

## **Informe Final**

# **ANÁLISIS COMPARATIVO DEL CICLO DE VIDA (ACV) DE ENVASES FAMILIARES RETORNABLES Y DESECHABLES DE COCA - COLA PROYECTO EN ALIANZA TRICICLOS - DICTUC**

**Santiago, 2 mayo de 2016**

## Jefe de proyecto

Luis Abdón Cifuentes Lira  
Ph.D. en Ingeniería y Políticas Públicas  
[lac@ing.puc.cl](mailto:lac@ing.puc.cl)

## Equipo GreenLabUC

José Miguel Valdés  
Ingeniero Civil Industrial, mención Eléctrica  
[jmvaldes@uc.cl](mailto:jmvaldes@uc.cl)

Pilar Lapuente  
Ingeniero Civil Industrial, mención Química  
[pilar.lapuente@greenlabuc.cl](mailto:pilar.lapuente@greenlabuc.cl)

María Teresa Alarcón  
Ingeniero Civil de Biotecnología  
[mtalarc1@uc.cl](mailto:mtalarc1@uc.cl)

Pablo Busch Hopfenblatt  
Ingeniero Civil Industrial, mención Ambiental  
[pmbusch@uc.cl](mailto:pmbusch@uc.cl)

## Equipo Triciclos

Verónica de la Cerda  
Gerente General TriCiclos Chile  
[veronica@triciclos.net](mailto:veronica@triciclos.net)

Stefanía Rigoli  
Ejecutiva Comercial TriCiclos Chile  
[stefania@triciclos.cl](mailto:stefania@triciclos.cl)

## Tabla de Contenidos

<b>TABLA DE CONTENIDOS .....</b>	<b>3</b>
<b>LISTA DE TABLAS .....</b>	<b>4</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>6</b>
<b>ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS .....</b>	<b>7</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO .....</b>	<b>10</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>14</b>
1.1 OBJETIVOS DEL ESTUDIO .....	14
1.2 ALCANCES .....	15
<b>2. FUENTE DE DATOS .....</b>	<b>20</b>
2.1 INFORMACIÓN DIRECTA .....	20
2.2 INFORMACIÓN INDIRECTA .....	21
2.3 INFORMACIÓN POR AGENTES .....	21
2.4 SUPUESTO DE VUELTAS PARA FORMATOS RETORNABLES .....	24
<b>3. ESTRATEGIA .....</b>	<b>26</b>
3.1 ESQUEMA GENERAL .....	26
3.2 CONTABILIDAD DE ENVASES .....	27
3.3 ESTIMACIÓN DE INSUMOS Y EFLUENTES .....	28
3.4 UNIDAD FUNCIONAL .....	29
<b>4. ANÁLISIS DEL INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA .....</b>	<b>32</b>
4.1 CONTABILIDAD DE ENVASES .....	32
4.2 CONSUMO DE MATERIA PRIMA .....	36
4.3 CONSUMO DE ENERGÍA .....	39
<b>5. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CICLO DE VIDA .....</b>	<b>44</b>
5.1 HUELLA DE CARBONO .....	44
5.2 HUELLA HÍDRICA .....	52
5.3 USO DE VERTEDEROS .....	56
5.4 OTROS IMPACTOS .....	60
<b>6. INTERPRETACIÓN DEL CICLO DE VIDA .....</b>	<b>71</b>
6.1 SUPUESTOS Y LIMITACIONES .....	71
6.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	72
6.3 VALIDACIÓN CON REFERENCIAS INTERNACIONALES .....	77
6.4 ESCENARIOS DE RECICLAJE .....	78
6.5 ESCENARIO FORTALECIMIENTO REFPET FAMILIAR .....	82
<b>7. CONCLUSIONES .....</b>	<b>84</b>
7.1 HUELLA DE CARBONO .....	87
7.2 HUELLA HÍDRICA .....	88
7.3 USO DE VERTEDEROS .....	88
7.4 OTROS IMPACTOS .....	89
<b>8. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>91</b>

## Lista de Tablas

Tabla 0-1 Resumen resultados ACV por caja unitaria para envases de interés.....	11
Tabla 1-1 Formatos de envases a considerar para el ACV.....	17
Tabla 1-2 Impactos considerados en el presente estudio .....	18
Tabla 1-3 Alcance para cada categoría de impacto con metodología TRACI 2.1 .....	19
Tabla 2-1. Fuentes y supuestos de información para proveedores principales .....	21
Tabla 2-2. Fuentes y supuestos de información para proveedores secundarios .....	22
Tabla 2-3. Fuentes y supuestos de información para Andina .....	23
Tabla 2-4. Fuentes y supuestos de información para consumidor.....	23
Tabla 2-5. Fuentes y supuestos de información para descarte .....	24
Tabla 2-6 Vida útil por formato según información de Andina [número de vueltas].....	25
Tabla 3-1 Equivalencia de Envases originales y envases de análisis.....	30
Tabla 4-1 Matriz balance 2015 de envase PET 1.5 .....	32
Tabla 4-2 Matriz balance 2015 de envase RefPET 2.0.....	34
Tabla 4-3 Matriz balance 2015 de envase vidrio 1.25 .....	35
Tabla 4-4 Toneladas netas de PET por etapa .....	37
Tabla 4-5 Toneladas netas de RefPET por etapa .....	38
Tabla 4-6 Toneladas netas de vidrio por etapa .....	39
Tabla 4-7 Consumos totales de energía por etapa para toda la producción del 2015.....	40
Tabla 4-8 Detalle de consumo total 2015 para etapa Pre-Andina .....	41
Tabla 5-1 Relación entre etapa del Ciclo de Vida y sus impactos GEI .....	47
Tabla 5-2 Emisiones total de GEI 2015 por etapa.....	49
Tabla 5-3 Detalle de las emisiones totales de GEI 2015 para etapa PreAndina .....	49
Tabla 5-4 Relación entre etapa del Ciclo de Vida y su huella hídrica asociada .....	53
Tabla 5-5 Consumo total de agua 2015 por etapa .....	54
Tabla 5-6 Residuos en vertederos para formatos de interés [cm <sup>3</sup> /UC].....	59
Tabla 5-7 Residuos en vertederos para vidrio 1.25 en distintos escenarios [cm <sup>3</sup> /UC].....	60
Tabla 5-8 Categorías de impacto a utilizar de la herramienta TRACI 2.1 .....	61
Tabla 5-9 Resumen Acidificación.....	62
Tabla 5-10 Resumen Eutroficación.....	63
Tabla 5-11 Resumen Reducción de la capa de ozono .....	64
Tabla 5-12 Resumen Salud humana: Material particulado .....	64
Tabla 5-13 Resumen Salud humana: cáncer y no cáncer .....	65
Tabla 5-14 Resumen Ecotoxicidad.....	65
Tabla 5-15 Resumen Formación de smog fotoquímico .....	65
Tabla 6-1 Comparación entre escenarios de disposición .....	76
Tabla 6-2 Comparación con resultados con (Franklin Associates, 2009), para emisión de GEI [kg CO <sub>2</sub> e/UC].	78
Tabla 6-3 Comparación con resultados con (Franklin Associates, 2009), para generación de desechos.....	78
Tabla 6-4 Escenarios de reciclaje municipal .....	79
Tabla 6-5 Huella de carbono por UC para escenarios de reciclaje municipal [kg CO <sub>2</sub> e/UC].....	79
Tabla 6-6 Huella hídrica por UC para escenarios de reciclaje municipal [L/UC].....	79
Tabla 6-7 Residuos generados por UC para escenarios de reciclaje municipal [cm <sup>3</sup> /UC] .....	80
Tabla 6-8 Impactos totales de la producción del año 2015 para escenarios de reciclaje municipal.....	80
Tabla 6-9 Escenarios de reciclaje industrial.....	81
Tabla 6-10 Huella de carbono por UC para escenarios de reciclaje industrial (kg CO <sub>2</sub> e/UC) .....	81
Tabla 6-11 Huella hídrica por UC para escenarios de reciclaje industrial (m <sup>3</sup> /UC) .....	81
Tabla 6-12 Residuos generados por UC para escenarios de reciclaje industrial [cm <sup>3</sup> /UC].....	82
Tabla 6-13 Impactos totales de la producción del año 2015 para escenarios de reciclaje industrial .....	82

Tabla 6-14 Resultados escenario fortalecimiento RefPET Familiar .....	83
Tabla 7-1 Resumen de todos los resultados del Análisis de Ciclo de Vida .....	84
Tabla 7-2 Resumen de resultados de impactos priorizados por unidad funcional .....	85
Tabla 7-3 Resumen de resultados de otros impactos por unidad funcional .....	86

## Lista de Figuras

Figura 1-1 Delimitación de etapas a considerar para el ACV.....	16
Figura 3-1 Contabilidad de envases en Andina para una línea de embotellado .....	27
Figura 3-2 Esquema general del Ciclo de Vida.....	28
Figura 3-3 Representación de insumos y efluentes para cada proceso .....	29
Figura 3-4 Número de botellas producidas por Andina durante el 2015 .....	31
Figura 4-1 Flujo de envases 2015 de PET 1.5 [en miles de envase].....	33
Figura 4-2 Flujo de envases 2015 de RefPET 2.0 [en miles de envase] .....	35
Figura 4-3 Flujo de envases 2015 de Vidrio 1.25 [en miles de envases] .....	36
Figura 4-4 Flujo de masa PET para todos los formatos de envase [ton] .....	37
Figura 4-5 Flujo de masa RefPET para todos los formatos de envase [ton] .....	38
Figura 4-6 Flujo de masa Vidrio para todos los formatos de envase [ton].....	39
Figura 4-7 Consumo total de energía 2015 por formato equivalente [MJ] .....	40
Figura 4-8 Consumo total de energía 2015 por formato equivalente para la etapa Andina [MJ].....	41
Figura 4-9 Consumo energía por formato [MJ/UC] .....	42
Figura 4-10 Consumo de energía por formato representativo [MJ/UC] .....	43
Figura 5-1 Ejemplo de conversión de energía primaria a secundaria (SIC) .....	46
Figura 5-2 Emisiones totales de GEI 2015 por formato de envase [kg CO <sub>2</sub> e].....	48
Figura 5-3 Emisiones de GEI por etapa según formato [kg CO <sub>2</sub> e /UC] .....	50
Figura 5-4 Emisiones de GEI por formato de interés [kg CO <sub>2</sub> e /UC].....	50
Figura 5-5 Emisiones GEI por formato de interés sin considerar retornabilidad [kg CO <sub>2</sub> e /UC] .....	51
Figura 5-6 Emisiones GEI para los formatos de interés según el número de vueltas [kg CO <sub>2</sub> e /UC].....	51
Figura 5-7 Consumo total de agua para el 2015 por caja unitaria [L/UC] .....	54
Figura 5-8 Consumo total de agua para el 2015 por caja unitaria, según los formatos de interés [L/UC].....	55
Figura 5-9 Huella hídrica según en número de vueltas considerado .....	56
Figura 5-10 Residuos totales generados por formato [kg] .....	58
Figura 5-11 Residuos en vertederos por formato [kg/UC] .....	58
Figura 5-12 Residuos en vertederos para formatos de interés [cm <sup>3</sup> /UC].....	59
Figura 5-13 Indicadores de acidificación [kg SO <sub>2</sub> eq/UC].....	66
Figura 5-14 Indicadores reducción de capa de ozono [kg CFC-11 eq/UC].....	67
Figura 5-15 Indicador de Eutroficación [kg N eq/UC] .....	67
Figura 5-16 Indicador de formación de smog Fotoquímico [kg O <sub>3</sub> eq/UC] .....	68
Figura 5-17 Indicador de daño humano – cáncer [CTU Cáncer/UC].....	68
Figura 5-18 Indicador de daño humano – no-cáncer [CTU No-Cáncer/UC] .....	69
Figura 5-19 Indicador de daño humano – Material Particulado [MP2.5 eq/UC].....	69
Figura 5-20 Indicador de Ecotoxicidad [CTUeco/UC] .....	70
Figura 6-1 Consumo energético total por etapa .....	73

## Acrónimos y Abreviaturas

### Instituciones

CONAMA: Comisión Nacional del Medio Ambiente

NREL: National Renewable Energy Laboratory

MMA: Ministerio del Medio Ambiente

### Abreviaturas

A&D: Almacenamiento y Distribución

ACV: Análisis de Ciclo de Vida

CO<sub>2</sub>e: Dióxido de Carbono equivalente, cuantificación GEI

CTU: Comparative Toxicity Unit

EEUU: Estados Unidos

GEI: Gases de Efecto Invernadero

GR: Generación de Residuos

HC: Huella de Carbono

HH: Huella Hídrica

MP: Materia Prima

OW: One Way (envases desechables)

PET: Poli Etileno Tereftalato

RefPET: envases de PET retornables

RILes: Residuos Industriales Líquidos

SIC: Sistema Interconectado Central

UC: Unit Case o Caja Unitaria (5.678 litros)

UF: Unidad Funcional

### Prefijos

T : Tera ( $10^{12}$ )

G: Giga ( $10^9$ )

M: Mega ( $10^6$ )

K: Kilo ( $10^3$ )

m: Mili ( $10^{-3}$ )

μ: Micro ( $10^{-6}$ )

n: Nano ( $10^{-9}$ )

### Unidades Básicas

J: Joule (Energía)

Kg: Kilogramo (Masa)

Km: Kilómetro (Longitud)

L: litro (Volumen)

## Unidades Derivadas

m<sup>2</sup>: Metro cuadrado (Superficie o área)

m<sup>3</sup>: Metro cúbico (Volumen)

MJ: Mega joule (Energía)

TJ: Tera joule (Energía)

## Formato

"," separador decimal

"," separador de miles



## Definiciones

**Botella:** envase con producto y embalaje, sale de Andina para ser distribuido a Consumo.

**Envase:** se refiere al contenedor que transporta el producto. Puede ser envase nuevo (ingresa por primera vez a Andina) o reutilizado (vuelve a Andina desde Consumo).

**Etapas Andina:** incluye todo proceso que ocurre dentro de la planta.

**Etapas PreAndina:** corresponde a la obtención de insumos para Andina, considera extracción y producción de materia prima, y cualquier proceso previo antes de llegar como insumo.

**Formato de envase:** cada volumen de envase considerando el tipo de material. Se consideran 17 formatos distintos. Esto se puede ver en la Tabla 1-1.

**Formato equivalente:** se establecen para agrupar los diferentes formatos en términos de material y si son individuales o familiares. Esto se puede ver en la Tabla 1-1.

**Formatos de interés:** botellas de formatos familiares más representativas en términos de producción. Los formatos considerados de interés son Vidrio 1.25, RefPET 2 y PET 1.5. Esto se puede ver en la Tabla 1-1.

**GEl:** Los gases efecto invernadero a considerar son CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O.

**Producto:** líquido que se consume (bebida).

**Tipo de envase:** corresponde al material, puede ser vidrio, PET o RefPET.

**Unidad Funcional:** para asegurar que los distintos tipos de formatos sean comparables entre sí, se elige como denominador común una Caja Unitaria (UC), definida por Coca-Cola, que corresponde a 5.678 litros (24 envases de 8 oz).

## Resumen Ejecutivo

Un análisis de ciclo de vida (ACV) de un producto, es aquel que considera todas las etapas desde la extracción de materia prima hasta la disposición final, permitiendo cuantificar con mayor certeza los impactos ambientales del producto, para luego identificar etapas clave del producto con alto impacto ambiental, y de esta manera concentrar esfuerzos de reducción de manera eficiente, evitando por lo demás traspasos de cargas ambientales.

El objetivo del estudio es realizar un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) con el objetivo de comparar los principales envases familiares de Coca-Cola. El estudio se centra en el envase y sus insumos relacionados (tapas, etiquetas, etc.), sin considerar el producto (líquido contenido dentro), buscando una comparación a nivel de uso de materiales, insumos, procesos e impactos. Los resultados fueron obtenidos para múltiples formatos, pero se detalla la información relacionada con 3 formatos representativos: Vidrio 1.25, PET 1.5 y RefPET 2.0, los cuales son identificados como los formatos de interés.

El uso de una unidad funcional permite comparar distintos formatos bajo una métrica equivalente. La unidad funcional seleccionada es una Caja Unitaria (UC), que representa el contenido de 5.678 litros de bebida. Los datos se obtuvieron a partir del análisis de la planta de Andina Chile, ubicada en la comuna de Renca, y sus principales proveedores junto a referencias internacionales, con información del año 2015. Siendo la información obtenida representativa solo para el caso de Coca Cola Chile. Las etapas del ACV son PreAndina, Andina, Transporte Pre-Consumo, Consumo, Transporte Post-Consumo, Reciclaje y Disposición, por lo que el alcance es de cuna a tumba.

La estrategia general es primero establecer el ciclo completo de envases bajo una estrategia de contabilidad de envases, y luego estimar los impactos asociados a cada una de las etapas definidas. A su vez los impactos asociados a cada etapa, dependerán directamente de los insumos consumidos y de las emisiones liberadas.

La implementación de la estrategia descrita se tradujo en una serie de resultados, los cuales están limitados por los supuestos realizados y la información disponible. Cabe destacar que la comparación con otros estudios está limitada por las mismas causas.

Los impactos priorizados para un análisis más detallado son el cambio climático (huella de carbono), uso de agua y uso de vertedero. Estos fueron estimados con metodología basada principalmente en datos locales, siguiendo metodologías tradicionales para estos cálculos y siguiendo las recomendaciones según la serie de normas ISO 14040 (Instituto Nacional de Normalización, 1999) que se utilizan para los ACV. Los impactos restantes fueron calculados utilizando la herramienta TRACI 2.1, la cual se definirá en el capítulo 5.

En particular para la utilización de la herramienta TRACI 2.1 los resultados cualitativos y cuantitativos sólo tienen validez y fundamento dentro del contexto de dicha empresa o producto. Los resultados no son comparables a nivel internacional ni entre productos de otras empresas.

La Tabla 0-1 expone los principales resultados del ACV.

**Tabla 0-1 Resumen resultados ACV por caja unitaria para envases de interés**

Impactos	Vidrio 1.25	PET 1.5	RefPET 2.0
Consumo Botellas (en Millones)	235.8	123.0	198.3
Litros Producidos [L]	303,670,723	289,057,940	140,036,118
Energía Total (MJ)	306,667,366	131,068,001	62,334,870
Huella de Carbono [kg CO2 eq/UC]	0.30	0.47	0.18
Huella Hídrica [L/UC]	11.14	6.65	11.12
Residuos Generados: Granel [cm3/UC]	70.25	7115.36	243.19
Residuos Generados: Triturado [cm3/UC]	35.12	0	0
Residuos Generados: Fardo [cm3/UC]	0	1331.14	89.73
Residuos Generados: Chipeado [cm3/UC]	0	527.37	35.55
Acidificación [kg SO2 eq/UC]	1.07E-03	2.07E-05	9.41E-06
Eutroficación [kg N eq/UC]*	5.89E-05	1.68E-05	1.85E-05
Reducción del ozono [kg CFC-11 eq/UC]	8.00E-09	0	0
Formación smog foto químico [kg O3 eq/UC]*	0.0234	0.0014	0.0011
Ecotoxicidad [CTUeco/UC]*	0	0.033	0.038
Salud Humana [CTUcancer/UC]*	1.45E-22	5.69E-14	6.58E-14
Salud Humana [CTUno-cancer/UC]*	5.08E-20	1.38E-12	1.60E-12
Salud Humana [MP2.5/UC]*	1.60E-05	6.55E-06	6.70E-06

\*Impactos de carácter local. Por cuestión de simplificación, en la tabla se presentan los indicadores agregados.

Fuente: Elaboración propia

Al realizar un análisis global la etapa más relevante en cuanto a consumo energético, y por lo tanto emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), es Pre-Andina con un 53%. Esta etapa consistentemente presenta relevancia en cuanto al consumo de materia prima, transporte e impactos. Pre-Andina es responsable por la adquisición de materia prima, su procesamiento y transporte hacia el país para ingresar como insumo al proceso de embotellado en Andina. Esta etapa también genera las diferencias más importantes entre los envases de interés debido a que, como se puede apreciar de la Tabla 0-1 el envase con más masa es el vidrio, y el envase con menos masa es el PET.

Andina representa sólo un 23% del consumo energético, esto corresponde principalmente a gas natural y electricidad. Si se considera que Andina tiene influencia por el Transporte Pre-Consumo, Andina sería responsable del 40% del consumo energético de todo el ciclo. Estos porcentajes representan el control que tendrá Andina sobre el consumo energético y las emisiones de GEI.

Para el análisis de huella de carbono la retornabilidad se torna muy importante al comparar las emisiones de PET, vidrio y RefPET en cuanto a GEI, logrando incluso disminuir las emisiones a menos de la mitad en el caso del RefPET. Al tener la misma materia prima y en cantidades similares RefPET tiene emisiones menores que el PET luego de la segunda vuelta al ciclo. El vidrio requiere 12 vueltas para igualarse en emisiones al PET, pero de acuerdo a la información recibida de Andina las botellas dan entre 40-50 vueltas lo que tornan superior al disminuir por prorratio sus emisiones. Al considerar las vueltas entregadas por Andina el resultado comparativo expone que en cuanto a emisiones de GEI RefPET 2.0 < Vidrio 1.25 < PET 1.5, en cajas unitarias.

En cuanto a la huella hídrica los tres envases de interés cuentan con una base de consumo hídrico debido al consumo general de agua en la planta. RefPET y vidrio nunca tendrán un consumo menor al de PET debido al proceso de lavado al que deben someterse todos los envases nuevos o que reingresan al ciclo. El retorno de los envases permite prorratio el consumo hídrico relacionado sólo con la materia prima y el procesamiento de esta. Al considerar las vueltas entregadas por Andina el resultado comparativo expone que en cuanto a consumo de agua PET 1.5 < RefPET 2.0 < Vidrio 1.25, en cajas unitarias.

En el análisis de uso de vertedero, no se tiene certeza de la forma de disposición de los envases por lo tanto se generan dos escenarios para apreciar el espectro. El primer escenario es la disposición a granel, donde se aprecia que el envase PET 1.5 genera del orden de 101 veces más volumen de residuos que el envase Vidrio 1.25, y 29 veces más que el envase RefPET 2.0. Este resultado se obtiene por las altas tasas de retornabilidad de los envases de vidrio y RefPET y también el alto reciclaje a nivel industrial de los envases rechazados dentro del mismo sistema.

El mejor escenario es la trituración del vidrio y al chipeado del plástico. Si esta alternativa se aplicará para todos los envases dispuestos, resultaría en una generación de residuos equivalente de 19,173 m<sup>3</sup> de vertedero, con un 84.5% proveniente de envases PET desechables, un 7.6% de RefPET y los restantes 7.8% de envases de vidrio. Esta alternativa de compactación es preferible frente a granel, ya que genera 11 veces menos residuos.

Se recomienda no utilizar los resultados de otras categorías de impactos como guías de decisión, sino más bien como apoyo a la evaluación de los impactos ambientales de la

embotelladora. Se deben tener en cuenta los órdenes de magnitud para un adecuado análisis relativo y comparativo de impactos.

Destaca como principal daño ambiental directo de las operaciones de Andina la eutroficación, principalmente por las descargas de RILES con contenido de nitrógeno amoniacal. Otro daño importante corresponde a la emisión de material particulado, causado por las emisiones del transporte de distribución de Andina.

## 1. Introducción

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es un método estandarizado, amplio e internacionalmente usado. Cuantifica todas las emisiones, los recursos consumidos y los impactos ambientales y de salud relacionados, así como los problemas de agotamiento de recursos que se asocian con los bienes o servicios ("productos"). El análisis se basa e ajusta a la serie de normas ISO 14040 (Instituto Nacional de Normalización, 1999) con sus modificaciones posteriores.

El ACV considera todo el ciclo de vida de un producto (análisis de la cuna a la tumba): desde la extracción de recursos, a través de la producción, el uso y el reciclaje, y hasta la eliminación de los residuos restantes. Los estudios de ACV, por lo tanto, son una asistencia que permite el diseño de soluciones a problemas ambientales evitando la generación de nuevos problemas o "desplazamiento de cargas ambientales"<sup>1</sup>.

Por esta razón el ACV es una herramienta importante y poderosa en cuanto al apoyo a la toma de decisiones, complementando otros métodos para hacer el consumo y producción más sostenibles. Esto se logra mediante (CONAMA, 2002):

- compilación de un inventario de entradas y salidas pertinentes a un sistema de producción;
- la evaluación de los impactos ambientales potenciales asociados con dichas entradas y salidas;
- la interpretación de los resultados de las fases de análisis del inventario y de la evaluación de los impactos en relación con los objetivos y el alcance del estudio.

Lo anterior contextualiza el presente estudio, que busca satisfacer de la mejor manera posible los objetivos acordados entre el equipo y su contraparte técnica.

### 1.1 Objetivos del estudio

El **objetivo general** del presente estudio es realizar un análisis comparativo del Ciclo de Vida (ACV) de los envases retornables y desechables con los que se comercializan bebidas familiares de Coca-Cola.

Con el fin de cumplir el objetivo anterior se planea cumplir con los siguientes **objetivos específicos**:

---

<sup>1</sup> Este "desplazamiento de cargas" no deseada se entiendo como la reducción del impacto al medio ambiente en una etapa del ciclo de la vida, para aumentarlo en otra.

- ✓ Objetivo específico 1: Realizar un análisis comparativo del ciclo de vida de los envases familiares, considerando los impactos ambientales de distintos formatos de comercialización.
- ✓ Objetivo específico 2: Comparar los impactos ambientales locales, regionales y globales de cada formato de interés en diferentes medios y analizarlos según diferentes criterios
- ✓ Objetivo específico 3: Recomendar acciones para disminuir el impacto ambiental de cada uno de los formatos de interés.

## 1.2 Alcances

Los alcances de este ACV son detallados a continuación, aclarando la unidad funcional y explicitando las fronteras temporales, de procesos e impactos a considerar.

### 1.2.1 Unidad Funcional

Este estudio busca obtener un análisis que permita la comparación en términos de impacto ambiental de los formatos de envase de interés. Por lo cual la audiencia proyectada consiste en Coca-Cola, con el foco en su producción y manejo del producto en general.

La unidad funcional es la medida que permite la comparación de dos o más formatos diferentes. Considerando la audiencia del presente trabajo, la unidad funcional seleccionada es la Caja Unitaria o Unit Case (UC) en inglés, que representa el contenido de 5.678 litros de bebida.

