

Desarrollado por:

FCh FUNDACIÓN
CHILE.



PACTO
CHILENO
DE LOS
PLÁSTICOS

Reporte:

Estrategia de circularidad de envases de poliestireno (PS) de alto impacto (PAI) en Chile – Fase II

#PactoChilenoDeLosPlasticos

Informe Final - Segunda Edición

Diciembre 2025

Raigal Consultores

Guillermo González Caballero

Daniel Vargas Weil

Tabla de Contenido

Introducción	4
Principales hallazgos	5
1. Análisis de las opciones de valorización de residuos de envases PAI	6
1.1. Contexto.....	6
1.2. Descripción de las distintas opciones de valorización.....	8
1.3. Análisis de las opciones de valorización.....	12
1.4. Normativa sanitaria sobre envases de alimento	18
1.5. Análisis de incentivos financieros de la REP	19
1.6. Viabilidad y deseabilidad de las opciones analizadas.....	21
1.7. Transición a nuevos esquemas de gestión de residuos de PAI	23
2. Análisis sobre las implicancias de sustituir el PAI por PP o PET	24
2.1. Viabilidad técnica del uso de PP o PET para envasar el yogurt.....	24
2.2. Impacto en costo de inversión y operación del cambio a envases de PP o PET	25
2.3. Impacto ambiental del cambio a envases de PP o PET.....	28
2.4. Recomendaciones.....	32
Anexo 1: Cálculo del impacto en costos de inversión.....	33
Anexo 2: Cálculo del impacto en margen.....	34
Anexo 3: Personas entrevistadas.....	35

Tablas

Tabla 1. Resumen del análisis de las opciones de valorización.....	12
Tabla 2. Impacto financiero de cada opción para un reciclaje de 1.500 toneladas de PAI	20
Tabla 3. Costos de reemplazar PAI por PP o PET para las empresas lácteas	25
Tabla 4. Cambio costos operacionales anuales de las empresas lácteas al reemplazar PAI por PP o PET	26
Tabla 5. Peso del envase vacío, por resina	31
Tabla 6. Impactos ambientales de reemplazar PAI por PP o PET	32
Tabla A 1. Lista de organizaciones y personas entrevistadas.....	35

Figuras

Figura 1. Evolución del reciclaje de PAI en Chile	22
----------------------------------------------------------------	----

Introducción

El Pacto Chileno de los Plásticos (PCP) es una iniciativa público-privada que busca acelerar la transición hacia una economía circular de los plásticos en Chile, promoviendo la innovación, la colaboración y el desarrollo de soluciones que permitan reducir la generación de residuos plásticos.

En julio de 2024, el PCP publicó el Informe “Reporte de la Estrategia de circularidad de envases de poliestireno de alto impacto en Chile – Fase I”, el cual presentó un diagnóstico del estado actual de las opciones de sustitución y valorización de envases de poliestireno de alto impacto (PAI) en Chile y el mundo, material que es principalmente utilizado para envasar yogurt y postres. Dicho informe también contribuyó a la identificación de los principales desafíos para lograr una mayor circularidad de estos envases, sentando las bases para avanzar hacia la siguiente etapa, enfocada en la definición y priorización de soluciones para aumentar la circularidad del PAI en Chile. En particular, dicho informe recomendaba la realización de 6 acciones: 1) Convocar a entidades relevantes de la cadena de valor del PAI en Chile a que sean parte del desarrollo de la Estrategia y se integren al PCP. 2) Complementar el levantamiento de información de interés efectuado, a través de entrevistas y revisión de antecedentes bibliográficos adicionales. 3) Actualizar y analizar las cantidades de envases de PAI para yogurt y postres de Chile. 4) Analizar las opciones para la valorización de PAI identificadas y su viabilidad en el contexto nacional. 5) Analizar las alternativas de sustitución y sus implicancias (ventajas y desventajas). 6) Estandarizar y mejorar los criterios de diseño de los envases de PAI de yogurt y postres.

El presente documento corresponde a la continuación de los esfuerzos antes descritos, específicamente las acciones 4 y 5. En este sentido, este reporte presenta dos análisis clave para avanzar hacia la circularidad de los envases de yogurt y postres.

El primer análisis, contenido en la primera sección del informe, considera las distintas alternativas para valorizar los residuos de envases de PAI, evalúa los costos y las condiciones necesarias para viabilizar cada alternativa, analiza el rol de la normativa sanitaria, y se refiere al rol de los incentivos generados por la normativa de Responsabilidad Extendida del Productor. A partir de lo anterior plantea una visión de cómo avanzar hacia la circularidad de estos envases en el mediano y largo plazo.

El segundo análisis, presentado en la segunda sección del informe, considera las implicancias de sustituir el PAI por polipropileno (PP) o tereftalato de polietileno (PET). En particular, se presentan estimaciones de los impactos financieros y ambientales de reemplazar el PAI por estos materiales.

Los resultados de estos análisis deberían contribuir a la toma de decisión de la industria nacional respecto a cómo avanzar hacia la circularidad de los envases de yogurt y postres. A continuación se presenta un resumen de los principales hallazgos del estudio.

Principales hallazgos

- El reciclaje de los residuos de envases de PAI es viable en Chile y los costos financieros incrementales de reciclar estos a través de los sistemas REP serían bajos, principalmente asociados a la instalación y operación de infraestructura de lavado de residuos posconsumo.
- La normativa nacional sobre envases de alimentos es laxa respecto al uso de material reciclado, aunque es de esperar que tal normativa sea actualizada en el futuro cercano y se establezca un estándar similar al europeo. Tanto el estándar actual como el europeo permiten el uso de material reciclado en los envases de yogurt al utilizar tecnología ABA o alguna tecnología de descontaminación para asegurar su inocuidad.
- Los incentivos financieros que genera la REP son más que suficientes para incentivar a los productores que introducen envases de PAI al mercado a viabilizar el reciclaje de estos envases.
- La articulación de estos cambios reviste cierta complejidad. Los incentivos de los productores que introducen envases de PAI tienen que lograr traspasarse a la industria del reciclaje y/o a los GRANSIC. Esta articulación probablemente requiere el apoyo de una asociación gremial del sector y/o una instancia como el PCP.
- El reemplazo del PAI por PP o PET no parece deseable. En primer lugar, no se espera que el mero cambio aumente la reciclabilidad ni reduzca los impactos ambientales de los envases. En segundo lugar, generaría elevados impactos financieros para la industria láctea.

1. Análisis de las opciones de valorización de residuos de envases PAI

En esta sección del informe se analizan las potenciales formas en que los residuos de envases de PAI¹ generados en Chile podrían ser reciclados. En la primera subsección entregamos información de contexto. En la segunda subsección describimos cada una de las potenciales opciones de valorización. En la tercera subsección analizamos las opciones de valorización en términos de los volúmenes mínimos de residuo necesarios, los costos financieros, y la existencia de una demanda por el producto de la valorización asociado a cada opción. En la cuarta subsección consideramos las posibles restricciones que la normativa sanitaria podría generar a la adopción de las distintas opciones de valorización. En la quinta subsección evaluamos los incentivos que genera la REP para la valorización de los residuos de envases de PAI. En la sexta subsección concluimos respecto a la viabilidad y deseabilidad de las opciones analizadas. Por último, en la séptima subsección nos referimos a cómo se puede gatillar la transición a nuevos esquemas de gestión de residuos de PAI.

1.1. Contexto

En la actualidad, el consumo de PAI para la fabricación de envases de yogurt y postres en Chile sería entre 10.000 y 12.000 toneladas anuales, aproximadamente. Cerca del 10% de este material se perdería en la forma de *scrap* industrial, por lo tanto, la generación de residuos posconsumo sería de entre 9.000 y 10.800 toneladas anuales².

Las empresas lácteas utilizan PAI para envasar a través de tecnología FFS (por su sigla en inglés: *Form, Fill and Seal*). Esta tecnología requiere como insumo una lámina plástica y permite formar, llenar y sellar el envase en una misma línea de producción a gran velocidad. Si bien está tecnología es compatible con otras resinas, el PAI permite envasar a menor costo, lo que convierte al PAI en la resina preferida por la industria láctea para este proceso. Esta lámina de PAI es fabricada a partir de pellet u hojuela de PAI en una máquina extrusora. Coexpan y Typack son los principales proveedores de estas láminas en Chile, con una participación conjunta superior al 90%.

En cuanto a su reciclaje, la resina de PAI presenta la cualidad de conservar bien sus características después del proceso de reciclaje mecánico. Esto implica que, a diferencia de otras resinas recicladas, el rPAI puede ser usado para las mismas aplicaciones que la materia prima virgen sin la necesidad de incluir una gran proporción de material virgen en el producto y puede

¹ Por envases de PAI nos referimos en particular a los envases de PAI utilizados para la comercialización de yogurt y algunos postres como jaleas, flanes y pudines. Puesto que entre el 80% y el 90% de los envases referidos se utilizan específicamente para la comercialización de yogurt, por simplicidad, parte del análisis del informe se centra especialmente en los desafíos asociados a los envases de dicho producto.

