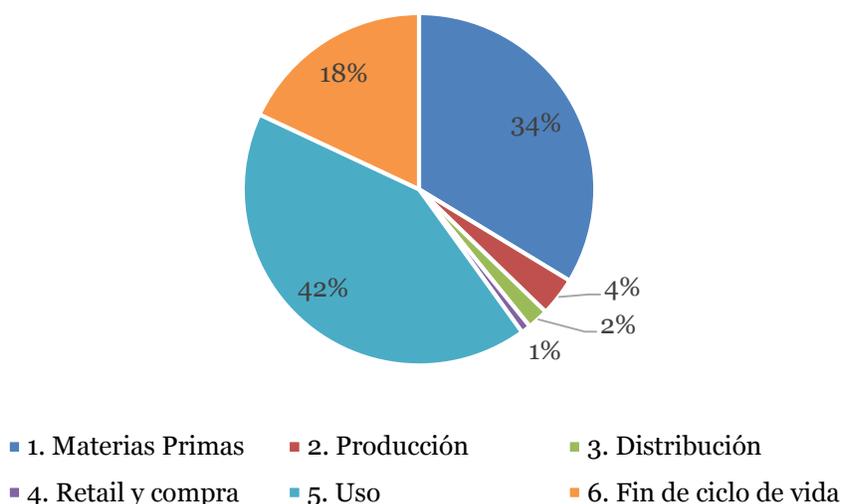
Las etapas que al hacer el cambio conllevan el mayor impacto son el uso, con 42%, la elaboración y transporte de materias primas para la formulación, con 33,7%, y el fin del ciclo de vida, el cual pasó de significar el 95% del impacto total, a un 18%. La nueva distribución de impacto se puede apreciar en la Ilustración 20.

Con la nueva distribución en aportes de impacto, resalta una nueva categoría: toxicidad humana cancerígena. Esta es la categoría en la que resulta más alto el aporte de la etapa de fin de ciclo de vida, al reemplazar el NPE. Este impacto es causado por el uso en la formulación y posterior descarte del químico formaldehído.

El uso de Aceite de Coco resultó ser un *hotspot* en esta etapa, por lo que fue reemplazado por Aceite de Palma. Además se modeló dentro de la formulación el Policarboxilato como reemplazo del Borax y el fluorescente óptico DAS-1 en vez del agente óptico a base de estilbena usado en la formulación actual.

Estos cambios generaron una reducción adicional equivalente a un 1%. El cambio se reflejó principalmente en las categorías de impacto transformación de suelo natural, y uso de suelo agrícola, ambas asociadas al reemplazo del aceite de coco.

Ilustración 20: Distribución de impactos por etapa de líquido al reemplazar NPE



Cabe destacar que no se reemplazó el químico formaldehído debido a que su impacto a través de emisión acuática no es significativa en comparación con la carga de la etapa materias primas. Al considerar todo el ciclo, las alternativas de este químico tenían un mayor puntaje en ecopuntos que el formaldehído. Sin embargo, dentro de este estudio no se consideró el posible impacto a los trabajadores y consumidores que se ven expuestos a este químico a través de su manipulación directa o del detergente.

Procesos Productivos

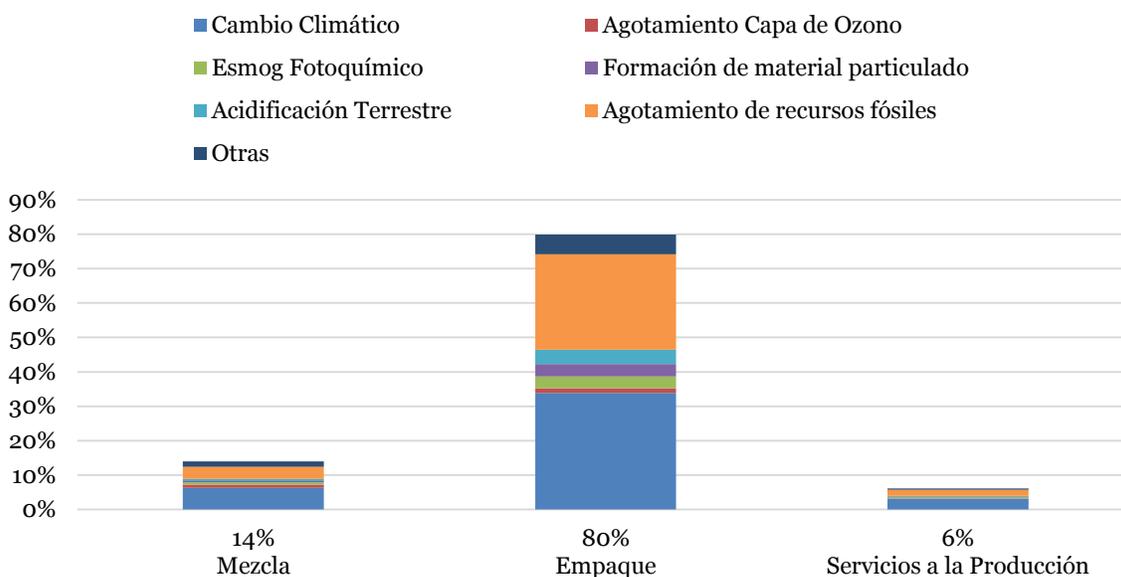
En esta etapa se considera los procesos llevados a cabo en la planta productora de detergente. El proceso que conlleva el mayor impacto, significando el 80% del total de la etapa, es el empaque. Lo sigue el proceso de mezcla, que representa el 14%.

Las categorías de impacto que resaltan en esta etapa son cambio climático, con 43,4% del total, y agotamiento de recursos fósiles, 33%. Los tres procesos nombrados tienen los puntajes de ecopuntos más altos en estas categorías, pero el aporte más significativo proviene del envasado. Esto se debe principalmente al uso de botellas de material PET, las cuales aportan con el 60,2% del cambio climático y 65,1% del agotamiento de recursos fósiles del total de la etapa.

En la Ilustración 21 se puede apreciar la distribución de impactos de la etapa.

Este producto es envasado en Doypacks de polietileno de alta densidad (HDPE) y botellas PET. Se comparó qué alternativa era mejor, considerando una posible reutilización de las botellas por parte de los consumidores en el caso de que el Doypack tuviera un menor impacto ambiental. La modelación arrojó, sin embargo, que la elaboración de Doypack genera un mayor impacto que la elaboración de botellas PET. La diferencia se atribuye a que para la producción de Doypacks se requiere un considerable mayor consumo de gas natural y petróleo crudo, lo que se refleja en una diferencia importante en el agotamiento de recursos fósiles.

Ilustración 21: Distribución de impactos en producción de líquido



Detergentes líquidos de otras marcas están envasado en botellas de HDPE. Se comparó esta alternativa con las botellas PET y la modelación arrojó que la segunda tenía un menor impacto ambiental, aunque la diferencia no era significativa.

Finalmente se investigó sobre el uso de botellas retornables para otros productos, como las gaseosas y cervezas. Estudios revelan que esta alternativa es significativamente mejor frente a las botellas de un solo uso, aun siendo estas elaboradas a partir de PET reciclado [44]–[46].

Al cambiar la botella PET por una botella PET retornable ocurren cambios en la producción, disminuyendo el uso de materias primas y energía para su fabricación; en el transporte de esta, considerando que debe volver desde el usuario hasta la fábrica nuevamente; y en el fin del ciclo de vida de la misma. El impacto se reducirá

en mayor o menor medida dependiendo del número de ciclos de uso que la botella realice. De esta forma, el porcentaje de descarte que tenga significará la necesidad de incorporar nuevas botellas al ciclo. El valor de descarte se calcula como el inverso del número de ciclos que haya tenido en su ciclo de vida [45].

El nivel de uso que determina que la utilización de botellas plásticas retornables conlleve un beneficio ante las descartables cambia según el estudio que se considere. Para estimar el valor a utilizar en este trabajo, se consideraron ocho investigaciones que juntas determinan un rango entre 18 y 100 ciclos de uso necesarios para mejorar la alternativa descartable. El promedio simple de estos valores arroja 44 ciclos de uso y es el nivel utilizado para realizar la comparación frente a la alternativa actual de empaque [45]. Este valor es además consistente con el número aproximado de viajes que realiza una botella retornable de PET en Europa, según un reporte realizado por la Comisión Europea, el cual expone que dependiendo de la fuente varía entre 15 y 56 usos [44].

Utilizando 44 ciclos por botella, se llega a un porcentaje de descarte igual a 2,27%. Esto significa que utilizando botellas retornables, se necesitan 2,27% de botellas nuevas que reemplacen las descartadas para cada ciclo de uso. Para esto se consideró el 2,27% del impacto total que genera la producción de una botella de PET con un peso de 71 grs para cada ciclo de uso [46].

Para considerar el aumento en transporte debido a la recolección de las botellas desde los puntos de acopio hasta la fábrica, se asumió que estos eran dejados en el lugar de compra, en el mismo modo que las botellas retornables de gaseosas o cervezas, y que son trasladadas de la misma forma en que el producto fue distribuido desde la planta. Para esto se consideró la misma distancia recorrida, con el mismo tipo de transporte, pero llevando una carga en toneladas respectiva al peso de las botellas. Se menciona esto porque la unidad que se utiliza para modelar distancias es toneladas por kilómetro recorrido (tkm).

Al modelar estos cambios se logra una reducción de un 46% en la etapa de producción. Este cambio es una consecuencia absoluta del ahorro en materiales de empaque durante el envasado del producto. También existe una reducción en la etapa de fin del ciclo de vida, pero ésta es poco significativa.

Usar botellas retornables provoca una reducción en la etapa de producción de entre 39% y 61% en las categorías cambio climático, smog fotoquímico, formación de material particulado, acidificación terrestre, eutrofización marina y agotamiento de recursos fósiles en la etapa productiva del ciclo de vida. Particularmente en cambio climático se produce un ahorro de 4% de CO₂ equivalente. En la Ilustración 22 se muestra los cambios por categoría de impacto de la etapa. No se consideró la ecotoxicidad debido a que esta no cambia, y dificulta la presentación de las otras categorías.

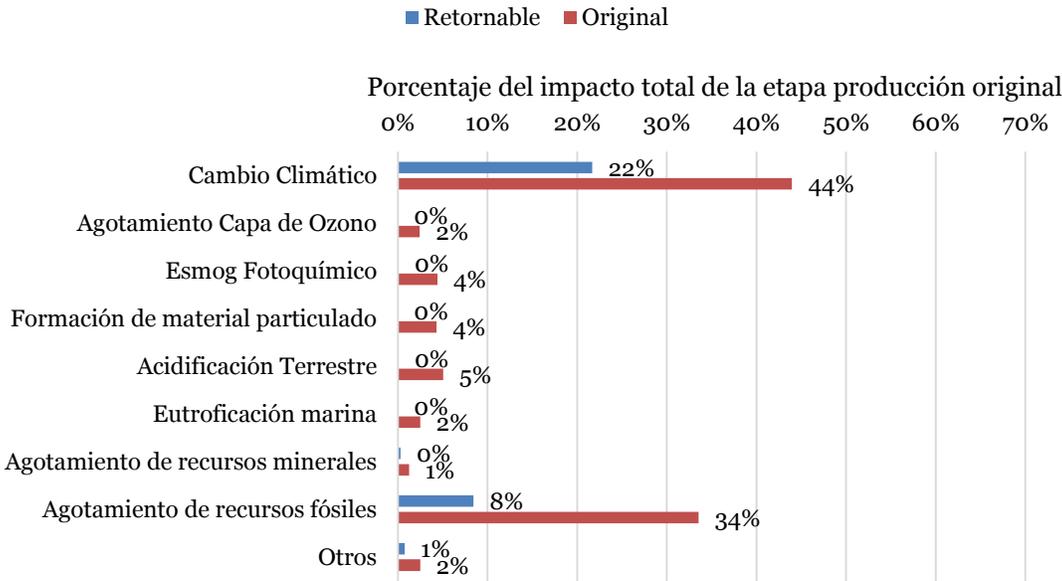
Es importante destacar que la utilización de botellas retornables conllevaría mayores beneficios si es que se diseñara una botella estándar utilizada por todas las empresas de detergentes. Esto permitiría reducir el impacto relacionado a transporte, además de simplificar considerablemente los costos operacionales.

Para la modelación de alternativas de concentración de producto se utilizó la misma metodología que para el formato en polvo.

Para el producto un tercio más concentrado, la dosis varió de 156 grs. a 104 grs. Esto significó una reducción de un 16% en la etapa de materias primas, y un 33% en las etapas producción, distribución, y retail y compra.

Las categorías en las que existe una mayor reducción, entre 47% y 63%, son transformación del suelo natural, toxicidad humana cancerígena y no cancerígena, y ocupación de suelo agrícola.

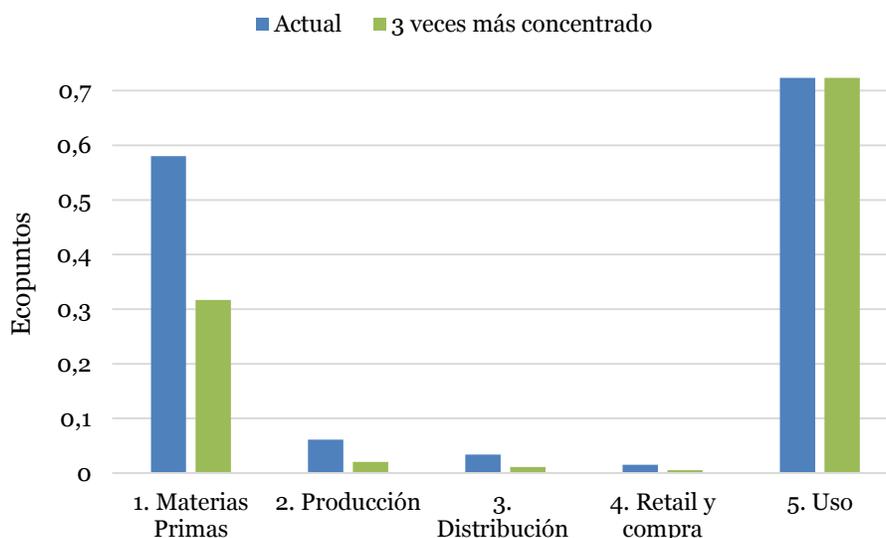
Ilustración 22: Reducción por botella retornable en categorías de impacto de etapa producción



Al concentrar el producto 3 veces según el original, cambiando la dosis a 52 grs, la reducción total es un 1%. Las reducciones por etapa son: 45% en materias primas y 67% en producción, distribución, y retail y compra. El porcentaje en materias primas es menor que en el resto de las etapas, debido a que la formulación del detergente concentrado cambia versus el regular, usando mayor volumen de químicos activos.

Lo que sucede en las otras etapas es que existe un mayor aprovechamiento de las entradas y salidas por proceso, puesto que por la misma cantidad de emisiones, se pueden realizar más lavados. En la Ilustración 23 se muestran las variaciones en ecopuntos por etapa del ciclo de vida. No se graficó el fin del ciclo de vida ni la ecotoxicidad, puesto que no varían en forma significativa.

Ilustración 23: Comparación de detergente actual y 3 veces más concentrado (dosis de 52 grs.) por etapa



Uso

Esta etapa genera el 2,4% del impacto del ciclo total, y un 51% si no se considera el fin del ciclo de vida. A pesar de que se utilizaron los mismos valores que en la etapa de uso del producto en polvo, el aporte relativo de esta etapa en el líquido es mayor. Esto se debe a que la etapa de materias primas utilizadas en el polvo genera un impacto mayor que las del líquido, ya que la etapa de uso en ambos productos tiene el mismo puntaje en ecopuntos. Al considerarse los mismos consumos de agua y energía para el producto líquido y el polvo, esta etapa sigue las mismas características en cuanto a impacto ambiental para ambos formatos.

Fin del ciclo de vida

Al igual que en el producto en polvo, esta etapa es la más significativa en cuanto a impacto ambiental de todo el ciclo de vida del detergente líquido debido al uso de NPE. Debido a que el detergente líquido utiliza una mayor cantidad de químico en su formulación, el impacto de esta etapa para el líquido también es mayor, generando el 95% del impacto total del ciclo. En forma específica, el aporte en

ecotoxicidad de esta etapa significa el 99% de su impacto, generando que el impacto asociado al descarte de este químico, solo en esta categoría, signifique el 94% del impacto total del ciclo de vida (considerando el total de categorías de impacto). Particularmente, este químico aporta en un 99,97% de la ecotoxicidad del ciclo de vida del producto.

Resultados agregados de modelación de alternativas para líquido

Al considerar todas las alternativas planteadas, se logra una reducción total de 96%. Las categorías de impacto en las que existió una mayor reducción, en un rango entre 48% y 99,94%, fueron ecotoxicidad, cambio climático, transformación de suelo natural, uso de suelo agrícola, y toxicidad humana cancerígena y no cancerígena.

La reducción en las etapas fue de un 97% en el fin del ciclo de vida, 76% en producción, 74% en distribución y retail y compra, y 67% en materias primas.