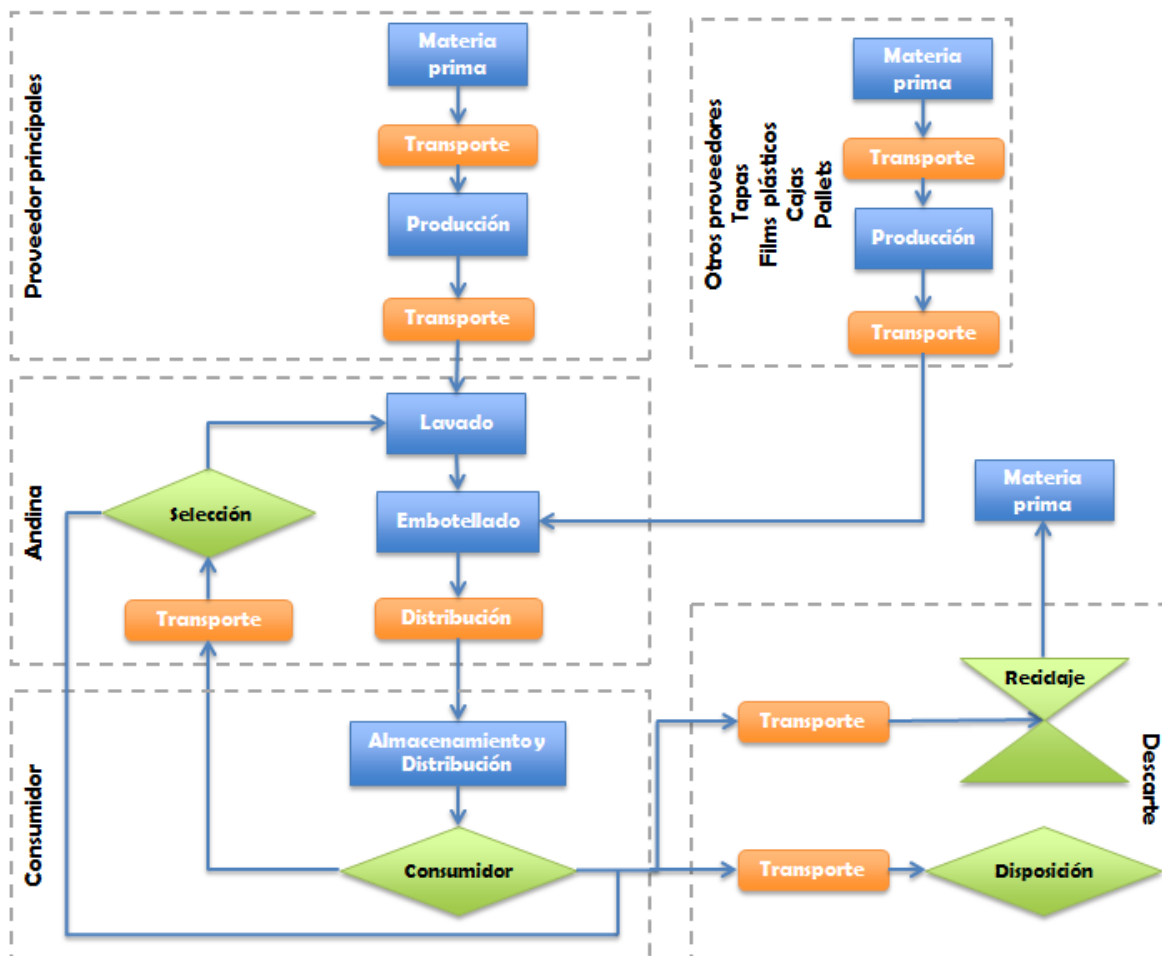
Se destaca que en las comparaciones y resultados se excluye el contenido de las botellas analizadas, centrando el análisis en los envases, envoltorios y otros insumos asociados.

### 1.2.2 Límites del Sistema

Como límite temporal, se selecciona el año 2015, de manera de obtener información lo suficientemente representativa y actualizada, pero al mismo tiempo minimizar los errores acumulativos.

El alcance que tendrá este estudio será de cuna a tumba, es decir comenzando por la obtención de la materia prima, hasta el final de la vida del envase, ya sea este reciclaje o disposición en un vertedero. La Figura 1-1 muestra una delimitación de los procesos que se incluirán en este ACV.

**Figura 1-1 Delimitación de etapas a considerar para el ACV**



Fuente: Elaboración propia

Como el objetivo es la comparación entre formatos, no se considerará el contenido del envase (el producto líquido), pues se asume que este es común para todos los envases. Sólo se considerará una diferencia en cuanto al peso de un envase lleno y uno vacío para los cálculos del transporte de los envases.

A pesar de que los objetivos se definen como comparación de envases familiares, el estudio se lleva a cabo a nivel de los formatos descritos en la Tabla 1-1, ya que esto facilita el manejo de la información, su desagregación y análisis posterior. Los costos adicionales para el equipo consultor eran menores, sin perjuicio de esto, los análisis no siempre son realizados para todos los formatos considerados.



A nivel de análisis se utilizan 2 herramientas para cumplir los objetivos. Primero se toman 3 envases que cuentan con la mayor representatividad productiva por tipo de material: RefPET 2, Vidrio 1.25 y PET 1.5, en adelante "formatos de interés" (Tabla 1-1 en **negrita**). Segundo se genera un "formato equivalente" de manera de agrupar los diferentes formatos dentro de una clasificación de individual o familiar.

**Tabla 1-1 Formatos de envases a considerar para el ACV**

Tipo	Formato	Formato equivalente
Vidrio	Vidrio 0.237	Vidrio individual
Vidrio	Vidrio 0.350	
Vidrio	Vidrio 1	
<b>Vidrio</b>	<b>Vidrio 1.25</b>	Vidrio familiar
PET	Pet 0.25	PET individual
PET	Pet 0.5	
PET	Pet 0.591	
PET	Pet 1.0	PET familiar
<b>PET</b>	<b>Pet 1.5</b>	
PET	Pet 1.5 FP	
PET	Pet 1.75	
PET	Pet 2.0	
PET	Pet 2.5	
PET	Pet 3.0	
<b>RefPET</b>	<b>RefPet 2.0</b>	RefPET familiar
RefPET	RefPet 2.5	
RefPET	RefPet 3.0	

Fuente: Elaboración propia

El presente estudio se centra en el envase y sus insumos relacionados (tapas, etiquetas, etc). Los límites definidos para la obtención de información serán la planta Andina y sus proveedores, considerando de manera adicional la información facilitada por la empresa TriCiclos de reciclaje. Se trabaja sobre la base de que la información recibida es verídica y completa, cualquier inconsistencia o vacío se llena con supuestos pertinentes obtenidos y validados por el proceso iterativo del análisis de inventario y evaluación de impactos. Esto va de la mano con una revisión bibliográfica de referencias internacionales para comparación de magnitudes y procesos, o en el caso de no encontrar información nacional suficiente, utilizar como referencia para realizar supuestos válidos.

Para la etapa de disposición, el alcance de este informe no considera ningún consumo energético ni hídrico en los vertederos. El reciclaje se valoriza en términos de cantidad final resultante en el desplazamiento de materia prima (que no necesariamente reingresa

al ciclo), esto se traduce en impactos positivos por la disminución de extracción y pre-procesamiento de materia prima (resina de PET y vidrio molido).

En la etapa de consumo no se atribuye ningún consumo de material, energético ni de agua, ya que el alcance tiene como límite la distribución de las botellas hasta los centros de distribución y se retoma sólo al momento de transporte de residuos hacia el reciclaje o disposición en vertederos.

La calidad de los datos está limitada por la disponibilidad de la información y los canales de comunicación con los proveedores. Se obtienen datos en diferentes niveles de desagregación por lo cual se trabaja con lo que se recibe, llevándolo a la unidad funcional con la producción de Andina.

### 1.2.3 Impactos considerados

En general se pueden dividir los impactos en dos tipos de acuerdo a la escala en que sus efectos se producen: global y local. Los impactos de escala global son aquellos cuyo origen es irrelevante puesto que sus efectos tienen repercusión a nivel mundial. Por su parte los impactos de escala local, tienen efecto solo en las cercanías de su emisión y luego es relevante donde se producen.

Los impactos considerados, clasificados según su escala, así como el indicador utilizado para caracterizarlo se presenta en la Tabla 1-2.

**Tabla 1-2 Impactos considerados en el presente estudio**

<b>Escala</b>	<b>Impacto</b>	<b>Indicador</b>
<b>Global</b>	Cambio climático	kg CO <sub>2</sub> eq
	Acidificación	kg SO <sub>2</sub> eq
	Reducción de la capa de ozono	kg CFC-11 eq
<b>Local</b>	Consumo de agua	L
	Uso de vertedero	cm <sup>3</sup>
	Eutroficación	Kg N eq
	Formación de smog foto químico	Kg O <sub>3</sub> eq
	Daño humano (Material Particulado)	MP2.5 eq
	Daño humano (Cancerígenos)	CTU <sup>2</sup> cáncer
	Daño humano (No cancerígenos)	CTU no-cáncer
	Ecotoxicidad	CTU eco

Fuente: Elaboración propia

<sup>2</sup> CTU: Comparative Toxicity Unit

Los impactos priorizados para un análisis más detallado son el cambio climático, uso de agua y uso de vertedero. Estos fueron estimados con metodología basada principalmente en datos locales, siguiendo metodologías tradicionales para estos cálculos y siguiendo las recomendaciones según la serie de normas ISO 14040 (Instituto Nacional de Normalización, 1999) que se utilizan para los ACV. Los impactos restantes fueron calculados utilizando la herramienta TRACI 2.1, la cual se definirá en el capítulo 5.

Para el reporte de los otros impactos locales se definieron tres alcances:

- Alcance I: corresponde a la etapa de PreAndina, que incluye la adquisición de materia prima y su transporte hacia el país.
- Alcance II: corresponde a la clasificación de Preconsumo, incluyendo la etapa de Andina y el transporte para la distribución del producto.
- Alcance III: corresponde a la clasificación de Postconsumo: Incluye el transporte hacia la disposición final (reciclaje o relleno sanitario).

Al definir el alcance para cada categoría de impacto (Tabla 1-3) se puede identificar claramente el origen de los datos utilizados. Así se tendrá en cuenta cuando un valor fue calculado con datos reales de Andina y sus proveedores o datos obtenidos de referencias.

**Tabla 1-3 Alcance para cada categoría de impacto con metodología TRACI 2.1**

<b>Categoría de impacto</b>	<b>Alcance I</b>	<b>Alcance II</b>	<b>Alcance III</b>
<b>Eutroficación</b>	✓	✓	✓
<b>Formación de smog</b>	✓	✓	✓
<b>Ecotoxicidad</b>	✓		
<b>Daño humano (material particulado)</b>	✓		✓
<b>Daño humano (cancerígenos)</b>	✓		
<b>Daño humano (no cancerígenos)</b>	✓		

Fuente: Elaboración propia

## 2. Fuente de datos

Una vez determinados los límites del estudio se generó un inventario de información, a partir de diversas fuentes. Las fuentes se pueden dividir en dos clases: directa e indirecta. La información de fuentes directas se obtuvo por medio de la compañía, ya sea datos de su propia producción o datos de sus proveedores. La información indirecta proviene de estudios internacionales o nacionales con respecto al tema, esta es útil para validación de datos y para llenar posibles vacíos que existan en la información directa.

Existe un canal de comunicación abierta entre la compañía y el equipo consultor, y la compañía y sus proveedores, sin embargo muchas veces la información obtenida no se encuentra completa. Por este motivo la información indirecta fue de gran utilidad para consolidar el proceso completo.

### 2.1 Información directa

La información obtenida de proveedores de insumos y gestores de residuos se encontraba limitada debido a la disponibilidad/accesibilidad de los datos. A pesar de las limitaciones, se logró obtener información representativa debido a que se contactó a las principales entidades, proveedores o receptores de cada material.

A continuación se detalla la lista de empresas/organizaciones (de las cuales se recibe o entrega algún material) que se consideraron para la realización de este estudio:

#### Proveedores

- Botellas de vidrio: Cristal Chile
- Preformas y botellas: CMF (preformas y botellas)
- Tapas: Sinea, CMF
- Etiquetas: Morgan Impresiones (retornables), Edelpa (OW)
- Cajas para retornables: Comberplast
- Pegamento: Artecola (OW), Henkel (retornables)
- Film termocontraíble: Calalsa

#### Manejo de Residuos

- Cartón y madera: Recupac
- PET, RefPET y Preformas: Enfaena
- Vidrio: Cristalerías Chile
- Conos y bidones: Ecoplast
- Residuos peligrosos: Hidronor

## 2.2 Información indirecta

La información recibida se debió complementar con referencias nacionales e internacionales para compensar los "vacíos" existentes (por ejemplo en extracción de materia prima). Esta información se obtuvo de las siguientes fuentes:

- National Renewable Energy Laboratory (NREL): Base de datos online de ciclo de vida en Estados Unidos. Incluye todos los inputs y outputs relacionados con un producto o proceso
- Estudios nacionales de ACV en envases y embalajes (CONAMA y MMA)
- Estudios internacionales de ACV para envases de similares características, como los utilizados para bebidas gaseosas, agua, vino y aceite. Estos estudios fueron realizados por diferentes instituciones e investigadores en Estados Unidos y Europa

## 2.3 Información por agentes

A continuación se presenta la información obtenida para cada agente: Proveedor principal y secundario, Andina, Consumidos y Descarte. Debido al rol fundamental que toma la información, se busca ser transparentes con respecto a la fuente de los datos y los supuestos utilizados.

### 2.3.1 Proveedor principal

Los proveedores principales son los que abastecen los insumos principales, estos son los envases y las preformas. La Tabla 2-1 expone la metodología de obtención de la información para los proveedores principales:

**Tabla 2-1. Fuentes y supuestos de información para proveedores principales**

<b>Etapa/Tema</b>	<b>Tipo de información</b>	<b>Supuestos</b>
<b>Materia prima</b>	indirecta	Referencia internacional de consumo por extracción y procesamiento
<b>Transporte a proveedor</b>	directa	Distancia promedio desde país de origen al puerto de San Antonio en Chile, y luego del puerto al proveedor  Factor de consumo de combustible estándar por peso y distancia de la carga, según medio de transporte
<b>Operación Proveedor</b>	directa	% del consumo de energía correspondiente al % adquirido por Andina
<b>Transporte a Andina</b>	directa	Distancia de planta producción a Andina

Fuente: Elaboración propia

### 2.3.2 Proveedor secundario

Los proveedores secundarios son los que abastecen los insumos secundarios, estos son tapas, etiquetas, cartón, cajas plásticas, pallet, pegamento y film. La Tabla 2-2 expone la metodología de obtención de la información para los proveedores secundarios:

**Tabla 2-2. Fuentes y supuestos de información para proveedores secundarios**

<b>Etapas/Tema</b>	<b>Tipo de información</b>	<b>Supuestos</b>
<b>Materia prima</b>	indirecta	Referencia internacional de consumo por extracción y procesamiento
<b>Transporte a proveedor</b>	directa	País de origen determinado por datos de importación chilena de materiales
		Distancia promedio desde país de origen al puerto de San Antonio en Chile, y luego del puerto al proveedor
<b>Operación Proveedor</b>	directa	Factor de consumo de combustible estándar por peso y distancia de la carga, según medio de transporte
		% del consumo de energía correspondiente al % adquirido por Andina

Fuente: Elaboración propia

En el presente estudio sólo se incluyen tapas, films, etiquetas y pegamento.

### 2.3.3 Andina

Toda la información de consumo de materiales y energético se obtuvo de manera directa, sin embargo existieron pequeñas variaciones atribuidas a pérdidas. La información se divide en las siguientes etapas:

Tabla 2-3. Fuentes y supuestos de información para Andina

Etapa/Tema	Tipo de información	Supuestos
<b>Operación Andina</b>	directa	Flujos anuales (no separado por etapas) se llevan a valores unitarios por formato con factores de representatividad de producción
<b>Distribución</b>	directa	Distancia de la planta de Andina en Renca a los centros de distribución, ponderado por porcentajes de venta  Factor de consumo de combustible estándar por peso y distancia de la carga, según medio de transporte

Fuente: Elaboración propia

### 2.3.4 Consumidor

A este agente no se le asignan consumos de materia, agua ni energía ya que está fuera del alcance de este estudio, sin embargo se le atribuye la distribución porcentual del producto a sus diferentes destinos. El consumo de combustible se calcula de manera estándar por peso y distancia de carga con medio de transporte camión pesado diesel. La disposición final puede ser retorno a la planta, reciclaje o descarte en vertedero, como se puede ver en la siguiente tabla:

Tabla 2-4. Fuentes y supuestos de información para consumidor

Etapa/Tema	Tipo de información	Supuestos
<b>Distribución a Reciclaje</b>	directa	50 km de distancia % estimado para PET <sup>3</sup>
<b>Distribución a Retorno</b>	directa	50 km de distancia % calculado a partir de los datos de compras y producción
<b>Distribución a Vertedero</b>	directa	50 km de distancia % restante luego de reciclaje y retorno

Fuente: Elaboración propia

### 2.3.5 Descarte

El descarte considera dos opciones de disposición final: vertedero y reciclaje. A continuación se detalla la información y los supuestos utilizados para cada caso.

<sup>3</sup> La estimación del % de reciclaje para PET se realizó a partir del análisis de los fardos obtenidos de puntos de reciclaje representativos, la cifra fue contrastada con (Ecoing, 2012)

Tabla 2-5. Fuentes y supuestos de información para descarte

Etapa/Tema	Tipo de información	Supuestos
Vertedero	-	El alcance no considera ningún consumo en esta etapa
Reciclaje	directa	La valorización es por desplazamiento de materia prima <sup>4</sup> , que no necesariamente reingresa al ciclo (puede formar parte de otro ciclo de producto)  No se consideran consumos (materia prima, agua ni energía) para esta etapa

Fuente: Elaboración propia

Es importante considerar que en la etapa de Reciclaje existe una parte que terminará en disposición en vertedero debido a pérdidas por manipulación o transporte de material. Esto se refiere de que si se envía una cantidad a reciclaje se perderá una fracción porque está contaminado, en los recipientes de transporte o al preparar el material para transporte (molido, prensado, etc.).

## 2.4 Supuesto de vueltas para formatos retornables

El año 2015 no representa un año de régimen estacionario, el sistema productivo y de consumo aún no se ha estabilizado en cuanto a los niveles de producción para cada formato. Adicionalmente los envases de formato vidrio tienen una duración superior al año, lo cual dificulta su correcta consideración dentro de 1 año móvil. Lo anterior se traduce en la necesidad de utilizar como un dato externo la cantidad de vueltas que cada formato realiza, en lugar de ser un resultado de la estimación del modelo.

De manera de obtener información representativa para Andina se utiliza el factor de "vueltas" al ciclo como el número de veces que un envase retornable efectivamente retorna a la embotelladora. El número de vueltas es un dato promedio calculado por Coca-Cola para la embotelladora de Renca. Esto permite obtener resultados reales que incluyen el crecimiento de la producción y el posible desplazamiento en la producción de los diferentes formatos.

La Tabla 2-6 muestra el número de vueltas calculado por Andina que se utilizará para todos los cálculos y estimaciones a continuación.

---

<sup>4</sup> La valorización por desplazamiento de materia prima se refiere a la materia prima "evitada" producto de la reutilización del material a partir del reciclaje. Esto implica ahorros relacionados a los procesos de extracción y las emisiones, transporte y procesamiento posterior relacionado con ese material en particular.



**Tabla 2-6 Vida útil por formato según información de Andina [número de vueltas]**

<b>Formato</b>	<b>Vida útil</b>
Vidrio 0.237	45
Vidrio 0.350	45
Vidrio 1	35
<b>Vidrio 1.25</b>	<b>35</b>
Pet 0.25	1
Pet 0.5	1
Pet 0.591	1
Pet 1.0	1
<b>Pet 1.5</b>	<b>1</b>
Pet 1.5 FP	1
Pet 1.75	1
Pet 2.0	1
Pet 2.5	1
Pet 3.0	1
<b>RefPet 2.0</b>	<b>12</b>
RefPet 2.5	12
RefPet 3.0	12

Fuente: Información entregada por Andina

\* Formatos de interés familiares

### 3. Estrategia

#### 3.1 Esquema general

El modelo utilizado para el análisis de ciclo de vida (ACV), considera una secuencia de procesos que se relacionan entre ellos por el flujo de envases<sup>5</sup> a través del sistema. A su vez, cada uno de estos procesos consume otros insumos y produce otros efluentes.

De esta forma la estructura general del modelo viene dada por la secuencia del proceso, que se traduce en la contabilidad de envases. Una vez definida la contabilidad de los envases se procede a estimar los impactos de cada uno de los procesos en base a la estimación de insumos y efluentes. A continuación se presenta una explicación de cómo se lleva a cabo la contabilidad de envases y la estimación de los insumo/efluentes.

Etapas a considerar:

1. **PreAndina:** corresponde a la obtención de insumos para Andina, considera materia prima y cualquier proceso previo antes de llegar como insumo.
  - 1.1. Extracción de materia prima
  - 1.2. Transporte internacional-nacional
  - 1.3. Producción (por parte de los Proveedores)
2. **Andina:** todo proceso dentro de la planta.
  - 2.1. Recepción
  - 2.2. Lavado/Soplado
    - 2.2.1.Lavado: lavado de las botellas nuevas y retornadas (vidrio y RefPET)
    - 2.2.2.Soplado: soplado de las preformas para generar los envases PET
  - 2.3. Embotellado
  - 2.4. Almacenamiento y Distribución (A&D)
3. **Transporte Pre Consumo**
  - 3.1. Transporte Proveedor-Andina
  - 3.2. Transporte Andina-Centro de distribución
4. **Consumo:** corresponde a la etapa de transferencia desde el consumidor al reciclaje municipal o disposición en vertederos.
5. **Transporte Post Consumo**
  - 5.1. Centro de acopio a planta de reciclaje
  - 5.2. Centro de acopio a vertedero
  - 5.3. Centro de distribución a planta Andina (retorno)
6. **Reciclaje**
7. **Disposición**

---

<sup>5</sup> Si bien consistentemente en el estudio se maneja el término “envase”, en la realidad esto no siempre es así y puede corresponder a equivalentes de un “envase”, como botellas, preformas o el material que lo compone.

### 3.2 Contabilidad de envases

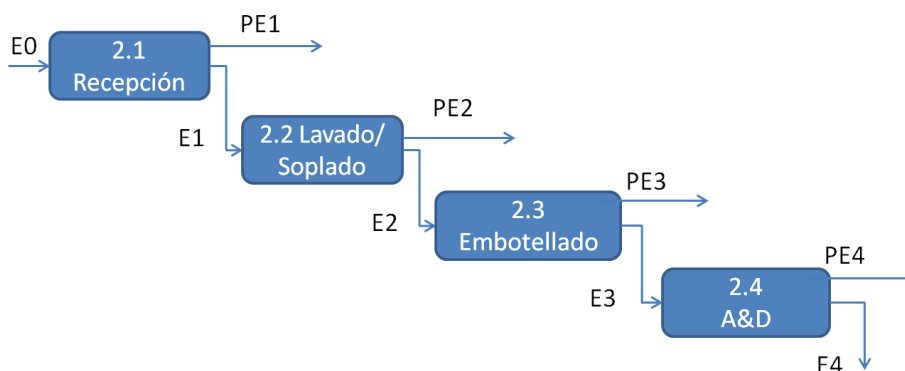
La contabilidad de los envases supone que cada etapa del ciclo principal del producto implica un proceso sobre envases, teniendo como producto envases con alguna característica diferente (ejemplo: recibidos, limpios, etc.). Asimismo se tiene un producto secundario que corresponde a envases perdidos, estos pueden tener distintos destinos finales, pero se considera que salen del flujo principal.

La siguiente figura presenta un ejemplo de contabilidad de envases para los procesos de embotellamiento de la planta de Andina. En el ejemplo, la correcta contabilidad de envases debe resultar en el cumplimiento de la siguiente regla:

$$E_{i-1} = E_i + PE_i$$

Donde  $E_i$  corresponde a los envases dentro del flujo después del proceso  $i$ , y  $PE_i$  son los envases "perdidos" durante el proceso  $i$ , que son reciclados o dispuestos en un vertedero.

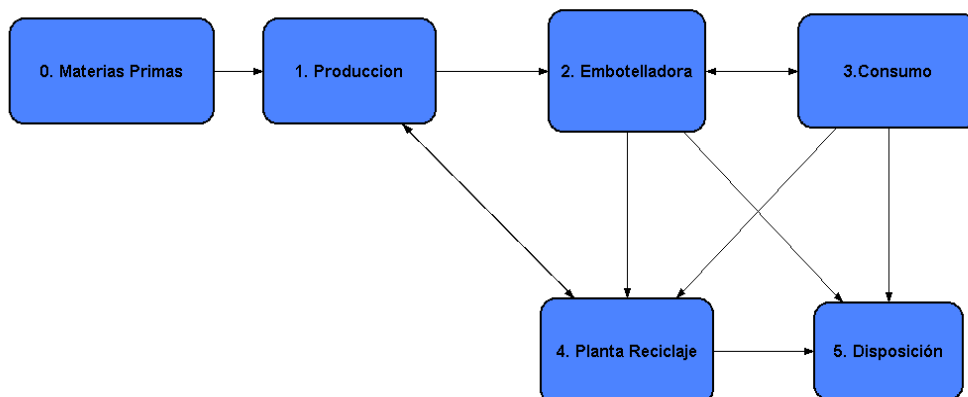
Figura 3-1 Contabilidad de envases en Andina para una línea de embotellado



Fuente: Elaboración propia

La siguiente Figura 3-2 muestra un esquema general del ciclo de vida de un envase en donde la etapa 2 corresponde a la embotelladora Andina, expuesta en la Figura 3-1.

Figura 3-2 Esquema general del Ciclo de Vida

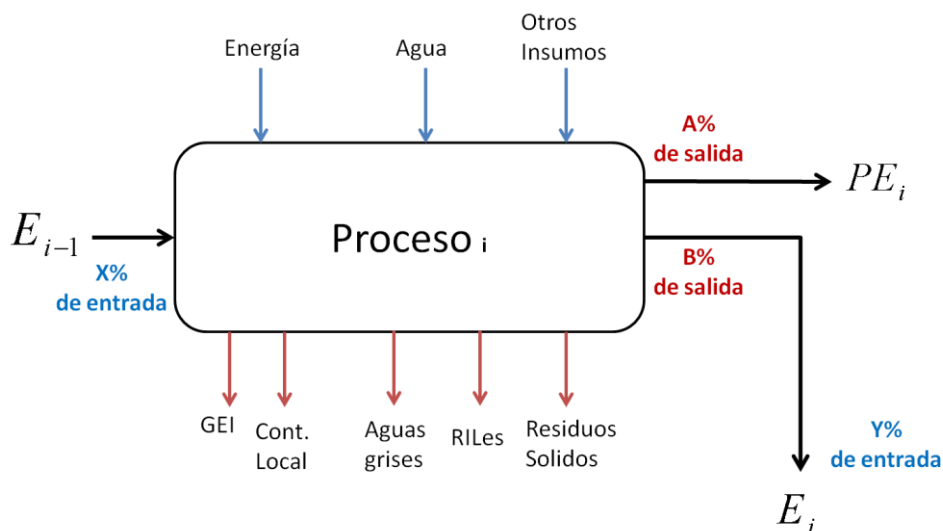


Fuente: Elaboración propia

### 3.3 Estimación de insumos y efluentes

La estimación de insumos y efluentes se realiza agregándolas para cada uno de los procesos considerados dentro del ACV. Se considera que cada uno de los procesos tiene un consumo potencial de energía, agua y otros insumos que permiten el procesamiento de los envases  $E_{i-1}$  en envases  $E_i$ . Además de los envases y pérdidas de envases, se considera que existe una serie de efluentes (Gases de efecto invernadero (GEI), contaminantes atmosféricos locales, contaminantes de agua y residuos sólidos), que son resultantes del proceso. Lo anteriormente descrito se representa en la Figura 3-3.