² De acuerdo a información entregada por ASIPLA, Typack, Coexpan y Soprole durante entrevistas y lo indicado por ANIR en su sitio web: <https://anir.cl/Estudio2023/>.

ser reciclado un mayor número de veces sin degradarse de forma significativa³. El rPAI puede ser utilizado en productos electrónicos (refrigeradores, televisores, computadores, etc.), automóviles, construcción, pancartas, carretes, ruedas, exhibidores temporales en el *retail*, artículos del hogar, juguetes, cubiertos, platos, vasos y envases, entre otros. Sin embargo, sus tasas de reciclaje efectivo en Chile y el mundo son relativamente bajas cuando se comparan con otras resinas plásticas.

¿Por qué las tasas de reciclaje de PAI son bajas?

Los siguientes serían los principales factores a considerar.

- *El volumen total es bajo en comparación a otras resinas.* El volumen total de residuos de envases PAI generado en Chile es relativamente bajo en comparación con otras resinas (por ejemplo, en el caso de PET, el consumo de material supera las 100.000⁴ ton/año). Para destinar una línea de producción al uso de rPAI, o de cualquier resina, se requiere la disponibilidad de un volumen mínimo de esta. Esto es más difícil de alcanzar en la medida que la generación total es baja.
- *Los residuos están contaminados con materia orgánica y grasa.* La gestión de residuos de envases de yogurt se vuelve más compleja que la de envases como los de bebida o de productos de limpieza, en tanto la materia orgánica genera problemas de vectores y olores durante su recolección y almacenamiento. Además, implica la necesidad de incluir un proceso de lavado más demandante previo al reciclaje (en la planta de reciclaje o en una planta de pretratamiento) y el manejo de residuos industriales líquidos (RILES) que se derivan de ese proceso de lavado. Esto implica un aumento de los costos de gestión de estos residuos. Esto reduce la potencial rentabilidad de reciclar el PAI, desincentivando el reciclaje del material.
- *Los envases de PAI son muy livianos.* Esto implica que la recolección del residuo es menos efectiva, en tanto la logística de recolección y almacenamiento está más restringida por volumen que por peso. De esta forma, los mismos esfuerzos logísticos obtienen una menor cantidad de residuos, lo que encarece la gestión del residuo cuando se compara con otros residuos de envases.

Lo anterior implica que la potencial rentabilidad de reciclar el PAI posconsumo es baja o negativa, lo que en ausencia de una política pública que genere obligaciones o incentivos importantes, implica que el material no se recicle. Por lo mismo, el uso de instrumentos regulatorios surge como la principal solución para lograr el reciclaje del PAI. Hasta la puesta en marcha de la REP, en Chile no existía regulación alguna que incentivara a reciclar los envases de PAI. Esta regulación se encuentra aún en una fase de implementación demasiado temprana en nuestro país como para evaluar su potencial efecto en el reciclaje de PAI. Sin embargo, la Unión Europea (UE) cuenta con esta regulación hace décadas y de todas formas el reciclaje de los envases PAI ha sido históricamente limitado. Esta situación probablemente se debe, al menos en parte, a las

³ Según lo indicó Coexpan durante entrevistas.

⁴ De acuerdo a información publicada por ANIR, entre 2023 y 2021 se habrían consumido alrededor de 100.000 toneladas anuales (<https://anir.cl/estudio2023/>).

relativamente bajas metas de reciclaje para envases plásticos en dicha región, lo que permite que estas se cumplan con otras resinas plásticas. Desde el año 2008 la meta de reciclaje para plásticos en la UE había sido 22,5% y recién en 2018 se estableció que en 2025 esta meta aumente a 50%⁵. De hecho, solo en los últimos años, los sistemas de gestión en múltiples países europeos han comenzado a recolectar de forma generalizada los envases de PAI para su posterior valorización⁶. Esto sugiere que el aumento de las metas de valorización de plástico ha generado los incentivos necesarios para que resulte rentable la valorización del PAI.

1.2. Descripción de las distintas opciones de valorización

Se identifican cinco potenciales opciones para el reciclaje de los residuos de PAI generados en Chile.

1.2.1. Exportación del material para la fabricación de nuevos productos en el extranjero

El material recolectado en el país puede ser utilizado para la fabricación de nuevos productos en el extranjero. El material en cuestión podría ser sometido a distintos niveles de tratamiento previo a su exportación, incluyendo selección, lavado, compactación, chipeado y pelletizado.

Actualmente, la empresa Junco vende hojuelas de PAI a empresas exportadoras, que a su vez envían el material a empresas localizadas en EEUU, Colombia y Ecuador, donde se utilizan para la fabricación de productos que no están en contacto con alimentos, como almácigos, colgadores de ropa, artículos de hogar, juguetes, peinetas y láminas industriales⁷. Dado que esta es la única forma de exportación de material que tenemos conocimiento que ocurra en Chile, centramos el análisis de esta opción en esta forma de exportación.

1.2.2. Reciclaje mecánico para la fabricación de productos de PAI sin graduación para estar en contacto con alimento en Chile

Los residuos recolectados en el país pueden ser seleccionados y lavados para posteriormente ser sometidos a un proceso de reciclaje. El proceso de reciclaje incluye un proceso de separación de los elementos del envase de yogurt que no son PAI (por ejemplo, la etiqueta) y un proceso de chipeado que permita obtener una hojuela (también denominada *flake*) de PAI. Dicha hojuela puede ser utilizada directamente para la fabricación de distintos productos plásticos. La hojuela también puede ser utilizada para fabricar pellet de PAI, el que a su vez puede servir de insumo en la producción de otros productos.

⁵ Así lo establece la Directiva Europea 94/62/EC, disponible en <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A01994L0062-20180704>

⁶ Encontramos que según fuentes oficiales, al menos en [Bélgica](https://www.fostplus.be/en/sorting/sorting-home) (<https://www.fostplus.be/en/sorting/sorting-home>) y [Francia](https://www.citeo.com/le-mag/emballages-en-polystyrene-pots-de-yaourt-seront-ils-bien-recycles-en-2025) (<https://www.citeo.com/le-mag/emballages-en-polystyrene-pots-de-yaourt-seront-ils-bien-recycles-en-2025>) se recolectan y valorizan los envases de PAI de forma sistemática y generalizada en la actualidad. Según fuentes extra oficiales encontramos que este también es el caso para Alemania, Italia y España. Durante una entrevista, Roy Cox indicó que el reciclaje del PAI en Reino Unido era marginal.

⁷ De acuerdo a información entregada por Junco durante entrevistas.

Actualmente en Chile existe una empresa (Junco, ex RePS) especializada en este proceso de reciclaje que procesa entre 500 y 900 toneladas al año de *scrap* industrial de empresas lácteas nacionales. Esta empresa recibe el *scrap* a título gratuito y vende hojuelas de PAI a empresas transformadoras, que a su vez fabrican distintos productos que no requieren cumplir estándares para estar en contacto con alimentos.

El residuo que trabajan actualmente tiene la particularidad de nunca haber estado en contacto con material orgánico, lo que facilita su procesamiento puesto que no requiere pasar por una etapa de lavado de materia orgánica. No obstante lo anterior, esta empresa ha procesado residuos industriales de merma (PAI en contacto con materia orgánica) de forma efectiva y comercialmente viable en el pasado⁸. En otras palabras, Junco podría procesar residuos posconsumo en la medida que se incorpore un proceso de lavado previo al actual proceso de reciclaje. Cabe destacar que la actividad de reciclaje de PAI de esta empresa es actualmente comercialmente viable sin el apoyo o subvención alguna de terceros, en la medida que el residuo de PAI sea entregado en su planta limpio y a precio cero.

También existen actividades de reciclaje mecánico al alero del programa Sonrisa Circular de Soprole⁹. Bajo este programa se reciclan envases de yogurt posconsumo y *scrap* industrial de Soprole. Estos residuos se utilizan para la fabricación de dos productos: bandejas plásticas y tablas plásticas¹⁰. Cabe destacar que ninguno de estos productos se transa en el mercado, sino que son adquiridos íntegramente por la misma Soprole. Las bandejas son utilizadas para el trabajo de reposición de sus productos en supermercados y las tablas plásticas para la fabricación de mobiliario que Soprole dona a distintas instituciones. Esto pone en duda la viabilidad comercial de estas actividades de reciclaje sin el apoyo de Soprole y, por lo mismo, su potencial escalabilidad¹¹. De forma similar, otras iniciativas de reciclaje de plásticos que mezclan distintas resinas, pudiendo incluir el PAI, para producir lo que se ha denominado “madera plástica”, no han logrado alcanzar precios competitivos que les permitan alcanzar una escala relevante.