La distribución del aporte de la etapa, al igual que en el polvo, quedó acorde a los estudios internacionales sobre análisis de ciclo de vida de detergentes: la mayor parte del impacto, 60,7%, ocurre durante la etapa de uso. Le sigue la elaboración y transporte de materias primas, con 20,7%, y luego fin del ciclo de vida, asociado al 16,2%. La producción, distribución, energía consumida en retail y compra, no tienen una carga significativa en el ciclo completo, siendo su aporte menor al 1%.

En los siguientes gráficos se muestran los cambios expuestos. Cabe destacar que ilustran las modificaciones con respecto al ciclo de vida completo, y los escenarios que consideran se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5: Descripción de escenarios de mitigación de líquido

| Escenario | Descripción |
|---------------------------|--|
| Escenario Original | Impacto actual del detergente líquido de Envatec |
| Escenario 1 | Reemplazo de NPE por Alcohol Etoxilado |
| Escenario 2 | Escenario 1 pero usando además botellas retornables |
| Escenario 3 | Escenario 2 además concentrando el producto a 2/3, llegando a una dosis de 104 grs. por lavado |
| Escenario 4 | Escenario 2 concentrando el producto a 1/3 del original, llegando a una dosis de 52 grs. |
| Escenario 5 | Escenario 4 utilizando las materias primas propuestas en reemplazo de aquellas con mayor impacto |

Ilustración 24: Porcentaje del impacto original tras medidas de abatimiento de líquido

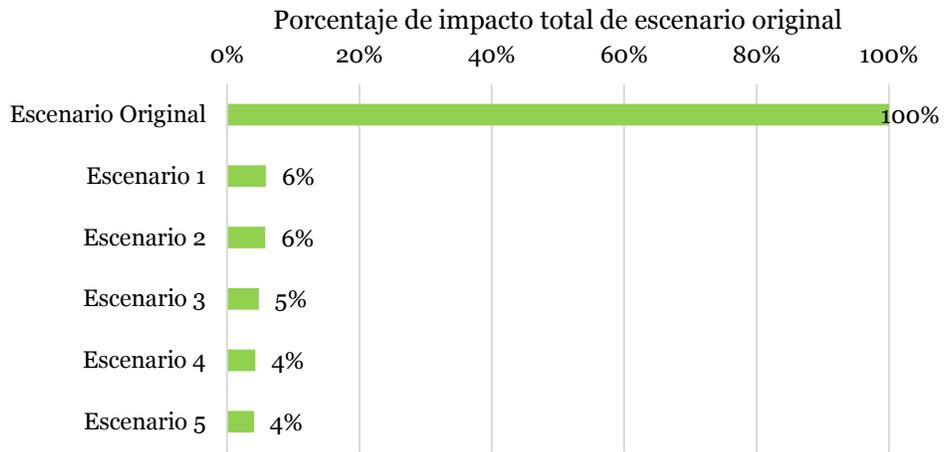


Ilustración 25: Distribución de impactos por etapa de escenario 5 de líquido

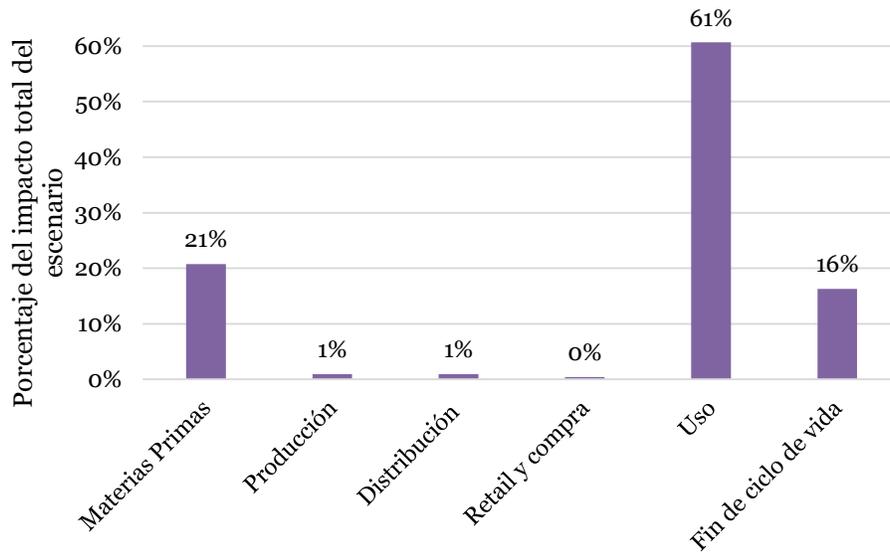


Ilustración 26: Variación de impacto por etapa tras medidas de escenario 5

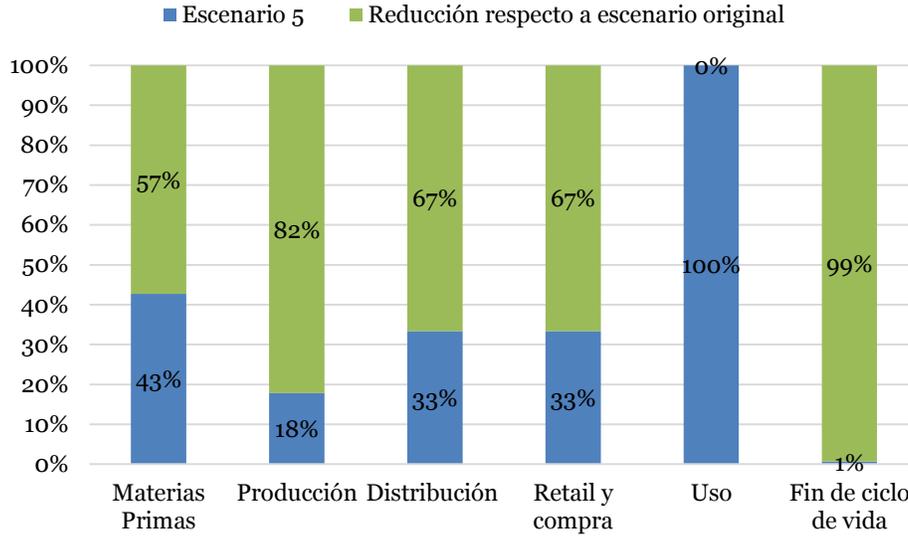


Ilustración 27: Variación por categoría de impacto respecto a escenario original

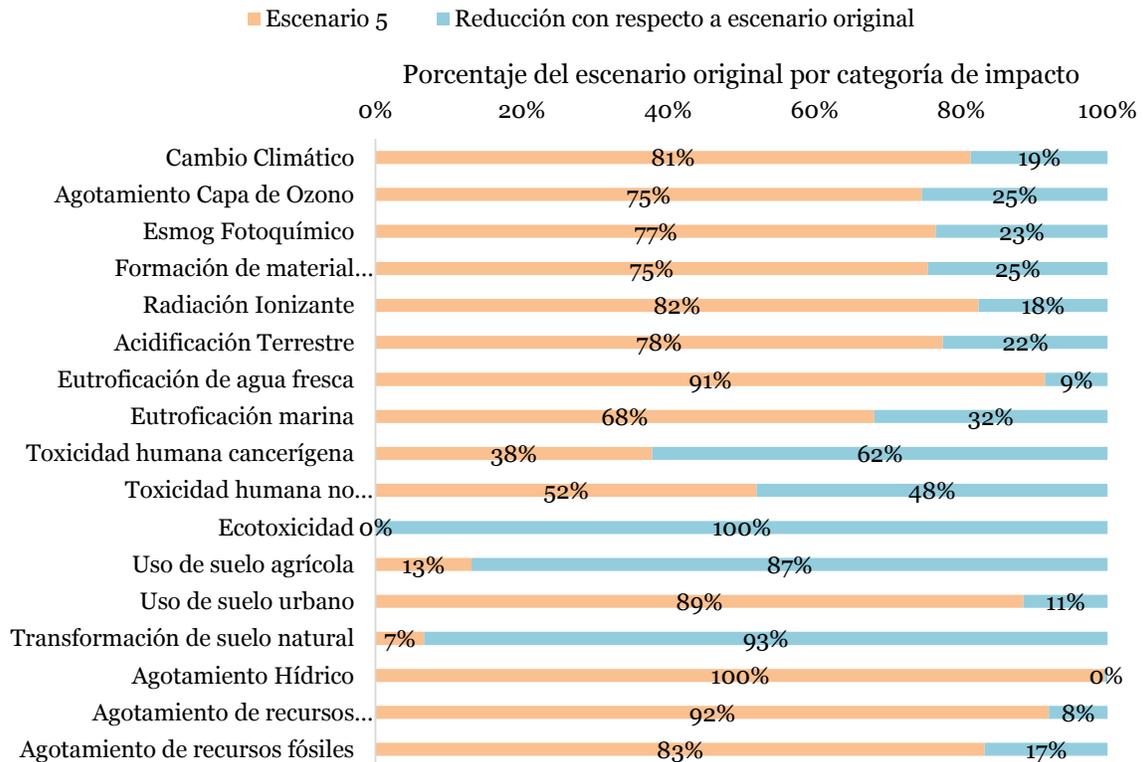
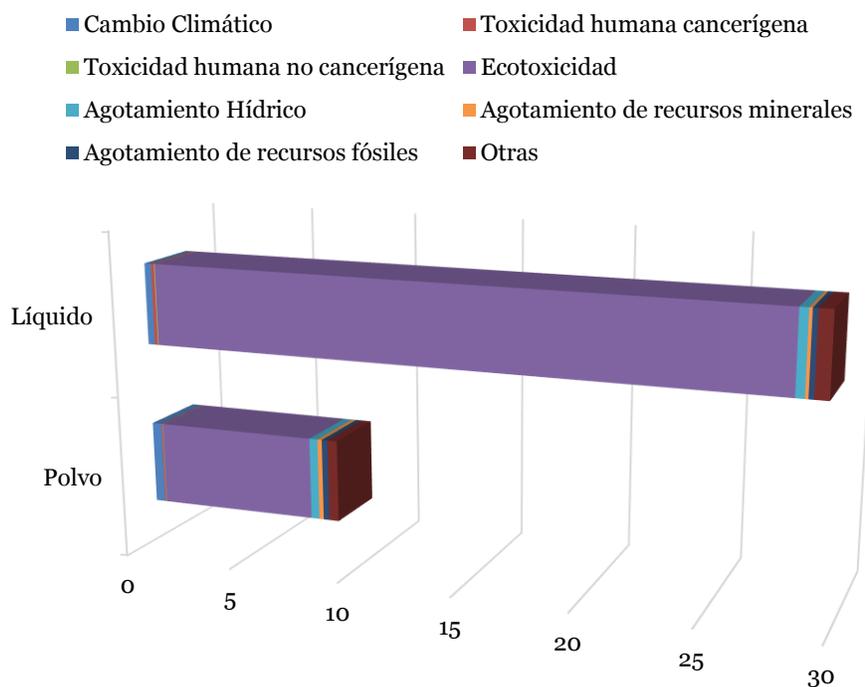


Ilustración 30: Comparación del impacto de líquido y polvo por categoría



Tras medidas de abatimiento

Tras aplicar las medidas de abatimiento, ambos ciclos de vida cambiaron considerablemente. El impacto total del nuevo ciclo de vida del detergente líquido es ahora 4% menor que el del polvo, siendo que antes era 70% mayor. Esto se debe a que en una vez removido el NPE de su formulación, sus materias primas tenían un impacto menor, además que la dosis del líquido también es muy pequeña, lo que, como se ha demostrado, conlleva beneficios importantes. El nuevo escenario coincide con los otros ACV estudiados, en los que al comprar polvo y líquido, este último tiene un impacto menor pero no en forma significativa [15]. En los siguientes gráficos se puede apreciar con mayor claridad la comparación.

Ilustración 31: Comparación líquido y polvo por etapa tras medidas de abatimiento

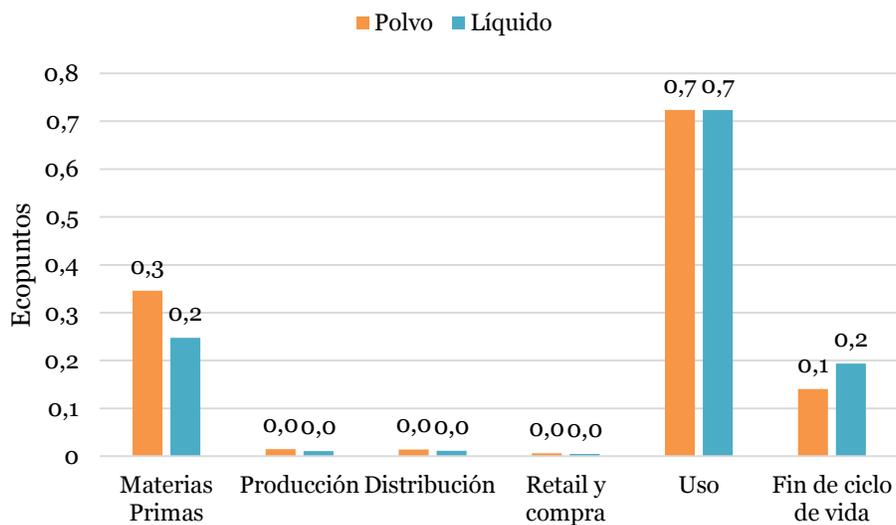
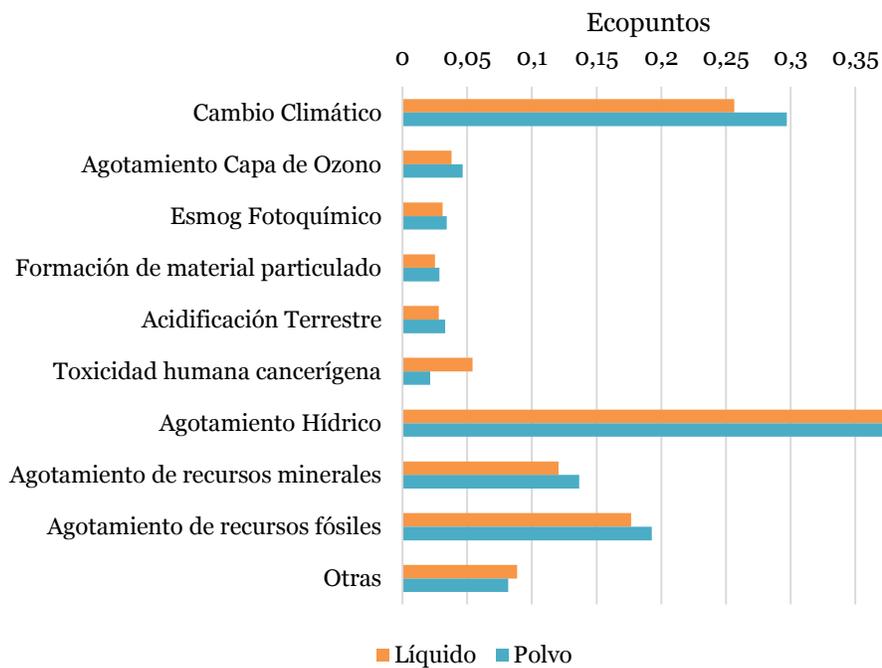


Ilustración 32: Comparación categorías de impacto de líquido y polvo tras medidas de abatimiento



4.4.1.4 Recomendación para los Procesos Productivos

En este ítem se entregan una serie de recomendaciones aplicables para los procesos productivos de ambos productos.

- Etapa de empaquetado: En este proceso se generan mermas importantes, cercanas al 1% para el producto en polvo. Se recomienda lograr un empaquetado más eficiente, asegurando que el producto caiga totalmente dentro del estuche. Para esto es necesario un sistema que sea más exacto al dosificar el producto, lo cual se logra con una salida de menor tamaño. Cabe destacar que probablemente los tiempos de llenado aumenten con esta medida.
- Concientización a los trabajadores mediante señalética y charlas orientadas a apagar artefactos eléctricos.
- Instalación de sistemas pasivos de iluminación en sector de empaque. Con este fin se podrían implementar tragaluces tubulares.
- Recambio de luminarias por tecnologías más eficientes, como luces LED.
- Implementación de temporizadores en los circuitos de iluminación.
- Recambio de motores convencionales de mezcladores por motores de alta eficiencia, especialmente para motores sobre 10 HP.

4.4.1.5 Comportamiento del consumidor

A pesar de que el uso y fin de ciclo de vida son unas de las etapas con mayor carga ambiental, los productores prácticamente no tienen poder para cambiar sus consecuencias. Sin embargo, pueden intentar disminuir el impacto utilizando materias primas de alta biodegradabilidad que no sean nocivas para la salud humana y el medioambiente, además de utilizar materiales de empaque reciclables.

Por esta razón es muy importante intentar concientizar y educar al consumidor para que haga uso correcto del producto. Se debe destacar que la cantidad de ropa a lavar dependerá de las recomendaciones de la ficha técnica de la máquina lavadora, lo que se relaciona a su vez con el consumo de agua. Además es importante explicar en forma clara y llamativa cual es la dosis del producto que se debe utilizar, para lo cual se recomienda agregar un dosificador para simplificar el proceso.