Figura 3-3 Representación de insumos y efluentes para cada proceso



Fuente: Elaboración propia

En el modelo se asocian consumos unitarios por nivel de producción de cada uno de los procesos y de forma similar se estiman efluentes unitarios. Los consumos (y producción) totales de insumos (y efluentes) dependerán entonces del nivel de producción (envases que entran al proceso) y de los factores unitarios.

La Figura 3-3 muestra el esquema de **entradas** y **salidas** (diferenciadas como tales por los distintos colores) para cada proceso o etapa. Los % se asignan a los flujos para poder apreciar claramente la distribución de cada entrada y de cada salida, según origen y destino, respectivamente y sigue la siguiente lógica:

- La suma de todas las entradas debe sumar 100%
- La suma de todas las salidas debe sumar 100%
- Los porcentajes **A** y **B** suman 100 ya que corresponden a todas las salidas del proceso i
- **X** es independiente de **Y**
- En este caso **X** es 100 ya que es la única entrada (este no es siempre el caso, pero todas las entradas deben sumar 100)
- El porcentaje **Y** es diferente a **B**

### 3.4 Unidad funcional

Debido a la disponibilidad información a un nivel agregado y a que los procesos y operaciones del ciclo de vida comprenden muchos tipos envases, es necesario agregar los datos a un nivel que permita una asignación razonable. Además, para asegurar que los distintos tipos de formatos sean comparables entre sí, se debe elegir un denominador

común asociado a la función del producto, en este caso el almacenamiento de gaseosa. Por estas razones se establece como unidad funcional una Caja Unitaria (UC), definida por Coca-Cola, que corresponde a **5.678 litros** (24 envases de 8 oz).

La Tabla 3-1 establece la relación entre los diferentes formatos de los envases y la UC, también establece el gramaje considerado para cada formato.

**Tabla 3-1 Equivalencia de Envases originales y envases de análisis**

Tipo	Formato	Masa del envase vacío [g/envase] <sup>6</sup>	Envases por UC
Vidrio	Vidrio 0.237	285	24.0
Vidrio	Vidrio 0.350	370	16.2
Vidrio	Vidrio 1	850	5.7
<b>Vidrio</b>	<b>Vidrio 1.25*</b>	<b>1025</b>	<b>4.5</b>
PET	Pet 0.25	24.02	22.7
PET	Pet 0.5	20.7	11.4
PET	Pet 0.591	20.7	9.6
PET	Pet 1.0	40.69	5.7
<b>PET</b>	<b>Pet 1.5*</b>	<b>40.69</b>	<b>3.8</b>
PET	Pet 1.5 FP	40.69	3.8
PET	Pet 1.75	40.69	3.2
PET	Pet 2.0	46.96	2.8
PET	Pet 2.5	52.7	2.3
PET	Pet 3.0	57.2	1.9
<b>RefPET</b>	<b>RefPet 2.0*</b>	<b>107</b>	<b>2.8</b>
RefPET	RefPet 2.5	140	2.3
RefPET	RefPet 3.0	149	1.9

Fuente: Elaboración propia

\* Formatos de Interés familiares

Como ya se mencionó, para ser consistentes con los objetivos expuestos los formatos de interés sobre los cuales se realizará mayor análisis comparativo, serán los considerados "familiares" pero sujetos a su representatividad productiva para el 2015.

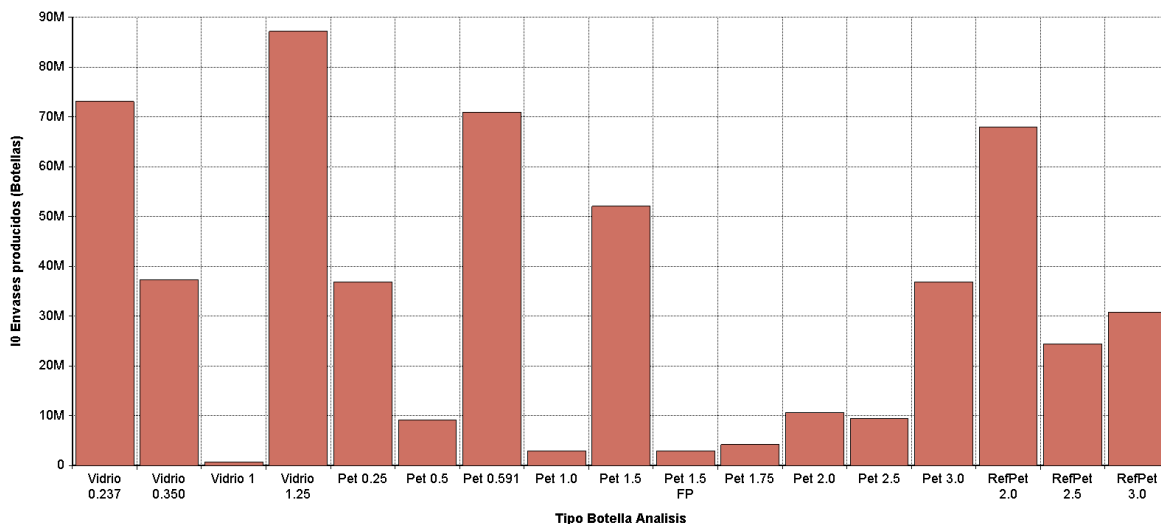
Es importante notar la diferencia entre la masa de los envases vacíos, en particular para los envases de interés. Las masas son 1025, 40.69 y 107 gramos para vidrio, PET y RefPET respectivamente, generando una razón 25.2 : 1 : 2.6 RefPET contiene el doble de material

<sup>6</sup> El gramaje considerado resulta de la ponderación del peso de las botellas por las compras de los distintos envases de parte de Andina.

que PET, pero el vidrio tiene 25 veces más material (esto generará diferencias al momento de transportar estos envases para el consumo y para el retorno).

De la Figura 3-4 se aprecia que los envases familiares representativos son: vidrio 1.25, PET 1.5 y RefPET 2.0 (en **negrita** en la tabla anterior).

**Figura 3-4 Número de botellas producidas por Andina durante el 2015**



Fuente: Elaboración propia

## 4. Análisis del inventario del ciclo de vida

Este capítulo corresponde a la fase de recopilación y cuantificación de inputs y outputs para todo el ciclo de vida. A continuación se detallan los resultados de esta búsqueda de información, usando la estrategia descrita en el capítulo anterior.

### 4.1 Contabilidad de envases

El primer resultado del ACV corresponde al correcto balance de los productos seleccionados entre todas sus etapas. Este balance se refleja en la contabilidad de envase proceso que fue detallado en la sección 3.2.

A modo de ilustración y para evitar el exceso de información, se presentan los resultados para los formatos más representativos: PET 1.5, RefPET 2.0 y Vidrio 1.25.

#### 4.1.1 PET 1.5

En la Tabla 4-1 se presenta el balance de envases entre las distintas etapas macro del ciclo de vida. Lo indicado por la matriz son los envases que salen de una etapa (vertical) hacia la otra etapa (horizontal), de esta forma por ejemplo, según la matriz, de Andina salen 52,043,196 envases PET 1.5 hacia consumo; 76,384 envases hacia reciclaje y 1,798 hacia disposición.

Tabla 4-1 Matriz balance 2015 de envase PET 1.5

Origen/ Destino	Producción	Andina	Consumo	Reciclaje	Disposición	Outputs
<b>Producción</b>		52,121,378				<b>52,121,378</b>
<b>Andina</b>			52,043,196	76,384	1,798	<b>52,121,378</b>
<b>Consumo</b>				3,825,175	48,218,021	<b>52,043,196</b>
<b>Reciclaje</b>					765,035	<b>765,035</b>
<b>Disposición</b>						<b>-</b>
<b>Inputs</b>	-	<b>52,121,378</b>	<b>52,043,196</b>	<b>3,901,559</b>	<b>48,984,854</b>	

Fuente: Elaboración propia

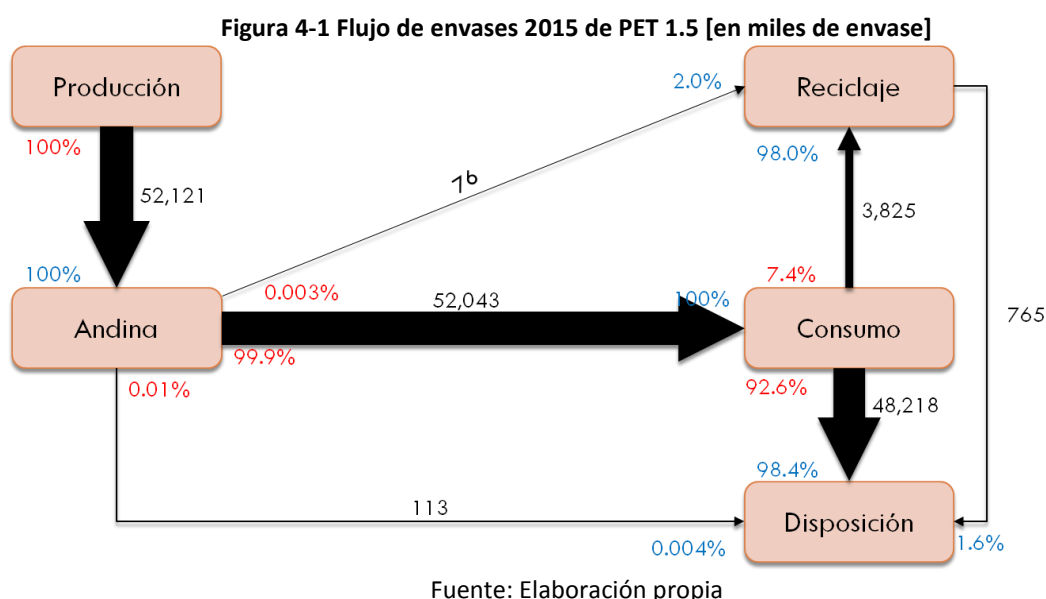
Existen etapas que funcionan como “fuente”<sup>7</sup>, “sumidero” y de “transferencia”. La etapa de producción es la única fuente del balance, las etapas de reciclaje y disposición

<sup>7</sup> En este contexto una **fuente** es entendida como una etapa cuyos envases netos (Envases Output- Envases Input) son positivos. De forma opuesta, un **sumidero** tiene envases netos negativos. En el caso en que los envases netos de una etapa sean cero, se trata de una etapa de **transferencia**.



funcionan como sumideros. Por su parte, las etapas de Andina y consumo son etapas de transferencia.

Una representación alternativa es el flujo de envases presentado en la Figura 4-1. En ella se observa de forma gráfica el flujo de los envases por las distintas etapas. Se puede apreciar que existe de forma marcada un flujo principal: Producción → Andina → Consumo → Disposición. Los otros flujos entre etapas son despreciables en comparación con el flujo principal. Se destaca que solo un 8.0% de los envases consumidos se dirigen hacia el reciclaje.



### 4.1.2 RefPET 2.0

En la Tabla 4-2 se presenta el balance de envases para RefPET 2.0 entre las distintas etapas macro del ciclo de vida. Existen dos diferencias principales con el caso de PET, en primer lugar se aprecia la existencia de retorno desde el consumo a Andina. En segundo lugar se observa la ausencia de reciclaje a partir del consumo. Esto último, de acuerdo a las estimaciones realizadas por Triciclos, se justifica debido a la dificultad de tratar envases del gramaje de las retornables y el volumen de material a recibir es tan bajo que no justifica una línea de tratamiento independiente. Por esta razón se considera que no hay reciclaje a nivel municipal para los envases RefPET y todo el que se pierde termina en un vertedero.

Tabla 4-2 Matriz balance 2015 de envase RefPET 2.0

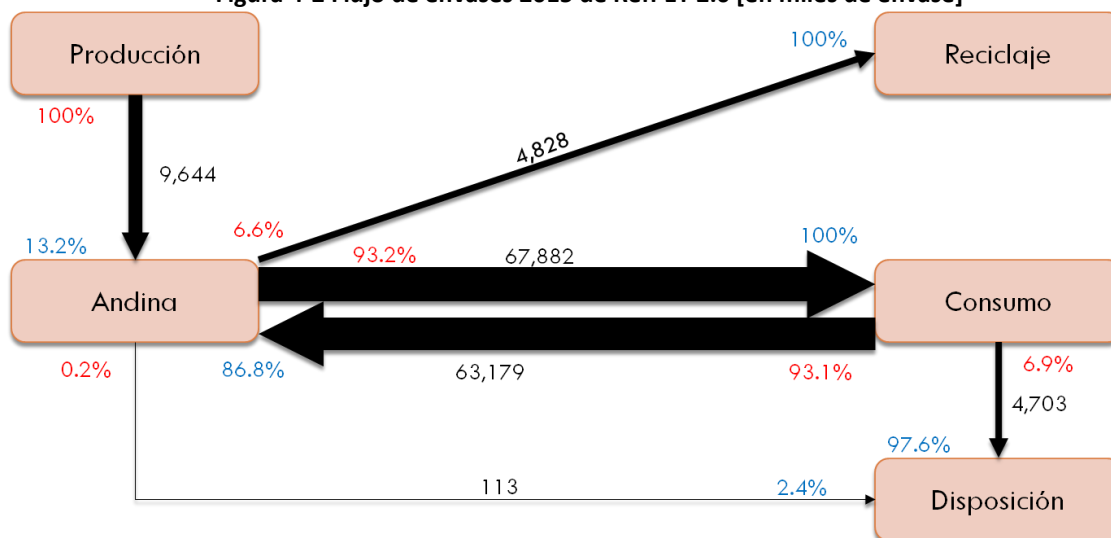
Origen/ Destino	Producción	Andina	Consumo	Reciclaje	Disposición	Outputs
<b>Producción</b>		9,644,580				<b>9,644,580</b>
<b>Andina</b>			67,882,912	4,827,617	113,649	<b>72,824,178</b>
<b>Consumo</b>		63,179,598			4,703,314	<b>67,882,912</b>
<b>Reciclaje</b>					-	-
<b>Disposición</b>						-
<b>Inputs</b>	-	<b>72,824,178</b>	<b>67,882,912</b>	<b>4,827,617</b>	<b>4,816,963</b>	

Fuente: Elaboración propia

Mientras la etapa de producción es la única fuente del balance, las etapas de reciclaje y disposición funcionan como sumideros. Por su parte, las etapas de Andina y consumo son etapas de transferencia.

Una representación alternativa es el flujo de envases presentado en la Figura 4-2. A diferencia del caso PET, no se observa un flujo principal en los flujos de envase, esto debido a la alta tasa de retorno de los envases consumidos (93.1%). Además de no haber flujo de consumo a reciclaje, tampoco hay de reciclaje a disposición, puesto que se considera que el reciclaje industrial (de Andina) realiza previamente la separación entre el material realmente valorizable y el que terminará en disposición.

**Figura 4-2 Flujo de envases 2015 de RefPET 2.0 [en miles de envase]**



Fuente: Elaboración propia

### 4.1.1 Vidrio 1.25

En la Tabla 4-3 se presenta el balance de envases de vidrio 1.25 entre las distintas etapas macro del ciclo de vida. La principal diferencia con las matrices anteriores es la existencia de un *loop* cerrado de reciclaje, donde parte del reciclaje vuelve a la producción. Este número es sólo un indicador, puesto que se trata del material equivalente a ese número de botellas. El supuesto para obtener dicha cantidad de botellas es que sólo botellas de 1.25 litros pueden reciclarse para realizar botellas de 1.25 litros. Este supuesto no pretende ajustarse a la realidad y es sólo para ilustrar el proceso.

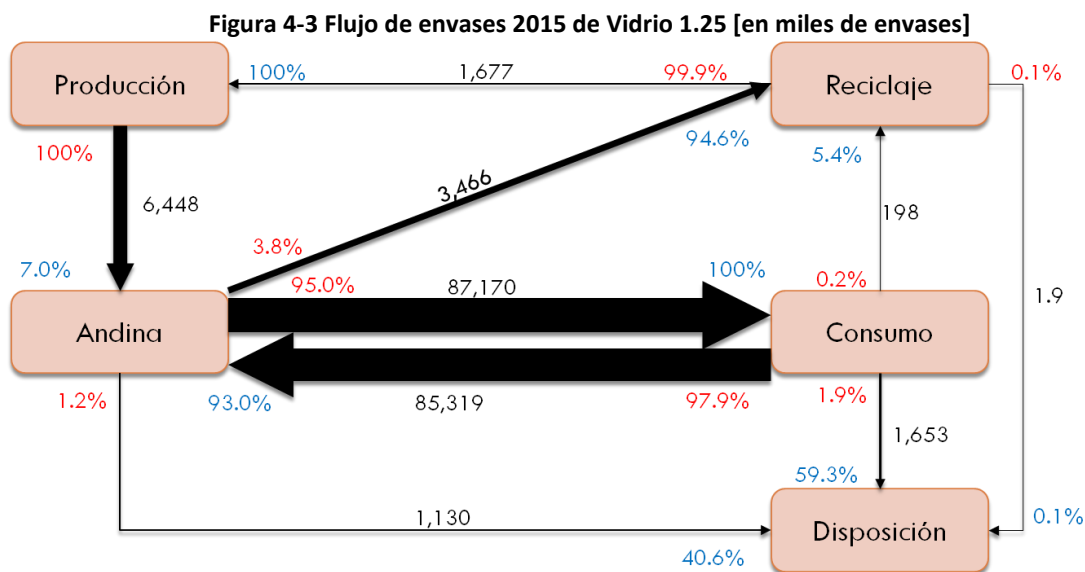
**Tabla 4-3 Matriz balance 2015 de envase vidrio 1.25**

Origen/ Destino	Producción	Andina	Consumo	Reciclaje	Disposición	Outputs
<b>Producción</b>		6,448,170				<b>6,448,170</b>
<b>Andina</b>			87,170,160	3,466,329	1,130,924	<b>91,767,414</b>
<b>Consumo</b>		85,319,244		198,048	1,652,868	<b>87,170,160</b>
<b>Reciclaje</b>	1,677,814				1,980	<b>1,679,794</b>
<b>Disposición</b>						-
<b>Inputs</b>	<b>1,677,814</b>	<b>91,767,414</b>	<b>87,170,160</b>	<b>3,664,377</b>	<b>2,785,773</b>	

Fuente: Elaboración propia

La etapa de producción es la única fuente del balance, las etapas de reciclaje y disposición funcionan como sumideros. Andina y consumo son etapas de transferencia.

Una representación alternativa es el flujo de envases presentado en la Figura 4-3, en ella se observa una tasa de retorno aún más alta (98.0%) que en el caso de RefPET 2.0. Esta alta tasa de retorno contribuye a que los envases nuevos sólo representen el 7.0% de los envases ingresados en el año a Andina. Por su parte, de acuerdo a los datos entregados por Cristalería Chile, el 26.02% de su producción es a partir de materiales reciclados.



Fuente: Elaboración propia

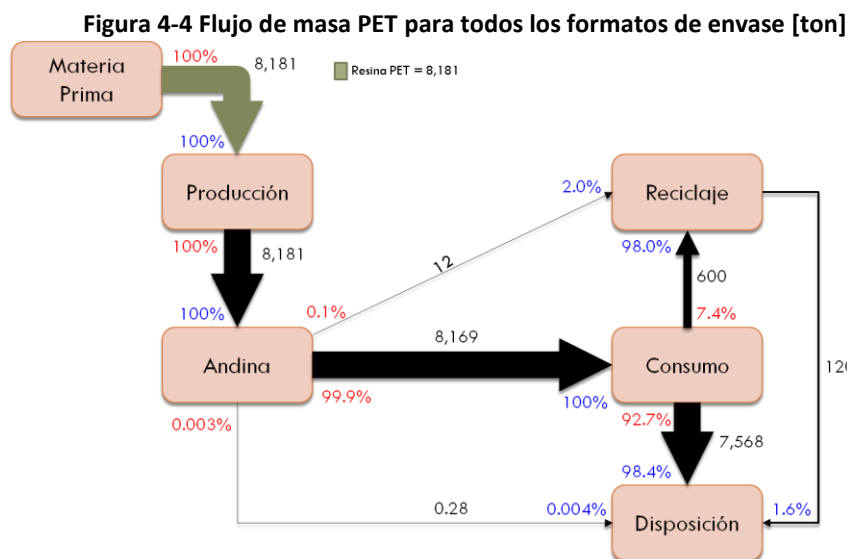
## 4.2 Consumo de materia prima

Partiendo del supuesto de conservación de masa, donde la materia sólo se transforma, sin crearse ni destruirse, se puede realizar la contabilidad materia prima **en relación al peso** de la materia (Ayres, McMichael, & Rod, 1987). Esta contabilidad es similar a la contabilidad de envases desarrollada en la sección 4.1, pero incluye la etapa de materia prima. Adicionalmente se puede realizar por tipo de material sin diferenciar por el formato de envase, a continuación se presentan los resultados para los distintos materiales.

### 4.2.1 PET

Con este nuevo enfoque al balance (masa y no envases) la Figura 4-4 y en particular la Tabla 4-4 definen la etapa de extracción y producción de materia prima como un sumidero, mientras que reciclaje y disposición son definidas como fuentes ya que desplazan materia prima. Las demás etapas son sólo de transferencia. Se debe recordar que el porcentaje de reciclaje se mantiene, ya que este es el dato original que permite el cálculo de la masa o número de envases que se destina a reciclaje.

Es importante notar que del porcentaje de masa de PET destinado a reciclaje, existe nuevamente una división entre la masa que se "pierde" y la masa que efectivamente se destina al reciclaje. Estas pérdidas se le atribuyen al transporte y manipulación del material además de una etapa de purificación.



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4-4 Toneladas netas de PET por etapa**

Etapa	Input-Output
Reciclaje	492.3
Disposición	7,689.1
<b>Total MP</b>	<b>8,181.4</b>

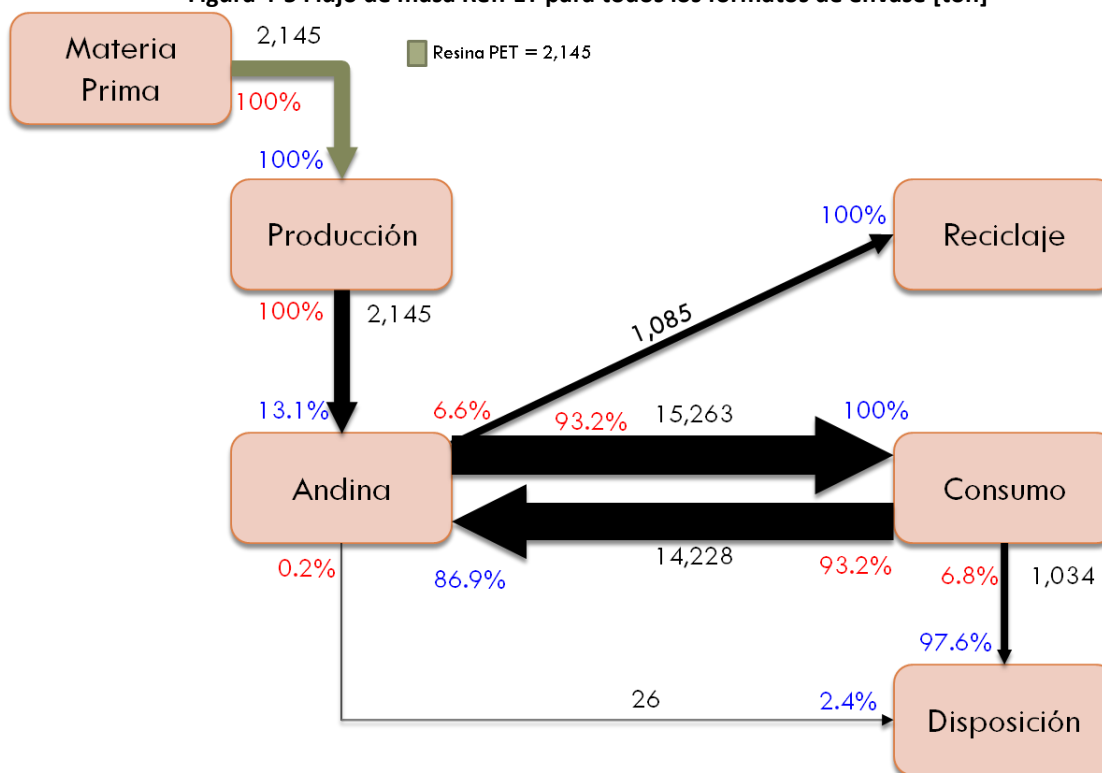
Fuente: Elaboración propia

### 4.2.2 RefPET

Al momento de realizar el balance de masa se debe diferenciar entre RefPET y PET debido a que esta conceptualización permite comprender una de las grandes diferencias que tienen los envases de estos materiales. Si bien ambos materiales provienen de la misma materia prima, varía el gramaje. RefPET consiste en envases PET pero más gruesos, y es esto lo que permite la retornabilidad.

La contabilidad de envases RefPET contrasta en cantidades el balance de masa, esta diferencia explicita la alta tasa de retornabilidad.

**Figura 4-5 Flujo de masa RefPET para todos los formatos de envase [ton]**



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4-5 se observa el bajo consumo de materia prima. Además al comparar con la Tabla 4-4 de consumo de toneladas PET se ve un consumo 75% menor, no así en la comparación de envases, donde la diferencia es menor al 20%.