1.2.3. Reciclaje mecánico para la incorporación del material en la fabricación de nuevos envases de yogurt a través de tecnología ABA

Los residuos recolectados pueden ser seleccionados y lavados para posteriormente ser sometidos a un proceso de reciclaje equivalente al descrito en la sección 1.2.2, con el fin de

⁸ Los envases eran vaciados y lavados por el productor y posteriormente entregados a Junco para su valorización.

⁹ <https://www.soprole.cl/nutriendo-sonrisas/ssc/en-que-consiste>

¹⁰ La utilización de PAI en estos tipos de productos resulta poco convencional, en tanto esta resina es considerada muy quebradiza para estas aplicaciones. En el caso de las bandejas, se requiere el uso de aditivos. En cuanto a las tablas plásticas, el PAI es mezclado con otras resinas menos quebradizas, sin embargo, el fabricante indica que las tablas con contenido de PAI tienen un desempeño inferior y no son aptas para el uso como material de construcción.

¹¹ Al cierre de la elaboración del presente informe surgió información respecto una nueva iniciativa realizada al alero del programa Sonrisa Circular. Se trata de una colaboración entre Soprole, Walmart y Wenco para fabricar 20.000 estantes modulares a partir de residuos de envases de yogurt y postres y comercializarlos en diversos puntos de venta de Walmart. Hasta la fecha, se han valorizado 32 toneladas de PAI, y las empresas involucradas han reafirmado su compromiso de continuar trabajando de manera conjunta en la valorización de este material. (Fuente: <https://www.soprole.cl/novedades/campa%C3%B1as/detalle/programa-soprole-sonrisa-circular>).

obtener una hojuela de rPAI o un pellet de rPAI¹². Posteriormente, la hojuela o pellet de rPAI se utiliza para la fabricación de láminas ABA, que a su vez se utilizarían para fabricar envases de yogurt. La fabricación de envases con láminas ABA implica que el pote de yogurt está formado por tres capas. La capa que va en contacto con el yogurt y la capa que va en contacto con el exterior son de materia prima virgen, mientras que la capa intermedia es de materia prima reciclada. De esta forma el material reciclado queda aislado y se evita el riesgo de que algún contaminante presente en los residuos ponga en riesgo la salud de las personas. Utilizando esta tecnología, solo un 30% del envase podría estar compuesto de rPAI¹³.

Es importante destacar que el proceso de reciclaje para esta aplicación debe cumplir un estándar de calidad mayor que para otras aplicaciones, pero según distintos actores, incluidas las empresas fabricantes de envases, este estándar ya es alcanzado por Junco.

Actualmente, ninguna empresa en Chile está fabricando láminas ABA. Sin embargo, las dos principales empresas proveedoras de láminas de PAI, que conjuntamente alcanzan más del 90% del mercado, están capacitadas para fabricar láminas ABA sin necesidad de hacer inversiones adicionales, en la medida que tengan acceso al rPAI necesario.

1.2.4. Reciclaje mecánico para la fabricación de nuevos envases de yogurt con láminas monocapa utilizando tecnologías de descontaminación que aseguren inocuidad alimentaria

Los residuos recolectados serían seleccionados y lavados para posteriormente ser sometidos a un proceso de reciclaje equivalente al descrito en la sección 1.2.1, con el fin de obtener una hojuela de PAI o un pellet de PAI¹⁴. Posteriormente, la hojuela o pellet de rPAI se sometería a un proceso de descontaminación mediante alguna tecnología que asegure la inocuidad alimentaria, incluso utilizando el rPAI en contacto directo con el yogurt. Esto permitiría la utilización del rPAI para la fabricación de láminas monocapa. Estas tecnologías de descontaminación suelen estar integradas a las extrusoras que forman las láminas y pueden operar mediante dos principios. Bajo el primer principio la descontaminación ocurre sobre el plástico fundido mediante la gasificación de los contaminantes. Este es el principio utilizado por la tecnología Gneuss. Por otro lado, bajo el segundo principio la descontaminación ocurre antes de que el plástico se funda

¹² Si el uso que se le va a dar al rPAI es la fabricación de láminas, parece más razonable usar hojuelas. Esto considerando que el uso de pellet requiere un proceso de extrusión adicional, innecesario en este caso, y que conlleva costos económicos y ambientales asociados al mayor consumo de energía.

¹³ De acuerdo a lo indicado en el reporte "Estrategia de circularidad de envases de poliestireno (PS) de alto impacto (PAI) en Chile – Fase I".

¹⁴ El mismo comentario previo sobre la conveniencia de usar hojuelas sobre pellets aplica en este caso.

y se realiza mediante fricción al vacío¹⁵¹⁶. Todas estas tecnologías tendrían la capacidad de asegurar la inocuidad alimentaria del yogurt, aunque se encuentran en distintos niveles de aprobación en la legislación comparada. Gracias a la alta reciclabilidad técnica de los residuos de PAI, con estas tecnologías se podrían fabricar láminas con un contenido cercano al 100% de rPAI¹⁷.

Al igual que en el caso anterior, Junco ya cumpliría con el estándar de calidad para proveer de materia prima a un proceso de este tipo.

Actualmente ninguna empresa en Chile está fabricando envases de yogurt usando estas tecnologías de descontaminación. Sin embargo, al menos cuatro empresas nacionales tienen este tipo de tecnologías instaladas. Integrity cuenta con una extrusora Gneuss con tecnología de descontaminación que utiliza para la fabricación de láminas de rPET, que a su vez se utilizan para la fabricación de envases de fruta (*clamshells*). Coexpan cuenta con tecnología de descontaminación en fase sólida, que actualmente no utiliza para procesar material reciclado. Por último, cada una de las embotelladoras cuenta con tecnología de descontaminación que utilizan para procesar rPET en sus plantas botella a botella, pero desconocemos que tecnología específica utilizan.

1.2.5. Reciclaje químico

El reciclaje químico, a diferencia del mecánico, implica la despolimerización del PAI en un reactor, para obtener aceite de monómero de estireno. Dicho monómero puede posteriormente ser utilizado para la fabricación de los distintos tipos de poliestireno (PS), incluido el PAI. El proceso de re-polimerización se realiza en una planta petroquímica. A través de este proceso de reciclaje se alcanzan altísimos niveles de pureza, permitiendo la fabricación de un producto final de características equivalentes a la resina virgen y que cumple todos los estándares para uso en contacto con alimentos en Europa y Estados Unidos¹⁸. Cabe destacar que en el mismo proceso de reciclaje químico se pueden recuperar todos los tipos de PS, a diferencia del reciclaje mecánico que requiere diferentes flujos para cada tipo de PS. Una importante desventaja de esta tecnología es que su huella de carbono es similar a la de fabricar PS virgen, a diferencia del

¹⁵ La fabricación de envases con láminas monocapa implica que el rPAI utilizado tiene que alcanzar un nivel de limpieza mayor, puesto que irá en contacto directo con el yogurt. Ese nivel de limpieza no puede ser alcanzado con un simple lavado, sino que el material debe pasar por un proceso de filtrado profundo. Existen múltiples tecnologías de descontaminación que pueden alcanzar este estándar. En particular, la tecnología de filtrado de Gneuss permite obtener una lámina monocapa para la fabricación de envases de yogurt que cumple la normativa norteamericana para envases en contacto directo con alimento. En Europa la tecnología aún está categorizada como novedosa. Esto implica que su uso está permitido, pero bajo vigilancia y evaluación de la autoridad. Después de que la tecnología sea evaluada por un periodo de tiempo, si la autoridad está satisfecha, pasa a ser categorizada como autorizada.

¹⁶ Si el proceso de reciclaje de PAI consiste en fabricar pellet en lugar de hojuelas, el filtrado también podría realizarse en la extrusora de pelletizado. Sin embargo, como se ha señalado, pelletizar el rPAI para utilizarlo en la fabricación de láminas no parece conveniente, en tanto implica fundir el plástico dos veces, con los costos económicos y ambientales que el consumo adicional de energía conlleva.

¹⁷ Así lo indicó Coexpan durante una entrevista.

¹⁸ En efecto, el aceite de monómero de estireno que se obtiene mediante esta tecnología alcanza propiedades equivalentes a las del monómero virgen, con lo cual la Unión Europea exime a esta tecnología de las pruebas requeridas para los materiales reciclados.

reciclaje mecánico, que implica una reducción significativa de la huella de carbono en comparación con el uso de materia prima virgen.