La etapa de uso significa una huella importante del ciclo de vida, y esto depende más que nada del tipo de máquina lavadora que se utiliza. Se debe realizar un intento por utilizar máquinas eficientes de carga frontal, las cuales requieren de menor agua y

consumen menos energía. Para eso se puede recomendar en el empaque utilizar los productos en este tipo de máquinas, entregando una reseña del cambio que se podría generar en el impacto de un lavado.

4.4.2 Unilever

Unilever es una multinacional privada que produce distintas categorías de productos (en varias categorías ofrece más de una marca). Alimentos, y Cuidado del Hogar y Personal son las dos grandes divisiones de la empresa. Particularmente cuenta con más del 70% de participación en el mercado de los detergentes, produciendo diariamente alrededor de 400 toneladas de producto.

El procesamiento del producto en polvo consta de una serie de etapas de filtro y mezclado de las materias primas, con el objetivo de producir una solución viscosa llamada *slurry* que pasa luego por una torre de secado. Esta torre deshidrata el *slurry* mediante altas temperaturas, transformándolo en granos de detergente, a los que posteriormente se le agregan los últimos aditivos. Para mayor detalle sobre estos procesos productivos, remítase al ítem “Producción” del Anexo 6: Metodología de Cálculo.

El producto de esta empresa sigue una distribución de impacto ambiental similar a los otros ACV estudiados: las etapas que generan los mayores impactos son materias primas, significando el 39%, el uso, con 29%, y el fin de ciclo de vida, 18%.

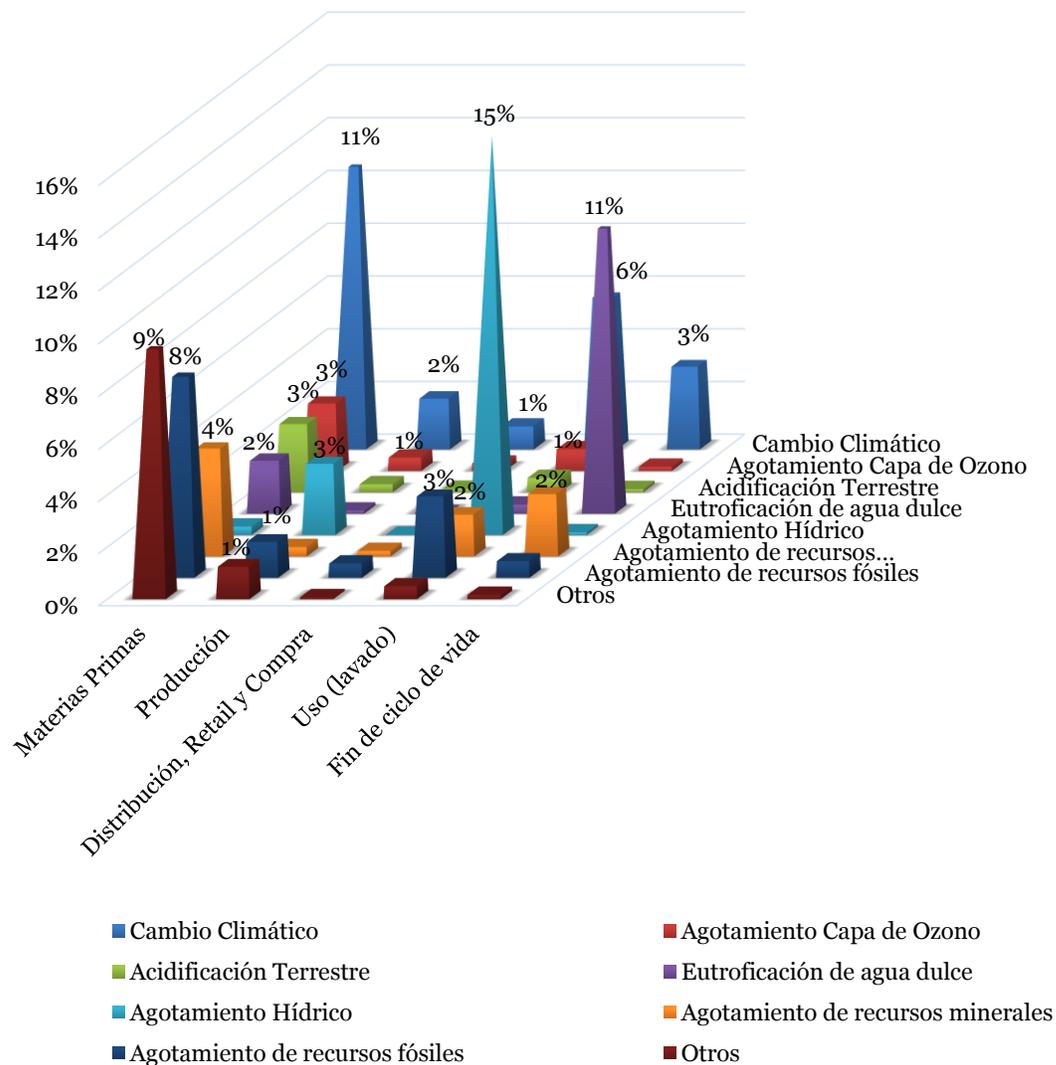
Las categorías de impacto que se destacan como las más significativas son cambio climático, representando el 22% del impacto total de la etapa, agotamiento hídrico, con el 18%, agotamiento de recursos fósiles, 13%, y eutrofización de agua fresca con 13%.

En la Ilustración 33 se expone el aporte de las principales categorías de impacto por cada etapa del ciclo de vida. Los porcentajes que se muestran significan el aporte al impacto total del ciclo de vida de un lavado.

La etapa que mayor aporte tiene en cambio climático es la elaboración y transporte de materias primas, principalmente debido a la generación de CO₂ durante el traslado desde sus lugares de origen. Esta categoría de impacto generalmente está relacionada al agotamiento de recursos fósiles, por lo que las materias primas también son las responsables del alto resultado obtenido en esta categoría. La mayor parte del consumo de agua, representando el 15% del impacto total, es el consumo durante el uso por parte de los consumidores. La eutrofización de las aguas, por su lado, se puede atribuir a la etapa de fin de ciclo de vida debido al descarte de Tripolifosfato (STP), ya que como se ha expuesto en otros capítulos, el uso de este químico genera este impacto en los cuerpos de agua. En menor medida, la

elaboración de esta materia prima también genera este fenómeno, debido al uso de ácido fosfórico durante su elaboración.

Ilustración 33: Distribución del impacto total por etapa y categoría de impacto de polvo Unilever



El consumo de agua del ciclo de vida completo, para un lavado de ropa utilizando 164,25 grs. de detergente en polvo de Unilever, equivale a 160 litros de agua. Para esto, solo en la etapa productiva, sin considerar el impacto asociado a las materias primas para la formulación y empaque, se consumen 19,9 litros. En un día de producción, la empresa consume 48.483,8 m3 solo para elaborar detergente en

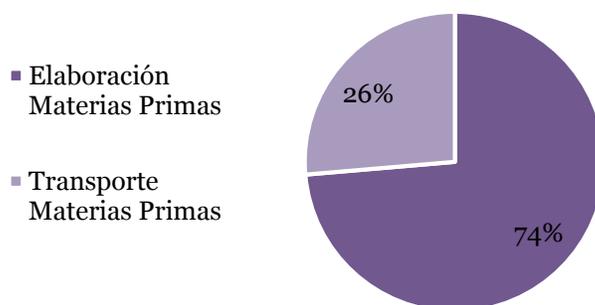
polvo. Estos valores consideran el consumo hídrico por requerimientos energéticos, pero prácticamente el 100% de este consumo se debe a la utilización de agua para la formulación del *slurry*, previo a la torre de secado.

La huella de carbono del ciclo de vida de este detergente equivale a 0,53 kg CO₂ eq. El ciclo de vida para una tonelada de detergente, asociado al número de lavados respectivos, emite 3,225 toneladas de CO₂ eq. El principal contribuyente a este valor es la elaboración y transporte de las materias primas requeridas para la formulación del producto. En relación a los procesos productivos que ocurren en la planta, estos generan 11,8 kg CO₂ eq por tonelada de producto. En un día de producción esto equivale a 4,7 toneladas de CO₂ eq, y el 97% de esta emisión proviene del uso de la torre de secado.

Elaboración y transporte de Materias Primas

Esta etapa considera la producción y transporte de los químicos utilizados como materia prima para la formulación de detergente. Esta es la etapa que genera el mayor impacto, significando el 25,3% del ciclo de vida total. El 26,3% de este impacto se debe al transporte desde su lugar de origen, como muestra la Ilustración 34.

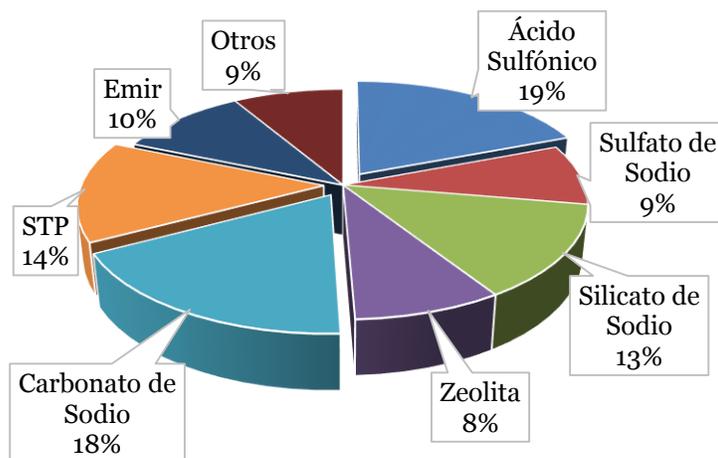
Ilustración 34: Distribución de impacto en etapa Materias Primas de Unilever



Las materias primas que generan el mayor impacto durante su elaboración son el Ácido Sulfónico, Carbonato de Sodio, y el STP. La distribución de impacto entre los químicos se muestra en la Ilustración 35.

Las categorías de impacto que ponderan más alto en esta etapa corresponden a cambio climático con un 27% de la etapa, agotamiento de recursos fósiles, 19,4%, y agotamiento de recursos minerales con 10,4%. Esto se debe principalmente al transporte marítimo de las materias primas elaboradas en otros continentes. En menor medida, también el uso de electricidad y gas natural para la producción de los químicos aporta en estas categorías de impacto.

Ilustración 35: Impactos de materias primas durante su elaboración.



Producción

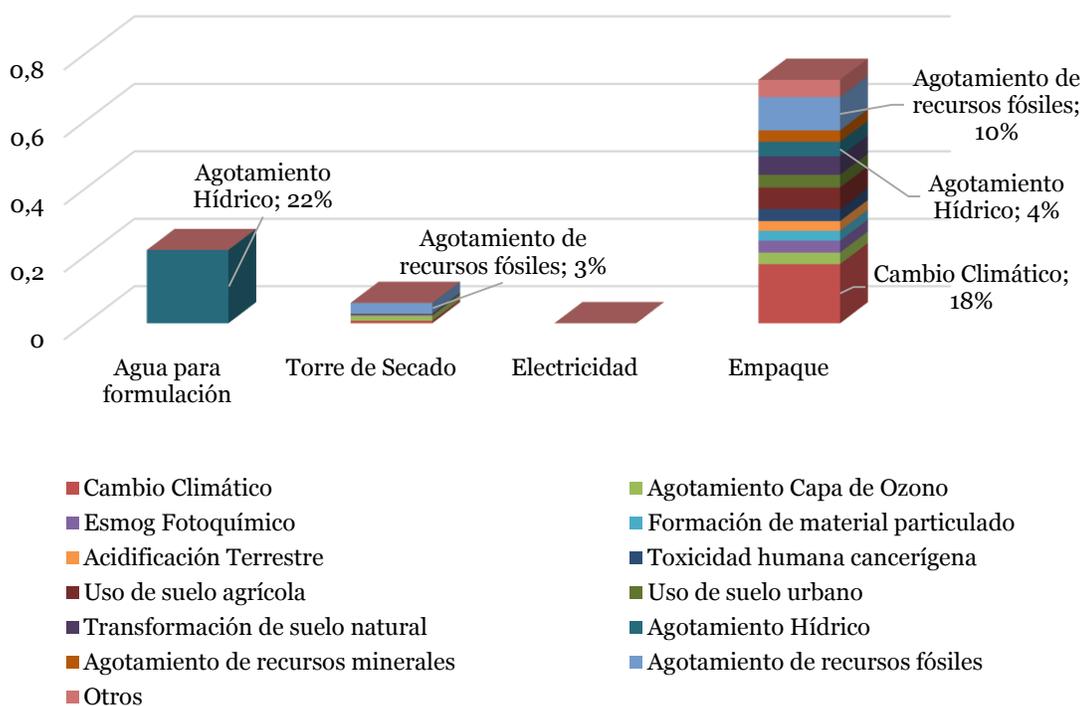
La etapa productiva considera 4 subprocesos: adición del agua dentro del proceso de formulación, torre de secado, electricidad y empaque.

El mayor impacto en esta etapa proviene del proceso de envasado, representando el 72% del total. Este proceso tiene un aporte significativo en las categorías de cambio climático y agotamiento de recursos fósiles. Ambas categorías están relacionadas a la electricidad y gas natural utilizados para la fabricación de los estuches de cartulina para el empaque primario, y el cartón corrugado para el empaque secundario. Esto significa que luego de la elección de materias primas, el siguiente *hotspot* para la empresa son los materiales de empaque de origen de cartón.

A pesar de que el proceso que mayor impacto genera es el de envasado, la categoría de impacto que resalta en esta etapa es el agotamiento hídrico, generado mayoritariamente por el requerimiento de agua en la formulación del producto. Este consumo significa el 26% del impacto de la etapa y el 15% del agotamiento hídrico del ciclo de vida completo.

La Ilustración 36 muestra la distribución entre los procesos considerados en la etapa, además de exponer cuál es el porcentaje de impacto de cada categoría por proceso. Los valores significan el aporte al impacto total de la etapa.

Ilustración 36: Distribución de impactos en etapa productiva



Uso

Esta etapa genera el 29,4% del ciclo total del producto, siendo la etapa más significativa luego de la elaboración y transporte de materias primas. La categoría que destaca en esta etapa es el agotamiento hídrico, el cual representa un 51% de su impacto total. En relación al ciclo total, el consumo de agua durante el uso equivale al 82% de la huella hídrica total del ciclo. Estos resultados se muestran en la Ilustración 37.

Adicional al agua utilizada, la electricidad necesaria para el funcionamiento de la máquina lavadora significa el 36,8% de la etapa. La distribución de cargas que ocurre durante el uso se muestra en la Ilustración 38.

Fin del ciclo de vida

Esta etapa es responsable del 14% del impacto total del ciclo de vida, y corresponde principalmente a la eutrofización de agua fresca causada por el descarte de fosfatos a través del componente STP. Esta categoría representa el 59% del impacto de la etapa, mientras que cambio climático el 17% y agotamiento de recursos minerales el 13%. Estas categorías destacan debido a las emisiones generadas durante el tratamiento del agua residual del lavado, y por el descarte del empaque que llega a

vertedero. En la Ilustración 39 se puede apreciar la carga entre elementos del fin de ciclo de vida, y cuáles son las categorías de impacto principales.

Ilustración 37: Agotamiento hídrico por etapas del ciclo de vida

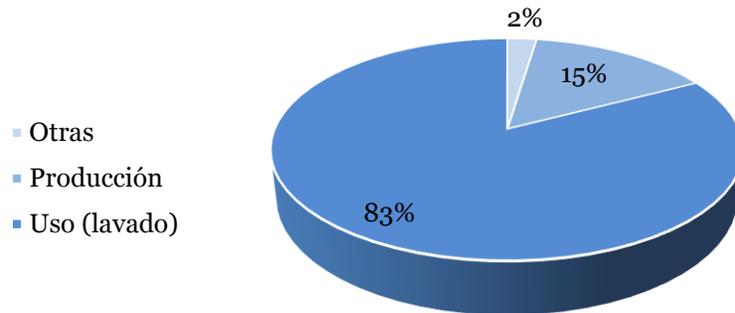


Ilustración 38: Distribución de cargas de impacto durante el uso

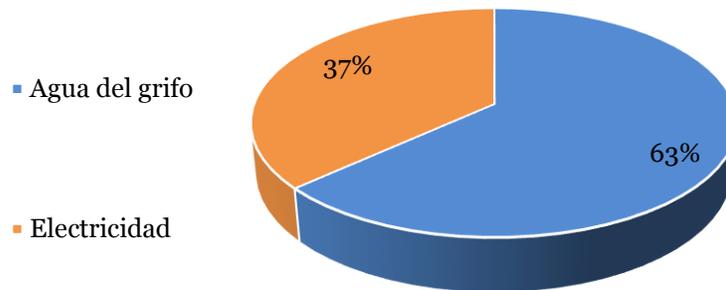
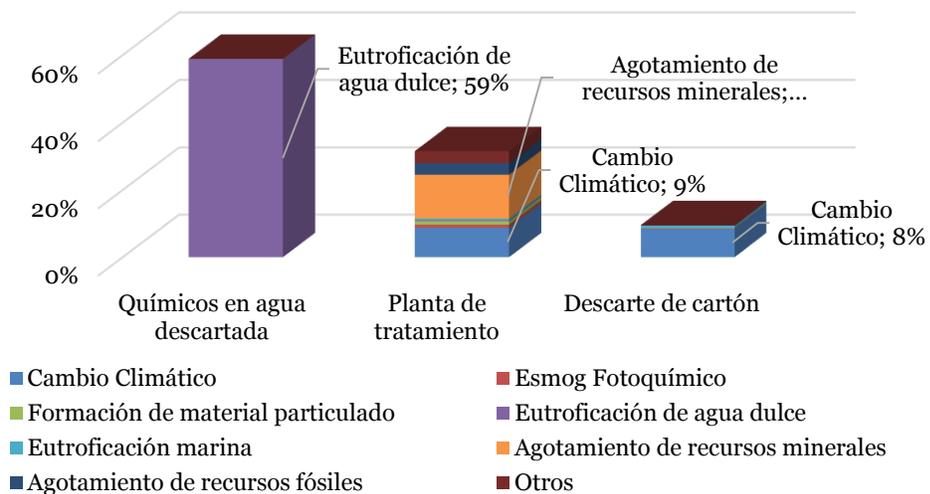


Ilustración 39: Impactos en la etapa de fin de ciclo de vida



5 Conclusiones y recomendaciones

Debido a que se realizó un ACV a tres productos distintos bajo los mismos parámetros y supuestos, es posible apreciar la significancia de cada matiz y cambio en cualquier punto del ciclo de vida de éstos. Esto permite sacar conclusiones y recomendaciones que reflejen la realidad, al menos en forma comparativa, de los impactos ambientales que generan.