**Tabla 4-5 Toneladas netas de RefPET por etapa**

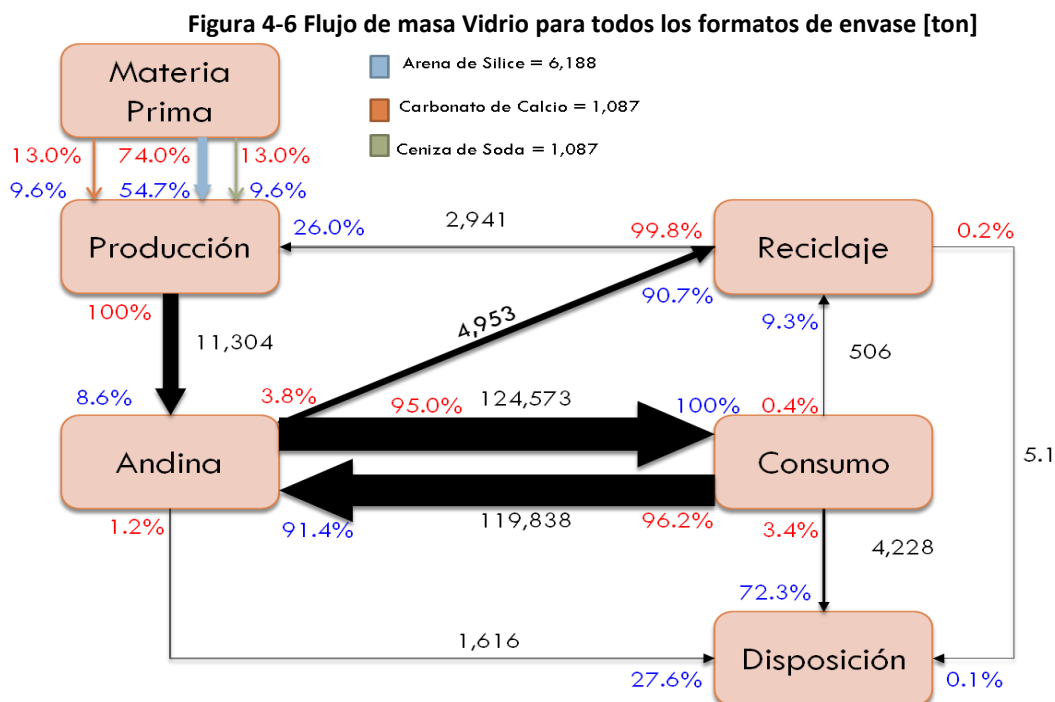
<b>Etapas</b>	<b>Input-Output</b>
<b>Reciclaje</b>	1,085.4
<b>Disposición</b>	1,060.1
<b>Total MP</b>	<b>2,145.5</b>

Fuente: Elaboración propia

### 4.2.3 Vidrio

El balance de masa se hace mucho más relevante cuando se trata de envases de vidrio, ya que no existe ninguna diferenciación en etapas como producción y reciclaje. Las botellas RefPET y PET se reciben en Andina de manera diferente (preforma y envase) y no pueden ser recicladas juntas, en cambio el vidrio se recibe (envases diferentes y provenientes de diversas fuentes) y recicla de igual manera.

La Figura 4-6 muestra diferencias con la contabilidad de envases, ya que para vidrio 1.25 se presentaba una tasa de retornabilidad del 98%. Para el vidrio completo esta tasa disminuye levemente a 96.2%, al incluir todos los formatos, pero sigue siendo mayor que la retornabilidad de RefPET.



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4-6 Toneladas netas de vidrio por etapa**

Etapa	Input-Output
Reciclaje	2,513.7
Disposición	5,849.5
<b>Total MP</b>	<b>8,363.3</b>

Fuente: Elaboración propia

### 4.3 Consumo de energía

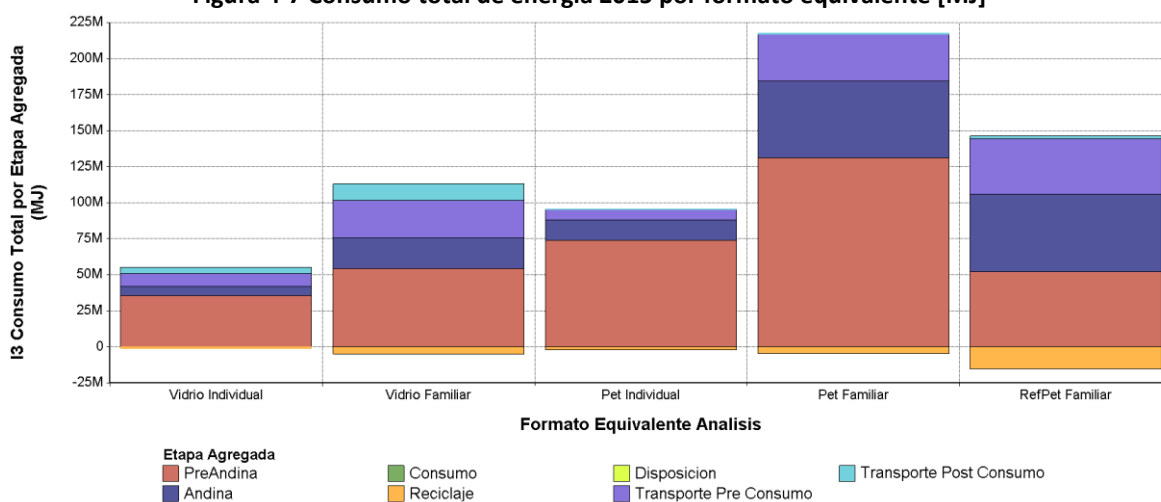
A continuación se presenta el consumo directo de energía por los distintos procesos. En la nomenclatura que se definirá en la sección 5.1, corresponde a energéticos secundarios y no a los primarios.

### 4.3.1 Consumo de energía total

En total se consumieron directamente sobre 600.1 TJ, los cuales se distribuyen de acuerdo a lo observable en la Figura 4-7. Se observa que el mayor consumo corresponde a los envases familiares (75.4%), los cuales se subdividen en:

- ✓ PET Familiar: 213.0 TJ - 35.5%
- ✓ RefPET Familiar: 131.1 TJ - 21.8%
- ✓ Vidrio Familiar: 108.2 TJ - 18.0%

**Figura 4-7 Consumo total de energía 2015 por formato equivalente [MJ]**



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4-7 Consumos totales de energía por etapa para toda la producción del 2015**

Etapa	Consumo en TJ	
<b>PreAndina</b>	346.9	57.8%
<b>Andina</b>	149.4	24.9%
<b>Consumo</b>	0.0	0.0%
<b>Reciclaje</b>	-28.2	-4.7%
<b>Disposición</b>	0.0	0.0%
<b>Transporte Pre Consumo</b>	112.7	18.8%
<b>Transporte Post Consumo</b>	19.3	3.2%
<b>Total</b>	<b>600.1</b>	<b>100.0%</b>

Fuente: Elaboración propia

Al observar a nivel de etapa, el consumo mayoritario corresponde a la etapa PreAndina, cuyo detalle se presenta en la Tabla 4-8. De ella se desprende que más de la mitad (57%)



del consumo energético corresponde a la extracción de materias primas. Esto corresponde al 32.7% del total de energía consumida en todo el ciclo.

**Tabla 4-8 Detalle de consumo total 2015 para etapa Pre-Andina**

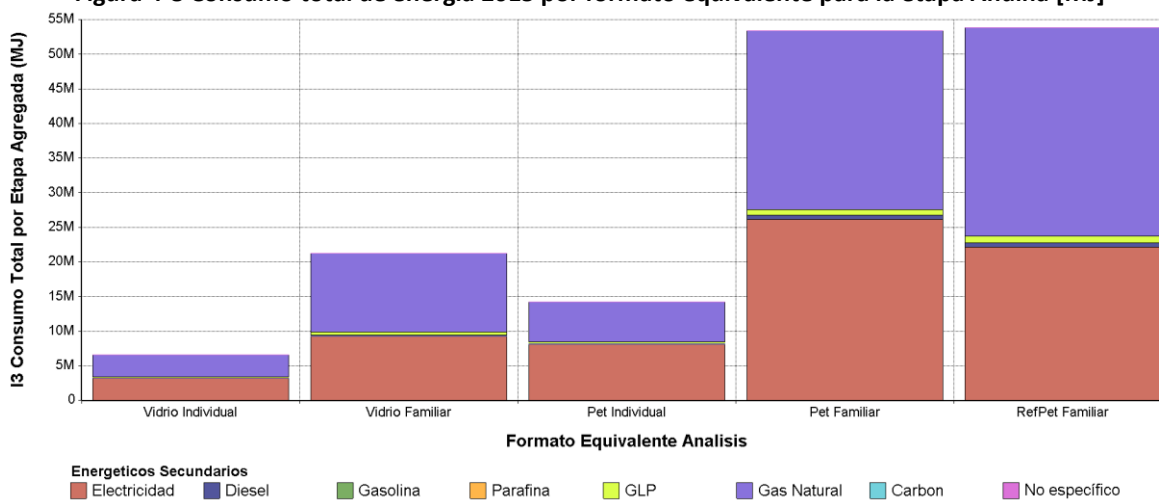
Etapa detallada	Consumo en TJ	
<b>Extracción Materia Prima</b>	196.4	57%
<b>Transporte de Materia Prima a Producción</b>	29.3	8%
<b>Producción envase</b>	101.3	29%
<b>Producción otros insumos</b>	19.8	6%
<b>Pre-Andina</b>	<b>346.9</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia

También es destacable el consumo asociado a Andina, el cual incluye todo los procesos internos de la planta. Si a éste consumo le sumamos el por transporte pre consumo (a la planta de andina y desde la planta de andina), se puede afirmar que Andina tiene injerencia directa en un 43.7% del total del consumo.

La Figura 4-8 muestra el consumo total durante la etapa Andina de cada formato equivalente. Casi la totalidad de energía secundaria consumida durante esta etapa corresponde a electricidad y gas natural.

**Figura 4-8 Consumo total de energía 2015 por formato equivalente para la etapa Andina [MJ]**



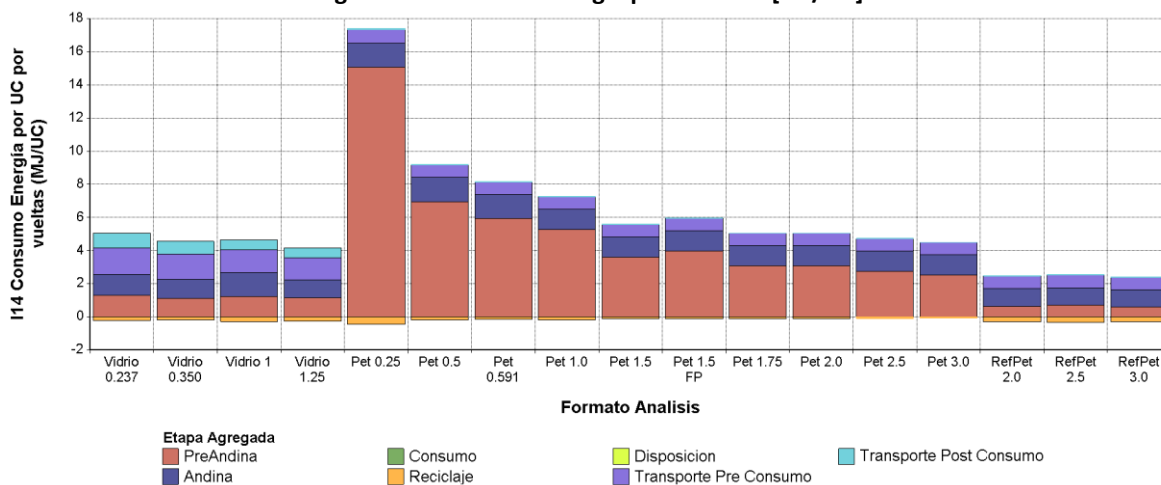
Fuente: Elaboración propia

### 4.3.2 Consumo de energía por unidad funcional

La Figura 4-9 presenta el consumo de energía para todos los formatos analizados. Se observa que los envases que menos consumen energía por UC son los RefPET, debido principalmente a su retornabilidad, y al bajo peso por unidad de volumen de sus envases. El envase PET 0.25 destaca como el formato que más energía consume por UC, debido a su no retornabilidad y su alto ratio entre peso y volumen.

En general, se observa que en la medida en que el formato aumenta el volumen mejora también el ratio volumen-peso implicando que se necesita menos materia prima para un determinado volumen y reduciendo por lo tanto su consumo energético por litro vendido.

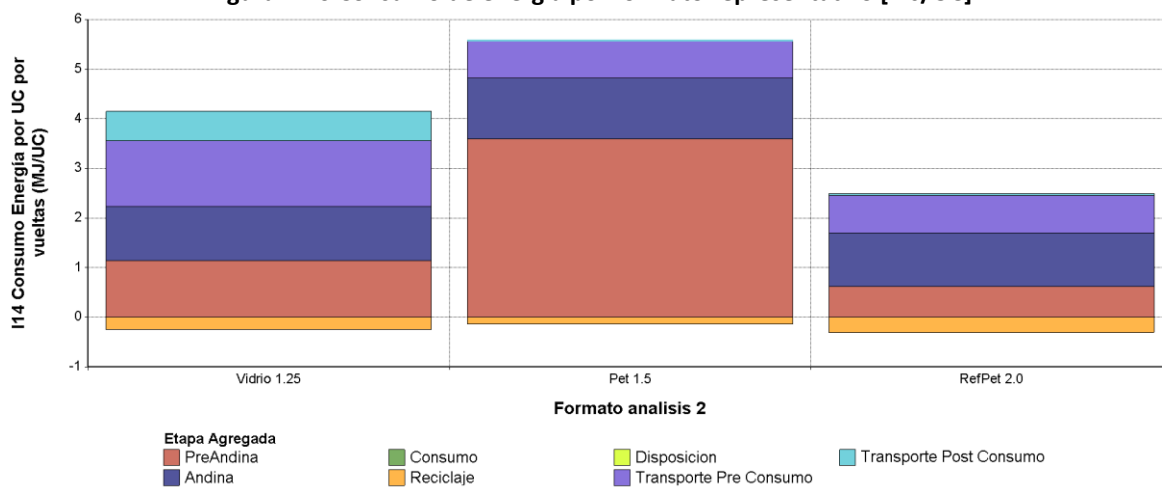
**Figura 4-9 Consumo energía por formato [MJ/UC]**



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4-10 se muestra el consumo de energía por unidad funcional para los formatos de interés. Al comparar el consumo energético en estos envases, se detalla que el envase PET 1.5 consume 2.49 veces más energía que el envase RefPET 2.0, mientras que el envase de Vidrio 1.25 consume 1.78 veces más energía que el envase RefPET 2.0. Es decir, el consumo energético está en las proporciones 1.78 : 2.49 : 1 para Vidrio 1.25 : PET 1.5 : RefPET 2.0)

**Figura 4-10 Consumo de energía por formato representativo [MJ/UC]**



Fuente: Elaboración propia

## 5. Evaluación del impacto del ciclo de vida

Una vez generado el análisis de inventario, se procede a la asignación de potenciales impactos ambientales y a la cuantificación de los mismos. Siguiendo la metodología expuesta a continuación se obtiene un acercamiento a los impactos ambientales involucrados con el inventario de ciclo de vida.

La estimación de los impactos del ciclo de vida reconoce dos tipos de impactos: los asociados a los procesos y los asociados al uso de agua y energía. El primero hace referencia a los impactos producidos por reacciones químicas, pérdidas, ineficiencias u otras características propias de los procesos, mientras que los impactos asociados al uso tienen que ver con el consumo. Para los impactos asociados a los procesos, el factor de impacto tiene relación con la actividad misma, y el nivel de actividad suele hacer referencia a la producción generada del proceso. Estos impactos son puntuales en el sentido en que son generados en el lugar y tiempo en que se realiza el proceso.

En este informe se abordan los impactos asociados al uso de energía, agua; y diversos impactos asociados a emisiones al aire y agua de distintos contaminantes. Estos impactos pueden ser locales o globales. Se dio especial énfasis a los indicadores de huella de carbono, huella hídrica y uso de vertederos. En las siguientes secciones se detalla la metodología de cálculo específica empleada en estos indicadores, para el cálculo de los impactos no destacados utilizó la metodología TRACI 2.1 explicada en la sección 5.4.1.

### 5.1 Huella de Carbono

La huella de carbono es utilizada como una herramienta para la estimación del impacto en el cambio climático. El resultado de la huella de carbono es la cantidad de carbono equivalente liberado en los procesos y que contribuye directamente al efecto invernadero con las consecuencias de cambio climático asociadas.

#### 5.1.1 Metodología de estimación Huella de Carbono

En la literatura ambiental, los impactos se estiman a partir de un factor de impacto y un nivel de actividad. El factor de impacto corresponde a un indicador del impacto por unidad de nivel de actividad, de esta forma se puede referir a la cantidad de emisiones por hora de trabajo o utilización de recurso por unidad de energía consumida. Por su parte, el nivel de actividad corresponde a la forma en que caracteriza y cuantifica un proceso, por ejemplo, en horas de uso, en materiales generados o energía utilizada.

Para efectos del impacto en cambio climático el indicador medido serán las emisiones de GEI medidas en CO<sub>2</sub> eq, según la ecuación a continuación:

$$HC = \sum_i HC_i = \sum_i \left( \sum_{jk} FI_{jk} * NA_{ji} * GWP_k \right) \quad \text{para la etapa } i \text{ y energético } j$$

Donde:

$HC_i$ : es la huella de carbono para la etapa  $i$ .

$FI_j$ : es el factor de impacto, es decir emisión del GEI  $k$ , para el energético  $j$  (EPA, 2014).

$NA_{ji}$ : es el nivel de actividad de la etapa  $i$ , para el energético  $j$ . Se puede medir como horas de uso, peso a transportar, o combustible utilizado.

$GWP_k$ : global warming potential, equivalencia de kg CO<sub>2</sub> para el gas  $k$  (IPCC, 2014).

Los impactos asociados a energía no son producidos necesariamente en el mismo lugar del proceso, por ejemplo, la electricidad consumida durante el proceso produce impactos en los distintos lugares donde dicha electricidad está siendo generada (ver Figura 5-1). Por esta razón se diferencia energéticos secundarios (energía directamente consumida) de energéticos primarios (energía bruta consumida).

Los energéticos secundarios son los consumidos directamente por los procesos, como por ejemplo la electricidad usada en la planta Andina, los hornos usados en plantas de producción de envases, combustible usado por camiones, etc. Para efectos del presente informe corresponden a:

- ✓ Electricidad
- ✓ Diesel
- ✓ Gasolina
- ✓ Parafina
- ✓ GLP
- ✓ Gas Natural
- ✓ Carbón
- ✓ No específico<sup>8</sup>

Cada uno de estos recursos energéticos consumidos puede ser convertido en energéticos primarios mediante una matriz de transformación que considera pérdidas de transporte, así como la eficiencia de generación. Los recursos energéticos primarios considerados corresponden a:

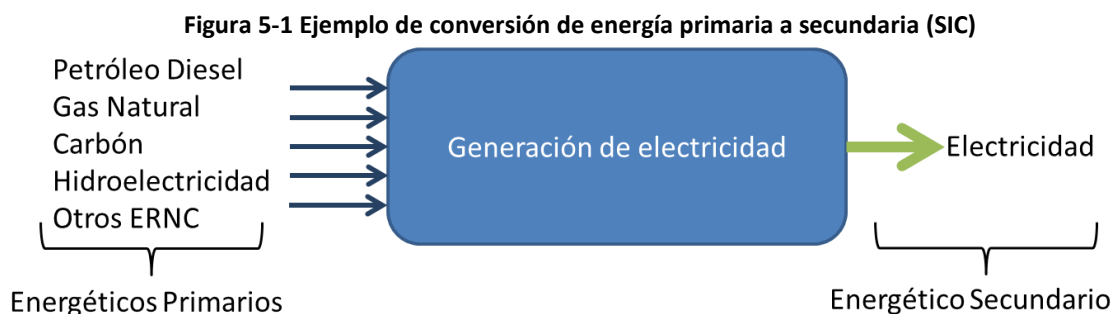
- ✓ Petróleo Diesel

---

<sup>8</sup> El recurso energético “no específico” corresponde a los consumos energéticos cuya magnitud se conoce, pero cuyo origen se desconoce.

- ✓ Gas Natural
- ✓ Carbón
- ✓ Hidroelectricidad
- ✓ Nuclear
- ✓ Biomasa
- ✓ Otros ERNC

Cuando no se tenga información del tipo de energético usado en algún proceso (energético secundario "no específico"), se asume que la energía proviene de la matriz eléctrica del país de origen, en nuestro caso del Sistema Interconectado Central (SIC). La Figura 5-1 muestra un ejemplo de conversión de energía primaria a secundaria.



Fuente: Elaboración propia

La matriz de transformación de recursos energéticos secundarios a primarios cambia según el lugar de consumo del recurso. De esta forma un kWh de electricidad en Chile tiene una composición en recursos energéticos primarios distinta a un kWh de electricidad en EEUU en tipos de energéticos primarios y en porcentaje de cada uno de ellos.

La Tabla 5-1 muestra un resumen de los principales factores que determinan los impactos ambientales para cada etapa del ciclo de vida.

**Tabla 5-1 Relación entre etapa del Ciclo de Vida y sus impactos GEI**

<b>Etapa</b>	<b>Actividades realizadas en cada etapa</b>	<b>Factores determinantes en el Impacto Ambiental</b>
<b>0. Materia Prima</b>	Extracción Preparación Transporte	Según el origen del material  Energía: consumo de recursos energéticos en el proceso de extracción  Transporte: desde país de origen a Chile y luego al proveedor
<b>1. Producción Insumos</b>	Principal (envase, preforma) Otros (tapas, etiquetas, cajas, pallet, etc.) Transporte	Energía: consumo de recursos energéticos en procesos  Transporte: desde proveedor a Andina
<b>2. Producción Andina</b>	Recepción Lavado/Soplado Llenado/Llenado indirecto Almacenaje	Energía: consumo de recursos energéticos en procesos  Manejo de residuos
<b>3. Distribución</b>	Transporte	Transporte: hacia centros de distribución, varía según transporte pre-post consumo (botellas llenas o vacías)
<b>4. Consumo</b>	-	No se han definido factores de impacto ambiental en esta etapa
<b>5. Disposición final</b>	Reciclaje Vertedero Transporte	Transporte: hacia vertedero o centro de reciclaje  Energía: consumo energético en etapas de procesamiento/transformación en vertedero o planta de reciclaje

Fuente: Elaboración propia a partir de CONAMA, 2002a

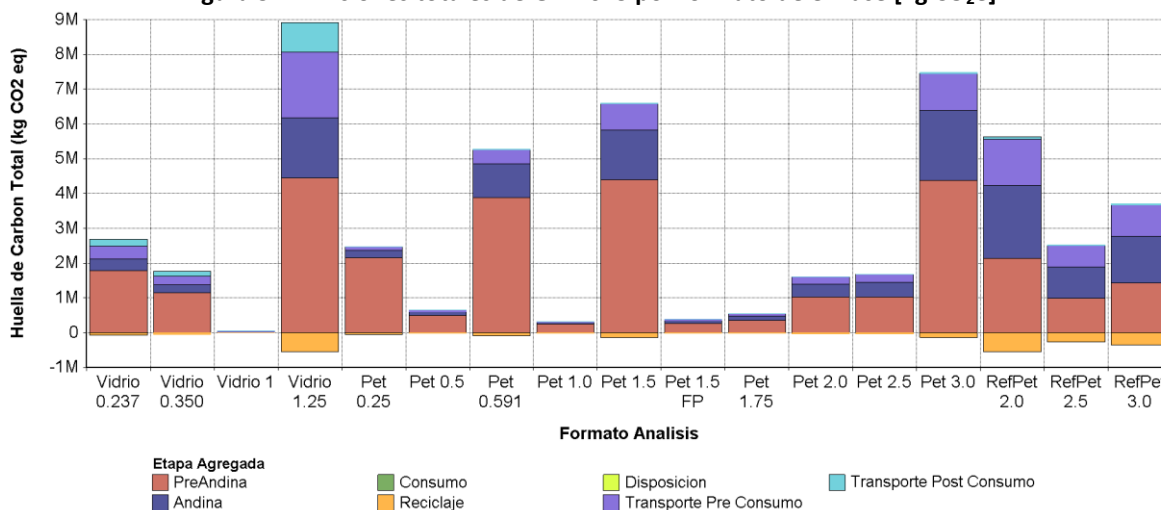
### 5.1.2 Impactos GEI Totales

Este impacto consiste en la valorización del consumo de energéticos por sus emisiones atmosféricas, unificando estas emisiones mediante equivalencias a CO<sub>2</sub>. De esta manera se obtiene un solo factor de emisión para cada tipo de recurso energético que permite determinar las emisiones de gases de efecto invernadero en CO<sub>2</sub> equivalente, en adelante CO<sub>2</sub>e. Los factores de emisión de los combustibles son ampliamente utilizados internacionalmente y están registrados en (EPA, 2014).

En total se emitieron 50,002 toneladas de CO<sub>2</sub>e, distribuidas en los distintos tipos de formato de envase. La Figura 5-2 muestra la distribución de estas emisiones considerando la producción, por esto se debe tener en cuenta que algunos envases se producen de manera más masiva (como se puede apreciar en la Figura 3-4). Los formatos de envases que más contribuyen al total de emisiones corresponden a los familiares, donde se destacan los siguientes:

- ✓ Vidrio 1.25: 8,360 ton CO<sub>2</sub>e - 16.7%
- ✓ PET 1.5: 6,466 ton CO<sub>2</sub>e - 12.9%
- ✓ PET 3.0: 7,342 ton CO<sub>2</sub>e - 14.7%
- ✓ RefPET 2.0: 5,080 ton CO<sub>2</sub>e - 10.2%

**Figura 5-2 Emisiones totales de GEI 2015 por formato de envase [kg CO<sub>2</sub>e]**



Fuente: Elaboración propia

Se observa que la etapa con mayor contribución a las emisiones de GEI corresponde a Pre-Andina, con un 60.3%. El desglose del total de emisiones se presenta en la Tabla 5-2.



Tabla 5-2 Emisiones total de GEI 2015 por etapa

Etapa	Emisiones de GEI [ton CO <sub>2</sub> e]	
PreAndina	30,173	60.3%
Andina	12,459	24.9%
Consumo	-	0.0%
Reciclaje	- 2,366	-4.7%
Disposición	-	0.0%
Transporte Pre Consumo	8,310	16.6%
Transporte Post Consumo	1,425	2.9%
<b>Total</b>	<b>50,002</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia

Dentro de la etapa PreAndina, que se muestra con mayor detalle en la Tabla 5-3, destaca por mayor aporte la extracción de materia prima, con un 35% de las emisiones totales de todo el ciclo.