De los antecedentes que pudimos recabar, actualmente existe una sola planta en el mundo (Bélgica) que realiza reciclaje químico, para lo cual utiliza un reactor térmico¹⁹. A través de este proceso, genera un producto que permite obtener PS de origen 100% reciclado²⁰.

1.3. Análisis de las opciones de valorización

En esta sección analizamos las distintas opciones descritas en la sección precedente. Tres aspectos de cada opción son considerados: los volúmenes de recolección de residuo necesarios para viabilizar la opción, la existencia de una demanda por el producto de la valorización que genera la opción, y los impactos financieros asociados a cada opción. Respecto a los impactos financieros, analizamos los costos de las inversiones en infraestructura y los potenciales impactos en el margen²¹ de las empresas involucradas. Para el caso de las tecnologías de descontaminación, usamos el caso específico de Gneuss para nuestro análisis, pero entendemos que los costos de las otras tecnologías de descontaminación son similares. La siguiente tabla resume los resultados principales de esta sección.

Tabla 1. Resumen del análisis de las opciones de valorización

Opción	Volumen mínimo de recolección anual (toneladas)	Demanda anual (toneladas)	Costos de inversión por tonelada anual de capacidad (pesos)	Impacto en el margen por tonelada (pesos)
1. Exportación del material para la fabricación de nuevos productos en el extranjero	800	>1.200	\$20.000	-\$25.000
2. Reciclaje mecánico para fabricar productos que no están en contacto con alimento	800	>1.000	\$20.000	-\$25.000
3. Reciclaje mecánico para fabricar envases de yogurt con láminas ABA	800	3.000-3.600	\$20.000	>-\$25.000
4. Reciclaje mecánico para fabricar envases de yogurt con láminas monocapa utilizando tecnologías de	800	10.000-12.000	entre \$20.000 y \$1.020.000	+\$355.000

¹⁹ <https://indaver.com/services/plastics2chemicals/circular-polystyreen>

²⁰ También hemos conocido una empresa en México que realiza un proceso químico novedoso para el reciclaje. Mediante el uso de estireno como solvente logra clasificar el poliestireno, separándolo de otras resinas que pueden estar contaminando el flujo. Luego realiza un ultrafiltrado de la mezcla, para finalmente llevar a cabo un proceso de polimerización para producir PS de alta calidad con un contenido de material reciclado de 25%. Ver <https://www.q-rps.eco>.

²¹ El margen lo definimos como los ingresos por venta menos los costos de operación.

Opción	Volumen mínimo de recolección anual (toneladas)	Demanda anual (toneladas)	Costos de inversión por tonelada anual de capacidad (pesos)	Impacto en el margen por tonelada (pesos)
descontaminación que aseguren inocuidad alimentaria				
5. Reciclaje químico	25.000 (PAI + EPS)	-	-	-

Las siguientes subsecciones explican cómo se llega a estos valores.

1.3.1. Volúmenes mínimos de residuos para adoptar cada opción de valorización

En el mediano plazo (año 2028) la regulación REP implicaría al menos una cobertura con recolección puerta a puerta del 50% de las viviendas del país. Por lo tanto, si suponemos que los hogares cubiertos entregan el 20% de los envases de PAI que consumen, parece viable alcanzar una recolección del 10% de dichos envases. Considerando que los envases de PAI introducidos al mercado son entre 9.000 y 11.000 toneladas anuales, aproximadamente entre 900 y 1.100 toneladas anuales de PAI serían recolectadas por los GRANSIC. En lo sucesivo utilizamos este valor para evaluar si los volúmenes mínimos requeridos para cada opción son o no alcanzables.

Para implementar cualquiera de las opciones de valorización de envases posconsumo en cuestión se requerirá de infraestructura de lavado. La capacidad mínima de procesamiento para la infraestructura de lavado sería aproximadamente 800 toneladas al año²², vale decir, menos del 9% de los residuos posconsumo generados. Por lo tanto, considerando que anteriormente establecimos que 10% de lo generado sería un volumen de recolección razonable en el mediano plazo, el volumen de residuos no sería un problema para viabilizar la infraestructura de lavado. Sin embargo, la infraestructura de lavado podría funcionar con una subutilización de su capacidad máxima, lo que simplemente encarecería la inversión en términos relativos.

1.3.1.1. Exportación del material para la fabricación de nuevos productos en el extranjero: esto ya ocurre en la actualidad, y por tanto no está sujeto a una restricción de volúmenes mínimos para ser viable.

1.3.1.2. Reciclaje mecánico para la fabricación de productos de PAI sin graduación para estar en contacto con alimentos: esto ya ocurre en la actualidad, y por tanto no está sujeto a una restricción de volúmenes mínimos para ser viable.

1.3.1.3. Reciclaje mecánico para la fabricación de nuevos envases de PAI para yogures y postres con láminas ABA: si bien esto no ocurre en la actualidad, las máquinas que se utilizan actualmente para fabricar las láminas de PAI virgen ya tienen la capacidad

²² De acuerdo a información entregada por Junco durante entrevistas.

para fabricar láminas ABA, sin la necesidad de hacer ajustes importantes. Por lo tanto, no existe un problema de volumen mínimo para fabricar láminas ABA.

- 1.3.1.4. Reciclaje mecánico para la fabricación de nuevos envases de yogurt con láminas monocapa utilizando tecnologías de descontaminación que aseguren inocuidad alimentaria: como se indicó más arriba, si bien esto no se hace en la actualidad, ya existe la tecnología en Chile (aplicada a PET) y es probable que su capacidad ociosa²³ aumente con la entrada de las plantas de reciclaje botella a botella al mercado. Las máquinas que actualmente se utilizan para procesar PET pueden ser utilizadas para procesar PAI sin la necesidad de hacer ajustes significativos. Por lo tanto, para la utilización de la infraestructura ya existente, no habría un problema de escala mínima. Por otro lado, la capacidad de producción de una máquina Gneuss nueva es de 3.000 toneladas al año²⁴. Sin embargo, no es necesario que la máquina opere a máxima capacidad. La pregunta de a qué capacidad se justifica la compra de la máquina es de tipo financiera, por lo que se evalúa en la sección de análisis de costos.
- 1.3.1.5. Reciclaje químico: la capacidad de procesamiento de la única planta de reciclaje químico en el mundo de la que hemos tenido conocimiento es de 25.000 toneladas al año²⁵. Sin embargo, una planta de este tipo podría procesar residuos de todas las resinas de PS conjuntamente. De acuerdo a información del Ministerio del Medio Ambiente, la generación anual de residuos de envases de PS corresponde a aproximadamente 31.000 toneladas anuales²⁶. Por lo tanto, se requeriría una recolección cercana al 80% de los residuos de envases de PS para utilizar la capacidad de procesamiento de una planta de reciclaje químico. Una tasa de recolección del 80% para cualquier residuo resulta poco realista en el mediano plazo. Esto sería aún más desafiante para residuos de EPS y PAI²⁷. Por lo tanto, parece que los volúmenes mínimos de rPS para viabilizar una planta de reciclaje químico son muy superiores a lo que se podría lograr en Chile en el mediano plazo²⁸. En este sentido parece razonable descartar esta opción, pero considerar reevaluar en la medida que surja nueva información sobre reciclaje químico y dicha tecnología madure o que, eventualmente, se logre consolidar residuos de PS de países vecinos con los residuos Chilenos, de forma tal que se pueda alcanzar el volumen necesario.

²³ Capacidad ociosa hace referencia a la capacidad de producción no utilizada por una máquina, fábrica o industria durante un periodo de tiempo dado.

²⁴ De acuerdo a información entregada por Gneuss durante entrevistas y asumiendo dos turnos de 8 horas.

²⁵ Dado que se trata de una tecnología incipiente, no está claro cuál es la capacidad mínima de este tipo de plantas.

²⁶ De acuerdo al informe "Análisis General de Impacto Económico y Social de Metas de Recolección y Valorización para el Producto Prioritario Envases y Embalajes Contenido en la Ley 20.920" del Ministerio del Medio Ambiente y publicado en el sitio web: <https://rechile.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/06/60-AGIES-ENVASES-Y-EMBALAJES-2.pdf>.

²⁷ Considerar que la tasa de reciclaje para envases plásticos en la Unión Europea en 2022 fue tan solo de 40% (https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Packaging_waste_statistics), y esto incluye otras resinas con tasa de reciclaje más elevadas, como PET y PP.

²⁸ El reporte "Estrategia de circularidad de envases de poliestireno (PS) de alto impacto (PAI) en Chile – Fase I" menciona la posibilidad de hacer reciclaje químico de rPAI combinándolo con rPET para producir fibra de vidrio. Utilizar PET con tal fin en Chile parece poco viable y poco deseable, en tanto el país cuenta con dos plantas de reciclaje de PET para uso en botellas y una exigente normativa de uso de rPET en botellas.