Adicional a esto, fue posible comparar la industria chilena con los escenarios internacionales, los cuales muestran, a diferencia de Chile, que el mayor impacto se encuentra en manos de los consumidores durante el uso, debido en gran medida a que éstos utilizan agua caliente para el lavado. Esta realidad conlleva a que los cambios en pos de una menor huella ambiental sean lentos y difíciles. Contrastando a muchos países, en Chile se utiliza agua a temperatura ambiente, por lo que la carga en esta etapa es menor y la distribución de impactos a lo largo del ciclo de vida cambia. Esto trae como consecuencia que las decisiones de los productores en temas de elección de materias primas y diseño de producto y empaque, sea un punto significativo a la hora de abordar el impacto ambiental generado por el producto.

Los tipos de impacto que juegan un rol protagónico dentro del ciclo de vida de los detergentes son aquellos relacionados tanto a las etapas de elaboración y transporte de materias primas como al fin de ciclo de vida, ésta última debido a la descarga de químicos tras el uso del producto. Estos impactos son ecotoxicidad, toxicidad humana y eutrofización. Dada la naturaleza del producto, el cual debe ser utilizado junto a agua, el agotamiento hídrico también resalta como un punto crítico, pero como se mencionó, esto queda fuera del alcance de los productores.

La toxicidad de los químicos utilizados dentro de la formulación marca una diferencia significativa dentro del impacto ambiental del producto. Es por esto que es crucial, a la hora de diseñar la fórmula, que se consideren productos inocuos para el medio ambiente y las personas. Siguiendo este objetivo, los países más desarrollados han elaborado distintas normativas y programas que buscan regular la utilización de químicos nocivos. Compuestos que contienen fosfatos, o químicos como el Nonilfenol Etoxilado, están siendo vetados o vigilados para que mantengan las concentraciones por debajo de los límites permitidos. A pesar de que Chile no exige normativa en este sentido, es importante imitar las iniciativas extranjeras, asegurando que el uso de estos productos que tienen tan alta utilización no sea un factor de riesgo para las personas y el medioambiente.

En el caso de que se utilicen solo químicos inocuos, se recomienda ilustrar esta decisión en el etiquetado, indicando que el producto es fácilmente biodegradable y no tóxico para humanos ni para el medioambiente. Hay evidencias de que el

consumidor está prefiriendo productos de empresas que tienen programas para mejorar su sustentabilidad, por lo que es muy importante que las empresas que toman medidas al respecto, lo expongan, obteniendo potenciales beneficios económicos.

Siguiendo la misma línea que los países desarrollados, también se recomienda transparentar la formulación, exponiendo la lista de químicos que se utilizan, con sus respectivos porcentajes y, en caso de que sean peligrosos, el máximo nivel en el que se recomienda su uso. Este tipo de prácticas entrega una imagen de confianza y credibilidad al consumidor, factores relevantes que pueden significar una ventaja competitiva.

Sin embargo, no sólo hay que considerar el descarte de estos químicos, puesto que la elección de las materias primas también influye en el impacto provocado durante su elaboración y transporte. Es por esto que se debe verificar, en caso que la toxicidad de las materias primas no sea significativa, si su huella previa a la llegada a la planta no es alta. Los tipos de impacto que se relacionan a la elaboración y transporte son cambio climático, agotamiento de recursos fósiles y agotamiento de recursos minerales. Las primeras dos categorías dependerán de dos conceptos, siendo el primero y más relevante de estos, la distancia que debe recorrer desde su lugar de origen. La huella de carbono relacionada al transporte marítimo es considerable, por lo que se recomienda escoger proveedores que elaboren sus productos en sitios cercanos a la planta de detergente. El segundo punto es el tipo y eficiencia energética utilizada durante su elaboración. Se recomienda abordar esto haciendo un seguimiento a los proveedores, verificando si tienen medidas de eficiencia energética. El agotamiento de recursos minerales, por otro lado, se debe a la utilización de minerales para la fabricación de los químicos.

Respecto al formato del producto, no existen diferencias significativas entre los productos líquidos o polvos, pero sí se presenta una gran diferencia al concentrar los productos. Al compactar el producto, reduciendo la dosis, se observan cambios a lo largo de todo el ciclo de vida: disminuye la cantidad de materias primas requeridas, reduciendo su impacto en elaboración y transporte; las emisiones liberadas durante la producción, elaboración de empaque, transporte y almacenamiento son mejor aprovechadas, puesto que al generar la misma huella para una tonelada de producto, esta tonelada tiene un mayor nivel de utilización, reduciendo el impacto por cada lavado; finalmente el volumen de químicos descargados al ambiente luego del uso también es menor, disminuyendo el impacto frente al detergente regular. Existe un formato de producto, sin embargo, en el que a pesar de ser concentrado, existe asociado un mayor impacto ambiental. Este es el caso de las cápsulas o tabletas, en las que la tecnología necesaria para crear una capa contenedora que evite derrames pero se disuelva en agua, junto con el empaque adicional para su protección, causa que finalmente su huella sea mayor.

Otro *hotspot* identificado es el material de empaque. Para el caso del detergente en polvo, el uso de estuches de cartulina genera significativamente un impacto mayor a la alternativa, la bolsa de polietileno. Esto se debe a que para la producción de cartón y sus derivados se utilizan cantidades considerables de electricidad y gas natural. Por lo mismo, las cajas de cartón corrugado necesarias para el empaque secundario, también tienen asociado un impacto importante. Considerando la posibilidad de que el consumidor prefiere por comodidad estos estuches ante una bolsa, o que es importante la variedad de formatos, se recomienda optimizar al máximo la cantidad de cartón y cartulina utilizada. Esto significa aprovechar su capacidad, completando el envase, y reducir su gramaje, produciendo envases lo más delgado posible. Además es recomendable utilizar formatos que contengan mayor cantidad de producto, intentando al mismo tiempo no aumentar el grosor de del envase.

Otra solución es utilizar envases reutilizables por los usuarios. Esto corrige la situación de incomodidad de la bolsa, pudiendo utilizarla solo como sistema de relleno. Siguiendo esta misma línea, existe otra alternativa planteada por los creadores de “Algramo”. Este es un emprendimiento que permite que las personas compren detergente al detalle, por medio de máquinas dispensadoras en envases retornables. Este sistema permite eliminar completamente la necesidad de empaque.

Para el caso del detergente líquido, se plantea la utilización de botellas retornables como alternativa de empaque. Este sistema permite prácticamente eliminar la necesidad de elaborar nuevos recipientes, disminuyendo consecuentemente la cantidad de empaque descartado a vertederos. Esta opción genera una reducción importante al comparar con la alternativa tradicional de botellas desechables. Cabe destacar, sin embargo, que para que se generen beneficios ambientales con la utilización de este sistema, las botellas retornables deben superar un cierto número de ciclos de uso, por lo que es importante crear conciencia en los consumidores para que le den un manejo correcto.

Sería altamente recomendable que toda la industria utilizara una botella retornable estándar de detergente, de manera que cualquier empresa pueda recibir una botella usada y no existan costos adicionales de transporte.

La propuesta de ley “Responsabilidad Extendida del Productor” (REP) tiene la consecuencia de que la implementación de estas alternativas de empaque sea más probable. Esto se debe a que, en el caso de que sea aprobada, los productores de detergente deberán hacerse responsables del impacto generado por el empaque del producto. Además, dentro de las especificaciones de la REP se aclara que los puntos de venta deberán recibir los empaques que sean devueltos por los consumidores, lo que facilita la implementación del sistema de botellas retornables.

Tal como este proyecto de ley, la normativa seguirá una evolución en el futuro hacia los mismos estándares que los internacionales, los cuales en general están teniendo un enfoque de ciclo de vida. Pertenecer a organizaciones como la OCDE, o participar en TLCs, presionan o exigen a Chile a seguir estos lineamientos. Con esto en consideración, es deseable comenzar a trabajar en pos de estos desafíos futuros, asegurando que los productos sean seguros y cumplan con los parámetros de mayor exigencia internacional.

La presión por mejorar la sustentabilidad de las empresas no provendrá solo del marco regulatorio correspondiente, si no también de las fuerzas del mercado que empujan a que las empresas busquen diferenciación trabajando en mejorar sus índices de sustentabilidad. Ejemplo de esto es que las dos empresas estudiadas en este trabajo hayan modificado su formulación para reducir y/o eliminar el uso de fosfatos, sin que esto forme parte de la regulación chilena.

En relación al tradicional punto crítico del ciclo de vida del detergente, su uso, la principal medida es incentivar al consumidor que realice un lavado que reduzca en algún sentido el impacto asociado a este. Por un lado es muy importante expresar en el empaque, en forma simple, llamativa y clara, cuál es la dosis correcta del producto. También es importante señalar que para un correcto lavado se debe respetar la carga de ropa recomendada por los fabricantes de la máquina lavadora a utilizar. El punto más importante, sin embargo, es una eventual reducción de energía y consumo hídrico por lavado. Estos factores quedan determinados por el tipo de máquina utilizada, siendo la de carga frontal considerablemente más eficiente que las de carga superior. Es por esto que, dentro de lo posible, se debe recomendar la utilización de las máquinas de carga frontal.

Al enfocarse particularmente en la metodología del trabajo, ésta da cuenta de cómo el ACV permite aclarar el impacto generado por un producto, arrojando cuáles son los puntos críticos en base a los que se puede trabajar para lograr mejoras más significativas. Este análisis permite a las empresas mayores oportunidades de reacción antes una eventual regulación, ya que pueden actuar a lo largo de todo el ciclo de vida de su producto. Adicionalmente se desarrollan ventajas comparativas al contar con la información suficiente para trabajar en pos de una certificación ambiental.

El ACV permite una comprensión mayor de los alcances que tiene un sistema productivo, lo que facilita en gran medida la evaluación a la hora de reducir costos. Sin embargo, el análisis en sí debido a su alta complejidad, está asociado a altos costos financieros y requiere de períodos considerables de tiempo. Por otro lado, su uso está restringido al manejo de un software especializado, lo que limita aún más su utilización.

Tampoco se debe dejar de considerar el factor de subjetividad que forma parte del ACV. Durante su aplicación se usan modelos y se realizan una serie de supuestos que no siempre representan la estricta realidad. Por otro lado, el sistema de ponderación es en sí un juicio de preferencia subjetiva en relación a la importancia relativa de una categoría de impacto ante otra.

Junto con el crecimiento en sus tasas de utilización, el análisis de ciclo de vida seguirá perfeccionándose, acercándose a una estandarización que permita reducir su subjetividad y a la vez los desafíos que conlleva su aplicación. Es posible, sin embargo, que esta tendencia sea reemplazada por nuevos métodos de análisis, que considerando el *know how* que el ACV ha entregado, pueda superar las limitaciones de este.

5.1 Consideraciones metodológicas

Las bases de datos utilizadas fueron con data de producción y transporte Sueca o Europea, dependiendo del elemento modelado. Esto puede significar una baja representatividad con respecto a Chile, por lo que para un análisis más exacto se recomienda recopilar información sobre las entradas y salidas de los procesos reales, ingresando estos como nueva data.

La utilización de datos y bases de datos más actualizadas también debería ser considerada para próximos análisis. La calidad de la data es un tema complejo y muy relevante en ACV, por lo mismo, mientras más certera y actualizada, mejores serán los resultados que se obtengan.

Al no considerar el impacto que se genera a las personas al manipular las materias primas, o durante el uso del detergente, esto podría alterar los resultados de los químicos utilizados y propuestos para la formulación. Se recomienda analizar este factor, especialmente para el químico formaldehído.

Variaciones en los límites del sistema también podrían redundar en resultados distintos a los obtenidos. Basarse en *hotspots* históricos puede simplificar el proceso, sin embargo, al hacerlo se deja fuera información que podría ser relevante en el caso en particular. Al momento de escoger los límites es importante considerar la complejidad asociada a un sistema mayor. Particularmente en este trabajo, al haber considerado todas las etapas de la cuna a la tumba, en vez de alternativas usuales como de la cuna a la puerta, o de la puerta a la tumba, se pudo hallar *hotspots* particulares al producto, lo que de por sí es un valor agregado.

Al ser un tema subjetivo, la ponderación utilizada en este trabajo puede no ser representativa. Por lo mismo, se recomienda para futuros ACV prestar especial atención a este punto en particular, sin dejar de considerar su relevancia al momento

de representar el entorno en el que está inmerso el estudio. En situaciones la sola presentación de los impactos asociados, divididos por categorías de impacto, ofrece información suficiente para la toma de decisiones.

Glosario

Aniónico: Perteneciente o relativo al anión, el cuál es un ión con carga negativa.

Detergencia: Proceso por el cual la suciedad se separa de su sustrato, pasando al estado de disolución o de dispersión. En su sentido corriente, la detergencia tiene por efecto la limpieza de las superficies. Es el resultado del desarrollo de varios fenómenos físico-químicos.

Domisanitarios: Sustancia o preparación destinada a limpieza, lavado, odorización, desodorización, higienización.

Emulsionar: Hacer que una sustancia adquiera el estado de emulsión, el cuál es un líquido que tiene en suspensión pequeñas partículas de sustancias insolubles en agua.

Hotspot: Hace referencia a un punto crítico dentro de un sistema.

Insoluble: Que no puede disolverse ni diluirse.

Interfacial: Frontera común entre dos porciones de materia o espacio.

Mojabilidad: Se dice que un líquido moja un cuerpo sólido cuando es susceptible de extenderse sobre el mismo y dejar sobre él una traza.

Redeposición: Deposición de materia originalmente depositada en otro lugar y subsecuentemente movida. En este contexto se refiere a la deposición luego de su remoción.

Solubilización: Medida de la capacidad de disolverse de una sustancia (solute) en un determinado medio (solvente).

Sustrato: Sustancia sobre la que actúa una enzima; o material en el que algún proceso toma lugar.

Bibliografía

- [1] Espinoza, G. 2007 Gestión y Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental. pp. 288.
- [2] Asociación Española de Normalización y Certificación. 2006. Gestión ambiental Análisis del ciclo de vida Requisitos y directrices (ISO 14044:2006).
- [3] Fiscalía Nacional Económica. 2013. Tribunal de Defensa de la Libre Competencia contra Unilever Chile S.A.
- [4] Fundación Chile, Edge Enviromanetal. 2012. Product Category Life Cycle Assessment: Laundry Detergent.
- [5] Edge Environment. What are Ecopoints?
- [6] Hauenstein, E. 1996. Flora Fidrófila del lago Villarrica y su importancia como elemento indicador de contaminación.
- [7] Parra, O. O. 1989 La eutroficación de la Laguna Grande de San Pedro , Concepción. pp. 117–136.
- [8] Parra, O., Valdovinos, C., Urrutia, R., Cisternas, M., Habit, E. 2003. Caracterización y tendencias tróficas de cinco lagos costeros de Chile Central. vol. 22. pp. 51–83.
- [9] Ariztia T. 2013. Consumo, ciudadanía y sustentabilidad : Puertas de entrada y de salida.
- [10] Universidad Andrés Bello. 2013. IV Ecueta de Percepción y Actitudes hacia el Medio Ambiente.
- [11] Rodrigo, B. 2013 Estudio de valorización contingente para determinar la disposición a pagar por atributos ambientalmente amigables. Memoria de Ingeniero Civil Industrial. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- [12] Nielsen. 2012. The Global, Socially-Conscious Consumer.
- [13] International Organization of Standarization. 2006. Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework.
- [14] Loyola, C. 2012. Normalization Data. Fundación Chile.