Tabla 5-3 Detalle de las emisiones totales de GEI 2015 para etapa PreAndina

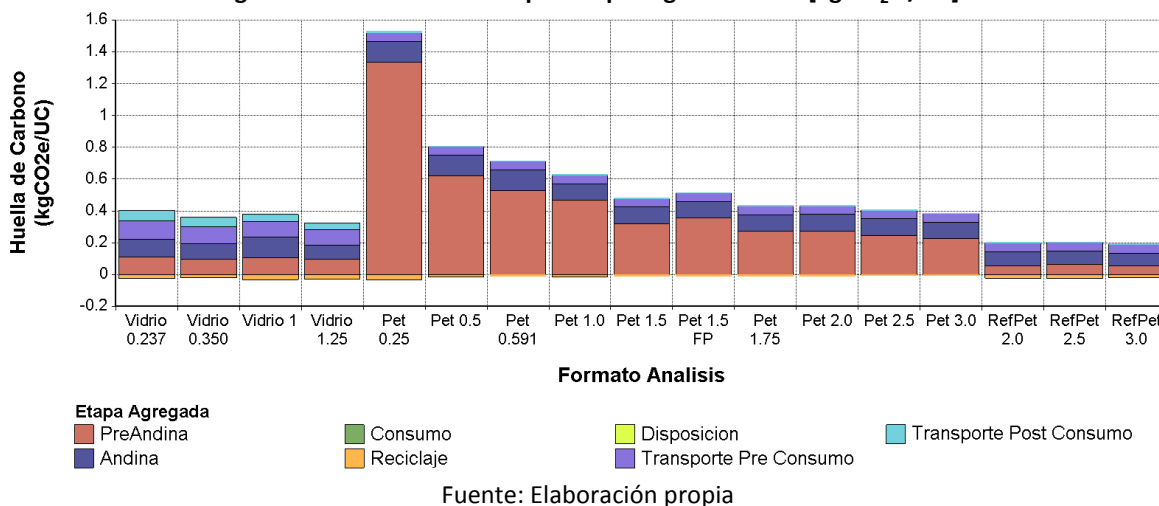
Etapa detallada	Emisiones de GEI [ton CO <sub>2</sub> e]	
Extracción de materia prima	16,802	56%
Transporte de materia prima a producción	2,162	7%
Producción envase	8,955	30%
Producción otros insumos	2,254	7%
<b>PreAndina</b>	<b>30,173</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia

### 5.1.3 Impactos GEI por unidad funcional

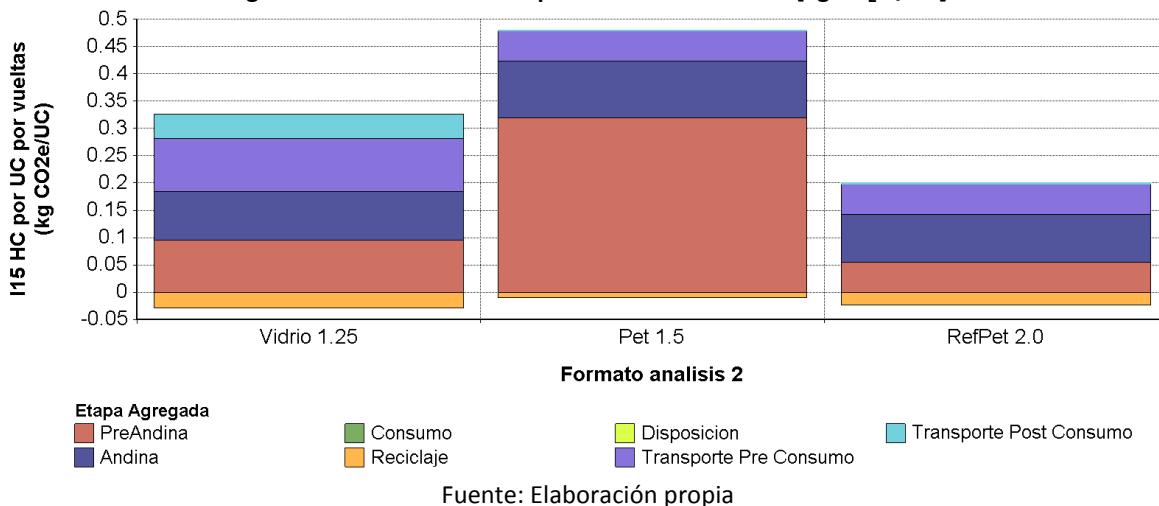
Se presentan resultados de emisiones por unidad funcional para cada formato de envase. Los envases RefPET presentan emisiones similares por UC, de aproximadamente 0.21 kg CO<sub>2</sub>e/UC, siendo este formato el menos emisor de GEI. Esto se explica principalmente por la alta tasa de retorno (93.2%). El envase PET 0.25 destaca como el formato con mayor emisión (1.50 kg CO<sub>2</sub>e/UC), esto se explica por el alto ratio material/volumen contenido.

**Figura 5-3 Emisiones de GEI por etapa según formato [kg CO<sub>2</sub>e /UC]**

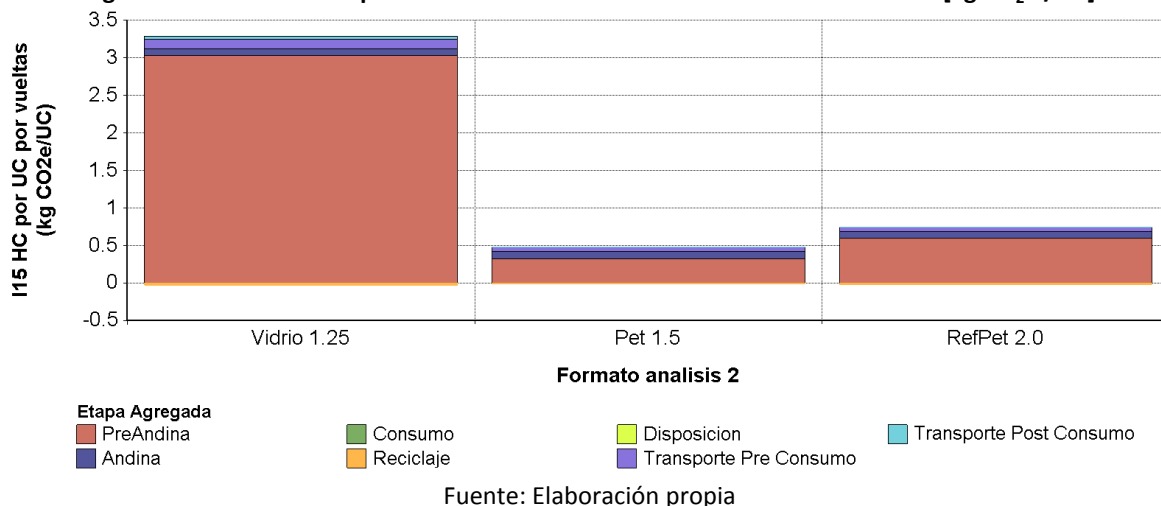


Resulta importante realizar el análisis para los formatos de interés, donde se puede observar que las emisiones del formato PET 1.5, vidrio 1.25 y RefPET 2.0 tienen una relación de emisiones descendente (en el orden mencionado). Además las emisiones atribuidas al formato de interés RefPET 2.0 corresponden a menos de la mitad que las de PET 1.5, por caja unitaria.

**Figura 5-4 Emisiones de GEI por formato de interés [kg CO<sub>2</sub>e /UC]**

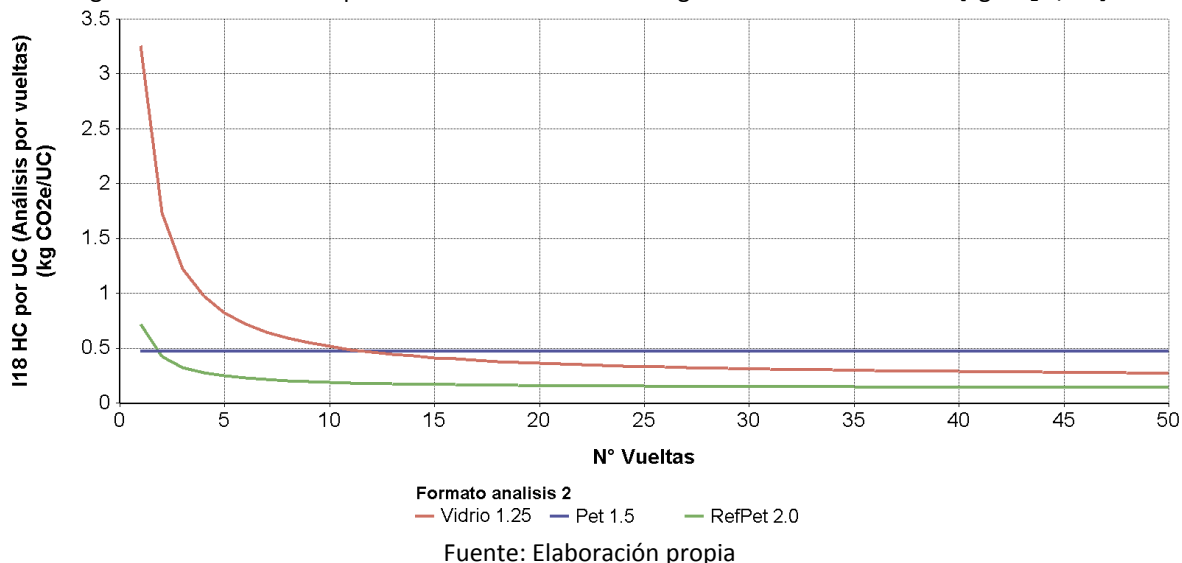


**Figura 5-5 Emisiones GEI por formato de interés sin considerar retornabilidad [kg CO<sub>2</sub>e /UC]**



El contraste entre la Figura 5-4 y la Figura 5-5 muestra la importancia de la retornabilidad para los envases de vidrio y RefPET. La retornabilidad demostrada por el número de vueltas genera, en el caso del vidrio 1.25, 45 vueltas disminuyen en cerca de un 90% sus emisiones. Las 12 vueltas de los envases RefPET disminuyen en un 60% las emisiones. De manera más importante la retornabilidad de los envases de vidrio y RefPET les permiten tener factores de emisión de CO<sub>2</sub>e menores al PET desechable.

**Figura 5-6 Emisiones GEI para los formatos de interés según el número de vueltas [kg CO<sub>2</sub>e /UC]**



La Figura 5-6 precisa aún más la importancia de la retornabilidad, como se puede observar a medida que aumentan las vueltas, las emisiones relacionadas con los envases retornables disminuyen hasta estabilizarse. Esto se debe a que existen emisiones

relacionadas con la materia prima que se prorratan con cada vuelta, no así para los envases desechables que mantienen constante su emisión. Para vidrio 1.25 a partir de la vuelta número 12 emite menos que el PET, RefPET 2.0 emite menos que PET a partir de la segunda vuelta. Esta diferencia entre vidrio y RefPET se debe a las diferencias en emisiones relacionadas con la obtención de la materia prima.

## 5.2 Huella Hídrica

Según un estudio realizado por la Universidad Católica (Donoso & Franco, 2013), la huella hídrica es el volumen total de agua fresca usado para producir los bienes y servicios consumidos por el individuo, comunidad o producidos por el negocio. La huella hídrica es, por lo tanto, un indicador del consumo de agua asociado a los productos.

### 5.2.1 Metodología de estimación de la Huella Hídrica

En el caso de este ciclo de vida, el insumo hídrico consuntivo corresponde al agua utilizada en cada etapa o proceso. Se obtiene un valor de consumo total por medio de la sumatoria de los consumos unitarios, como se ve en la ecuación a continuación. Luego se lleva el consumo total a consumo por formato de envase de la misma manera que el consumo energético (distribución según representatividad productiva).

$$HH = \sum_i HH_i = \sum_i \left( \sum_k C_{ik} \right) \quad \text{para la etapa } i \text{ y proceso } k$$

Donde:

$HH_i$ : es la huella hídrica para la etapa  $i$ .

$C_{ik}$ : es el consumo de agua del proceso  $k$  en la etapa  $i$ .

Cabe destacar que del consumo de Andina, un 48% no se asocia al producto o al lavado. Este porcentaje es asignado a la producción según el volumen de producción. De esta forma por cada litro de producción, se considera que existe un consumo de 1.06 litros asociadas a actividades generales de la embotelladora. Asimismo, se excluye el agua utilizada en el contenido de la bebida.

La Tabla 5-4 muestra un resumen de los principales factores que determinan los impactos ambientales de huella hídrica para cada etapa del ciclo de vida.

**Tabla 5-4 Relación entre etapa del Ciclo de Vida y su huella hídrica asociada**

<b>Etapa</b>	<b>Actividades realizadas en cada etapa</b>	<b>Factores determinantes en el Impacto Ambiental</b>
0. Materia Prima	Extracción	Consumo de agua en los procesos
	Preparación	
	Transporte*	
1. Producción Insumos	Principal (envase, preforma)	Consumo de agua en los procesos
	Otros (tapas, etiquetas, cajas, pallet, etc.)	
	Transporte*	
2. Producción Andina	Lavado Consumo de agua indirecto	Consumo de agua en los procesos (principalmente Lavado) Consumos indirectos en la planta Andina son asociado a la producción
3. Distribución	Transporte*	
4. Consumo	-	No se asigna ningún consumo de agua
5. Disposición final	Reciclaje	Para el reciclaje se considera un "ahorro" de agua debido al desplazamiento de materia prima
	Vertedero	
	Transporte*	

\*No se considera un consumo de agua asociado al transporte para ninguna etapa.

Fuente: Elaboración propia a partir de CONAMA, 2002a

### 5.2.2 Impactos HH por unidad funcional

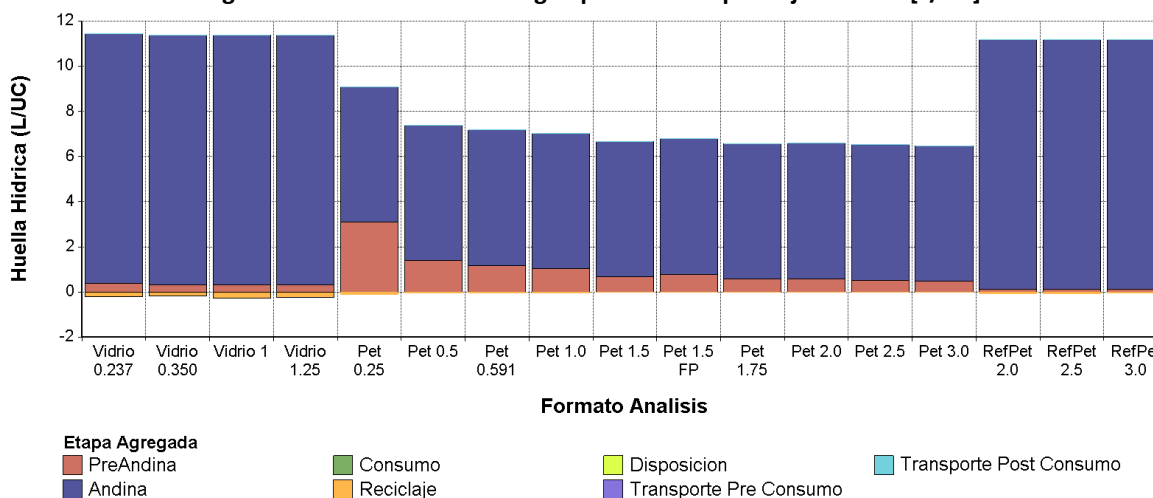
En total el año 2015 se usaron 1.22 millones de m<sup>3</sup> de agua (ver Tabla 5-5) en todo el ciclo de vida de los envases, distribuidos en los distintos formatos como expone la Figura 5-7.

**Tabla 5-5 Consumo total de agua 2015 por etapa**

Etapa	Consumo de agua [m <sup>3</sup> /UC]	
PreAndina	76.008	6,2%
Andina	1.156.825	94,6%
Consumo	-	0,0%
Reciclaje	- 10.128	-0,8%
Disposición	-	0,0%
Transporte Pre Consumo	-	0,0%
Transporte Post Consumo	-	0,0%
<b>Total</b>	<b>1.222.705</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia

**Figura 5-7 Consumo total de agua para el 2015 por caja unitaria [L/UC]**



Fuente: Elaboración propia

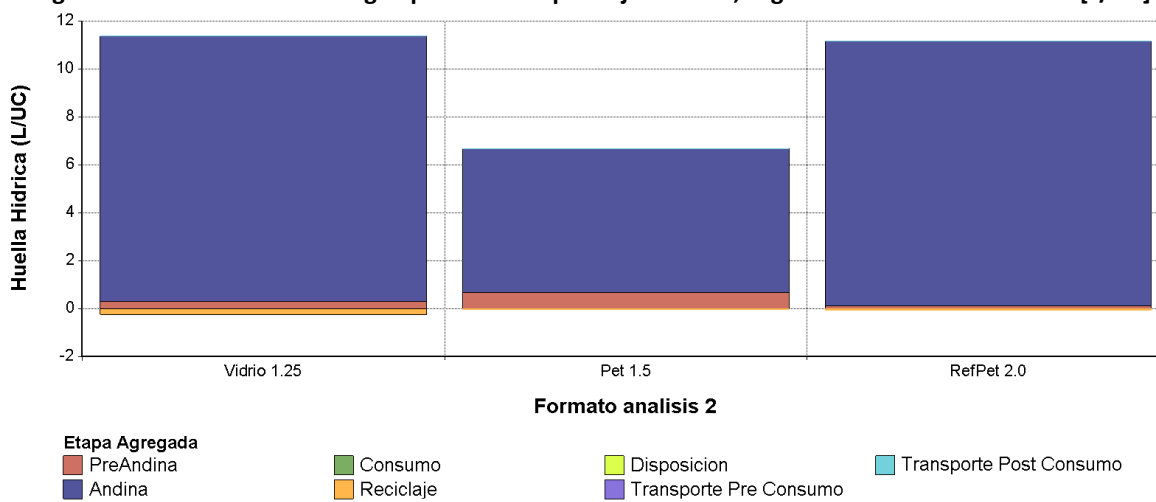
Es importante destacar los siguientes puntos:

- ✓ Andina es la etapa con mayor consumo de agua
- ✓ Los envases retornables (vidrio y RefPET) son los más intensivos en uso de agua, debido al proceso de lavado
- ✓ A nivel de preAndina el vidrio tiene mayor consumo ya que sus envases contienen una mayor cantidad de materia prima
- ✓ Se considera que las etapas de Transporte, Consumo y Disposición no generan consumo de agua
- ✓ El reciclaje involucra un “ahorro” de agua al desplazar materia prima

Esta información detallada se puede observar en la Tabla 5-5. Al ser Andina el responsable del 94.6 por ciento del uso de agua, es importante analizar la etapa de Andina con mayor detalle. Dentro de la etapa Andina, el 33% corresponde a la etapa de lavado de envases retornables, esto implica que por cada caja unitaria producida hubo un consumo aproximado de 5 litros de agua para el lavado. El consumo restante tiene relación con limpieza de filtros, consumo en calderas y satisfacer la demanda de agua de la planta.

De manera de facilitar el análisis requerido para cumplir los objetivos, nuevamente se observa el comportamiento comparativo de los formatos de interés (Figura 5-8). Se puede apreciar que los envases de vidrio y RefPET tienen un consumo similar cercano a los 12 L/UC. Sin embargo los envases PET, al no requerir un proceso de lavado cuentan con casi la mitad de este consumo de agua.

**Figura 5-8 Consumo total de agua para el 2015 por caja unitaria, según los formatos de interés [L/UC]**

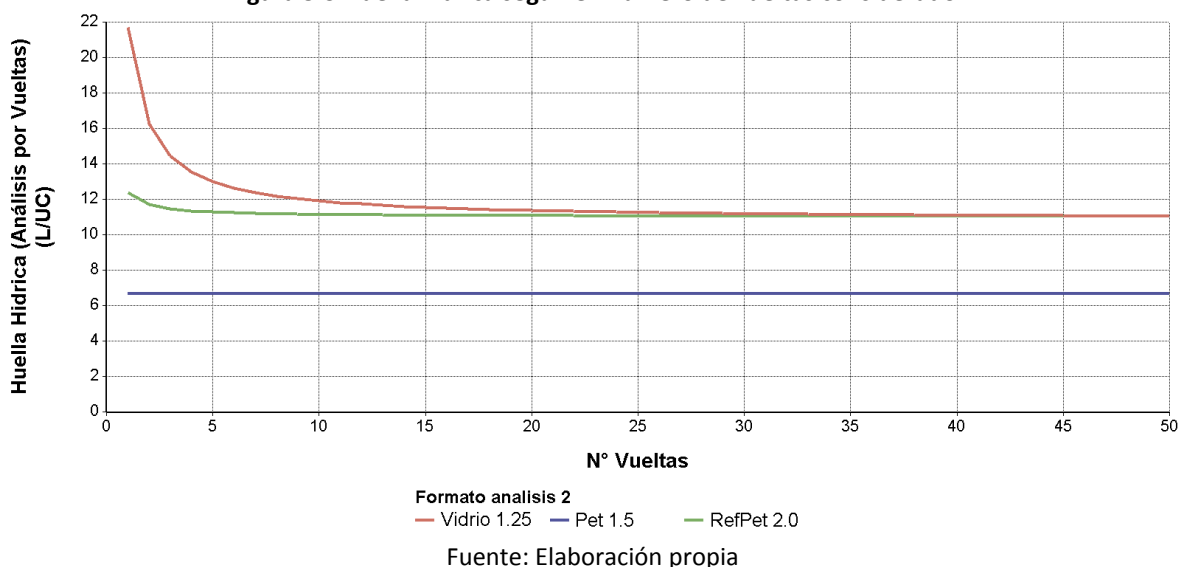


Fuente: Elaboración propia

La relación del consumo unitario de los formatos de interés es 1.000 : 0.598 : 0.998, para Vidrio1.25 : PET 1.5 : RefPET 2.0. Esto quiere decir que, bajo las condiciones base del estudio, la botella PET 1.5 consumo un 40% menos de agua que una botella retornable.

La diferencia entre el uso de agua en la etapa PreAndina para PET y RefPET se da por el prorrateo resultante de la reutilización de los envases. Esto quiere decir que como cada envase da varias "vueltas" al ciclo, el consumo de agua por materia prima se "diluye" en cada ciclo. En este sentido, resulta interesante realizar un ejercicio similar al realizado en la huella de carbono, y observar la variación de la huella hídrica para distintos números de vueltas (Figura 5-9).

Figura 5-9 Huella hídrica según en número de vueltas considerado



Los resultados presentados corresponden a las estimaciones realizadas para el número de vueltas que cada formato realiza según la información entregada por la contraparte técnica.

### 5.3 Uso de vertederos

Una tercera temática de relevancia es la gestión de residuos, como indicador de esto se usa la cantidad de residuos generados con disposición a vertederos.

#### 5.3.1 Metodología de estimación del uso de vertederos

El Ministerio del Medio Ambiente realizó un estudio respecto a los residuos de envases y embalajes (Ecoing, 2012), en el marco del entonces proyecto de responsabilidad extendida del productor. En dicho informe se realizó una estimación del espacio utilizado por los residuos en los vertederos, la cual se basa en la estimación de la masa de los residuos y luego su traspaso a volumen mediante la densidad promedio de los distintos formatos de disposición.

La estimación se realiza para todos los desechos relacionados con los distintos envases. Dentro del proceso de embotellado de Andina hay diversos insumos secundarios involucrados como las tapas, etiquetas, pegamento, etc. Al momento de desechar una botella por rechazo dentro de la planta o disposición final luego del consumo se generan residuos directos correspondientes al material de la botella en sí y los insumos secundarios asociados al formato de envase.



Del balance de masa realizado para el ciclo se conoce la totalidad de los residuos que terminan en el vertedero, por tipo de formato y bajo las condiciones consideradas en el ciclo estudiado.

El cálculo de volumen en rellenos sanitarios sigue la siguiente ecuación:

$$R_T = \sum_i \frac{R^i}{d_j^i}$$

Donde,

$R_T$ : residuos totales asociados al formato de envase  $i$  [ $m^3$ ]

$R^i$ : residuos asociados al formato de envase  $i$  [kg]

$d^i$ : densidad del material  $i$  luego del procesamiento  $j$  (granel, enfardado, chipeado, triturado) [ $kg/m^3$ ]

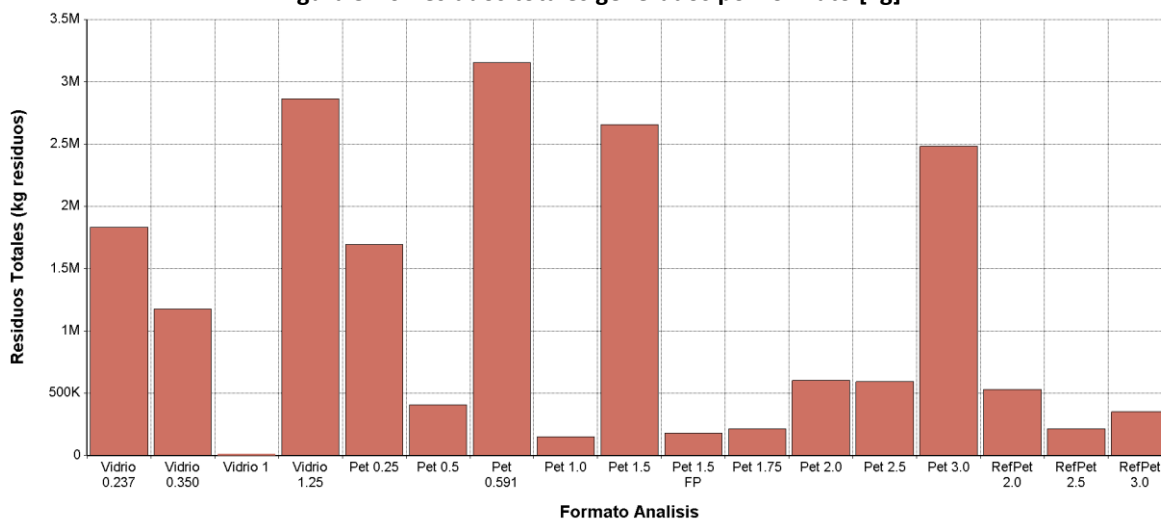
Para la estimación de la densidad se utilizó como base (Ecoing, 2012), ajustando dichos factores cuando corresponda por la densidad de la disposición en granel, de acuerdo a los datos de masa y volumen de cada uno de los formatos estudiados.

Por último se supone que todos los materiales llegaran eventualmente a un vertedero o relleno sanitario, a pesar de que puedan ser retenidos temporalmente por el consumidor.

### 5.3.2 Impactos de residuos en uso de vertederos

De acuerdo al modelo desarrollado para este estudio, en el año 2015 se desecharon un total de 19,092 toneladas de residuos asociados a los formatos de interés considerados. La descomposición por tipo de formato es observable en la Figura 5-10.