- 1.3.2. Demanda por el producto de la valorización para cada opción
- 1.3.2.1. Exportación del material para la fabricación de nuevos productos en el extranjero: sabemos que existe demanda exterior por la hojuela de rPAI que produce Junco. En la actualidad, una importante fracción de la demanda exterior por rPAI queda insatisfecha, simplemente por una falta de disponibilidad de material. La demanda exterior por rPAI sería de al menos 1.200 toneladas al año²⁹. No tenemos claro si existiría demanda por el residuo sin el tratamiento que Junco realiza, por ejemplo, envases compactados.
- 1.3.2.2. Reciclaje mecánico para la fabricación de productos de PAI sin graduación para estar en contacto con alimentos en Chile: en años recientes se han comercializado entre 500 y 1.000 toneladas de rPAI anuales en Chile, por lo que podemos asumir que existe al menos ese nivel de demanda por el producto en cuestión³⁰. Los destinos de este material han sido la fabricación de vasos, platos y cubiertos, tapas de basurero, llantas de carretilla, bandejas, madera plástica, paneles para la construcción de muebles y exhibidores para el *retail*. La cantidad de material vendido viene determinada por la disponibilidad de material recolectado y no por una falta de demanda, por lo que es esperable que la demanda disponible sea mayor, aunque no es posible saber exactamente cuánto mayor. Por lo tanto, estimamos que al menos existe una demanda nacional de 1.000 toneladas anuales para esta opción.
- 1.3.2.3. Reciclaje mecánico para la fabricación de nuevos envases de yogurt con láminas ABA: con un consumo de entre 10.000 y 12.000 toneladas de PAI anuales para la fabricación de envases de yogurt y asumiendo que el 100% de los envases de yogurt sean fabricados con lámina ABA, la demanda disponible para esta opción podría llegar a ser de entre 3.000 y 3.600 toneladas anuales.
- 1.3.2.4. Reciclaje mecánico para la fabricación de nuevos envases de yogurt con láminas monocapa utilizando tecnologías de descontaminación que aseguren inocuidad alimentaria: las láminas podrían ser producidas con un contenido de rPAI cercano al 100%, por lo que la demanda disponible podría llegar a ser muy cercana al total de la generación de residuos, asumiendo que todos los productores usan material reciclado en todos sus envases.
- 1.3.2.5. Reciclaje químico: dado que esta opción fue descartada en el análisis de volumen mínimo de residuos, no nos detenemos a analizarla en mayor detalle. Sí cabe destacar que, de acuerdo a la información que se levantó, al menos Aislapol cuenta con una planta en Chile que procesa monómero de estireno para la fabricación de poliestireno expandible, por lo que existiría una potencial demanda por el producto de este proceso de valorización.

²⁹ De acuerdo a información entregada por Junco durante entrevistas.

³⁰ De acuerdo a información entregada por Junco durante entrevistas.

1.3.3. Impactos financieros asociados a adoptar cada opción

El análisis de impactos financieros realizado es agregado para toda la cadena productiva, vale decir, no se evalúa cómo los impactos se distribuirían entre los distintos actores. Para determinar cómo los impactos se distribuirán sería necesario estimar cambios en precios, para lo que a su vez sería necesario una estimación de las funciones de demanda y oferta de cada mercado en cuestión, lo que se encuentra fuera del alcance del presente informe.

Cualquiera sea la opción que se adopte, se requerirá la recolección y selección de los residuos domiciliarios, el lavado de los residuos domiciliarios y someter los residuos a un proceso de reciclaje para obtener hojuelas de PAI. Dado que la REP ya recolecta y selecciona los residuos de envases, asumimos que los costos adicionales asociados a la recolección y selección de los envases de PAI son de menor envergadura y no los incorporamos en nuestro análisis. Respecto al proceso de lavado, cuantificamos sus impactos financieros y los incorporamos al análisis. En cuanto al proceso de fabricación de la hojuela, este proceso se realiza de forma rentable en la actualidad para los residuos industriales y, de acuerdo con la información levantada en las entrevistas, esto también sería así para los residuos posconsumo una vez que estos son sometidos a un proceso de lavado. Por lo tanto, asumimos que la fabricación de hojuelas tiene un efecto financiero agregado neutro.

En cuanto a los procesos de fabricación de láminas ABA y láminas monocapa con rPAI procesado con tecnologías de descontaminación que aseguren inocuidad alimentaria, cuantificamos los impactos financieros que tienen estos cambios respecto a fabricar láminas de PAI virgen.

A continuación revisamos cada una de las opciones para determinar el impacto financiero agregado sobre la cadena productiva.

- 1.3.3.1. Exportación del material para la fabricación de nuevos productos en el extranjero: en la actualidad se realiza esta actividad de forma rentable para los residuos de origen industrial. La rentabilidad de realizar esta actividad con residuos posconsumo sería equivalente, salvo por los costos de recolección, selección y lavado. Como indicamos previamente, asumimos que el impacto de agregar los residuos de envases PAI al proceso de recolección y selección actual es cercano a cero. Por lo tanto, solo es necesario incorporar el impacto de agregar el proceso de lavado. Como se indica en los anexos respectivos, el impacto en costos de inversión sería de \$20.000 por tonelada/año de capacidad y el impacto en margen sería de -\$25.000 por tonelada.
- 1.3.3.2. Reciclaje mecánico para la fabricación de productos de PAI sin graduación para estar en contacto con alimentos en Chile: en la actualidad se realiza esta actividad de forma rentable para los residuos de origen industrial. La rentabilidad de realizar esta actividad con residuos posconsumo sería equivalente, salvo por los costos de

recolección, selección y lavado. Como indicamos previamente, asumimos que el impacto de agregar los residuos de envases PAI al proceso de recolección y selección actual es cercano a cero. Por lo tanto, solo es necesario incorporar el impacto de agregar el proceso de lavado. Como se indica en los anexos respectivos, el impacto en costos de inversión sería de \$20.000 por tonelada/año de capacidad y el impacto en margen sería de -\$25.000 por tonelada.

- 1.3.3.3. Reciclaje mecánico para la fabricación de nuevos envases de yogurt con láminas ABA: para esta opción debemos incluir los impactos asociados al proceso de lavado, de fabricación de la hojuela y de fabricación de la lámina. Como indicamos previamente, asumimos que el impacto de agregar los residuos de envases PAI al proceso de recolección y selección actual es cercano a cero. Para el proceso de fabricación de la hojuela, este tiene un efecto neutro una vez que el residuo posconsumo está lavado. El proceso de lavado tiene un impacto en costos de inversión de \$20.000 por tonelada/año de capacidad y un impacto en margen de -\$25.000 por tonelada (ver anexos). El proceso de fabricación de la lámina ABA no genera impactos financieros (ver anexos). Por lo tanto, el impacto agregado de esta opción corresponde a costos de inversión de \$20.000 por tonelada/año de capacidad y un impacto en margen de -\$25.000 por tonelada.
- 1.3.3.4. Reciclaje mecánico para la fabricación de nuevos envases de yogurt con láminas monocapa utilizando tecnologías de descontaminación que aseguren inocuidad alimentaria: para esta opción debemos incluir los impactos asociados al proceso de lavado, de fabricación de la hojuela y de fabricación de la lámina. Como indicamos previamente, asumimos que el impacto de agregar los residuos de envases PAI al proceso de recolección y selección actual es cercano a cero. Para el proceso de fabricación de la hojuela, este tiene un efecto neutro una vez que el residuo posconsumo está lavado. El proceso de lavado tiene un impacto en costos de inversión de \$20.000 por tonelada/año de capacidad y un impacto en margen de -\$25.000 por tonelada (ver anexos). El proceso de fabricación de la lámina monocapa utilizando filtro Gneuss tiene un impacto en costos de inversión de entre \$0 y \$1.000.000 por tonelada/año y un impacto en margen de \$380.000/tonelada (ver anexos). Por lo tanto, el impacto agregado de esta opción corresponde a costos de inversión de entre \$20.000 y \$1.020.000 por tonelada/año de capacidad y un aumento en margen de +\$355.000 por tonelada.
- 1.3.3.5. Reciclaje químico: dado que esta opción fue descartada en el análisis de volumen mínimo de residuos, no nos detenemos a analizarla en mayor detalle. Sin embargo, la inversión inicial sería del orden de los \$100.000 millones para una capacidad de 25.000 toneladas/año³¹.

³¹ De acuerdo a información entregada por Indaver durante entrevistas.