- [15] Van Hoof, G., Schowanek, D., Feijtel, T. C. 2003. Comparative Life-Cycle Assessment of Laundry Detergent Formulations in the UK. *Revista The International Journal of Life Cycle Assessment*. vol. 40, pp. 266–275.
- [16] Dewaele, J., Pant, R., Schowanek, D. 2006. Comparing the environmental burdens of home laundry detergent products and laundry habits in France 1998-2006.
- [17] Magnus B., Bengt, S. 2000. Weighting in LCA- Approaches and Applications. *Revista Environ. Prog.*, vol. 19, no. 2.
- [18] Fundación Chile y Edge Enviromanetal. 2012. Product Sustainability Assessment Methodology.
- [19] Romero Rodriguez, B. I. 2003. El Análisis del Ciclo de Vida y la Gestión Ambiental. *Revista Boletín IIE*. pp. 91–97.
- [20] Dall'Acqua, S., Fwaer, M, Fritschi, R. y Allenspach, C. 1999. LCI for the Production of Detergent.
- [21] Pizarro, J. 2011. Análisis de la gestión de los residuos domiciliarios.
- [22] Broze, G. 1999. Handbook of Detergents Part A: Properties.
- [23] Luis, S. J. 2000. Detergentes: Componentes, fabricación, fórmulas.
- [24] Saouter, E. y Van Hoof, G. 2002. A database for the life-cycle assessment of procter & gamble laundry detergents. *Revista The International Journal of Life Cycle Assessment*. vol. 7, no. 2, pp. 103–114.
- [25] Saouter, E., Hoof, G., T., Feijtel, C. J. y Owens, J. W. 2000. The effect of compact formulations on the environmental profile of Northern European granular laundry detergents Part II: Life Cycle assessment. *Revista The International Journal of Life Cycle Assessment*., vol. 7, no. 1, pp. 27–38.
- [26] Molina M. y Rivera, L. 2002. Seminario de: Detergentes Biodegradables.
- [27] Nielsen, J. D. y Munk, S. 2009. Low temperature laundering: Life cycle assessment. *Revista IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. vol. 6, no. 20.
- [28] Comisión de las Comunidades Europeas. 2007. Informe de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo en aplicación del artículo 16 del Reglamento (CE) n° 648/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo del 31 de marzo de 2004, sobre detergentes, en lo relativo al uso de fosfatos.

- [29] Gensch, C., Pakula, C. y Stamminger, R. 2009. Comparison of resources used for laundry washing worldwide. pp. 68–73.
- [30] Seuring, S. A., Koplin, J., Behrens, T. y Schneidewind, U. 2003. Sustainability assesment in the German detergent industry: from stakeholder involvment to sustainabilty indicators. *Revista Wiley InterScience*, no. July, pp. 199–212.
- [31] EU Environment Directorate. 2002. Phosphates and alternative detergent builders - final report.
- [32] Royal Society of Chemistry. 2011. EU looks to expand ban on phosphates in detergents.
- [33] Paraguay. Poder Legislativo. 2011. Ley Nro 4397-11 que prohíbe el uso de tripolifosfato de sodio en productos domisanitarios nacionales y/o extranjeros en todo el territorio nacional.
- [34] International Fragrance Associaton. [en línea]. Available: <http://www.ifraorg.org/>. [Último acceso: 08-Jan-2014].
- [35] Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. 2004. Reglamento (CE) N° 648/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo de 31 de marzo de 2004 sobre detergentes, no. 6.
- [36] U.S. Environmental Protection Agency. 2010. Nonyphenol (NP) and Nonylphenol Etoxylates (NPEs) Action Plan.
- [37] The European Parliament and the Council of the European Union. 2006. Regulation (Ec) No 1907/2006 of The European Parliament And of The Council of 18 December 2006.
- [38] Department of Environmental Conservation. 2010. Article 35-Detergents and other household cleansing products. [en línea]. Available: <http://www.dec.ny.gov/chemical/74950.html>. [Último acceso: 11-Jul-2014]
- [39] SERNAC. 2007. No descuide la etiqueta. [en línea]. Available: <http://www.sernac.cl/114804/>. [Último acceso: 26-Dic-2013].
- [40] CONAMA. 2008. Política Nacional de Seguridad Química.
- [41] Chile. Ministerio de Obras Públicas. 1998. Decreto supremo 609. pp. 1–35.
- [42] Chile. 2013. Proyecto de ley marco para la gestión de residuos y responsabilidad extendida del productor.

- [43] Giraldo, C. 2013. PDP Walmart Sustentabilidad: Levantamiento Diagrama de Proceso.
- [44] Golding, A. 2013. Reuse of Primary Packaging.
- [45] Wood G. y Sturges, M. 2010. Single Trip or Reusable Packaging - Considering the Right Choice for the Environment.
- [46] Schmidt, M., Ostermayer, A. y Bevers, D. 2000. Life Cycle Assessment of PET (Polyethylene Terephthalate) bottles and other packaging alternatives. pp. 1–14.
- [47] Marshall, R. 2010. Servicios de Transporte Sustentable para el Retail: La Visión de Walmart.
- [48] Griffin, W. C., 1949. Classification of surface-active agents by ‘HLB’,” pp. 311–326.
- [49] Preziosi, V., Perazzo, A., Caserta, S., Tomaiuolo, G. y Guido, S. 2013. Phase Inversion Emulsification. vol. 32, pp. 1585–1590.

Anexo 1: Descripción de los componentes de los detergentes

La información expuesta en esta sección se basa en el libro de S. J. Luis, “Detergentes: Componentes, fabricación, fórmulas”, del año 2000.

Agentes Tensoactivos

De los agentes tensoactivos, también conocidos como surfactantes, depende la acción limpiadora y desengrasadora. Son moléculas capaces de modificar las propiedades interfaciales de los líquidos (acuosos y no acuosos) en los que están presentes. Estas sustancias son anfifílicas, lo que significa que cada molécula posee un extremo hidrofílico, soluble en agua, y otro hidrofóbico, que rechaza el agua. El resultado es que éstas se concentran en las interfaces, separando las fases inmiscibles de los líquidos, y por lo tanto disminuyendo la tensión interfacial. Esta característica permite que cumplan distintas funciones, entre las que se destacan sus propiedades emulsionantes, de dispersión de la suciedad y que actúan como agentes de mojabilidad del sustrato.

Dependiendo de la naturaleza de la parte hidrofílica, la cual permite la afinidad de la molécula con el agua, los principales tensoactivos se pueden dividir en aniónicos, catiónicos, anfotéricos y no iónicos.

A pesar de que cada tensoactivo exhibe sus propias propiedades, existen características comunes para cada clase. Los más comunes y antiguos son los aniónicos, los cuales son especialmente beneficiosos por su acción limpiadora y su eficacia removiendo partículas de suciedad. Esto ocurre gracias a que la mayoría de los sustratos están cargados negativamente, por lo que los aniónicos, que también son negativos, tienden a no ser fuertemente absorbidos por los mismos, obstaculizando así la redeposición de la suciedad.

Los aniónicos además son variables en cuanto a su sensibilidad a la dureza del agua, lo que puede restringir su uso en agua duras. La baja solubilidad y las peculiares propiedades interfaciales de las sales de magnesio sulfatadas son a veces explotadas positivamente para optimizar el rendimiento del detergente. Los alcoholes sulfato etoxilados son mucho menos sensibles a iones de tierras alcalinas que los alcoholes sulfato homólogos.

Algunos aniónicos también tienen la habilidad de generar viscosidad, facilitando que los productos mantengan su espesor por sí mismos, lo que muchas veces es una característica deseada en los productos.

Los catiónicos, por otro lado, se caracterizan por su alta adherencia a los tejidos, especialmente aquellos con carga negativa, y por las consecuentes alteraciones en la superficie. Por esta propiedad son muy utilizados como agente acondicionador para el cuidado de los tejidos. Los catiónicos forman complejos insolubles en agua con los aniónicos. Catiónicos como cloruro de dodecil dimetilbenzilamonio o cloruro de cetil trimetilamonio también son utilizados como germicidas.

Los anfóteros generalmente se usan en conjunto con otros tensoactivos (aniónicos o no iónicos) para potenciar algunas propiedades, como espuma o detergencia. Estos surfactantes también se utilizan para formar soluciones que no producen precipitado en agua dura. La gran mayoría de los agentes dispersantes de jabones de calcio eficientes, o ablandadores de agua, son surfactantes anfóteros con un grupo amina o amida grasa. Las betaninas, en las cuales el grupo aniónico es un carboxílico, son menos efectivas que las taurinas (grupo SO_3^-) o los compuestos polietoxilados.

Introduciendo un grupo amidoamina en un surfactante anfótero se obtienen excepcionales propiedades dispersantes.

Los no iónicos son especialmente útiles debido a su baja sensibilidad a la dureza del agua y al pH. Debido a su compatibilidad con moléculas cargadas, son fácilmente usadas en mezclas con otros tensoactivos iónicos, lo que muchas veces genera asociaciones beneficiosas. Por ejemplo, no iónicos pueden ayudar a disolver sales de calcio o magnesio de los aniónicos.

No iónicos etoxilados muestran un comportamiento peculiar con respecto a la temperatura: en un rango particular de temperatura, su solubilidad disminuye con el aumento de esta, llegando a su “punto de turbidez”, en el cual forma micelas (aglomerados moleculares) y se enturbia. Este comportamiento, junto con la posibilidad de afinar el HLB¹³, los hace especialmente útiles para llevar a complejas composiciones de surfactantes a condiciones de temperatura de inversión de fase¹⁴, lo que a su vez facilita el acceso a condiciones de microemulsión. Los no iónicos son ampliamente utilizados tanto en los productos industriales, como en los de uso doméstico.

Agentes secuestrantes mejoradores (Builders)

Estos agentes tienen como propósito mejorar la acción limpiadora del surfactante. Su principal acción es retener a los cationes divalentes del agua dura (calcio y

¹³ Balance hidrofílico-lipofílico, concepto desarrollado por William C. Griffin para catalogar surfactantes acorde a su grado de hidrofilia o lipofilia [48].

¹⁴ Fenómeno que ocurre cuando al agitar aceites emulsionados en agua, la situación se revierte a emulsión de agua en aceite, y viceversa [49]

magnesio) para evitar la interacción de estos iones con los surfactantes, permitiendo un mejor rendimiento de los mismos. La eliminación se hace en forma de solubilización, precipitación, o intercambio iónico.

Otra de sus acciones es mantener el pH de la solución detergente a un valor alcalino, neutralizar los ácidos grasos libres y formar jabones in-situ en la interfase entre la suciedad y el agua. Además aumentan el potencial (negativo) de superficie de los textiles y de los sucios, lo que inhibe la redeposición.

Existen dos tipos de agentes mejoradores: los inorgánicos y los orgánicos. Entre los mejoradores inorgánicos solubles podemos encontrar los fosfatos, que a pesar de que hace unos años eran los más utilizados, su uso es cada vez menor debido al impacto ambiental que generan en los cuerpos de agua, llegando a ser regulados y prohibidos en la mayoría de los países desarrollados [31]. Otras alternativas son los silicatos y carbonatos de sodio, o químicos insolubles como las zeolitas.

Se han realizado numerosas investigaciones para desarrollar sustitutos orgánicos a los fosfatos. Una alternativa son los secuestrantes eficientes como el etileno-diaminatetracetato (EDTA), los cuales sin embargo son costosos. También se descubrió que el nitrilo-triacetato de sodio (NTA) podía ser un excelente sustituto de los fosfatos, pero existe cierta controversia de que pueda ser cancerígeno y por lo tanto su producción ha sido considerablemente reducida.

Varias estructuras de tipo alfa-eter-carboxilato se desempeñan en forma similar a los fosfatos, particularmente el carboximetil-tartronato (CMT), el carboximetil-oxisuccinato (CMOS) y el tris-(carboximetoximetil)-etano (TMETA). Estas sustancias presentan un poder secuestrante del mismo orden que el fosfato más utilizado, el STP, y pueden biodegradarse rápidamente en lodo activado¹⁵.

Otra alternativa que ha sido constatada como una alternativa adecuada al STP es la zeolita A. Este producto no es tóxico para la fauna acuática ni para los seres humanos, y además durante su fabricación se producen subproductos residuales menos tóxicos.

También se han propuesto polielectrolitos para tales efectos; poseen un poder secuestrante netamente mejor que el STP pero no son fácilmente biodegradables.

¹⁵ El lodo activado es un proceso de tratamiento por el cual el agua residual y el lodo biológico (microorganismos) son mezclados y aireados en un tanque.

Agentes antiredeposición

La función que cumplen estos componentes es la de mantener las partículas de suciedad suspendidas en el agua, evitando que durante el lavado, o una vez retirada el agua, éstas no vuelvan a posicionarse sobre las telas.

Los agentes anti(re)deposición más utilizados son la carboximetil celulosa (CMC), y otros derivados no iónicos de la celulosa.

Se usan también comercialmente la polivinil pirrolidona, los polivinil alcoholes, y otros copolímeros entre moléculas de este tipo.

Agentes espumantes y no espumantes

A pesar de que la producción de espuma es independiente del poder detergente, el consumidor general tiene la falsa impresión de que si no hay espuma no hay buena detergencia. En consecuencia muchos productos para lavado manual producen una abundante espuma, requiriendo en algunos casos de agentes espumantes.

Los agentes espumantes más utilizados son el lauril sulfato (aniónico), y los surfactantes no iónicos nitrogenados como óxido de aminas, alcohol amidas, aminas y amidas etoxiladas. También se usan compuestos complejos como alcoholamidas o monoglicéridos sulfatados.

En lavado a máquina, en cambio, una producción muy grande de espuma puede ser un inconveniente y los tensoactivos por sí solo la producen, surgiendo la necesidad de formulaciones baja espuma. Para estos fines se usan principalmente jabones, pero también sulfonatos de parafinas, copolímeros bloques de óxido de etileno y óxido de propileno, polietoxiesteres de ácidos grasos, glicoles acetilénicos etoxilados y esterres de etilén glicol o de glicerol.

Agentes suavizadores

Después de un lavado con detergentes sintéticos del tipo alquilbenceno sulfonatos formulados con sequestradores, el textil seco presenta una superficie cuyo contacto no es siempre agradable sobre la piel. El residuo de surfactante sintético adsorbido tiende a aumentar la carga eléctrica estática de las fibras y la ausencia de sustancias con acción lubricante vuelve el textil relativamente rígido ya que las fibras no pueden deslizarse una sobre otra. El papel de los agentes suavizadores es contrarrestar estos fenómenos.

Muchos surfactantes catiónicos producen estos efectos, pero son incompatibles con los surfactantes aniónicos utilizados en las formulaciones. Por lo tanto deben usarse en un baño separado, o durante el ciclo de enjuague en máquinas de lavar. Los

mejores suavizadores de este tipo son los alquil amonios cuaternarios y las sales de imidazolinio.

La introducción de un agente suavizador en un proceso aparte del lavado, sin embargo, complica la tarea, por lo que la tendencia actual es introducir el suavizador en la formulación detergente. Se debe por lo tanto utilizar un surfactante con cierto carácter catiónico para que se adsorba en las fibras, pero compatible con los surfactantes aniónicos. Se usan para este propósito varios surfactantes noiónicos que poseen un grupo nitrogenado, tales como las aminas etoxiladas, imidazolas etoxiladas, óxidos de aminas cuaternarias con uno o dos grupos hidroxietilos, y por otra parte algunos surfactantes anfóteros, particularmente los que contienen un grupo amido-amina (y que son también ablandadores de agua).

Agentes blanqueadores

Actualmente hay dos tipos de agentes blanqueadores para textiles, ambos con propiedades oxidantes: los hipohaluros, esencialmente el hipoclorito de sodio, y las sales inorgánicas peroxigenadas, principalmente el perborato de sodio.

Las propiedades generales de los blanqueadores son las siguientes: 1) Un aumento de temperatura aumenta la velocidad de descomposición; 2) Ciertos metales pesados a nivel de traza catalizan la descomposición; 3) La actividad blanqueadora aumenta con la concentración pero no linealmente; 4) El pH tiene un efecto importante; un pH ácido acelera la descomposición del hipoclorito, mientras que se requiere un pH alcalino para acelerar la descomposición de las sales inorgánicas peroxigenadas.

El hipoclorito es un agente blanqueador más activo y agresivo que el perborato. Es particularmente eficiente al oxidar el sucio proteico, y en general todas las sustancias que contienen nitrógeno. Posee una acción blanqueadora aún a baja temperatura, y adicionalmente es un efectivo bactericida. Por su acción sobre las sustancias nitrogenadas no se puede conservar en forma de polvo o de líquido en formulaciones detergentes que contengan sales de amonio, aminas, amidas, etc., las cuales son componentes altamente utilizados. Es por esto que se prefiere usar como un ingrediente aparte, conservándolo en solución acuosa separada y añadiéndolo posteriormente al baño detergente.

Las sales inorgánicas peroxigenadas que se utilizan como blanqueadores son el Perborato de sodio tetrahidrato, el Carbonato de sodio peroxihidrato y el Peroximonosulfato de potasio. Estas sales trabajan a pH alcalino, y para lavado en frío se puede acelerar su descomposición con la adición de peróxidos orgánicos como el ácido peracético o perácidos más largos.