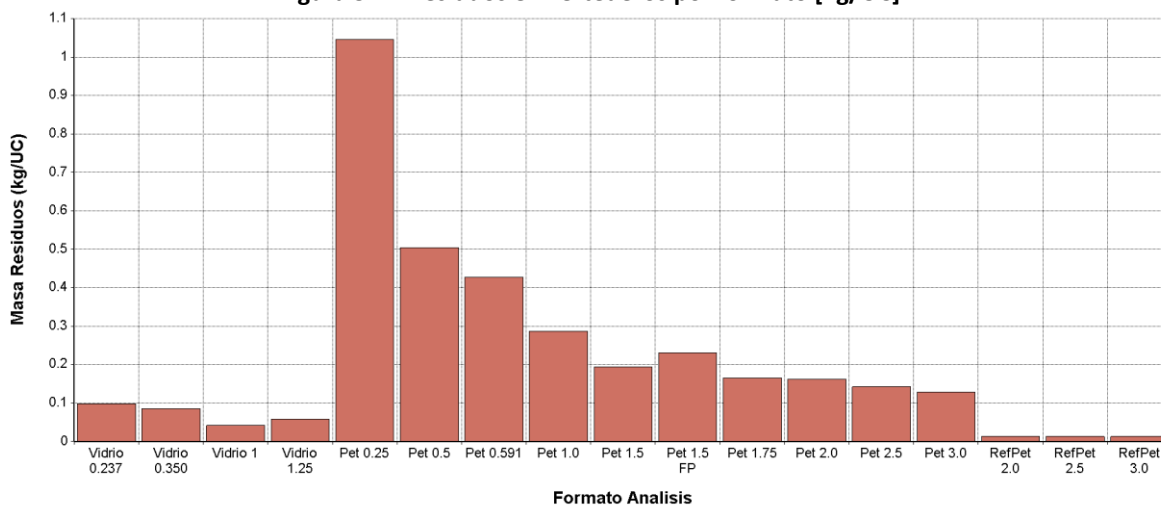
**Figura 5-10 Residuos totales generados por formato [kg]**



Fuente: Elaboración propia

Al realizar el análisis unitario de la masa de residuos en vertedero por formato (Figura 5-11), se observa cómo el efecto de la retornabilidad reduce la cantidad de residuos por unidad de producto comercializada. Esto sigue la lógica de que cada envase es utilizado múltiples veces antes de ser desechado, asimismo se espera que el reciclaje también tenga un impacto a nivel unitario.

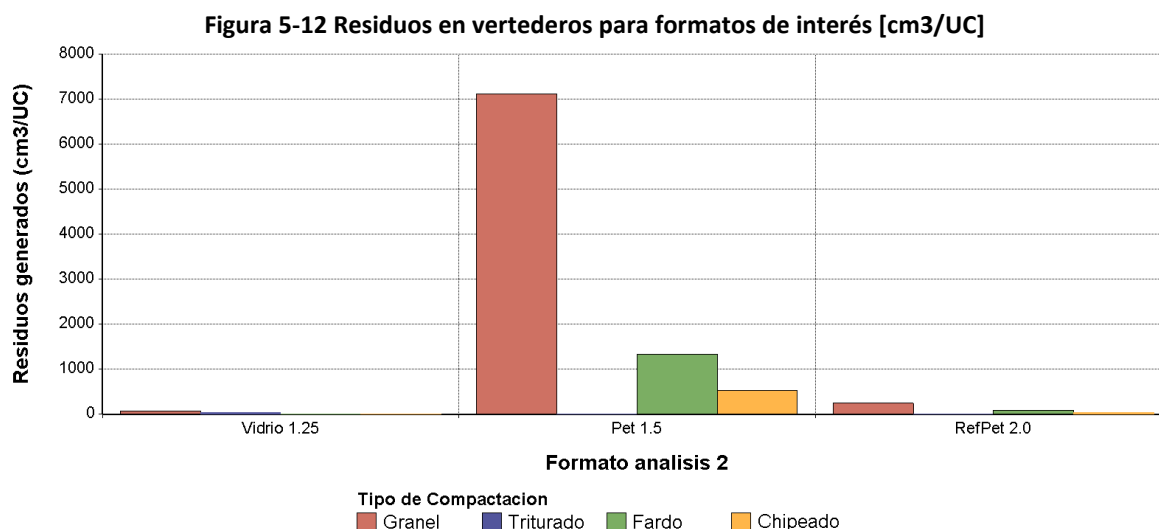
**Figura 5-11 Residuos en vertederos por formato [kg/UC]**



Fuente: Elaboración Propia

Si bien la masa de residuos generados es un dato relevante, a nivel de uso de vertedero es de mayor relevancia el uso de espacio. Para ello es necesaria la densidad de compactación

de los residuos, dado que los residuos son dispuestos de múltiples formas se presentan los resultados para cada uno de estas formas y para los formatos de interés en la Figura 5-12.



Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 5-6 Residuos en vertederos para formatos de interés [cm<sup>3</sup>/UC]**

Tipo de Compactación [cm <sup>3</sup> /UC]	Vidrio 1.25	PET 1.5	RefPET 2.0
<b>Granel</b>	70.2	7,115.4	243.2
<b>Triturado</b>	35.1	n/a	n/a
<b>Fardo</b>	n/a	1,331.1	89.7
<b>Chipeado</b>	n/a	527.4	35.5

Fuente: Elaboración Propia

En el uso de vertederos es interesante el efecto del reciclaje industrial y municipal, pues en la medida que las tasas de reciclaje aumenten se espera que disminuya la cantidad de residuos en los vertederos. Como ejemplo de lo anterior, la Tabla 5-7 presenta cómo varía la cantidad de residuos en los vertederos, para la producción del formato Vidrio 1.25L, manteniendo constante todas las demás variables. El escenario propio representa los niveles actuales de reciclaje industrial (76%) y municipal (10%) de vidrio y escenarios de aumento de reciclaje. Para el reciclaje industrial el escenario de aumento corresponde a llegar al nivel de reciclaje de PET (97%), para el reciclaje municipal el escenario de aumento de reciclaje corresponde al nivel de reciclaje municipal de Canadá (30%).

Se puede apreciar que el reciclaje efectivamente tiene el potencial de disminuir hasta casi la mitad el nivel de uso de espacio en vertederos, pero bajo escenarios de aumento del reciclaje tanto industrial como municipal.

Tabla 5-7 Residuos en vertederos para vidrio 1.25 en distintos escenarios [cm<sup>3</sup>/UC]

Vidrio 1.25		Reciclaje Industrial	
		Propio (76%)	Aumento a nivel de PET (97%)
Reciclaje Municipal	Propio (10%)	35.1	22.2
	Canadá (30%)	30.6	17.7

Fuente: Elaboración propia

## 5.4 Otros impactos

Existen una serie de otros impactos que no fueron priorizados por distintas razones:

- Tienen menor impacto en las decisiones estratégicas
- Tienen alto grado de desconocimiento por parte del público
- No existe información a nivel local suficiente para realizar un análisis absoluto
- Sus principales fuentes de información son datos internacionales, cuya aplicabilidad al caso chileno es limitada

A pesar de lo anterior, se considera que es necesario reportar indicadores respecto a estos impactos, aunque sea de forma referencial y comparativa. Para la estimación de los impactos se utilizará la herramienta TRACI 2.1.

### 5.4.1 TRACI 2.1

Se analizaron distintas herramientas ambientales con fines similares a los del presente estudio, que son utilizadas actualmente en Europa y EEUU. A partir de dicha revisión se llegó a la conclusión de que la herramienta más adecuada para aplicación en Chile, y en este estudio en particular, es la herramienta TRACI 2.1<sup>9</sup>.

TRACI 2.0 fue desarrollada por la EPA en el año 2002, y tuvo una última gran actualización metodológica (versión TRACI 2.1) el año 2012. A pesar de esto, los valores considerados se han actualizado constantemente y para efectos del presente estudio se utilizaron los últimos valores disponibles para Abril del 2016. El fin de la herramienta es la evaluación del impacto ambiental en los Estados Unidos, a partir de los químicos emitidos en los distintos procesos y actividades realizadas.

Las ventajas de esta herramienta por sobre las otras estudiadas son principalmente el amplio espectro de impactos cubiertos y la aplicabilidad a nivel nacional. Los impactos cubiertos por la herramienta y que son de interés para el presente estudio se pueden

<sup>9</sup> TRACI: "Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other environmental Impacts". Más detalles en <https://www.epa.gov/chemical-research/tool-reduction-and-assessment-chemicals-and-other-environmental-impacts-traci>

observar en la Tabla 5-8, y se entregan más detalles en la sección 5.4.2. La aplicabilidad a nivel nacional pasa por la neutralidad del indicador respecto a tecnologías y comportamiento cultural, esto lo logra relacionando las emisiones con los indicadores, en lugar de los procesos/actividades como lo hacen las herramientas europeas.

Las emisiones de contaminantes son obtenidas principalmente desde bases de datos internacionales para la producción de la materia prima en el caso de los plásticos desde obtención de petróleo y derivados para la producción de la resina de PET, en el caso del vidrio desde la extracción de arena de sílice (Grbeš, 2015), y desde datos locales en el caso de estar disponibles. Es importante destacar que el enfoque de estos impactos no es absoluto, sino que comparativo entre los distintos formatos, razón por lo cual los resultados no son comparables fuera de los límites del presente estudio.

**Tabla 5-8 Categorías de impacto a utilizar de la herramienta TRACI 2.1**

Escala	Impacto	Indicador	Contaminantes considerados
Global	Acidificación	kg SO <sub>2</sub> eq	NOx, SOx
	Reducción de la capa de ozono	kg CFC-11 eq	Ninguno
Local	Eutroficación	Kg N eq	NOx, Amonio, DBO5
	Formación de smog foto químico	Kg O <sub>3</sub> eq	CO, Cl, CH4,NOx, VOCs, Xileno
	Daño humano (Material Particulado)	MP2.5 eq	CO, NOx, MP10,MP2.5
	Daño humano (Cancerígenos)	CTU <sup>10</sup> cancer	Plomo, Xileno, Aluminio
	Daño humano (No cancerígenos)	CTU <sub>no-cancer</sub>	Plomo, Xileno, Aluminio, Antimonio
	Ecotoxicidad	CTU <sub>eco</sub>	Plomo, Xileno, Aluminio, Antimonio, Zinc

Fuente: Elaboración propia

La metodología general de cálculo del impacto de cada categoría corresponde a la ecuación a continuación:

$$I^i = \sum_{xm} CF_{xm}^i \times M_{xm}$$

Donde,

$I^i$ : el potencial impacto de todos los químicos x para una categoría de impacto i

$CF_{xm}^i$ : factor de caracterización del químico x emitido en un medio m para la categoría de impacto i

$M_{xm}$ : masa del químico x emitida al medio m

<sup>10</sup> CTU: Comparative Toxicity Unit

Esta ecuación se utiliza para todas las categorías de impacto TRACI 2.1 e implica que cada impacto tiene un indicador general que se relaciona directamente con la emisión de cada uno de los contaminantes considerados.

## 5.4.2 Descripción de los impactos

### Acidificación

Es el aumento en la concentración de iones hidróxido (H+) dentro de un ambiente local. Esto puede ser el resultado de la adición de ácidos u otras sustancias, por ejemplo amoníaco, que aumentan la acidez del ambiente por reacciones químicas o actividad biológica. La acidificación también puede responder a procesos naturales como el cambio en concentraciones del suelo debido al crecimiento de especies locales de plantas.

TRACI 2.1 usa un modelo de acidificación que incorpora el aumento del potencial del ión hidrógeno dentro del ambiente sin incorporar las características específicas del ambiente como la habilidad de ciertos ambientes para proveer capacidades *buffer*<sup>11</sup>.

Tabla 5-9 Resumen Acidificación

Acidificación	
<b>Definición</b>	Reducción del pH por efectos acidificantes de emisiones antropogénicas
<b>Consideraciones</b>	Potencial de acidificación de óxidos de nitrógeno y sulfuro
<b>Impactos posibles</b>	Lluvia ácida, defectos sobre plantas, animales y ecosistemas, daños a edificios
<b>Compuestos considerados</b>	NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub>

Fuente: Elaboración propia

### Eutroficación

Se define como el “enriquecimiento de sistemas acuáticos con nutrientes (nitratos, fosfatos) que aceleran la productividad biológica y una acumulación no deseada de biomasa de algas” (US-EPA, 2008). A pesar de que el nitrógeno y el fósforo juegan un rol importante en la fertilización de tierras y vegetación, liberaciones excesivas de estos compuestos pueden conllevar efectos no deseados en las aguas en las que se transporten y su destino final. Los factores que definen el potencial de eutroficación dificultan la caracterización de las emisiones debido a que depende de la pendiente de la tierra, precipitaciones, volatilización de fertilizantes, etc.

<sup>11</sup> Esto se refiere a la capacidad de un ambiente a recibir sustancias de diferentes pHs sin alterar el pH del medio

TRACI originalmente usaba un modelo que permitía la caracterización específica de ambientes, lo cual no es respaldado por la versión actual que en el espíritu de aumentar la aplicabilidad de la herramienta a distintos territorios ha optado por utilizar factores generalizados. En la nueva versión, además se han agregado más sustancias con potencial de eutroficación.

**Tabla 5-10 Resumen Eutroficación**

<b>Eutroficación</b>	
<b>Definición</b>	Acumulación de nutrientes en sistemas acuáticos
<b>Consideraciones</b>	Transporte de nutrientes (aire, agua, arrastrados desde la tierras)
<b>Impactos posibles</b>	Efectos sobre plantas, animales y ecosistemas, efectos recreacionales y en olores, efectos sobre la salud humana
<b>Compuestos considerados</b>	NOx, Amonio, DBO5

Fuente: Elaboración propia

### **Reducción de la capa de ozono**

La concentración del compuesto reactivo de ozono ( $O_3$ ) es mucho más alta en la estratósfera que en cualquier otra parte de la atmósfera. Las moléculas de ozono en la estratósfera absorben grandes cantidades de radiación UV, removiendo la radiación UV-C altamente peligrosa para los seres humanos y reduce la radiación UV-B que también es dañina.

Algunas sustancias, una parte de las cuales se encuentran en la estratósfera de manera natural, están relacionadas con la destrucción de la capa de ozono: compuestos de cloro y bromo, metano, óxido de nitrógeno ( $N_2O$ ) y vapor de agua ( $H_2O_g$ ). El protocolo de Montreal entrega una base de consenso internacional acerca de cómo disminuir las sustancias relevantes.

La reducción de la concentración de ozono en la estratósfera tendrá efectos severos sobre la vida en la superficie de la tierra. Puede dañar plantas, animales y humanos, y tener efectos sobre el fitoplankton.

Tabla 5-11 Resumen Reducción de la capa de ozono

Reducción de la capa de ozono	
<b>Definición</b>	Disminución de la capa estratosférica de ozono por causa de emisiones antropogénicas de sustancias destructoras del ozono
<b>Consideraciones</b>	Tiempo de residencia atmosférica de sustancias destructoras del ozono, EESC (Equivalent Effective Stratospheric Chlorine)
<b>Impactos posibles</b>	Cáncer a la piel, cataratas, daño material, supresión del sistema inmune, daño a cultivos y otros efectos sobre plantas y animales
<b>Compuestos considerados</b>	No hay

Fuente: Elaboración propia

### Salud Humana: Material Particulado

Esta categoría incluye un set de contaminantes que tienen efectos negativos sobre el tracto respiratorio humano, estos son el material particulado y sus precursores SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>. Para calcular el impacto en salud humana se debe modelar el destino y exposición en fracciones de entrada. La fracción de entrada se calcula en función de la cantidad de sustancia emitida, el aumento en la concentración atmosférica, y la razón de respiración de la población expuesta. El aumento en la concentración es función de la ubicación de la fuente de emisión, la meteorología y el historial de concentración de sustancias que puedan influenciar la formación secundaria de partículas.

Tabla 5-12 Resumen Salud humana: Material particulado

Salud Humana: Material Particulado	
<b>Definición</b>	Material particulado de tamaño muy pequeño suspendidas en el ambiente, originadas por procesos antropogénicos
<b>Consideraciones</b>	Comportamiento atmosférico de partículas
<b>Impactos posibles</b>	Disability-Adjusted Life Years (DALYs), efectos toxicológicos en salud humana
<b>Compuestos considerados</b>	CO, NO <sub>x</sub> , MP10, MP2.5

Fuente: Elaboración propia

### Salud Humana: Cáncer, no-cáncer y ecotoxicidad

Se utiliza el modelo USETox, determinado como el mejor para salud humana, incluye 3000 sustancias que afectan la salud humana.



Tabla 5-13 Resumen Salud humana: cáncer y no cáncer

<b>Salud Humana: Cáncer y no-cáncer</b>	
<b>Definición</b>	Efectos tóxicos de químicos en humanos o en un ecosistema
<b>Consideraciones</b>	Respuestas toxicológicas de los seres humanos, naturaleza de los químicos en el cuerpo humano
<b>Impactos posibles</b>	Variedad de efectos cancerígenos humanos, efectos toxicológicos no cancerígenos humanos
<b>Compuestos considerados</b>	Plomo, Xileno, Aluminio, Antimonio

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-14 Resumen Ecotoxicidad

<b>Ecotoxicidad</b>	
<b>Definición</b>	Efectos tóxicos de químicos en un ecosistema
<b>Consideraciones</b>	Respuestas toxicológicas de especies, naturaleza de los químicos en un ecosistema
<b>Impactos posibles</b>	Variedad de efectos sobre plantas, animales y ecosistemas
<b>Compuestos considerados</b>	Plomo, Xileno, Aluminio, Antimonio, Zinc

Fuente: Elaboración propia

El modelo utiliza la mayor parte de las vías de exposición de la EPA, incluyendo inhalación, ingesta de agua potable, vegetales, carne, leche, agua dulce y peces marinos.

#### Formación de smog fotoquímico

Ozono a nivel de suelo se puede crear por varias reacciones químicas, que ocurren entre óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles ante la exposición solar. Los efectos en salud humana en general implican el sistema respiratorio, impactos ecológicos incluyen daños en varios ecosistemas y en cultivos.

Las opciones de modelación para “smog de verano” incluyen: Potencial fotoquímico de creación de ozono, reactividad incremental máxima.

Tabla 5-15 Resumen Formación de smog fotoquímico

<b>Formación de smog fotoquímico</b>	
<b>Definición</b>	Tipo de smog creado por la reacción entre la radiación solar, calor, NOx y VOC
<b>Consideraciones</b>	Meteorología, composición química de la atmósfera y emisiones de otros contaminantes
<b>Impactos posibles</b>	Mortalidad humana, asma, efectos sobre plantas
<b>Compuestos considerados</b>	CO, Cl, CH <sub>4</sub> , NO <sub>x</sub> , VOCs, Xileno

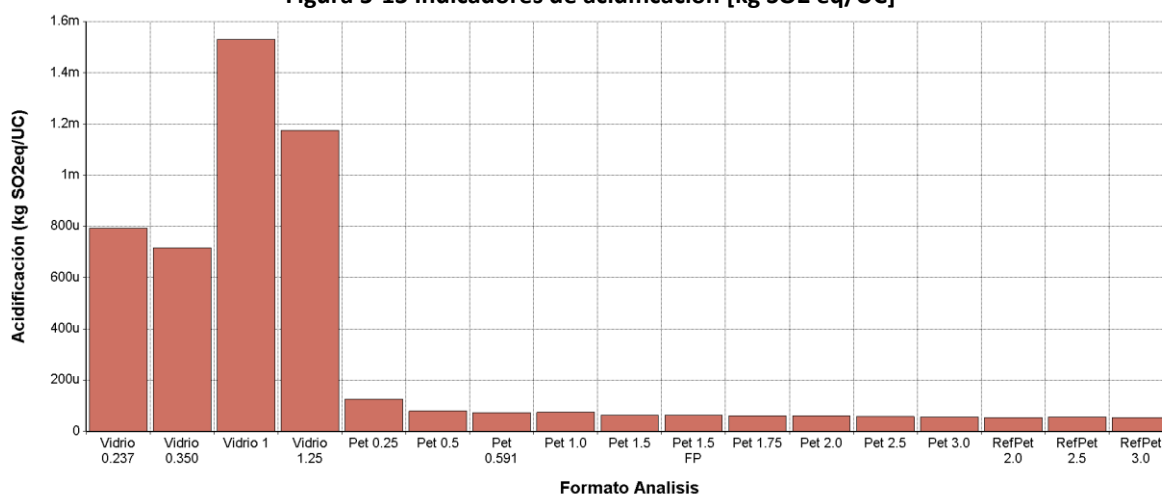
Fuente: Elaboración propia

### 5.4.3 Resultados otros impactos

A continuación se presentan los resultados de los otros impactos. Los resultados para los impactos globales (acidificación y reducción de la capa de ozono) se presentan sin hacer distinción por la emisión del contaminante, mientras que los impactos locales se presentan distinguiendo el lugar de las emisiones según alcance, los cuales son detallados en la sección 1.2.3.

La acidificación asociada al vidrio es significativamente mayor que la asociada a los productos de plástico. Esto guarda relación con los mayores niveles de emisiones de contaminantes locales con alto contenido de azufre, además de la mayor cantidad de material por unidad volumétrica, lo que también explica la mayor formación de smog fotoquímico.

**Figura 5-13 Indicadores de acidificación [kg SO2 eq/UC]**

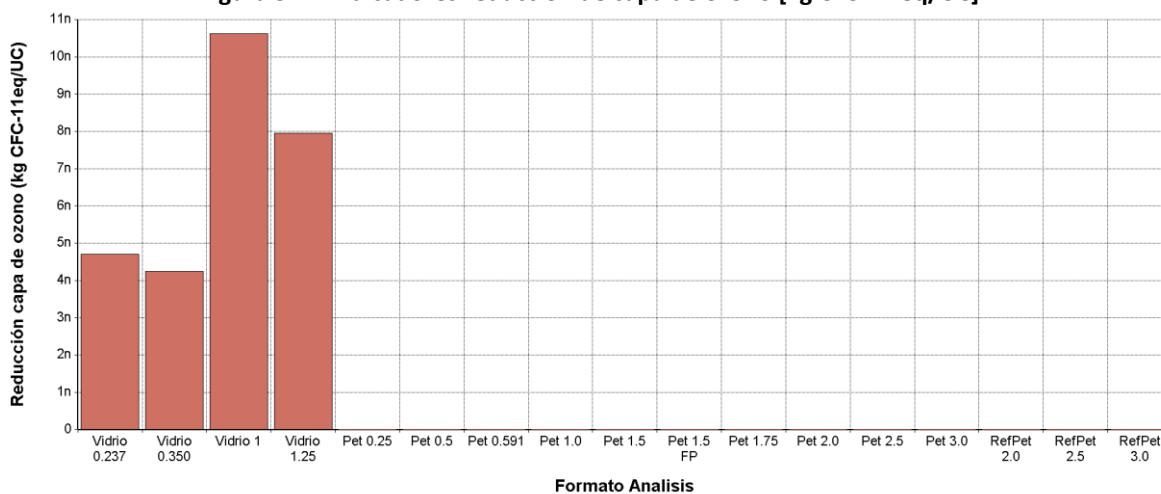


Fuente: Elaboración propia

Por su parte, la emisión de contaminantes destructores de la capa de ozono también presenta mayor nivel en el caso de vidrio. Sin embargo, esto se explica por la disponibilidad de información, dado que la información internacional asociada a la producción de productos plásticos no tiene información respecto a la emisión de cloruro fluoro carbonados (CFC's). En todo caso la escala de emisión es muy baja<sup>12</sup>.

<sup>12</sup> n=nano=10<sup>-9</sup>

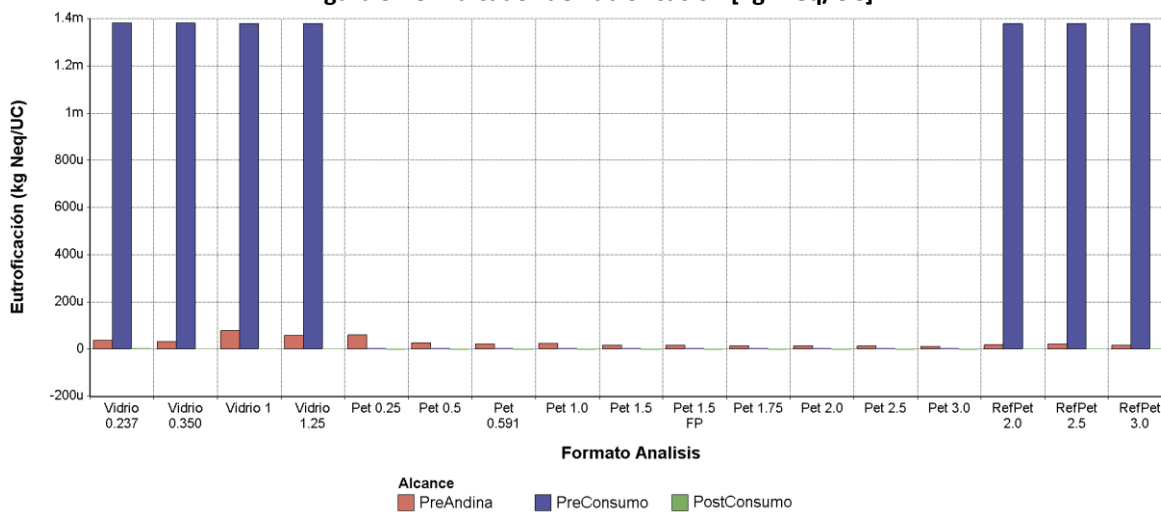
**Figura 5-14 Indicadores reducción de capa de ozono [kg CFC-11 eq/UC]**



Fuente: Elaboración propia

La eutroficación en el alcance II (pre-consumo) es la más relevante y esto guarda directa relación con el uso de productos nitrogenados o fosforados (soda para el lavado de los envases retornables). Esta es la razón por la cual los formatos desechables cuentan con un indicador de eutroficación significativamente menor.

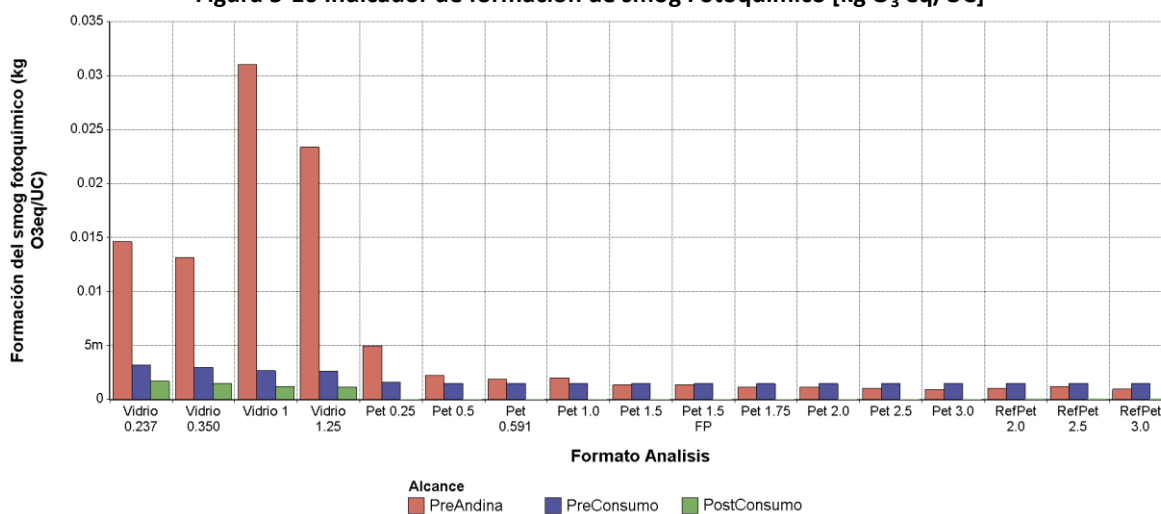
**Figura 5-15 Indicador de Eutroficación [kg N eq/UC]**



Fuente: Elaboración propia

Tal como se describió anteriormente el vidrio cuenta con emisiones de contaminante locales significativamente más alta lo que se traduce en formación de smog. Procesos de fundición, el traslado del material y la razón entre peso y volumen, terminan haciendo este indicador mayor en el vidrio que en las botellas de PET.