1.4. Normativa sanitaria sobre envases de alimento

La normativa que regula estos aspectos en Chile es el Reglamento Sanitario de los Alimentos (Decreto 977 del Ministerio de Salud)³². Este decreto no hace mención expresa al uso de material reciclado, pero regula en términos amplios los estándares que los envases plásticos deben cumplir. En particular establece lo siguiente:

- Artículo 123: Los utensilios, recipientes, envases, embalajes, envoltorios y aparatos destinados a la elaboración, conservación, fraccionamiento y distribución de los alimentos, deberán estar contruidos o revestidos con materiales resistentes al producto y no cederán sustancias tóxicas, contaminantes o modificadoras de los caracteres organolépticos o nutricionales de dichos productos.
- Artículo 126: Todos los utensilios, recipientes, envases, embalajes, envolturas, laminados, películas, barnices, partes de aparatos, cañerías y accesorios de material plástico que se hallen en contacto con alimentos y sus materias primas, no deben contener como monómeros residuales más de 0,25 % de estireno, 1 ppm de cloruro de vinilo y 11 ppm de acrilonitrilo. Asimismo todos los objetos de materias plásticas no deben ceder a los alimentos más de 0,05 ppm de cloruro de vinilo o de acrilonitrilo, y ninguna otra sustancia utilizada en la fabricación de materias plásticas que puedan ser nocivas para la salud.

Como vemos la normativa indica que cualquier envase, independiente de si es fabricado con material reciclado o virgen debe cumplir estos estándares.

A su vez, cabe destacar que la normativa no indica que se requiera una autorización expresa para el uso de cualquier tipo de envase o que se requiera demostrar ante la autoridad que se cumplen los estándares descritos en los artículos 123 y 126 previo a la utilización de un envase particular. Sin embargo, naturalmente la autoridad sanitaria tiene la facultad de fiscalizar el cumplimiento de dicho estándar por parte de las empresas que comercializan alimentos envasados. Tal facultad emana del Código Sanitario. Este cuerpo legal establece que a la autoridad sanitaria le corresponde:

- Artículo 9, letra a): velar por el cumplimiento de las disposiciones de este Código y de los reglamentos, resoluciones e instrucciones que lo complementen, y sancionar a los infractores
- Artículo 9, letra e): solicitar de las autoridades, instituciones públicas o privadas o individuos particulares los datos y cooperación que estime convenientes para el mejor ejercicio de sus atribuciones. Los datos o cooperación deben ser proporcionados en el plazo prudencial que el Director del Servicio señale

Por lo tanto, la autoridad sanitaria puede fiscalizar a cualquier empresa que utilice envases con material reciclado y puede solicitarle que entregue información que facilite dicha fiscalización. En la práctica, una empresa envasadora debería estar preparada para acreditar ante la autoridad

³² <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=71271>

sanitaria que los envases con contenido de material reciclado que utiliza cumplen los estándares fijados en los artículos 123 y 126 del Reglamento Sanitario de los Alimentos.

En definitiva, la normativa chilena vigente a la fecha estipula estándares generales que aplican tanto a envases de material virgen como a envases con material reciclado. Las empresas pueden utilizar material reciclado en la medida que los envases cumplan los estándares referidos. Puesto que la autoridad sanitaria está facultada para fiscalizar el cumplimiento de dicho estándar, las empresas que usen dichos envases deberían estar preparadas para acreditar que sus envases cumplen con este estándar, a fin de no arriesgar sanciones. En este sentido, el uso de material reciclado en Chile se encuentra bajo un régimen regulatorio relativamente laxo, donde el rol de la autoridad es reactivo (fiscalizador) y no proactivo (fijación detallada de estándares para el uso de material reciclado). Esto en contraposición al rol de la autoridad sanitaria en la legislación europea, donde la autoridad fija estándares específicos para los envases con contenido de material reciclado y exige una autorización previa para poder utilizar los envases con contenido de material reciclado.

No obstante lo anterior, la autoridad sanitaria nacional está trabajando en una propuesta regulatoria que modifica el Reglamento Sanitario de los Alimentos (RSA) para regular en mayor detalle el uso de material reciclado en envases en Chile. Dicha propuesta ha sido trabajada en colaboración con un grupo de trabajo del PCP durante los años 2022 y 2023, y a la fecha de redacción de este informe se encontraba en proceso de consulta pública. En términos generales, dicha normativa fija estándares similares a los de la norma europea. Y de acuerdo a los ensayos realizados, las láminas ABA y las láminas monocapa con rPAI filtrado con tecnología Gneuss cumplirían con el estándar europeo.

En conclusión, la normativa actual permite el uso de material reciclado en envases de PAI, en la medida que no haya migración de contaminantes desde los envases al alimento. Sin embargo, la nueva regulación incluirá estándares específicos de migración y un proceso de autorización previo al uso de material reciclado. En cualquier caso, las tecnologías en análisis serían compatibles tanto con la norma actual como con la futura regulación.

1.5. Análisis de incentivos financieros de la REP

Como se indicó en la sección 1.1. **Contexto**, en un mercado sin regulación es esperable que no existan suficientes incentivos financieros para realizar el reciclaje de los envases de PAI. Una regulación como la REP permite cambiar esto, en parte porque establece la recolección segregada de residuos de envases de forma generalizada, lo que se hace cargo de parte importante de los costos asociados a reciclar los envases de PAI, y en parte por que establece incentivos directos a los productores mediante la fijación de tarifas REP más elevadas para los envases que no se reciclan. El análisis del impacto financiero presentado en la sección 1.3 captura el rol de la REP en financiar los costos de recolección al asumir que los costos de recolección y selección adicionales para el PAI son cercanos a cero. A continuación revisamos el rol que juegan las tarifas REP.

Actualmente las empresas lácteas pagan una tarifa de entre 4,4 UF y 4,47 UF por tonelada de PAI introducida al mercado nacional, dependiendo del GRANSIC al que estén asociadas. En comparación, los envases de plástico que se reciclan pagan entre 1,31 UF y 2,03 UF por tonelada y el cartón para líquidos³³ 2,97 UF por tonelada. El PAI paga una tarifa más elevada producto de la llamada eco-modulación de las tarifas REP. La normativa obliga a la eco-modulación de las tarifas, indicando expresamente que los envases que no sean reciclados deberán pagar recargos.

Suponiendo que al reciclarse el PAI en Chile la tarifa que pagan las lácteas bajará a un valor dentro del rango 1,31-2,97 UF y probablemente en torno a las 2 UF, podemos estimar que el ahorro total que verían las empresas lácteas sería cercano a los \$1.000 millones anuales (dentro del rango de \$600-\$1.200 millones anuales).

Esto implica que, en teoría, la industria láctea tendría una disposición a pagar en torno a los \$1.000 millones anuales para viabilizar el reciclaje del PAI en Chile, vale decir, el financiamiento directo o indirecto de las operaciones de reciclaje de esta resina. En atención a los costos de inversión y operación detallados en la sección **1.3.3 Impactos financieros asociados a adoptar cada opción**, este nivel de recursos supera con creces los recursos necesarios para viabilizar cualquiera de las opciones de reciclaje mecánico del PAI posconsumo en Chile. Ilustramos esto con el caso en que se recolectan y valorizan 1.500 toneladas de residuos de envase de PAI al año.

Tabla 2. Impacto financiero de cada opción para un reciclaje de 1.500 toneladas de PAI

Opción	Costos de inversión por tonelada anual de capacidad (pesos)	Impacto en el margen por tonelada (pesos)	Volumen de reciclaje (toneladas)	Costos de inversión total (pesos)	Impacto en el margen anual (pesos)
1. Exportación del material para la fabricación de nuevos productos en el extranjero	-\$20.000	-\$25.000	1.500	-\$30.000.000	-\$37.500.000
2. Reciclaje mecánico para fabricar productos que no están en contacto con alimento	-\$20.000	-\$25.000	1.500	-\$30.000.000	-\$37.500.000
3. Reciclaje mecánico para fabricar envases de yogurt con láminas ABA	-\$20.000	-\$25.000	1.500	-\$30.000.000	-\$37.500.000
4. Reciclaje mecánico para fabricar envases de yogurt con láminas monocapa utilizando tecnologías de descontaminación que aseguren inocuidad alimentaria	-\$1.020.000	+\$355.000	1.500	-\$1530.000.000	+\$532.500.000

Como se puede apreciar, para la opción 1, 2 y 3, los incentivos que genera la REP durante un año (aprox. \$1.000 millones) superan con creces los costos de inversión totales (aprox. \$30 millones) y la disminución de los márgenes de un año (aprox. \$37,5 millones). Por otro lado, para

³³ Consideramos la tarifa del cartón para líquido en este análisis en tanto es reconocidamente un envase de complejo reciclaje.

la opción 4, si bien el costo de inversión es sustancialmente más elevado, esto trae asociado un aumento de los márgenes. Si sumamos los incentivos anuales de la REP (aprox. \$1.000 millones) y el aumento anual de los márgenes (aprox. \$500 millones) tenemos que los costos de inversión (aprox \$1.500 millones) son equivalentes a los beneficios que se generan durante un solo año (incentivos anuales REP más aumento de márgenes).