El perborato y semejantes exhiben una acción blanqueadora menos agresiva que el hipoclorito, pero son sólidos compatibles con la gran mayoría de los componentes de los detergentes en polvo.

Mejoradores ópticos fluorescentes

Ciertos colorantes orgánicos poliaromáticos pueden absorber la luz ultravioleta y remitir una luz visible azulada mediante el proceso conocido como fluorescencia. A la luz del sol, añaden un tono azulado que compensa el tono amarillento del textil y mejora la blancura o la profundidad de los colores.

Existen agentes fluorescentes solubles en agua que resisten al hipoclorito u otros blanqueadores gracias a que los átomos de nitrógenos de tales sustancias están presentes en estructuras altamente aromáticas de tipo benzo-triazole o benzo-furano.

Enzimas

Los surfactantes con actividad biológica contienen enzimas tales como las proteasas o las lipasas. Las primeras son capaces de degradar rápidamente manchas de proteínas en un medio de pH alcalino y a temperatura de hasta 60°C. Su actividad permite la utilización de un medio detergente en frío, particularmente en detergentes líquido. Ejemplos de estas son las esperasa, savinasa o alcalasa.

Lipasas, por otro lado, tienen la función de atacar restos de sustratos lípidos.

Perfumes

En detergentes de uso doméstico se incorporan perfumes, la mayoría de los cuales son terpenos, es decir sustancias cuyo esqueleto está compuesto de 2, 3 ó más unidades del isopreno (2 metil-butadieno).

Hasta los años 60, el aceite de terebentina o trementina, que se obtiene de la resina del pino o como subproducto del pulpado de la madera, era una de las fuentes principales de materia prima para perfumes; contiene los monoterpenos bicíclicos alfa y beta-pinenos, los cuales se transforman fácilmente en una variedad de derivados oxigenados con fragancia particular. La esencia de citronela y la esencia de eucalipto contienen también varios terpenos odoríferos.

Desde hace unos veinte años se han encontrado métodos de síntesis a partir de materias primas petroleras tales como etileno, isobutileno e isopreno. Las vías sintéticas son en general menos costosas que las purificaciones y conversiones de los productos naturales. Hoy en día los productos sintéticos han desplazado los productos naturales del mercado de gran consumo (detergentes y jabones comunes).

Otros componentes

Las formulaciones detergentes pueden contener también otras sustancias, dependiendo del uso final del producto.

Los hidrotropos son sustancias muy hidrofílicas destinadas a mejorar la solubilización del surfactante en formulaciones líquidas. Los hidrótropos no tienen en sí mismos propiedades surfactantes pero actúan como cosolubilizadores a alta concentración. Los más utilizados son los sulfonatos de tolueno, etil-benceno y xileno.

Ciertos agentes anticorrosión se añaden a las formulaciones detergentes para proteger las partes metálicas de las lavadoras. En general se usa el silicato de sodio que posee además un papel secundario como secuestrante.

Todos los químicos nombrados se pueden encontrar clasificados acorde a su categoría o función en el Anexo 5.

Anexo 2: Impactos promedio por chileno

Los factores de normalización de impactos utilizados para Chile se detallan a continuación:

| Categoría de Impacto | Unidad | Cantidad |
|-------------------------------------|--------------|----------|
| Cambio climático | kg CO2 eq | 1,51E+01 |
| Deterioro Capa de Ozono | kg CFC-11 eq | 3,48E-06 |
| Formación de smog fotoquímico | kg NMVOC | 1,30E-01 |
| Formación material particulado | kg PM10 eq | 6,61E-02 |
| Radiación ionizante | kg U235 eq | 1,71E+01 |
| Acidificación terrestre | kg SO2 eq | 1,77E-01 |
| Eutrofización agua dulce | kg P eq | 2,18E-03 |
| Eutrofización marina | kg N eq | 4,11E-02 |
| Toxicidad humana, cáncer | CTUh | 1,17E-09 |
| Toxicidad humana, no-cáncer | CTUh | 1,29E-08 |
| Ecotoxicidad | CTUe | 1,21E+01 |
| Ocupación suelo agrícola | m2a | 5,69E+01 |
| Ocupación suelo urbano | m2a | 1,55E+00 |
| Transformación de suelos | m2 | 9,78E-03 |
| Agotamiento de fuentes de agua | m3 | 6,03E+00 |
| Agotamiento de minerales | kg Fe eq | 1,29E+00 |
| Agotamiento de combustibles fósiles | kg oileq | 3,54E+00 |

Fuente: Fundación Chile

Anexo 3: Ponderación por categorías de impacto

Los factores de ponderación de impactos utilizados para Chile se detallan a continuación:

| Categoría de Impacto | Ponderador (%) |
|-------------------------------------|----------------|
| Cambio climático | 15,50 |
| Deterioro Capa de Ozono | 7,80 |
| Formación de smog fotoquímico | 4,85 |
| Formación material particulado | 4,85 |
| Radiación ionizante | 7,00 |
| Acidificación terrestre | 5,50 |
| Eutrofización agua dulce | 2,70 |
| Eutrofización marina | 2,70 |
| Toxicidad humana, cáncer | 3,23 |
| Toxicidad humana, no-cáncer | 3,23 |
| Ecotoxicidad | 3,23 |
| Ocupación suelo agrícola | 3,20 |
| Ocupación suelo urbano | 3,20 |
| Transformación de suelos | 3,20 |
| Agotamiento de fuentes de agua | 16,8 |
| Agotamiento de minerales | 6,70 |
| Agotamiento de combustibles fósiles | 6,30 |

Fuente: Fundación Chile

Anexo 4: Imagen de software Simapro

The screenshot displays the Simapro software interface. A 'Seleccionar un producto' (Select a product) dialog box is open, showing a list of products. The 'Tensides' category is selected in the left-hand tree view. The main table in the dialog contains the following data:

| Nombre | Ud. | Tipo de residuo | Proyecto |
|---|-----|-----------------|----------------------------|
| Alkylbenzene sulfonate, linear, petrochemical, at plant/RER U | kg | no definido | Chile LCI (Ecoinvent v2.2) |
| Esterquat, coconut oil and palm kernel oil, at plant/RER U | kg | no definido | Chile LCI (Ecoinvent v2.2) |
| Esterquat, tallow, at plant/RER U | kg | no definido | Chile LCI (Ecoinvent v2.2) |
| Ethoxylated alcohols (AE11), palm oil, at plant/RER U | kg | no definido | Chile LCI (Ecoinvent v2.2) |
| Ethoxylated alcohols (AE3), coconut oil, at plant/RER U | kg | no definido | Chile LCI (Ecoinvent v2.2) |
| Ethoxylated alcohols (AE3), palm kernel oil, at plant/RER U | kg | no definido | Chile LCI (Ecoinvent v2.2) |
| Ethoxylated alcohols (AE3), petrochemical, at plant/RER U | kg | no definido | Chile LCI (Ecoinvent v2.2) |
| Ethoxylated alcohols (AE7), coconut oil, at plant/RER U | kg | no definido | Chile LCI (Ecoinvent v2.2) |
| Ethoxylated alcohols (AE7), palm kernel oil, at plant/RER U | kg | no definido | Chile LCI (Ecoinvent v2.2) |
| Ethoxylated alcohols (AE7), petrochemical, at plant/RER U | kg | no definido | Chile LCI (Ecoinvent v2.2) |
| Ethoxylated alcohols, unspecified, at plant/RER U | kg | no definido | Chile LCI (Ecoinvent v2.2) |
| Fatty alcohol sulfate, coconut oil, at plant/RER U | kg | no definido | Chile LCI (Ecoinvent v2.2) |
| Fatty alcohol sulfate, mix, at plant/RER U | kg | no definido | Chile LCI (Ecoinvent v2.2) |
| Fatty alcohol sulfate, palm kernel oil, at plant/RER U | kg | no definido | Chile LCI (Ecoinvent v2.2) |
| Fatty alcohol sulfate, palm oil, at plant/RER U | kg | no definido | Chile LCI (Ecoinvent v2.2) |
| Fatty alcohol sulfate, petrochemical, at plant/RER U | kg | no definido | Chile LCI (Ecoinvent v2.2) |
| Soap, at plant/RER U | kg | no definido | Chile LCI (Ecoinvent v2.2) |
| Alkylbenzene sulfonate, linear, petrochemical, at plant/RER S | kg | no definido | Ecoinvent system proces |
| Esterquat, coconut oil and palm kernel oil, at plant/RER S | kg | no definido | Ecoinvent system proces |
| Esterquat, tallow, at plant/RER S | kg | no definido | Ecoinvent system proces |
| Ethoxylated alcohols (AE11), palm oil, at plant/RER S | kg | no definido | Ecoinvent system proces |
| Ethoxylated alcohols (AE3), coconut oil, at plant/RER S | kg | no definido | Ecoinvent system proces |
| Ethoxylated alcohols (AE3), palm kernel oil, at plant/RER S | kg | no definido | Ecoinvent system proces |
| Ethoxylated alcohols (AE3), petrochemical, at plant/RER S | kg | no definido | Ecoinvent system proces |
| Ethoxylated alcohols (AE7), coconut oil, at plant/RER S | kg | no definido | Ecoinvent system proces |
| Ethoxylated alcohols (AF7), palm kernel oil, at plant/RER S | kn | no definido | Ecoinvent system proces |

Below the table, a detailed description for the selected product is shown:

Translated name: Alkylbenzolsulfonate, lineare, petrochemisch, ab Werk
 Included processes: This module contains material and energy input, production of waste and emissions for the production of linear alkylbenzene sulfonate out of benzene and paraffins. Transports and infrastructure have been estimated. No water consumption included.
 Remark: data based on the ECOSOL study of the European surfactant industry. Allocations in multioutput processes were made, using the relative mass outputs of products.
 CAS number: 042615-29-2; Geography: Data based on the European linear alkylbenzene sulfonate production
 Technology: Average technology, representing a mix of 50% aluminium chloride (AlCl3) process and 50% hydrofluoric acid (HF) process - typical for European production conditions in the mid 90s.
 Time period: data of published literature
 Version: 2.2
 Energy values: Undefined
 Percent representativeness: 40.0
 Production volume: 510000000
 Local category: Waschmittel
 Local subcategory: Tenside
 Source file: 01998.XML

The dialog also shows a search filter 'Filtro act.' with the value 'y o' and a 'Borrar' button. At the bottom, it indicates '14452 elementos' and '0 elementos seleccionados(as)'. The background shows the Simapro main interface with a tree view on the left and a menu bar at the top.

Anexo 5: Clasificación de químicos

Builders (Secuestrantes)

- Policarboxilato
- Ácido Cítrico

- Inorgánicos:
 - Fosfatos
 - Silicato de Sodio
 - Carbonato de Sodio¹⁶
 - Aluminosilicato de Sodio SASIL (Zeolita)
 - BORAX (Borato de Sodio)

- Intercambiadores de Iones:
 - Zeolita A
 - Bisilicato de Sodio: Sodium Disilicate (SKS-6) (Layered Silicate)

- Orgánicos:
 - Etileno Diamina Tetracetato (EDTA)
 - Nitrilo Triacetato de Sodio NTA
 - Alfa Eter Carboxilato
 - Carboximetil Tartronato CMT
 - Carboximetil Oxisuccinato CMOS
 - Tris Carboximetil Etano TMETA

- Polielectrolitos Poco Biodegradables:
 - Ácido Acrílico (Poly)
 - Ácido Maléico
 - Almidón
 - Ácido Algínico
 - Epoxisuccinato

- Solubilizante:
 - Urea
 - Etanol

- Agentes Dispersantes de Jabones de Calcio:
 - Surfactantes Aniónicos O Anfóteros
 - Alfa Sulfo Esteres de Ácidos Grasos

¹⁶ Juntos facilitan el lavado (silicato y carbonato de sodio)

- Alquilgliceril Ester Sulfonatos

Ácidos Grasos

- Aceite de Coco
- Aceite de Palma
- Aceite de Palm Kernel
- Aceite de Origen Petroquímico

Surfactante Aniónicos

- Sulfatos de Sodio
- Sulfanato de Sodio
- Ácido Bencensulfónico
- Lauril Sulfato de Sodio
- Éster Metílico Sulfonado¹⁷
- Ácido Dodecil Bencensulfónico (LAS)¹⁸
- Ácidos Grasos Sulfatados (FAS: Fatty Alcohol Sulfates)

Surfactante Noiónico

- Alcoholes Etoxilados
- Alcoholes Propoxilados
- Polipropilenglicos
- Ésteres
- Éster Oxietilénico
- Fatty Alcohol Ethoxylates (AE)¹⁹
- Aminoóxidos
- Nonilfenol Etoxilado
- Alkylphenol Ethoxylates
- Alkylpolyglucoside
- Glucamides
- Glucamine Oxides

¹⁷ Tiene mejor detergencia (C16/18) que las LAS en aguas duras y altamente biodegradable

¹⁸ Necesita ser neutralizado con Hidróxido de sodio (soda perla)

¹⁹ Bueno para el lavado a baja temperatura

Surfactante Catiónico

- Esterquat de Aceite de Coco/Palma/Palm Kernel
- Esterquat de Sebo
- Bromuro de Cetrimonio

Producción de Jabón²⁰

- Trietanolamina
- Hidróxido de Potasio
- Hidróxido de Sodio 98% (Soda Perla)

Agentes Antiredeposición

- Carboximetil Celulosa (CMC)
- Polivinil Pírolidona
- Polivinil Alcoholes
- Hidroxiethyl Celulosa

Agentes Espumantes

- Lauril Sulfato (Aniónico)
- Surfactantes Noiónicos
- Óxido de Aminas
- Alcanol Amidas
- Aminas Etoxiladas
- Amidas Etoxiladas
- Alcanolamidas
- Monoglicéridos Sulfatados

Agentes Antiespumantes

- Jabones
- Sulfonatos de Parafinas
- Copolímeros Bloques de Óxido de Etileno
- Antiespumante Siliconado

²⁰Estos químicos reaccionan con algún ácido graso para formar jabón

Agentes Suavizadores

- Surfactante catiónico compatible con aniónico como ABS o LAS
- Sulfato de sodio

- Surfactante noiónico
 - Aminas Etoxiladas
 - Imidazolas Etoxiladas
 - Óxidos de Aminas Cuaternarias

- Surfactantes anfóteros
 - DSDMAC, cloruro de diesterarildimetilamonio

Agentes Blanqueadores

- Hipohaluros
- Hipoclorito de Sodio
- Sales Inorgánicas Peroxigenadas
- Perborato de Sodio Tetrahidratado*
- Carbonato de Sodio Peroxihidratado
- Perborato Monohidratado
- Peroximonosulfato de Potasio
- TAED, Tetraacetilendiamina
- Ácidos Peroxicarboxílicos
- Peroxigenos Halógenos
- Percarbonato de Sodio (PCS)
- Peróxido de Hidrógeno
- Estilbil-S-Triazima
- Diestirilobifenilo DSBP
- DAS-1 Triazinylaminostilbene Type

Mejoradores ópticos

- Benzo Triazole
- Benzo Furano

Enzimas

- Proteasas
- Esperasa
- Savinasa
- Alcalasa

- Lipasas

Otros

- Mejora Solubilización Surfactante
 - Hidrótopos
- Anticorrosión
 - Silicato de Sodio
- Antibacteriano (Conservante)
 - Formol
 - Propilenglicos
 - Glutaraldehído
 - Peróxido de Hidrógeno
 - Ácido Paracético
 - Dióxido de Cloro
 - Compuestos Cuaternario de Amonio
 - Bromuro de Cetrimonio
- Antiaglomerante
 - Silice Pirógena
 - Polietilenglicol
 - Silicone

Anexo 6: Metodología de Cálculo

A continuación se detalla los alcances y consideraciones que se tomaron para estimar la data modelada.

Elaboración y Transporte de Materias Primas

En este ítem se consideró la producción y traslado de los químicos utilizados para la formulación.

Para conocer la distancia que las materias primas recorren desde su punto de origen, se consideró, en el caso de traslado marítimo, su partida desde el puerto más cercano a su ciudad de origen, incluyendo esta distancia en un camión de entre 20 y 28 toneladas, y la distancia recorrida en la ruta marítima hasta San Antonio. También se consideró el trecho en camión desde San Antonio a Santiago. Para aquellas materias primas trasladadas vía terrestre, su transporte se asumió en camiones de esta misma capacidad.

Cabe destacar que un 1,4% de la masa de la formulación en el caso del polvo, y un 1,5% para el líquido, no fue modelado debido a falta de información. Este valor, a pesar de que no debería alterar los resultados, puede resultar significativo para los impactos ecotoxicidad y esmog fotoquímico, ya que parte de los componentes que no fueron modelados son los antiespumantes siliconados y los perfumes, los cuales se consideran como agentes generadores de estas categorías de impacto. Las otras materias primas fueron Sílice Pirógena, Hidroxietil Celulosa, y las enzimas Limaza y Proteaza.