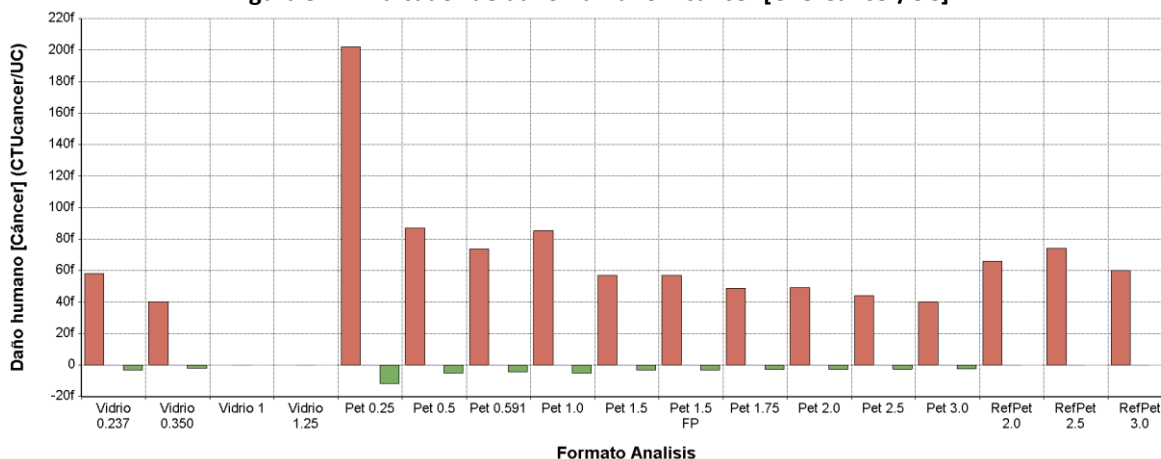
**Figura 5-16 Indicador de formación de smog Fotoquímico [kg O<sub>3</sub> eq/UC]**



Fuente: Elaboración propia

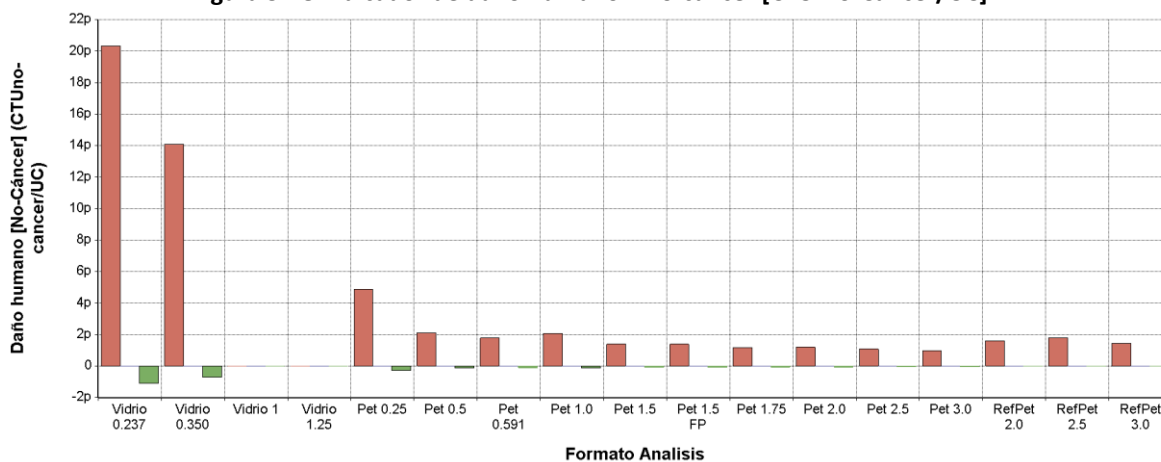
Los indicadores de daño humano – cáncer y no cáncer, son pocos significativos en el contexto de los envases. El indicador se compone de las emisiones de químicos con potencial cancerígenos, cuyas emisiones resultan muy menores.

**Figura 5-17 Indicador de daño humano – cáncer [CTU Cáncer/UC]**



Fuente: Elaboración propia

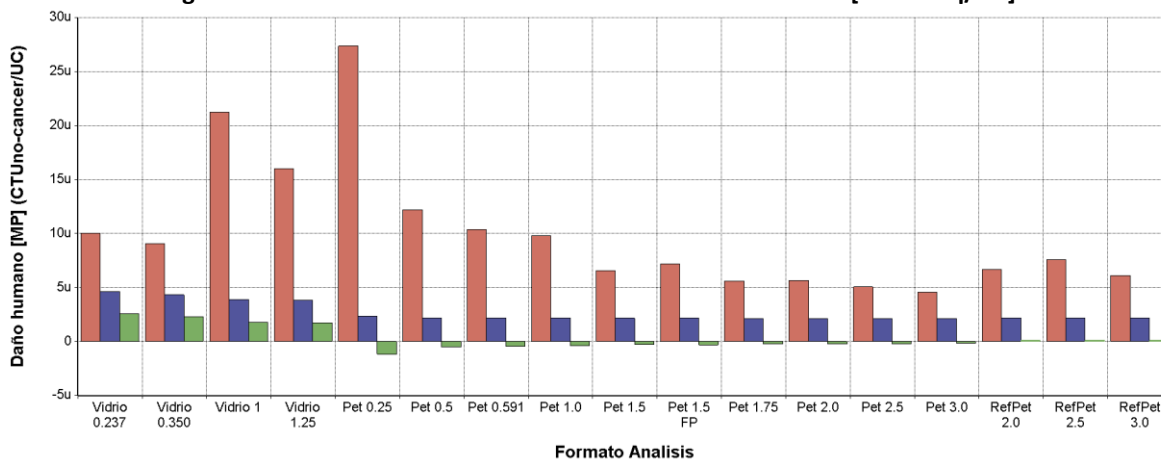
**Figura 5-18 Indicador de daño humano – no-cáncer [CTU No-Cáncer/UC]**



Fuente: Elaboración propia

El indicador de daño humano – material particulado, tiene un nivel de impacto mayor que los indicadores anteriores, sin embargo sus efectos son menos graves. La emisión de material particulado afecta la concentración de este tipo de partículas en el aire las cuales son respiradas por humanos, animales y cultivos, afectando su salud y rendimiento. Cabe destacar que gran parte de las emisiones son producidas en el alcance 1: Pre-andina, lo cual implica que son emisiones asociadas principalmente a la elaboración de los envases (extracción y producción)

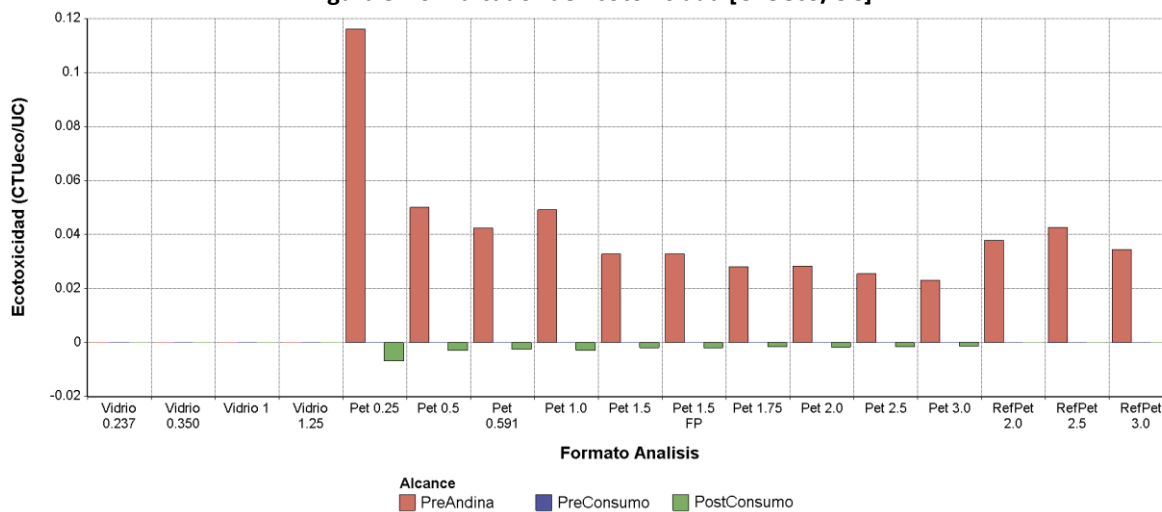
**Figura 5-19 Indicador de daño humano – Material Particulado [MP2.5 eq/UC]**



Fuente: Elaboración propia

La ecotoxicidad tiene relación con la liberación de químicos tóxicos y su efecto en el ambiente, de las fuentes revisadas no se encontraron datos suficientes para estimar el indicador de este impacto para el caso del vidrio.

**Figura 5-20 Indicador de Ecotoxicidad [CTUeco/UC]**



Fuente: Elaboración propia

## 6. Interpretación del ciclo de vida

En el presente capítulo se presenta un análisis de los resultados obtenidos de las primeras etapas de inventario y evaluación. Ya se cuenta con una cuantificación de inputs y outputs, además de la asignación de impactos (también cuantificables) para cada flujo. En esta etapa se presentan los siguientes puntos:

- Supuestos y limitaciones
- Análisis de resultados
  - o Comparaciones entre formatos y materiales
  - o Impacto de Andina sobre el ciclo de vida completo
- Validación internacional de resultados
- Escenarios de reciclaje

### 6.1 Supuestos y limitaciones

Al momento de evaluar los resultados de las etapas de inventario y evaluación de ciclo de vida, se encuentra que la información está sujeta a limitaciones. A continuación se enumeran las principales limitaciones identificadas en el desarrollo de un ACV (CONAMA, 2002):

- Los modelos usados para el análisis de inventario o para evaluar los impactos ambientales están limitados por sus supuestos y pueden no estar disponibles para todos los posibles impactos o aplicaciones
- Los resultados de los estudios ACV enfocados sobre temas globales y regionales pueden no ser apropiados para las aplicaciones locales; es decir, las condiciones locales podrían no estar adecuadamente representadas por las condiciones regionales o globales. Por este motivo la importación de factores no se debe tomar a la ligera: los factores de emisión que asignan un impacto son internacionales por lo cual se cuestiona su aplicabilidad en Chile
- La exactitud de los estudios de ACV puede estar limitada por la accesibilidad o disponibilidad de los datos pertinentes o por la calidad de los datos; es decir, vacíos, tipos de datos, agregación, promedio, especificidad del sitio.

Estas limitaciones pueden definir la veracidad de la interpretación obtenida a partir de los datos y métodos. Por esta razón se deben realizar supuestos de manera de suplir las deficiencias originadas por las limitaciones y dar una base sólida para los cálculos posteriores e interpretaciones. El Capítulo 2 indica los principales supuestos y a qué nivel se aplicaron.

En particular, para la utilización de la herramienta TRACI 2.1 de valorización de impacto de ciclo de vida se cuenta con limitaciones con respecto a la representatividad de la información generada. En el manual de usuario de TRACI 2.1 (US EPA, 2012) se expone

claramente que la finalidad de esta herramienta es ser un apoyo para la toma de decisiones dentro de una empresa o producto. Por lo tanto los resultados cualitativos y cuantitativos sólo tienen validez y fundamento dentro del contexto de dicha empresa o producto (en este caso Andina, en la embotelladora de Renca). Los resultados no son comparables a nivel internacional ni entre productos de otras empresas.

Las diferentes categorías de impacto no son comparables entre sí ya que cuentan con diferentes unidades de medidas y no se puede apreciar su importancia tan solo por un número. Se requiere de una normalización y ponderación apropiada para las características geográficas, culturales, tecnológicas, etc. del lugar en el cual se realiza el análisis del ciclo de vida. Actualmente en Chile no se cuenta con un estudio que permite la generación de estos ponderadores, por lo cual no se puede llegar a una priorización de categorías de impacto.

## 6.2 Análisis de resultados

### 6.2.1 Consumo de energía y Huella de Carbono

Se puede apreciar, al comparar la Figura 3-4 con la Figura 4-7, que la producción anual de envases no se relaciona con consumo energético de cada envase. En la producción los envases que consumen mayor cantidad de energía son los PET OW, los envases retornables tienen un consumo menor bastante parecido entre sí, siendo el vidrio levemente menor.

La gran diferencia entre los tipos de materiales queda en evidencia con la Figura 4-10, ya que el comportamiento de consumo de energía es muy diferente entre cada tipo de envase, representando el mayor consumo para el vidrio. Pero esta última figura muestra el consumo por envase nuevo, por lo tanto la gran diferencia entre estos valores con los de los envases producidos es la retornabilidad. Si bien el vidrio es el material que implica mayor consumo energético, es tan alta su retornabilidad, que el consumo de materia prima es muy bajo (como se expone en la Tabla 4-3) pues se prorratan las emisiones.

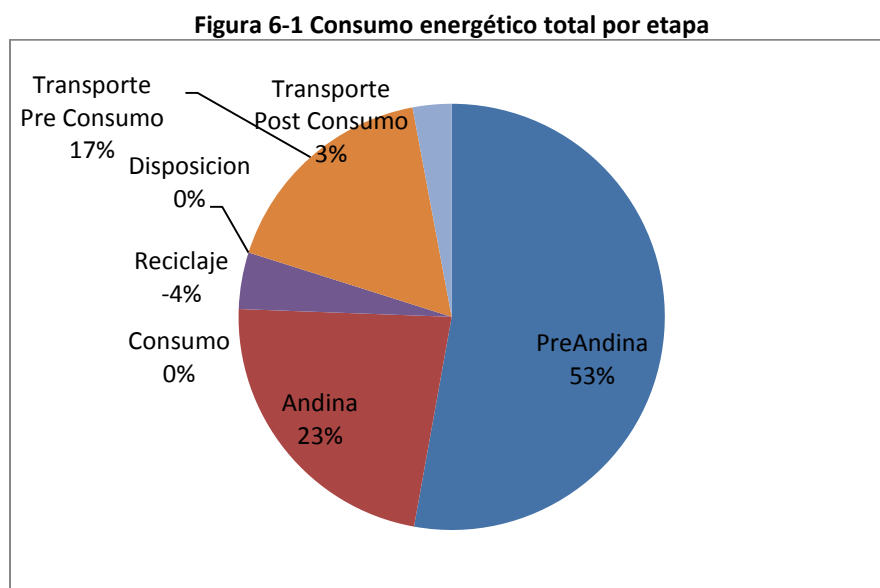
De igual manera, se observa de manera directa de Figura 4-8 que los recursos energéticos más utilizados por Andina son la electricidad y el gas natural. El gas natural es el combustible fósil con menores emisiones, además por su uso en calderas no se cuenta con combustibles alternativos que reduzcan emisiones. Debido a que la valorización de la electricidad se realiza por medio de la transformación del energético secundario a primario por medio de una matriz eléctrica, tiene gran impacto la matriz eléctrica chilena. El 2015 el SIC contaba con gran parte de su matriz eléctrica en combustibles fósiles: 27% carbón, 2% diesel y 16% gas natural (CNE 2016), estos son los energéticos con mayores



emisiones (en el orden que se mencionan). Se debe tener en cuenta la variabilidad de esta matriz ya que el ingreso de energías renovables depende en Chile de la disponibilidad de recursos como el agua, por lo cual un año en que no llueva mucho habrá mayor porcentaje de la matriz correspondiente a combustibles fósiles.

Al realizar un análisis global se obtiene la Figura 6-1, en donde se ve que Andina representa un 23% del consumo. Aunque como se definió previamente, se le atribuye también a Andina el transporte preconsumo, por lo cual Andina es responsable del 40% del consumo energético de todo el ciclo. Es muy relevante tener presente estos porcentajes ya que ellos representan también el control que tendrá Andina para disminuir el consumo energético.

Se puede concluir que una manera de generar una reducción más significativa en el consumo energético y más factible (que no implique alterar el proceso en sí) sería buscar mayor eficiencia en consumo de combustible o carga transportada para el transporte pre consumo.



Fuente: Elaboración propia

De la Figura 4-9 se observa que la etapa que tiene mayor consumo energético es la de PreAndina y dentro de esta etapa, la extracción materia prima contabiliza más del 50% de este consumo (Tabla 4-8). Esto es razonable considerando que el transporte es marino, por lo cual aumenta la eficiencia de consumo de combustible por tonelada transportada y la extracción en sí requiere intensamente de energía mecánica. La extracción de materia prima, dentro de la etapa PreAndina es un consumo sobre el cual Andina no tiene control,

principalmente debido a que todos los proveedores, excepto el vidrio, importan materia prima y la reciben con procesamiento previo.

La Figura 5-2 nos muestra que a pesar de que el vidrio es el menor consumidor de materia prima (por la retornabilidad), se debe mantener como alternativa para análisis de potencial de reducción de consumo ya que la representatividad productiva es muy alta.

Las diferencias entre la Figura 5-2 y Figura 5-4 exponen la importancia de la definición de la unidad funcional, ya que al comparar los envases pareciera ser que PET OW tiene emisiones mayores de CO<sub>2</sub>e. Sin embargo se debe tener en cuenta que los contenidos volumétricos son diferentes y como la finalidad del envase es el transporte del producto (la bebida) la UC permite en la Figura 5-4 apreciar que, para transportar la misma cantidad de producto PET cuenta con emisiones similares a vidrio.

Los envases retornables de material PET (RefPET) resultan ser los que tienen emisiones menores, esto se debe a que cuenta con la retornabilidad del vidrio pero sin su alto costo de extracción y manipulación de materia prima.

Es importante notar que en términos de emisiones de GEI según formato es muy importante el factor de las vueltas a considerar para cada envase retornable. La Figura 5-6 expone este punto y genera un umbral de vueltas sobre el cual el vidrio retornable y RefPET emitirán menores emisiones que el PET. Este umbral es de sólo dos vueltas para el RefPET debido a que no difiere mucho en cuanto a cantidad de material (menos del doble que para envases PET). Al tener la misma materia prima el PET y RefPET tienen emisiones iniciales parecidas pero las 12 vueltas que tiene cada envase tornan superior al RefPET. El vidrio tiene dos desventajas, primero tiene una masa altísima en comparación a los envases plásticos y esto genera altas emisiones relacionadas a la materia prima, la segunda es debido a que esta misma masa genera mayores gastos en cuanto a transporte. El vidrio requiere 12 vueltas para igualarse en emisiones al PET, pero las 45 vueltas que efectivamente da al ciclo lo tornan superior al disminuir por prorratio sus emisiones. Sin embargo a pesar de las 45 vueltas no logra disminuir sus emisiones frente al RefPET debido a que su consumo de combustible por transporte siempre será superior debido a su peso.

Este análisis permitió obtener resultados comparativos para huella de carbono en los envases de Coca-Cola familiares, obteniendo un formato claramente superior en términos de emisiones de CO<sub>2</sub>e. Sin embargo no se puede olvidar que la huella de carbono es sólo un indicador dentro de varios para el impacto ambiental.

### 6.2.1 Huella Hídrica

De la Tabla 5-5 se puede desprender que Andina es la etapa que más agua consume (94.6%), siendo los envases retornables (vidrio y RefPET) los más intensivos en uso de agua, debido al proceso de lavado (33.1%). Los envases PET, al no requerir un proceso de lavado cuentan con casi la mitad de este consumo de agua (Figura 5-8).

A nivel de preAndina el vidrio tiene mayor consumo ya que sus envases contienen una mayor cantidad de materia prima y hay un consumo mayor de agua relacionado a la extracción de su materia prima.

Como se puede apreciar de la Figura 5-9 los tres envases de interés cuentan con una base de consumo hídrico debido al consumo general de agua en la planta. RefPET y vidrio nunca tendrán un consumo menor al de PET debido al proceso de lavado al que deben someterse todos los envases nuevos o que reingresan al ciclo. El retorno de los envases permite prorratear el consumo hídrico relacionado sólo con la materia prima y el procesamiento de esta.

Es importante notar que del consumo de agua total, más de un 50% corresponde a consumo "indirecto". Este consumo indirecto se refiere al consumo dentro de la planta, ya sea en lavado de material, camiones, consumo de agua potable, entre otras actividades. Esto presenta una oportunidad ya que se deben identificar potenciales fuentes de ahorro de agua. Pequeñas mejoras en procesos como lavado de maquinaria con reciclo de agua o abastecimiento de agua de consumo con dispersadores de ahorro de agua podrían tener un gran impacto sobre el consumo total de agua de la planta. Además pareciera que realizar cambios a nivel de empresa podría ser más fácil que alterar el proceso de embotellado en sí.

En términos de huella hídrica, queda claro que PET tiene un menor consumo, seguido por RefPET que es casi idéntico al consumo de agua del vidrio.

### 6.2.1 Uso de Vertederos

El análisis del uso de vertederos depende del tipo de compactación final de los residuos, por lo que se analizará de acuerdo a cada tipo de compactación posible.

En el caso de que el tipo de disposición fuese en granel, el 2015 habría una generación de residuos equivalentes a 445,401 m<sup>3</sup> de vertedero; de los cuales un 94.0% proviene de envases PET desechables. Los envases RefPET contribuyen con un 4.7%, y el restante 1.4% corresponde a envases de vidrio. Este resultado se explica principalmente por la alta

retornabilidad de los envases RefPET y de vidrio. En la Figura 5-12, se observa que el envase PET 1.5 genera del orden de 101 veces más volumen de residuos que el envase Vidrio 1.25, y 29 veces más que el envase RefPET 2.0, bajo el tipo de disposición en granel. Adicionalmente, si se considera la producción total de Andina (Figura 3-4), se puede ver que la mayor parte corresponde a envases PET (retornables y desechables), esto explicaría porque la gran mayoría de residuos generados proviene de este material.

La alternativa de disposición a granel es la alternativa más conservadora, pues considera que la disposición se realiza de forma que los envases mantienen su volumen íntegramente, lo cual en la realidad no es necesariamente cierto. Por esta razón se evaluaron otras alternativas de disposición que consideran compactación: trituración para el caso del vidrio o el caso de fardo o chipeado en el caso del plástico.

El mejor escenario correspondería pues a la trituración del vidrio y al chipeado del plástico. Si esta alternativa se aplicará para todos los envases dispuestos, resultaría en una generación de residuos equivalente de 19,173 m<sup>3</sup> de vertedero, con un 84.5% proveniente de envases PET desechables, un 7.6% de RefPET y los restantes 7.8% de envases de vidrio. Claramente esta alternativa de compactación es preferible frente a granel, ya que genera 11 veces menos residuos.

**Tabla 6-1 Comparación entre escenarios de disposición**

Tipo de Formato	Escenario granel [m3]	Escenario Ideal [m3]
<b>Vidrio</b>	6,136	3,068
<b>PET</b>	418,463	33,111
<b>RefPET</b>	20,802	2,993
<b>Total</b>	<b>445,401</b>	<b>39,173</b>

Fuente: Elaboración propia

Sin perjuicio de lo anterior, se considera que la influencia de Coca-Cola respecto a la forma de disposición de los residuos es pequeña. Sin embargo, campañas de información podrían generar que la situación real se asemeje más al escenario ideal que al escenario granel.

Un análisis comparativo entre los envases de interés (ver Figura 5-12), permite contrastar la clara desventaja del envase PET 1.5 frente al Vidrio 1.25 y RefPET 2.0, independiente del tipo de compactación. En el escenario ideal en que la disposición se realice con el mayor nivel de compactación posible, el ratio de uso de vertedero de los formatos de interés es 1.00 : 15.03 : 1.01 para vidrio 1.25 : PET 1.5 : RefPET 2.0.

## 6.2.2 Otros impactos

Los resultados de otras categorías de impactos se presentaron únicamente en unidad funcional, dada la incerteza del resultado. La incerteza proviene principalmente a que se utilizaron factores de caracterización de Estados Unidos, los cuales representan un promedio nacional con alto grado de variabilidad; y además a la escasez de información en algunas categorías de impacto.

Se recomienda no utilizar estos resultados como guías de decisión, sino más bien como apoyo a la evaluación de los impactos ambientales de la embotelladora. Se debe tener en cuenta también los órdenes de magnitud de los resultados presentados para un adecuado análisis relativo de impactos.

Los resultados de las categorías de daño humano cancerígeno y no cancerígeno son los más inciertos, debido a que no toman en cuenta ni la ubicación de las emisiones, la geografía, el clima ni los rasgos antropológicos de las personas afectadas; lo que no genera un análisis de riesgo confiable. Se recomienda como principal indicador de daño humano el material particulado, el cual es un precursor potencial de enfermedades cardiovasculares y respiratorias.

Destaca como principal daño ambiental directo de las operaciones de Andina (alcance 2) la eutrofización, principalmente por las descargas de RILES con contenido de nitrógeno amoniacal. Sin embargo, dichas aguas son tratadas posteriormente por el sistema de aguas servidas de la ciudad, donde se espera que su carga biológica sea controlada. Otro daño a considerar dentro del alcance 2 corresponde a la emisión de material particulado, causado por las emisiones del transporte de distribución de Andina, sin embargo, en el contexto de Santiago dichas emisiones son solo una fracción de las emisiones totales.

## 6.3 Validación con referencias internacionales

Se eligió el estudio (Franklin Associates, 2009) para la comparación de resultados de Huella de Carbono y Generación de Desechos, pues es relativamente nuevo y cubre envases similares. En este trabajo se realizó un análisis de ciclo de vida para envases contenedores de gaseosas en EEUU, particularmente para envases de vidrio 0.237 y PET 0.591. Para realizar una comparación adecuada, se compararon solo resultados para los mismos envases que el estudio de Franklin. Adicionalmente, los resultados de Franklin fueron corregidos por peso de envase para una adecuada comparación con el presente estudio.

Tabla 6-2 Comparación con resultados con (Franklin Associates, 2009), para emisión de GEI [kg CO<sub>2</sub>e/UC]

Tipo Envase	Valor estudio internacional	Valor modelo propio
Vidrio 0.237	7.99	4.49
PET 0.591 L	0.63	0.70

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-3 Comparación con resultados con (Franklin Associates, 2009), para generación de desechos [kg Residuos/UC]

Tipo Envase	Valor estudio internacional	Valor modelo propio
Vidrio 0.237	5.54	4.42
PET 0.591 L	0.21	0.43

Fuente: Elaboración propia

Se observa un orden de magnitud similar entre todos los valores reportados. Las diferencias reportadas pueden deberse a distintas causas como diferencias en: tecnología utilizada, matriz energética, distancias de transporte, entre otros.

## 6.4 Escenarios de reciclaje

Se generan diferentes escenarios de reciclaje industrial y municipal con el fin de analizar el efecto que tiene cada tipo de reciclaje sobre los principales indicadores de impacto ambiental y comparar ambos reciclajes entre sí.