Por lo tanto, podemos concluir que la REP genera incentivos más que suficientes para que las empresas lácteas quieran viabilizar el reciclaje de sus envases de PAI. En otras palabras, las empresas lácteas se ahorrarían \$1.000 millones de pesos anuales si los envases de PAI se reciclan, mientras que reciclar los envases de PAI costaría mucho menos de \$1.000 millones de pesos anuales.

No obstante lo anterior, los mecanismos mediante los cuales esos recursos se redirigen desde el pago de una tarifa REP recargada al financiamiento del reciclaje efectivo del PAI posconsumo puede ser complejo. Que esto ocurra requiere sin duda la articulación colectiva de parte de la industria láctea a través de una instancia como Pacto y, probablemente, la posterior ejecución a través de los GRANSIC. El rol de los GRANSIC resulta particularmente complejo, en tanto los socios de estos pueden tener intereses contrapuestos a los de las empresas lácteas³⁴.

En concreto, es posible imaginar al menos dos mecanismos mediante los cuales los incentivos generados por las tarifas REP se convierten en flujos financieros concretos que vayan a financiar el reciclaje del PAI. El primero sería que la industria láctea subsidie de forma directa la cadena de reciclaje del PAI o las industrias que usan el rPAI, a fin de que la valorización del PAI posconsumo sea rentable y, por lo tanto, los GRANSIC tengan un mayor interés en incluir el PAI en sus sistemas de recolección. La segunda es que los GRANSIC paguen por el reciclaje del PAI a los valorizadores y ese pago sea financiado por la tarifa del PAI. En tal caso se esperaría que la tarifa sea superior a la de plásticos como el PET, pero sin duda debería ser menor a la tarifa que actualmente se paga por el PAI.

1.6. Viabilidad y deseabilidad de las opciones analizadas

Si consideramos que en 2028 la REP deberá tener una cobertura territorial de recolección puerta a puerta de al menos 50%³⁵ y asumiendo que la tasa de entrega ciudadana para envases de yogurt para ese año llega a 20% para los hogares cubiertos³⁶, la recolección puerta a puerta debería recuperar entre 900 y 1.100 toneladas de envases de yogurt. Estos volúmenes se podrían sumar a las entre 1.000 y 1.200 toneladas de residuos de *scrap* industrial que ya se

³⁴ En particular, incorporar el PAI a la cadena de reciclaje de un GRANSIC reduce las tarifas de estos envases, pero es probable que aumente las tarifas de otros envases. Esto se debe a que los envases de PAI actualmente pagan una tarifa "castigada" por no ser reciclables. Dicho "castigo" genera cierta recaudación de fondos, que dejaría de ser percibida y tendrá que ser compensada mediante el cobro de tarifas levemente superiores al resto de los envases.

³⁵ <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1157019>

³⁶ Resulta difícil estimar las tasas actuales de entrega de residuos por parte de los ciudadanos con el servicio de recolección puerta a puerta y aún más difícil es estimar cuáles serán las tasas en el futuro. Sin embargo, una tasa del 20% para el año 2028 parece ser un valor conservador.

generan hoy en día desde la industria láctea. Estos volúmenes serían suficientes para viabilizar cualquiera de las opciones de valorización analizadas, excepto por el reciclaje químico.

Figura 1. Evolución del reciclaje de PAI en Chile



En los primeros años (2028-2029) los volúmenes detallados en el párrafo anterior serían fácilmente absorbidos por la demanda disponible. El rPAI de *scrap* industrial podría ser utilizado para la fabricación de láminas ABA, por los mismos fabricantes actuales de láminas de PAI, sin la necesidad de realizar inversiones ni cambios importantes en las líneas de producción. Esto liberaría la demanda asociada a la fabricación de productos que no están en contacto con alimentos, la que podría ser cubierta por el rPAI producido a base de residuos posconsumo. Estos cambios no implicarían más inversión y aumento de costos operativos que los asociados al lavado de los envases posconsumo, lo que puede ser financiado, directa o indirectamente, por la industria láctea a la luz de los incentivos financieros generados por la REP. El paso de lavado, como se ha señalado anteriormente, es un requisito para cualquiera de las opciones de reciclaje.

En años posteriores (2029-2033), a medida que los volúmenes de recolección de residuos aumenten, se podría acceder a nuevos mercados de rPAI para productos que no van en contacto con alimentos, al igual que introducir rPAI posconsumo en láminas ABA³⁷ o incorporar tecnologías de descontaminación que aseguren inocuidad alimentaria para la fabricación de láminas monocapa con rPAI posconsumo. En la medida que la fabricación de láminas de rPET se reduzca con el ingreso de las plantas de reciclaje botella a botella, la infraestructura de descontaminación que aseguren inocuidad alimentaria ya instalada para el reciclaje de PET podría tener capacidad disponible, o bien, habría volumen suficiente para justificar la inversión en una nueva de estas máquinas (como se vio en la sección 1.5, 1.500 toneladas ya sería suficiente para que los incentivos REP justifiquen la inversión en tecnologías de descontaminación que aseguren inocuidad alimentaria).

³⁷ Durante entrevista, desde Junco manifestaron aprensiones respecto al uso de material posconsumo en envases con lámina ABA sin el uso de tecnologías de descontaminación que aseguren inocuidad alimentaria para la purificación del rPAI. En tanto Junco es un actor clave de la cadena de reciclaje, esto podría consistir en una barrera a dicho uso.

Todas estas opciones tienen ventajas ambientales similares, puesto que el mayor beneficio ambiental corresponde al reemplazo de la materia prima virgen que el reciclaje del PAI implica. Por lo tanto, mientras exista suficiente demanda por rPAI y los incentivos financieros de la REP sean similares a los actuales, parece razonable dejar que el mercado asigne el destino del rPAI.

1.7. Transición a nuevos esquemas de gestión de residuos de PAI

Es importante considerar cómo se realiza la transición cuando se presenta una situación del tipo “¿qué es primero, el huevo o la gallina?”, en tanto que la recolección del residuo no tiene sentido en ausencia de valorización y la valorización no es atractiva hasta que existe un volumen de recolección relevante. Esto genera una situación de retroalimentación que refuerza la permanencia de las condiciones actuales, dificultando el proceso de transición.

El mejor candidato a romper este proceso de retroalimentación son los GRANSIC. Fijando una fecha para el inicio de la recolección y valorización del PAI en Chile y licitando con amplia anticipación ambos servicios, al igual que informando al público de forma efectiva, debería lograr gatillar el cambio simultáneo de las actividades de recolección y valorización.

2. Análisis sobre las implicancias de sustituir el PAI por PP o PET

En esta sección del informe se analizan las implicancias financieras y ambientales de sustituir el PAI por PP o PET para la fabricación de envases de yogurt y postres³⁸. En lo sucesivo, al usar el término envases de yogurt nos referimos también a los postres que actualmente son envasados en envases de PAI mediante tecnología FFS. Cabe destacar que la motivación para utilizar PP o PET para la fabricación de los envases de yogurt y postres viene del hecho que estas dos resinas ya cuentan con cadenas de reciclaje funcionando en el territorio nacional. La hipótesis en ese contexto es que no sería posible, o que resultaría muy costoso, montar una cadena de reciclaje para el PAI. Sin embargo, en la primera sección de este informe concluimos que sí sería posible montar dicha cadena de reciclaje y los costos asociados no serían especialmente elevados. Esto implica que el reemplazo del PAI por PP o PET pierde atractivo. No obstante lo anterior, todavía resulta relevante cuantificar los costos y beneficios financieros y ambientales asociados al reemplazo, con el fin de poder evaluar detalladamente qué decisión sería más conveniente.

El análisis de esta sección del informe se divide en cuatro subsecciones. En la primera subsección revisamos la viabilidad técnica de realizar la sustitución de PAI por PP o PET. En la segunda subsección analizamos el impacto en los costos de inversión y operación de la industria. En la tercera subsección consideramos las implicancias ambientales. En la cuarta y última subsección concluimos con recomendaciones respecto a la sustitución del PAI.