Además se utilizó la producción del Alcohol Etoxilado a partir de Aceite de Palma en vez del de NPE porque no se pudo hallar el inventario de ciclo de vida de este químico. Sin embargo se le asocia un impacto similar a la producción de ambos productos, lo que es una práctica común en ACV²¹.

Dado que la mayor parte del empaque en la que llegan las materias primas es reutilizado, las salidas de material con respecto a este ámbito no fueron consideradas dentro de la modelación.

²¹ E. Saouter, G. Hoof, T. C. J. Feijtel, and J. W. Owens, “The effect of compact formulations on the environmental profile of Northern European granular laundry detergents Part II: Life Cycle assessment,” *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 7, no. 1, pp. 27–38, Jan. 2002.

Producción

Con respecto a la elaboración de detergente en polvo de Envatec, en promedio se producen 15 toneladas de este producto al día. Su producción y envasado consta de cuatro etapas: recepción y fraccionamiento de las materias primas, pre-mezcla y mezcla, tamizado y envasado del producto.

El proceso productivo comienza con la recepción de las materias primas y su acopiado en el almacén. Luego viene el proceso de fraccionamiento, donde las materias son separadas en cantidades acordes a la formulación del producto.

Una vez el fraccionamiento está listo acorde a la receta, se realiza la pre-mezcla de los componentes. En esta etapa se alteran las propiedades físicas de los ingredientes con la ayuda de una batidora, homogeneizando algunos químicos líquidos con otros en polvo. Para este proceso existen dos máquinas mezcladoras, cada una especializada en mezclar ciertos componentes específicos.

Una vez que todos los componentes principales se encuentran mezclados en estado sólido, se procede a la etapa de armado, donde a la mezcla principal se le agregan los aditivos menores, tales como aromas, antiespumantes y color. Esta preparación pasa luego a las tómbolas, en las cuales toma lugar el mezclado final.

El tamizado tiene la función de homogeneizar los tamaños de los granos de detergente, logrando la granulometría deseada. Los granos mayores que no pasan por el tamizado son posteriormente molidos y reincorporados al proceso.

El siguiente paso es Control de Calidad, donde una vez aprobado pasa a la etapa de envasado. El producto es cargado en la tolva y distribuido a las diferentes líneas de envasado, en las cuales se trabajan distintos tipos de empaque: cajas de cartulina y bolsas plásticas de polietileno.

El proceso de empaque de las cajas de 1, 3 y 5 kg consiste en un proceso semi-automático, donde el armado de la caja es manual, la dosificación del detergente es automática y el sellado se realiza con adhesivo de tipo cola fría. Para los estuches de 450 grs. se utiliza una máquina que en forma automática dosifica el producto y arma y sella el envase.

En el caso de la línea de envasado en bolsa de polietileno, donde se trabajan formatos de 1, 2 y 4 kg, la dosificación y sellado se realiza en forma automática.

Posteriormente se empaqueta el producto en una caja de mayor tamaño, se sella con cola fría y se asegura con cinta de embalaje plástico. El empaque en polietileno

(stretch film) que cubre los pallets del producto terminado tiene un peso de 200 g por pallets de producto.

Los pallets de madera son arrendados y reutilizados una vez que el producto llega a destino. Cuando el pallet cumple su vida útil, son devueltos a la empresa proveedora para que ellos gestionen el reciclado.

En el Anexo 7 se muestran las entradas y salidas por proceso unitario para una tonelada de detergente en polvo.

En cuanto a la producción de detergente líquido, esta consta de las etapas de fraccionamiento de materias primas, mezclado y envasado. A diferencia de las materias primas utilizadas para el producto en polvo, los ingredientes utilizados para la formulación del líquido solo se encuentran en estado líquido, por lo que no es necesario realizar una premezcla de los componentes.

Las materias primas son fraccionadas acorde a las especificaciones de la receta, para luego ser mezcladas en tanques donde los ingredientes son mezclados hasta lograr una solución homogénea y estable. Este producto pasa por Control de Calidad, y luego es dispuesto en totes en el que es transportado hasta el proceso de envasado.

En la etapa de envasado se usa una máquina que recibe el material desde los totes y es utilizada por operadoras para realizar el llenado de las botellas y los doypacks. Las botellas son posteriormente etiquetadas mediante adhesivos en forma automática y manual. Las botellas contienen 1 y 1,5 litros de producto, mientras que los doypacks siguen formatos de 1 y 3 litros.

Tanto las botellas como los doypacks siguen un proceso de envasado secundario, en las que son acoplados en cajas de cartón corrugado. Finalmente estas cajas proceden al envasado terciario, donde son paletizadas acorde a las especificaciones de Walmart.

En el Anexo 9: Entradas y Salidas Detergente Líquido se muestran las entradas y salidas por proceso unitario para una tonelada de detergente líquido.

El proceso de producción del detergente en polvo de Unilever comienza con la recepción de las materias primas, de las cuales varias vienen desde el puerto de San Antonio a granel, por lo que deben pasar por una serie de filtros para remover los cuerpos extraños. Estos filtros se encuentran entre las distintas etapas de mezclado, donde los químicos que componen la formulación se van juntando y agitando con otros que sean afines.

Durante el primer proceso de mezclado se agregan algunas materias primas y agua. Esta mezcla, o *slurry*, pasa a un tanque de almacenamiento. Luego del reposo, el

slurry se tamiza y pasa por un filtro magnético para retener probables impurezas metálicas.

El proceso en la torre de secado comienza con la aspersión de gotas de *slurry* desde la zona superior, lo cual marca el tamaño final de los granos de aproximadamente 2,7 mm. Estas gotas son expuestas a corrientes de aire caliente a alrededor de 400 °C, lo que logra que durante su descenso se produzca una deshidratación hasta llegar a una humedad especificada. Estas partículas pierden su velocidad permitiendo ser re ingresadas al proceso. Aun así hay partículas más livianas que quedan en el flujo de calor, los cuales son captados en la cima de la torre por ciclones secos que llegan a ciclones húmedos, donde queda, al mezclar con agua, una sustancia jabonosa.

A través de la etapa de secado se obtiene el polvo base, que corresponde a un porcentaje importante del producto final. Este polvo pasa por una etapa intermedia de tamizado, donde el producto que no cumple el tamaño especificado se separa y se reincorpora a producción del sistema batch. El último proceso consiste en la adición de los ingredientes de menor dosificación dentro de la formulación, tales como perfume o agentes para la imagen del producto. Esto se realiza a través de un tubo similar a una correa transportadora que va girando a medida que se agregan los componentes.

El producto terminado pasa a la etapa de envasado automático, donde es dosificado en estuches de cartulina de distintos gramajes. Los estuches con producto son luego sellados con pegamento y timbrados con el número de bach, hora y fecha. Estos estuches son dispuestos en cajas de cartón corrugado para conformar el empaque secundario, las cuales a su vez son ordenadas en los pallets a través de robots automáticos. El pallet con las cajas es envuelto en film plástico, quedando listo para su posterior distribución.

Energía

Para Envatec se recolectó la información de producción y consumo nominal de las máquinas utilizadas, junto con su régimen de uso, haciendo una estimación de la energía utilizada por máquina, proceso productivo, y producción total por formato de producto. Se consideró que las máquinas se utilizaban en un 80% de su potencia nominal para el caso de los motores mezcladores, y 85% para los tecles²². Para las máquinas empaquetadoras se consideró una utilización de 100% de potencia, ya que al estar encendidas su consumo energético no varía respecto al valor nominal indicado por fabricación. Estas aproximaciones fueron establecidas a través de análisis de estimación en conjunto con expertos en eficiencia energética de

²² Sistema de poleas de carga a motor.

Fundación Chile. El detalle por proceso y máquina se puede observar en el Anexo 8: Detalle consumo por máquina

Para el caso de la iluminación, considerando que según la empresa solo un bajo porcentaje de luz artificial es utilizado en épocas estivales, pero que en otoño e invierno se utilizan cerca de un 100% y que en plantas similares la iluminación significa un 15% de la facturación total en electricidad, se estimó que un 11% de la facturación anual corresponde a iluminación. Se usó asignación económica para obtener el consumo eléctrico por iluminación, generado específicamente por los productos utilizados. Esto significa que el valor total fue ponderado por el aporte monetario del producto frente a la facturación total de la empresa.

Si se realiza el mismo cálculo, utilizando asignación económica, en la estimación de consumo energético de las máquinas, se obtiene que estos resultados coinciden con la estimación realizada a través de la potencia nominal de las mismas, lo que de alguna forma verifica la información obtenida.

Unilever, por otro lado, lleva un registro detallado de sus consumos energéticos, por lo que se utilizó esta información para la modelación.

Empaque

Para calcular las cantidades de empaque utilizado, considerando que ofrecen una gran variedad de productos, se consideró los gramajes del envase de cada producto y las ventas anuales de los mismos. La información que se utilizó para modelar el envase usado para un kilo de detergente fue un promedio ponderado acorde a las ventas de cada producto, considerando además la cantidad de detergente contenido en cada formato de producto.

No fue considerado el etiquetado.

Distribución

No se consideró la energía gastada en el almacenamiento de los centros de distribución de retail.

Para calcular la huella ambiental que significa el traslado de producto a los distintos puntos de venta a lo largo del país se consideraron dos factores: número de puntos de venta de Walmart y población por región. Ambos factores fueron ponderados multiplicando la distribución de locales por 0,9 y el porcentaje poblacional por 0,1. La ponderación fue asignada arbitrariamente como un intento de considerar los tamaños de las sucursales según demanda poblacional.

Conociendo que el tipo de transporte utilizado por Walmart son camiones de 40 metros cúbicos [47] y que la cantidad anual producida por Envatec son 480.000 toneladas anuales, se pudo estimar la distribución de toneladas por distancia recusando la distribución calculada antes y la distribución por región estimada a través de la población y el número de locales.

La distribución dentro de cada región no fue considerada, pero al ser distancias pequeñas no debería significar cambios relevantes al considerar el ciclo de vida en su totalidad.

Retail y compra

Para el consumo energético requerido para mantener el producto en el punto de venta se utilizó la información recopilada por TSC, bajo el supuesto que supermercados en Estados Unidos y Chile no contemplan mayores diferencias con respecto a este tema.

Con el objetivo de calcular la distancia que recorren los consumidores para realizar las compras, se realizó una estimación utilizando las distancias máximas entre ubicaciones de supermercados de distintas zonas urbanas de Chile²³. Para esto se tomó muestras de Antofagasta, La Serena, Viña del Mar, Santiago, Concepción, Temuco y Puerto Montt. Los valores obtenidos fueron ponderados por su proporción poblacional²⁴ y se obtuvo un promedio de 2,8 km entre locales. Se consideró este valor como representativo, ya que los chilenos escogen el lugar de compras por su ubicación como factor más relevante, siendo la cercanía por lo tanto un punto crucial²⁵. Se consideró la mitad de este valor como la distancia total recorrida para la modelación, puesto que significa el doble de lo que tendría que recorrer una persona que se encuentra justo entre ambas ubicaciones (distancia máxima a uno de los puntos), por lo que al dividirlo representa solo el viaje de regreso, el cual es el camino que recorre el producto. El viaje se simplificó asumiendo que el traslado se realiza en vehículo particular, y las distancias que recorre la población rural no fueron consideradas.

²³ Cencosud, “Busca tu jumbo.” [Online]. Available: <http://www.jumbo.cl/supermercado/locales/index.html> y Walmart, “Encuentra tu Local.” [Online]. Available: <http://ubicalocal.walmartchile.cl/StoreWalmartChile/clienteExterno.jsp>.

²⁴ Corpa, “Chile en estadísticas 2011,” pp. 1–113, 2011.

²⁵ C. Muñoz, “El precio ya no es una variable relevante a la hora de elegir supermercado,” *Pulso*, no. Viernes 20 de Diciembre 2013, p. 2013, 2013.

Uso

A partir de información obtenida de la empresa Unilever, se consideró que el lavado de ropa se realiza con lavadora automática de carga superior, sin procesos previos (como remojo o prelavado) y con utilización de agua fría, lo que además ha sido comprobado ser más gentil para los textiles y colores de las telas [16]. La energía y el agua consumidas en un lavado se extrajeron de información recopilada por TSC, la cual es consecuente con información secundaria recopilada [29], y consiste en 117 l de agua y 0,76 MJ por lavado.

Hábitos de lavado tales como uso de suavizante, adición de blanqueador, pretratamiento, prelavado, remojo o fregado, no fueron considerados, puesto que investigaciones realizadas por Unilever muestran que una minoría de los consumidores chilenos realizan estas prácticas.

Fin del ciclo de vida

Se consideró, a partir de información publicada por la CONAMA, que un 17,12% de la basura domiciliar perteneciente a la categoría papel y cartón es reciclada. Esto significaría que este porcentaje del empaque de cartulina es reciclado, mientras que el resto se dirige a vertederos.

Los materiales plásticos, por otro lado, son reciclados en un 9,72% de las ocasiones²⁶.

A partir de la opinión de expertos, se consideró que el 90% de los químicos utilizados en el detergente son liberados a los cuerpos de agua tras pasar por las plantas de tratamiento.

A falta de información más representativa, el descarte del químico NPE fue modelado como emisión hídrica de NP, lo que no debiera generar cambios en los resultados ya que el producto etoxilado se degrada en NP en los cuerpos de agua, el cual además tiene una considerable mayor permanencia²⁷.

²⁶ J. Pizarro, “Análisis de la gestión de los residuos domiciliarios,” 2011.

²⁷ U.S. Environmental Protection Agency, “Nonylphenol (NP) and Nonylphenol Etoxylates (NPEs) Action Plan,” 2010.

Para el caso de aquellos químicos en los que en la base de datos solo estaba disponible el descarte de parte de su compuesto, se calculó el aporte que estos generaban a través de su proporción en su peso molar.

Anexo 7: Entradas y salidas de detergente polvo Envatec

| Polvo | |
|---|--------|
| Materias Primas | |
| INPUTS | UNITS |
| Ácido Bencensulfónico | ton |
| Nonilfenol Etoxilado | ton |
| Sulfato de Sodio | ton |
| Hidróxido de sodio 98% (soda perla) | ton |
| Peroxido de hidrógeno | ton |
| Blanqueador Optico | ton |
| Silicato de Sodio (Bases Neutras) | ton |
| Zeolita | ton |
| Antiespumante siliconados | ton |
| Carboximetil celulosa | ton |
| Silice pirógena | ton |
| Carbonato de Sodio (Cenizas) | ton |
| Perfumes | ton |
| Agua | ton |
| Procesos Productivos: Pre mezcla, mezcla final y tamizado | |
| INPUTS | UNITS |
| Pre mezcla 1 | kWh |
| Armado | kWh |
| Tamizado | kWh |
| Pre mezcla 2 y granulado | kWh |
| Envasado | |
| INPUTS | UNITS |
| Cartulina | gr/ton |
| Bolsa Polietileno | gr/ton |
| Cartón corrugado | gr/ton |
| Strech Film | kg |
| Empaquetadora bolsa | kWh |
| Empaquetadora 450 gr | kWh |
| OUTPUTS | UNITS |
| Pallets | u |
| Material particulado (Detergente Barrido) | kg |

| Servicios a la Producción | |
|--------------------------------------|----------|
| INPUTS | UNITS |
| GLP grua horquillas | l |
| Iluminación | kWh |
| Distribución | |
| INPUTS | UNITS |
| Distribución por región | tkm |
| Retail y Compra | |
| INPUTS | UNITS |
| Gasto Energético Supermercado | kWh |
| Gas | l |
| Transporte al local y regreso (auto) | personkm |
| OUTPUTS | UNITS |
| Cartón corrugado reciclado | gr |
| Uso | |
| INPUTS | UNITS |
| Agua | l |
| Electricidad | MJ |
| Fin del Ciclo de Vida | |
| OUTPUTS | UNITS |
| Aguas Residuales | l |
| Cartulina reciclada | gr |
| Cartulina | gr |
| Bolsa Polietileno | gr |
| Ácido Bencensulfónico | kg |
| Nonilfenol Etoxilado | kg |
| Sulfato de Sodio | kg |
| Hidróxido de sodio 98% (soda perla) | kg |
| Peroxido de hidrógeno | kg |
| Blanqueador Optico | kg |
| Silicato de Sodio (Bases Neutras) | kg |
| Silice pirógena | kg |