### 6.4.1 Reciclaje Municipal

Se eligió la tasa de reciclaje municipal como parámetro a estudiar para observar su incidencia sobre los indicadores finales. Los escenarios escogidos de reciclaje fueron el propio, y las proyecciones que realizadas para el MMA en (Ecoing, 2012) para las tasas de reciclaje al año 2016. También se eligió un escenario comparativo con la situación de reciclaje actual de Canadá (Franklin Associates, 2006), país con una alta tasa de reciclaje.

**Tabla 6-4 Escenarios de reciclaje municipal**

Tipo de envase	Escenario Actual	Escenario (Ecoing, 2012)	Escenario Canadá (Franklin Associates, 2006)
<b>PET</b>	7.35%	12.8%	36%
<b>RefPET</b>	0%	0%	0%
<b>Vidrio</b>	10.7%	22.2%	30%

Fuente: Elaboración propia

A pesar de ser cambios considerables en la tasa de reciclaje, estos tienen un impacto menor en los indicadores finales de huella de carbono y huella hídrica, como se puede apreciar en la Tabla 6-5 y Tabla 6-6. En el caso de uso de vertederos, los escenarios de reciclaje municipal tienen mayor impacto, en especial en el caso de PET 1.5, como se aprecia en la Tabla 6-7.

**Tabla 6-5 Huella de carbono por UC para escenarios de reciclaje municipal [kg CO<sub>2</sub>e/UC]**

Envase	Escenario Actual	Escenario Ecoing	Canadá 2009
<b>Vidrio 1.25</b>	0.297	0.294	0.292
<b>PET 1.5</b>	0.470	0.463	0.433
<b>RefPET 2.0</b>	0.178	0.178	0.178

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 6-6 Huella hídrica por UC para escenarios de reciclaje municipal [L/UC]**

Envase	Escenario Actual	Escenario Ecoing	Canadá 2009
<b>Vidrio 1.25</b>	11.14	11.11	11.09
<b>PET 1.5</b>	6.65	6.64	6.56
<b>RefPET 2.0</b>	11.12	11.12	11.12

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-7 Residuos generados por UC para escenarios de reciclaje municipal [cm<sup>3</sup>/UC]

Tipo Compactación	Envase	Escenario Actual	Escenario Ecoing	Canadá 2009
Granel	Vidrio 1.25	70.2	64.9	61.2
	PET 1.5	7,115.4	6,696.8	4,915.2
	RefPET 2.0	243.2	243.2	243.2
Triturado	Vidrio 1.25	35.1	32.4	30.6
	PET 1.5	0	0	0
	RefPET 2.0	0	0	0
Fardo	Vidrio 1.25	0	0	0
	PET 1.5	1,331.1	1,252.8	919.5
	RefPET 2.0	89.7	89.7	89.7
Chipeado	Vidrio 1.25	0	0	0
	PET 1.5	527.4	496.3	364.3
	RefPET 2.0	35.5	35.5	35.5

Fuente: Elaboración propia

La contribución de estos escenarios de reciclaje sobre el total de impactos de Coca Cola producidos el año 2015 se muestran en la Tabla 6-8. Se destaca la posibilidad de reducción de 4.5% de GEI, bajo el escenario de reciclaje de Canadá. Destaca el gran impacto que tiene el reciclaje sobre los residuos generados, donde existe una fuerte correlación. Así, la mayor contribución relativa del reciclaje sería la disminución de residuos generados.

Tabla 6-8 Impactos totales de la producción del año 2015 para escenarios de reciclaje municipal

Impacto	Escenario Actual	Escenario Ecoing	Cambio porcentual	Canadá 2009	Cambio porcentual
Huella de Carbono [kg CO <sub>2</sub> e]	5.00E+07	4.95E+07	-1.05%	4.78E+07	-4.49%
Huella Hídrica [m <sup>3</sup> ]	1.22E+06	1.22E+06	-0.18%	1.22E+06	-0.60%
Residuos Generados: Granel [m <sup>3</sup> ]	4.45E+11	4.20E+11	-5.65%	3.15E+11	-29.26%
Residuos Generados: Triturado [m <sup>3</sup> ]	3.07E+09	2.79E+09	-9.05%	2.60E+09	-15.19%
Residuos Generados: Fardo [m <sup>3</sup> ]	9.11E+10	8.62E+10	-5.39%	6.53E+10	-28.36%
Residuos Generados: Chipeado [m <sup>3</sup> ]	3.61E+10	3.42E+10	-5.39%	2.59E+10	-28.36%

Fuente: Elaboración propia

## 6.4.2 Reciclaje Industrial

Se estudia el reciclaje industrial para observar su incidencia sobre los indicadores finales. Actualmente el reciclaje industrial de vidrio es del orden del 75.4% y el de PET y RefPET es



de 97.7%, ambos son altos pero difieren entre sí. Los escenarios escogidos de reciclaje fueron el actual, la reducción del reciclado RefPET y PET al nivel del vidrio actual y el aumento del reciclaje vidrio al nivel del RefPET y PET actual. De esta manera se podrán apreciar los cambios que tendría sobre los principales impactos el aumento o disminución del reciclaje industrial.

**Tabla 6-9 Escenarios de reciclaje industrial**

Tipo de envase	Escenario Actual	Aumento reciclaje vidrio	Disminución reciclaje RefPET
<b>PET</b>	97.7%	97.7%	75.4%
<b>RefPET</b>	97.7%	97.7%	75.4%
<b>Vidrio</b>	75.4%	97.7%	75.4%

Fuente: Elaboración propia

A pesar de ser cambios considerables en la tasa de reciclaje, el impacto sobre los indicadores huella de carbono, huella hídrica y uso de vertederos no es de gran magnitud, como se aprecia en la Tabla 6-10, Tabla 6-11 y Tabla 6-12.

**Tabla 6-10 Huella de carbono por UC para escenarios de reciclaje industrial (kg CO<sub>2</sub>e/UC)**

Envase	Escenario Actual	Aumento Vidrio	Reducción PET
<b>Vidrio 1.25</b>	0.297	0.283	0.297
<b>PET 1.5</b>	0.470	0.470	0.470
<b>RefPET 2.0</b>	0.178	0.178	0.183

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 6-11 Huella hídrica por UC para escenarios de reciclaje industrial (m<sup>3</sup>/UC)**

Envase	Escenario Actual	Aumento Vidrio	Reducción PET
<b>Vidrio 1.25</b>	11.14	11.01	11.14
<b>PET 1.5</b>	6.65	6.65	6.65
<b>RefPET 2.0</b>	11.12	11.12	11.13

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-12 Residuos generados por UC para escenarios de reciclaje industrial [cm<sup>3</sup>/UC]

Tipo Compactación	Envase	Escenario Actual	Aumento Vidrio	Reducción RefPET
Granel	Vidrio 1.25	70.2	44.4	70.2
	PET 1.5	7,115.4	7,115.4	7,117.9
	RefPET 2.0	243.2	243.2	298.8
Triturado	Vidrio 1.25	35.1	22.2	35.1
	PET 1.5	0	0	0
	RefPET 2.0	0	0	0
Fardo	Vidrio 1.25	0	0	0
	PET 1.5	1,331.1	1,331.1	1,331.6
	RefPET 2.0	89.7	89.7	110.3
Chipeado	Vidrio 1.25	0	0	0
	PET 1.5	527.4	527.4	527.6
	RefPET 2.0	35.5	35.5	43.7

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 6-13 se presentan los impactos totales para los distintos escenarios de reciclaje industrial. Destaca la gran cantidad de residuos que se podrían evitar bajo un escenario de mayor reciclaje de vidrio.

Tabla 6-13 Impactos totales de la producción del año 2015 para escenarios de reciclaje industrial

Impacto	Escenario Actual	Aumento Vidrio	Cambio porcentual	Reducción PET	Cambio porcentual
Huella de Carbono [kg CO <sub>2</sub> e]	5.00E+07	4.96E+07	-0.79%	5.03E+07	0.54%
Huella Hídrica [m <sup>3</sup> ]	1.22E+06	1.22E+06	-0.27%	1.22E+06	0.06%
Residuos Generados: Granel [m <sup>3</sup> ]	4.45E+11	4.44E+11	-0.37%	4.50E+11	1.12%
Residuos Generados: Triturado [m <sup>3</sup> ]	3.07E+09	2.24E+09	-26.95%	3.07E+09	0.00%
Residuos Generados: Fardo [m <sup>3</sup> ]	9.11E+10	9.11E+10	0.00%	9.29E+10	1.97%
Residuos Generados: Chipeado [m <sup>3</sup> ]	3.61E+10	3.61E+10	0.00%	3.68E+10	1.97%

Fuente: Elaboración propia

## 6.5 Escenario fortalecimiento RefPET Familiar

Se realizó un análisis para cuantificar el potencial de reducción de la huella de carbono, huella hídrica y residuos generados por el cambio de envases PET familiares (2.0, 2.5 y 3.0 litros) a su formato homólogo RefPET. El escenario consistió en desplazar toda la producción de envases PET familiares en 2015 a sus homólogos de RefPET familiares,

umentando la producción RefPET y disminuyendo la producción PET. De esta manera, el total de producto producido no varía respecto al escenario base, pero sí su formato de distribución.

Los resultados de los impactos priorizados se muestran en la Tabla 6-14. Se debe tener en cuenta que los resultados del escenario fueron calculados con el supuesto de que todos los demás aspectos se mantienen iguales, como la tasa de retornabilidad y consumo energético requerido para la producción.

**Tabla 6-14 Resultados escenario fortalecimiento RefPET Familiar**

Impacto	Caso Base	Fortalecimiento RefPET Familiar	Cambio total	Cambio porcentual
<b>Huella de Carbono [ton]</b>	50,002	45,123	- 4,879	- 9.76%
<b>Huella Hídrica [m3]</b>	1,222,705	1,351,761	129,056	10.55%
<b>Residuos generados [ton]</b>	19,092	16,001	- 3,092	- 16.19%

Fuente: Elaboración propia

Se observa un potencial de reducción de las emisiones GEI de casi el 10%, al utilizar un formato de envase con menor impacto en la huella de carbono. Se observa además una reducción importante de la cantidad de residuos generados (16%), debido a la retornabilidad de los envases RefPET. Sin embargo, en este escenario aumenta el consumo de agua, en cerca del 11%, debido a que los envases RefPET requieren de un proceso de lavado en la producción en cada ciclo que dan.

El escenario, si bien es sólo un ejemplo, pues en la realidad responde a una decisión estratégica más compleja, produciría una reducción de emisiones GEI y residuos generados importante, pero se debe tener en cuenta el aumento de consumo de agua que conllevaría.

## 7. Conclusiones

Un análisis que considera todas las etapas en el ciclo de vida de un producto, desde la extracción de materia prima hasta la disposición final, permite cuantificar con mayor certeza el impacto total del producto. Además, permite identificar etapas clave con alto impacto ambiental, y de esta manera concentrar esfuerzos de mitigación de manera eficiente.

En este estudio, el análisis de ciclo de vida permitió cuantificar diversos impactos ambientales, principalmente huella de carbono, huella hídrica y generación de residuos, de la producción de distintos formatos de envases. Los resultados permiten comparar los impactos de cada tipo de envase entre sí, y estimar el impacto ambiental anual de las operaciones de embotellamiento de Coca-Cola Chile a partir del muestreo de la planta Andina en Renca y sus proveedores. Estos resultados son un apoyo a la toma de decisiones estratégicas de la empresa en cuanto a que formatos favorecer, y en qué etapas concentrar esfuerzos para reducir su impacto ambiental.

Se requiere hacer énfasis en la representatividad de los valores obtenidos. La finalidad de la valorización de diferentes categorías de impacto para un producto es ser una herramienta comparativa dentro del contexto del estudio. Al tener claro y bien definido los alcances, límites y fuentes de datos utilizados en este estudio, se tiene un contexto que permite el uso justificado de los indicadores presentados en los capítulos anteriores.

En la Tabla 7-1 se presenta un resumen de los resultados del ACV de manera agregada, y se muestra por separado por tipo de material de envase. Los resultados totales corresponden a la producción del año 2015.

**Tabla 7-1 Resumen de todos los resultados del Análisis de Ciclo de Vida**

	PET	RefPET	Vidrio	Total
<b>Consumo Botellas [en millones]</b>	236	123	198	557
<b>Litros Producidos [en millones]</b>	304	289	140	733
<b>Energía Total [TJ]</b>	306.7	131.1	62.3	600.1
<b>Huella de Carbono Total [ton]</b>	12,743	26,540	10,719	50,002
<b>Huella Hídrica Total [m<sup>3</sup>]</b>	359,129	570,057	293,519	1,222,705
<b>Residuos totales generados [ton]</b>	5,878	12,119	1,096	19,092

Fuente: Elaboración propia

Los resultados anteriores no permiten comparar correctamente el impacto de cada formato de envase, pues durante el 2015 se registraron distintos niveles de producción ellos. Para una adecuada comparación entre formatos de envases, la mejor alternativa es

utilizar una unidad funcional común. Esta unidad tiene directa relación con la función que cumple el envase, y permite comparar correctamente distintos tipos de envase, con variedad de materiales, tamaño y procesos de producción. En este estudio se seleccionó como unidad funcional la cantidad de litros provistos por una caja unitaria: 5.678 litros, como se mencionó anteriormente.

Usando las cajas unitarias como unidad funcional, los resultados permiten comparar adecuadamente el impacto ambiental de cada tipo de envase. En la Tabla 7-2 se muestra el resumen de resultados para los impactos priorizados, esta vez considerando la unidad funcional. Se presentan los resultados para los formatos de interés.

**Tabla 7-2 Resumen de resultados de impactos priorizados por unidad funcional**

Impacto	Vidrio 1.25	PET 1.5	RefPET 2.0
Huella de Carbono [kg CO <sub>2</sub> eq/UC]	0.297	0.470	0.178
Huella Hídrica [L/UC]	11.14	6.65	11.12
Residuos generados [kg/UC]	0.058	0.193	0.013

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a estos resultados, no se puede establecer un formato dominante en todos los impactos considerados. Así, la decisión estratégica de cual formato favorecer debe tomar en cuenta la valoración relativa y propia de la importancia de cada impacto.

En el caso de la huella de carbono, el envase RefPET 2.0 presenta el mejor resultado, seguido por el Vidrio 1.25 y finalmente el PET 1.5. Los ratios de resultados por emisión los resultados son 1.67:2.65:1.00 para Vidrio1.25:PET1.5:RefPET2.0 respectivamente.

Para la huella hídrica, el envase con menor impacto corresponde al PET 1.5, seguido por el RefPET 2.0 y el Vidrio 1.25, con impactos similares. El ratio de consumo es de 1.00:0.60:1.00 para Vidrio1.25:PET1.5:RefPET2.0 respectivamente.

En el caso de la generación de residuos, el RefPET 2.0 es el formato que menos residuos genera, seguido por Vidrio 1.25 y luego PET 1.5. El ratio de generación es de 4.43:14.84:1.00 para Vidrio1.25:PET1.5:RefPET2.0 respectivamente. El ratio anterior corresponde al análisis por peso del material dispuesto, sin embargo a nivel de volumen estos ratios van a variar, aunque el vidrio suele tener mejor rendimiento.

Teniendo en cuenta las limitaciones y los alcances del estudio para cada impacto tenemos los siguientes resultados:

HC: RefPET2.0 < Vidrio1.25 < PET1.5

HH: PET1.5 < RefPET2.0 < Vidrio1.25

GR: Vidrio1.25 < RefPET2.0 < PET1.5

Se observa que no existe un formato dominante en todos los impactos. Esto implica que los *trade-off* al privilegiar un formato por sobre otro, se traduce en relaciones complejas, y que sólo pueden realizarse por medio de un análisis estratégicos de ellos.

En este estudio se calcularon otros indicadores ambientales, a partir de la herramienta TRACI 2.1. Dada la incerteza en el cálculo de estos impactos, sus resultados deben utilizarse solo como referencia para la comparación entre los distintos formatos de envases. En la Tabla 7-3 se presenta un resumen de los resultados obtenidos, por unidad funcional. Estos resultados deben analizarse por categoría de impacto para tener una referencia de qué tipo de envase presenta menores impactos ambientales. Nuevamente se observa que no existe un formato de envase dominante.

**Tabla 7-3 Resumen de resultados de otros impactos por unidad funcional**

Impacto	Vidrio 1.25	PET 1.5	RefPET 2.0
<b>Acidificación [kg SO<sub>2</sub> eq/UC]</b>	1.07E-03	2.07E-05	9.41E-06
<b>Eutroficación [kg N eq/UC]*</b>	5.89E-05	1.68E-05	1.85E-05
<b>Reducción del ozono [kg CFC-11 eq/UC]</b>	8.00E-09	0	0
<b>Formación smog foto químico [kg O<sub>3</sub> eq/UC]*</b>	2.34E-02	1.36E-03	1.05E-03
<b>Ecotoxicidad [CTUeco/UC]*</b>	2.10E-06	0.032737	0.037862
<b>Salud Humana [CTUcancer/UC]*</b>	1.45E-22	5.69E-14	6.58E-14
<b>Salud Humana [CTUno-cancer/UC]*</b>	5.08E-20	1.38E-12	1.60E-12
<b>Salud Humana [MP2.5 eq/UC]*</b>	1.60E-05	6.55E-06	6.70E-06

\*Impactos de carácter local. Por cuestión de simplificación, en la tabla se presentan los indicadores agregados, aunque esto no corresponde metodológicamente

Fuente: Elaboración propia

Dada la gran variedad de impactos ambientales que genera la producción de un envase, (que da lugar a las diferentes categorías de impacto consideradas en este estudio), es complejo y subjetivo resumir los resultados en un solo indicador global. Las múltiples categorías responden a que no existe un formato de envase con un menor impacto ambiental que los otros, más bien existen formato más favorables en ciertas categorías de impacto que otros. Además, cada categoría requiere de una contextualización para su aplicación como herramienta de decisión, esto se refiere a características geográficas, climatológicas, biodiversidad, etc. que generan que un ambiente local sea más susceptible a un impacto u otro. Al no contar con los estudios que permitan entregar el contexto pertinente se aconseja utilizar los impactos de la Tabla 7-3 sólo de manera comparativa.

La decisión estratégica de cuál envase potenciar debe ser en base a un ejercicio propio de priorización y valoración de los distintos impactos, considerando disponibilidad de recursos, vulnerabilidad a impactos, características geográficas, climáticas, culturales y

muchos otros factores ambientales. Dado lo anterior cada impacto debe ser evaluado según sus propios méritos sin poder concluir cual formato es “ambientalmente más favorable”. Las conclusiones por impacto se presentan a continuación.

## 7.1 Huella de Carbono

La huella de carbono está directamente relacionada con el consumo de energía en los procesos asociados. En este sentido el consumo energético asociado a la etapa pre-Andina es el más relevante representando el 53% del consumo energético total.

Por el motivo anterior es relevante el impacto de la retornabilidad, pues su principal efecto a nivel de impactos ambientales es que prorratea los impactos generados antes del embotellamiento en el número de vueltas que finalmente da el envase. Por esta razón, un envase que tiene mayor ratio peso-volumen como los de vidrio, pero con mayor número de vueltas tienen indicadores menores en el caso de la huella de carbono.

Cabe destacar que el impacto del número de vueltas en la huella de carbono no es lineal, sino que se observan rendimientos decrecientes en la disminución de la huella de carbono al aumentar el número de vueltas. En este contexto, y considerando el número de vueltas declarado por la contraparte técnica, aumentar el número de vueltas que dan los envases no mejorará significativamente la huella de carbono asociada a ellos.

De mayor importancia es el ratio peso-volumen envasado, pues mientras menor sea el peso por volumen menor son las emisiones asociadas a la materia prima. Más aún las emisiones asociadas a transporte también disminuirían pues el peso afecta directamente a la energía necesaria para el transporte. Sin embargo, existen consideraciones técnicas que limitan la disminución de material por envase, pero que pueden ser optimizadas para lograr disminuciones.

Otra alternativa para la disminución de la huella de carbono total consiste en el desplazamiento de la producción hacia formatos con menor huella de carbono unitaria. A modo de ejemplo, se modeló un escenario en que la totalidad de la producción en envases PET superior a 2 litros se produjera en envases RefPET, los resultados apuntan a la disminución de casi 10% de la huella de carbono total de la producción asociada a Coca-Cola. El escenario propuesto tiene sólo un carácter de ejemplo, pues se reconoce que las decisiones de producción responden a decisiones más complejas que deben considerar la gestión de la demanda y decisiones estratégicas de la empresa, siendo las consideraciones ambientales sólo un factor.

## 7.2 Huella Hídrica

Respecto al consumo de agua, la huella hídrica es una herramienta que permite cuantificar y resumir en un indicador el consumo hídrico. Los resultados del indicador apuntan a que la etapa de mayor relevancia corresponde a Andina (94% del total de la huella hídrica), esto tiene relación con el consumo de agua para el lavado, así como los consumos generales de la planta.

En el análisis realizado no se incluyen los impactos asociados al producto líquido (bebidas), y por esta razón el principal consumo hídrico corresponde al lavado de los envases retornables. Sin perjuicio de lo anterior, el lavado representa solamente un tercio del total del consumo de agua en Andina Renca.

Lo anterior permite dos conclusiones, en primer lugar los formatos retornables tienen una huella hídrica considerablemente mayor a los envases desechables, producto de la necesidad de lavado. A nivel unitario el lavado implica que los formatos retornables tengan una huella hídrica un 40% mayor. De querer potenciar estos formatos habría que buscar opciones que permitan disminuir esta diferencia.

En segundo lugar, parecieran haber ineficiencias en el uso de agua dentro de la planta. De acuerdo, a los datos proveídos por la contraparte técnica un 53% del consumo de agua de la planta está directamente relacionado al producto y al lavado, habiendo un 47% restante asociado a otros procesos. Opciones de mayor eficiencia en el uso del recurso (optimización de tecnología y procesos, uso de circuitos cerrados, reutilización de agua para fines que así lo permitan), permitirían disminuir la huella hídrica atribuible a la producción.

Cabe resaltar la suerte de *trade-off* que existe entre la huella de carbono y la huella hídrica, pues mientras en el primer indicador los envases retornables tienen un mejor indicador, en el caso de la huella hídrica es al revés. Nuevamente se destaca que no existe un indicador único y este *trade-off* es parte del desplazamiento de cargas ambientales que deben considerarse según las condiciones ambientales locales, las decisiones estratégicas de la empresa y las preocupaciones de los consumidores.

## 7.3 Uso de vertederos

El uso de vertederos se refiere al espacio que utilizan los residuos al momento de ser dispuestos en vertederos o rellenos sanitarios. Lo anterior depende directamente de la cantidad de material que se dispone, así como de la densidad de compactación que se considere.



En la literatura no se encontró una densidad de compactación promedio de envases para el caso chileno, y se consideró que utilizar información internacional no corresponde pues la forma de disposición depende de características culturales, tecnológicas y de costumbres locales. Por esa razón se analizaron distintas formas de compactación por separado.

Para dimensionar el espectro de posibilidades se consideraron dos escenarios, el primero plantea el caso en que la disposición de todas las botellas es a modo de granel, mientras que en el escenario ideal la totalidad de los envases dispuestos son compactados con la mejor tecnología disponible para el material. El resultado de lo anterior se traduce en que el escenario a granel produce 11 veces más residuos en términos de volumen, que el escenario ideal.

En general, la alta densidad del material hace que los envases de vidrio tengan mejor indicadores que los envases plásticos. Asimismo el mayor nivel de reciclaje de vidrio, el cual se da por razones económicas y culturales<sup>13</sup> y las tasas de retornabilidad explican las diferencias en la cantidad de residuos que se terminan disponiendo. Por ejemplo, si una UC de envases de vidrio 1.25 litros tiene una masa equivalente a 4.6 kg, por efectos del reciclaje y la retornabilidad sólo se generan 57 gr por UC distribuida.

El aumento del reciclaje tanto a nivel industrial como municipal, resulta la mejor opción para mejorar los impactos asociados a la disposición de residuos. Por ejemplo, se modeló el caso en que combinadamente se tiene un reciclaje industrial del vidrio al nivel de PET (97.7%) y un reciclaje municipal al nivel de Canadá (30%), y los resultados apuntaron a que el espacio utilizado en vertederos se redujo prácticamente a la mitad.

## 7.4 Otros impactos

Por la forma en que se consideraron los otros impactos dentro del estudio, sólo pueden obtenerse indicadores del tipo referencial. Debido a los alcances, limitaciones y metodologías mencionadas anteriormente con respecto a la herramienta de valorización se presentan resultados con el único fin de identificar potenciales temáticas relevantes.

Al revisar los distintos indicadores sólo la eutroficación y el daño humano como resultado de la emisión de material particulado se destacan como de interés mayor. La eutroficación, indicador que se relaciona con la carga orgánica en las aguas liberadas, es tratada mediante el uso de plantas de tratamiento de aguas en la planta de Andina, y luego por el sistema urbano de recolección y tratamiento de aguas servidas, lo cual impide

---

<sup>13</sup> En Chile, históricamente han existido campañas de reciclaje de vidrio, pues resulta conveniente desde un punto de vista económico, adicionalmente se han asociado a programas sociales. Esto ha incidido en mayores tasas de reciclaje municipal.

que su impacto real resulte en niveles perjudiciales para el ambiente. Por su parte la emisión de material particulado, en el contexto de Santiago es un tema que se regula mediante los planes de descontaminación. La gestión de la empresa en eficiencia energética o en la reducción de su huella de carbono, debiera tener como un co-beneficio la reducción de material particulado.

## 8. Bibliografía

- Ayres, R., McMichael, F., & Rod, S. (1987). Measuring toxic chemicals in the environment: A materials balance approach.
- CONAMA. (2002). Guía Metodológica Estudio de Ciclo de Vida.
- Donoso, G., & Franco, G. (2013). La huella hídrica agrícola de Chile. *Agronomía Y Forestal*, 47.
- Ecoing. (2012). *Evaluación de impactos económicos, ambientales y sociales de la implementación de la responsabilidad extendida del productor en Chile*.
- EPA. (2014). Emission Factors for Greenhouse Gas Inventories, (April), 1–5. Retrieved from [papers2://publication/uuid/FDF7F83F-129C-44B6-AD7E-9620A9C9ED08](https://www.epa.gov/publication/uuid/FDF7F83F-129C-44B6-AD7E-9620A9C9ED08)
- Franklin Associates. (2006). LIFE CYCLE INVENTORY OF CONTAINER SYSTEMS FOR WINE. *Energy*.
- Franklin Associates. (2009). Life cycle inventory of three single-serving soft drink containers. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Grbeš, A. (2015). A Life Cycle Assessment of Silica Sand : Comparing the Beneficiation Processes, (September 2015). <http://doi.org/10.3390/su8010011>
- Instituto Nacional de Normalización. NCh-ISO 14040/1999 (1999).
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report*.
- US EPA. (2012). TRACI 2.1: User Manual.
- US-EPA. (2008). TRACI 2 . 0 : the tool for the reduction and assessment of chemical and other environmental impacts 2 . 0, 687–696. <http://doi.org/10.1007/s10098-010-0338-9>
-