Anexo 8: Detalle consumo por máquina

| Tipo | Proceso | Máquina | Consumo (kWh) | Ciclos Totales | Duración ciclo (h) | Proporción | paquetes por min | penalizaciones | Potencia Output kW | Potencia Input kW |
|---------|-------------------------|------------------------------|---------------|----------------|--------------------|------------|------------------|----------------|--------------------|-------------------|
| Polvo | Pre mezcla 1 | Tambor Tecele | 4,43 | 150 | 0,03 | | | 0,85 | 1,25 | 1,4 |
| | | Tambor Giro | 20,00 | 1 | 7,50 | | | 0,8 | 3 | 3,3 |
| | | Tambor tornillo | 61,33 | 1 | 7,50 | | | 0,8 | 9,2 | 10,2 |
| | | 1 Hoist | 5,31 | 150 | 0,03 | | | 0,85 | 1,5 | 1,7 |
| | Armado y Tomboleado | Tambor 1000kg | 15,00 | 1 | 2,25 | | | 0,8 | 7,5 | 8,3 |
| | | 1 Hoist | 3,79 | 40 | 0,03 | | | 0,8 | 3,2 | 3,6 |
| | Tamizado | 4 tamizadoras | 80,00 | 1 | 6 | | | 1 | 3 | 3,3 |
| | | 1 Hoist | 7,56 | 40 | 0,03 | | | 0,85 | 1,5 | 1,7 |
| | Premezcla 2 y Granulado | Maquina Abajo | 64,00 | 1 | 4 | | | 1 | 3,6 | 4,0 |
| | | Maquina Arriba | 199,1 | 1 | 4 | | | 1 | 11,2 | 12,4 |
| | Envasado | 1 Hoist | 7,56 | 40 | 0,03 | | | 0,85 | 1,5 | 1,7 |
| | | Empaquetadora 1 | 0,30 | 1 | 0,66 | 16% | 80 | 1 | 0,4 | 0,4 |
| | | Empaquetadora 2 | 0,20 | 1 | 0,44 | 16% | 60 | 1 | 0,4 | 0,4 |
| | | Empaquetadora 4 | 0,15 | 1 | 0,33 | 16% | 40 | 1 | 0,4 | 0,4 |
| | | Cajas | 69,97 | 1 | 13,99 | 42% | 20 | 1 | 4,5 | 5,0 |
| Líquido | Mezcla | Paleta Tambor | 10,00 | 1 | 3 | | | 1 | 3 | 3,3 |
| | Envasado | Maquina dispensadora botella | 4,41 | 1 | 13,33 | 33% | | 0,4 | 0,745 | 0,8 |
| | | Maquina dispensadora Doypack | 4,08 | 1 | 7,037 | 67% | | 0,7 | 0,745 | 0,8 |

Anexo 9: Entradas y Salidas Detergente Líquido Envatec

| Líquido | |
|-----------------------------|-------|
| Materias Primas | |
| INPUTS | UNITS |
| Nonilfenol Etoxilado | ton |
| Aceite de Coco | ton |
| Urea | ton |
| Formol | ton |
| Perfume | ton |
| Borax | ton |
| Aci.Dodecil Bencensulfonico | ton |
| Soda Perla | ton |
| Hidroxieltil Celulosa | ton |
| Antiespumente Siliconado | ton |
| Optico | ton |
| Enzimas (Proteasa -Lipasa) | ton |
| Ag.Blanda | ton |
| Mezcla | |
| INPUTS | UNITS |
| Mezcla | kWh |
| Envasado | |
| INPUTS | UNITS |
| PET | gr |
| HDPE | gr |
| Cartón corrugado | gr |
| Film Strech | kg |
| Envasadora Botella 1 l | kWh |
| Envasadora Doypack 3 l | kWh |
| OUTPUTS | UNITS |
| Pallets | kg |
| Servicios a la Producción | |
| INPUTS | UNITS |
| GLP grua horquillas | l |
| Iluminación | kWh |

| Distribución | |
|-------------------------|-------|
| INPUTS | UNITS |
| Distribución por región | tkm |

| Retail y Compra | |
|--------------------------------------|----------|
| INPUTS | UNITS |
| Gasto Energético Supermercado | kWh |
| Gas | l |
| Transporte al local y regreso (auto) | personkm |

| OUTPUTS | UNITS |
|----------------------------|-------|
| Cartón corrugado reciclado | gr |

| Uso | |
|--------------|-------|
| INPUTS | UNITS |
| Agua | l |
| Electricidad | MJ |

| Fin del Ciclo de Vida | |
|-----------------------|-------|
| INPUTS | UNITS |

| OUTPUTS | UNITS |
|-----------------------------|-------|
| Aguas Residuales | l |
| Reciclaje PET | gr |
| Reciclaje HDPE | gr |
| Pet | gr |
| HDPE | gr |
| Nonil Fenol Etoxilado | kg |
| Aceite De Coco | kg |
| Urea | kg |
| Formol | kg |
| Perfume | kg |
| Borax | kg |
| Aci.Dodecil Bencensulfonico | kg |
| Soda Perla | kg |
| Optico | kg |

Anexo 10: Resultados modelación de detergente en polvo Envatec

| Categoría de impacto | Unidad | Total | Materias Primas polvo | Producción | Distribución Polvo Envatec | Retail y Compra | Uso (lavado) | Descarte |
|---------------------------------|--------------|------------|-----------------------|------------|----------------------------|-----------------|--------------|------------|
| Climate change | kg CO2 eq | 0,41696706 | 0,21029631 | 0,01455507 | 0,0123041 | 0,00572014 | 0,13605789 | 0,03803355 |
| Ozone depletion | kg CFC-11 eq | 3,66E-08 | 2,24E-08 | 1,10E-09 | 1,96E-09 | 5,45E-10 | 8,99E-09 | 1,61E-09 |
| Photochemical oxidant formation | kg NMVOC | 0,00170069 | 0,0010222 | 5,74E-05 | 0,00011924 | 2,46E-05 | 0,00036395 | 0,00011325 |
| Particulate matter formation | kg PM10 eq | 0,00073461 | 0,00046483 | 2,07E-05 | 3,12E-05 | 6,06E-06 | 0,00014955 | 6,22E-05 |
| Ionising radiation | kg U235 eq | 0,00944174 | 0,00672659 | 6,72E-05 | 0,00049538 | 0,00018968 | 0,00035079 | 0,00161209 |
| Terrestrial acidification | kg SO2 eq | 0,00200318 | 0,00134297 | 5,37E-05 | 6,73E-05 | 1,70E-05 | 0,00043402 | 8,81E-05 |
| Freshwater eutrophication | kg P eq | 1,96E-05 | 1,10E-05 | 5,10E-07 | 1,48E-07 | 6,33E-08 | 6,84E-06 | 9,75E-07 |
| Marine eutrophication | kg N eq | 0,00069361 | 0,00048692 | 2,12E-05 | 3,79E-05 | 5,45E-06 | 0,00010985 | 3,22E-05 |
| Human toxicity, cancer | CTUh | 2,02E-11 | 1,60E-11 | 5,49E-13 | 1,89E-13 | 1,47E-12 | 7,48E-13 | 1,27E-12 |
| Human toxicity, non-cancer | CTUh | 8,52E-11 | 4,79E-11 | 7,74E-13 | 7,49E-13 | 7,13E-13 | 2,91E-11 | 6,00E-12 |
| Ecotoxicity | CTUe | 26,46757 | 0,00177355 | 0,00565823 | 2,26E-05 | 1,07E-05 | 5,33E-05 | 26,460051 |
| Agricultural land occupation | m2a | 0,05397626 | 0,01379745 | 0,03589073 | 5,40E-05 | 1,84E-05 | 0,00386079 | 0,00035489 |
| Urban land occupation | m2a | 0,00544351 | 0,00145777 | 0,00059486 | 0,00030945 | 0,00013719 | 0,00217144 | 0,00077281 |
| Natural land transformation | m2 | 0,00010744 | 5,88E-05 | 6,55E-06 | 4,60E-06 | 1,54E-06 | 3,57E-05 | 2,52E-07 |
| Water depletion | m3 | 0,13557412 | 0,00172336 | 0,00052013 | 4,96E-05 | 1,18E-05 | 0,13238155 | 0,00088772 |
| Metal depletion | kg Fe eq | 0,0386117 | 0,01875855 | 0,00034499 | 0,00061083 | 0,00023405 | 0,00749547 | 0,0111678 |
| Fossil depletion | kg oil eq | 0,14704226 | 0,08364804 | 0,00552989 | 0,00456554 | 0,00197112 | 0,04278614 | 0,00854153 |

Anexo 11: Resultados modelación de detergente líquido Envatec

| Categoría de impacto | Unidad | Total | Materias Primas Det Liq | Producción Líquido | Distribución | Retail y compra | Uso | Descarte Detergente Líquido |
|---------------------------------|------------|------------|-------------------------|--------------------|--------------|-----------------|------------|-----------------------------|
| Climate change | kg CO2 eq | 0,30707232 | 0,0928494 | 0,02588701 | 0,0095972 | 0,00446171 | 0,13605789 | 0,03821911 |
| | kg CFC-11 | | | | | | | |
| Ozone depletion | eq | 2,27E-08 | 9,50E-09 | 6,60E-10 | 1,53E-09 | 4,25E-10 | 8,99E-09 | 1,61E-09 |
| Photochemical oxidant formation | kg NMVOC | 0,00108062 | 0,00041982 | 7,13E-05 | 9,30E-05 | 1,92E-05 | 0,00036395 | 0,00011334 |
| Particulate matter formation | kg PM10 eq | 0,00045084 | 0,00017434 | 3,56E-05 | 2,44E-05 | 4,72E-06 | 0,00014955 | 6,22E-05 |
| Ionising radiation | kg U235 eq | 0,00313135 | 0,00061679 | 1,58E-05 | 0,0003864 | 0,00014795 | 0,00035079 | 0,00161364 |
| Terrestrial acidification | kg SO2 eq | 0,00116306 | 0,00047645 | 9,86E-05 | 5,25E-05 | 1,33E-05 | 0,00043402 | 8,82E-05 |
| Freshwater eutrophication | kg P eq | 1,12E-05 | 2,97E-06 | 2,65E-07 | 1,15E-07 | 4,94E-08 | 6,84E-06 | 9,75E-07 |
| Marine eutrophication | kg N eq | 0,00034429 | 0,00014506 | 2,29E-05 | 2,96E-05 | 4,25E-06 | 0,00010985 | 3,26E-05 |
| Human toxicity, cancer | CTUh | 5,20E-11 | 1,13E-11 | 1,38E-13 | 1,47E-13 | 1,15E-12 | 7,48E-13 | 3,85E-11 |
| Human toxicity, non-cancer | CTUh | 1,54E-10 | 1,98E-11 | 3,89E-13 | 5,84E-13 | 5,56E-13 | 2,91E-11 | 1,03E-10 |
| Ecotoxicity | CTUe | 103,07022 | 0,00616335 | 0,00342233 | 1,76E-05 | 8,38E-06 | 5,33E-05 | 103,06055 |
| Agricultural land occupation | m2a | 0,0604454 | 0,05586602 | 0,00030738 | 4,21E-05 | 1,44E-05 | 0,00386079 | 0,00035473 |
| Urban land occupation | m2a | 0,00379946 | 0,00047209 | 2,85E-05 | 0,00024137 | 0,00010701 | 0,00217144 | 0,00077905 |
| Natural land transformation | m2 | 0,0007751 | 7,33E-04 | 1,58E-06 | 3,59E-06 | 1,20E-06 | 3,57E-05 | 2,99E-07 |
| Water depletion | m3 | 0,13460293 | 0,00125071 | 3,50E-05 | 3,87E-05 | 9,21E-06 | 0,13238155 | 0,00088781 |
| Metal depletion | kg Fe eq | 0,02522846 | 0,00576009 | 0,00014507 | 0,00047645 | 0,00018256 | 0,00749547 | 0,01116883 |
| Fossil depletion | kg oil eq | 0,11935405 | 0,05151274 | 0,01141426 | 0,00356112 | 0,00153747 | 0,04278614 | 0,00854231 |

Anexo 12: Entradas y Salidas de detergente en polvo Unilever

| Materias Primas | |
|---|-------|
| INPUTS | UNITS |
| Acido Sulfónico | kg |
| Tensoactivo no iónico (unitol, alcohol etoxilado sintético) | kg |
| Sulfato de Sodio | kg |
| Soda Cáustica | kg |
| Blanqueador Óptico | kg |
| Silicato de Sodio | kg |
| Zeolita | kg |
| Carboxitemil (CMC) | kg |
| Carbonato de Sodio (cenizas) | kg |
| Perfumes (moltoplas) aceites free oil | kg |
| Tripolisfosfato | kg |
| CP5 Polímero (copolímero líquido) | kg |
| Enzimas | kg |
| Chacra (visual) jabones | kg |
| Emir (blanqueador óptico) | kg |
| Sal | kg |
| Transporte camión | tkm |
| Transporte barco | tkm |
| Agua para Formulación | |
| INPUTS | UNITS |
| Agua | kg |
| Torre de Secado | |
| INPUTS | UNITS |
| Gas | kg |
| OUTPUTS | UNITS |
| Vapor de Agua | ton |
| SO ₂ | kg |
| CO ₂ | kg |
| Electricidad | |
| INPUTS | UNITS |
| Electricidad | kWh |

| Empaque | |
|---|----------|
| INPUTS | UNITS |
| Cartón plastificado (estuches) | kg/ton |
| Cartón corrugado (cajas) | kg/ton |
| Distribución | |
| INPUTS | UNITS |
| Distribución por región | tkm |
| Retail y Compra | |
| INPUTS | UNITS |
| Gasto Energético Supermercado | kWh |
| Gas | l |
| Transporte al local y regreso (auto) | personkm |
| Uso | |
| INPUTS | UNITS |
| Agua | l |
| Electricidad | MJ |
| Fin del Ciclo de Vida | |
| OUTPUTS | UNITS |
| Aguas Residuales | l |
| Cartulina reciclada | gr |
| Cartulina | gr |
| Acido Sulfónico | kg |
| Tensoactivo no iónico (unitol, alcohol etoxilado sintético) | kg |
| Sulfato de Sodio | kg |
| Soda Cáustica | kg |
| Abrillantador fluorescente | kg |
| Silicato de Sodio | kg |
| Tripolisfosfato | kg |
| CP5 Polímero (copolímero líquido) | kg |
| Emir (blanqueador óptico) | kg |
| Sal | kg |

Anexo 13: Resultados modelación de detergente en polvo Unilever

| Categoría de impacto | Unidad | Total | Materias Primas | Producción | Distribución | Retail y compra | Uso (lavado) | Fin de ciclo de vida |
|---------------------------------|--------------|------------|-----------------|------------|--------------|-----------------|--------------|----------------------|
| Climate change | kg CO2 eq | 0,52985258 | 0,25348014 | 0,0454799 | 0,01597004 | 0,00469766 | 0,1360579 | 0,07416694 |
| Ozone depletion | kg CFC-11 eq | 4,70E-08 | 2,78E-08 | 5,54E-09 | 2,54E-09 | 4,47E-10 | 8,99E-09 | 1,70E-09 |
| Photochemical oxidant formation | kg NMVOC | 0,00229267 | 0,00137218 | 2,47E-04 | 0,00015477 | 2,02E-05 | 0,00036395 | 1,34E-04 |
| Particulate matter formation | kg PM10 eq | 0,00100019 | 0,00063671 | 1,04E-04 | 4,06E-05 | 4,97E-06 | 0,00014955 | 6,40E-05 |
| Ionising radiation | kg U235 eq | 0,00681032 | 0,00353552 | 4,07E-04 | 0,00064297 | 0,00015578 | 0,00035079 | 0,00171822 |
| Terrestrial acidification | kg SO2 eq | 0,00290533 | 0,00203481 | 2,42E-04 | 8,74E-05 | 1,40E-05 | 0,00043402 | 9,30E-05 |
| Freshwater eutrophication | kg P eq | 2,61E-04 | 3,98E-05 | 2,27E-06 | 1,92E-07 | 5,20E-08 | 6,84E-06 | 2,12E-04 |
| Marine eutrophication | kg N eq | 0,0009105 | 0,00056957 | 9,42E-05 | 4,92E-05 | 4,47E-06 | 0,00010985 | 8,32E-05 |
| Human toxicity, cancer | CTUh | 2,63E-11 | 1,96E-11 | 3,25E-12 | 2,45E-13 | 1,21E-12 | 7,48E-13 | 1,32E-12 |
| Human toxicity, non-cancer | CTUh | 8,65E-11 | 4,65E-11 | 3,34E-12 | 9,72E-13 | 5,86E-13 | 2,91E-11 | 6,06E-12 |
| Ecotoxicity | CTUe | 0,01262898 | 0,00038859 | 0,01209595 | 2,93E-05 | 8,82E-06 | 5,33E-05 | 5,30E-05 |
| Agricultural land occupation | m2a | 0,3024414 | 0,00597434 | 0,2921571 | 7,00E-05 | 1,51E-05 | 0,00386079 | 3,64E-04 |
| Urban land occupation | m2a | 0,01181373 | 0,00355636 | 0,00469252 | 0,00040165 | 0,00011267 | 0,00217144 | 0,00087909 |
| Natural land transformation | m2 | 0,00015336 | 6,62E-05 | 4,50E-05 | 5,98E-06 | 1,27E-06 | 3,57E-05 | -8,54E-07 |
| Water depletion | m3 | 0,16006391 | 0,00284445 | 0,02386688 | 6,43E-05 | 9,70E-06 | 0,13238155 | 8,97E-04 |
| Metal depletion | kg Fe eq | 0,04071162 | 0,01934255 | 0,00169022 | 0,00079282 | 0,00019222 | 0,00749547 | 1,12E-02 |
| Fossil depletion | kg oil eq | 0,18292324 | 0,10502831 | 0,01881869 | 0,00592582 | 0,00161878 | 0,04278614 | 0,0087455 |