2.1. Viabilidad técnica del uso de PP o PET para envasar el yogurt

Los principales productores de lácteos del país utilizan la tecnología FFS (*Form, Fill & Seal*) para el envasado del yogurt. Esta tecnología utiliza como insumo una lámina de plástico y, mediante un proceso térmico, forma los envases de yogurt a partir de dicha lámina. Inmediatamente después de formar los envases, el yogurt es introducido y el envase es sellado. Posteriormente, la lámina es cortada para generar los *packs* de 4 envases que suelen venderse al consumidor final. Esta tecnología es preferida para el envasado masivo de yogurt por su alta velocidad de envasado y el bajo costo de envasado por unidad de producto. La capacidad de envasado de una máquina promedio en Chile es del orden de 11.500 unidades por hora.³⁹

³⁸ El PAI es principalmente utilizado para envasar yogurt, aunque también se usa para envasar algunos postres como jaleas, flanes y pudines. También se usa en menor medida para envasar lácteos como manjar y ricotta. El análisis de este informe se centra en los envases usados en el proceso de envasado con tecnología FFS, esto es principalmente yogurt y en menor medida jalea, flan y pudin.

³⁹ Según lo reportado por Coexpan.

El material que se ha utilizado comúnmente para envasar mediante esta tecnología es el PAI, debido a sus propiedades físicas⁴⁰ y al menor costo que implica en comparación a otras resinas. Sin embargo, la tecnología FFS también es compatible con láminas de PP o PET. Al utilizar estas resinas las empresas fabricantes de láminas deben agregar aditivos para ajustar las características físicas del PP y el PET, mientras que las empresas envasadoras deben hacer inversiones en infraestructura e incurrir en mayores costos operativos para poder utilizar dichas láminas en su proceso de envasado.

Cabe destacar que las empresas lácteas también tienen la opción de comprar envases de PP y PET ya formados para envasar el yogurt. Sin embargo, esta opción no resulta viable en tanto la velocidad de envasado disminuye de sobremanera y el costo de envasado por unidad aumenta considerablemente⁴¹. Adicionalmente, requiere reemplazar las líneas de envasado por una tecnología diferente.

2.2. Impacto en costo de inversión y operación del cambio a envases de PP o PET

El reemplazo del PAI por PP o PET significa un aumento de los costos operativos de envasado de yogurt, así como la necesidad de hacer inversiones en infraestructura por parte de las empresas lácteas. Lamentablemente, no ha sido posible obtener información precisa respecto de la magnitud del impacto en todos los costos operativos. La siguiente tabla resume los costos de operación e inversión identificados.

Tabla 3. Costos de reemplazar PAI por PP o PET para las empresas lácteas

Costo	PP	PET
Costos de inversión	Entre 17.000 y 47.000 millones de pesos	Entre 14.000 y 43.000 millones de pesos
Costos de operación (anuales)	Aumentan en más de 8.000 millones de pesos	Aumentan en más de 9.000 millones de pesos

A continuación revisamos en detalle de donde provienen los aumentos de costos antes detallados.

⁴⁰ Las principales propiedades físicas corresponden a su baja densidad, su bajo punto de fusión y la forma en que se quiebra la lámina (esto permite la fácil separación de los yogures en los packs).

⁴¹ Esta tecnología de envasado implica que la empresa láctea debe comprar envases individuales a un transformador y debe llenar el envase uno a uno en la línea de envasado. Este sistema resulta mucho menos eficiente a grandes escalas de envasado.

2.2.1 Costos de inversión de las empresas envasadoras

De acuerdo a la información recabada, la maquinaria FFS de última generación puede, en general, utilizar láminas de PP o PET sin mayor dificultad. Sin embargo, ninguna de las empresas lácteas nacionales contaría con máquinas así de modernas. Alternativamente, las máquinas menos modernas pueden ser adaptadas para el procesamiento de láminas de PP o PET. El costo de una máquina FFS moderna sería aproximadamente 1.500.000 USD, mientras que el costo de la adaptación de las máquinas actuales correspondería a 500.000 USD. Si bien no tenemos información precisa respecto al número de máquinas FFS operativas en Chile, desde la industria láctea se ha señalado que habría en torno a 30. Por lo tanto, se puede esperar que los costos de inversión totales de migrar toda la industria nacional a láminas de PP o PET sería de entre 15 millones y 45 millones de dólares.

Adicionalmente, la utilización de láminas de PP reduciría la velocidad de envasado de las máquinas⁴². Esto en la práctica implica una reducción de la capacidad de envasado de la infraestructura. Dado que en general esta infraestructura se encuentra en o cercana a su capacidad máxima, para mantener el nivel de producción actual sería necesario invertir en infraestructura adicional. La velocidad de envasado se reduciría en un 7% y, por lo tanto, la capacidad se reduciría en la misma proporción. Asumiendo que la industria mantiene un volumen de producción similar al actual, eso implicaría invertir en entre 2 y 3 máquinas adicionales, lo que implica costos adicionales de inversión de entre 3.000.000 USD y 4.500.000 USD.

2.2.2 Costos operacionales de las empresas envasadoras

Se identificaron 3 factores que aumentan los costos operacionales al reemplazar PAI por PP o PET. Estos provienen de que al envasar en PP o PET el gasto en láminas plásticas aumenta, el consumo de energía aumenta y la frecuencia con la que se requiere realizar mantenciones a la maquinaria FFS aumenta. La tabla siguiente resume los aumentos de los costos operacionales para cada factor y cada resina.

Tabla 4. Cambio costos operacionales anuales de las empresas lácteas al reemplazar PAI por PP o PET

Costo	PP	PET
Compra de láminas	Aumenta en aproximadamente 8.800 millones de pesos	Aumenta en aproximadamente 9.900 millones de pesos
Consumo de energía	Aumenta en 110%	Aumenta en 25%
Mantenciones	Aumenta en 100%	Aumenta en 300%

A continuación se detallan cada uno de estos aspectos.

⁴² El PP requiere más tiempo de calentado y de enfriado durante el proceso de formación del envase.

2.2.2.1 Gasto en láminas plásticas

El gasto en láminas plásticas al envasar en PP o en PET aumenta en parte porque el precio de las láminas de esos materiales es mayor y en parte porque el proceso de envasado de la maquinaria FFS genera una mayor proporción de *scrap* al usar estos materiales.

Naturalmente, múltiples factores juegan un rol en la determinación de los costos de fabricación de las láminas de PAI, PP y PET. Al considerar todos estos factores, los costos de la fabricación de las láminas de PP resultan considerablemente mayores que los costos de la fabricación de la lámina de PAI. Esta diferencia es aún más marcada para la lámina de PET. Esto lleva naturalmente a que las láminas de PP y PET tengan un mayor precio que las de PAI⁴³.

La generación de una mayor cantidad de *scrap* industrial se debe a que el PP y el PET deben ser sometidos a una mayor temperatura para formar los envases, lo que implica que el tiempo de calibración de la máquina FFS es mayor, para estos materiales.

No fue posible obtener información directa de precios de las láminas plásticas. Es importante tener en consideración que tal información puede ser considerada información comercial sensible. No obstante lo anterior, de acuerdo a la información levantada⁴⁴ y según nuestras estimaciones a partir de dicha información, el gasto en láminas plásticas aumenta en aproximadamente un 50% al pasar de PAI a PP y 56% al pasar de PAI a PET. Al considerar el gasto actual estimado en láminas de PAI, obtenemos que estos aumentos serían del orden de los 8.800 millones de pesos y 9.900 millones de pesos anuales para la industria láctea en su conjunto.

Los supuestos utilizados para llegar a estos resultados son los siguientes:

- La densidad del PAI, PP y PET corresponde a 1,05, 0,91 y 1,35, respectivamente.
- El espesor de la lámina de PP y PET corresponde a 110% y 95% del espesor de la lámina de PAI.
- El envasado en PAI, PP y PET genera una proporción de *scrap* industrial del 10%, 14% y 12%, respectivamente.
- El precio por kilo de las láminas de PP y PET son un 50% y 25% mayor que el precio por kilo de las láminas de PAI, respectivamente⁴⁵.
- El peso de un vaso de yogurt terminado corresponde a 3,28 gramos⁴⁶.

⁴³ Los factores clave que llevan a este resultado son los siguientes. Para el PET, ocurre que la lámina usa más material, debido a que el PET es una resina más densa. Para el envase de PP, si bien este es menos denso que el PAI, la lámina de PP es de mayor espesor y la fabricación de esta requiere el uso de aditivos costosos. Además, tanto para PET como para PP, el consumo de energía en el proceso de fabricación de la lámina es mayor, debido a que el punto de fusión del PAI es más bajo.

⁴⁴ Dicha información fue entregada por Coexpan mediante entrevistas

⁴⁵ Este supuesto y los anteriores se basan en información aportada por Coexpan.

⁴⁶ Este supuesto se basa en información del estudio "Packaging Functions and Their Role in Technical Development of Food Packaging Systems: Functional Equivalence in Yoghurt Packaging" y se corroboró que el valor fuera un supuesto razonable para el caso de Chile.

- El gasto en lámina plásticas por vaso de PAI corresponde a 5,38 pesos chilenos⁴⁷.

2.2.2.2 Consumo de energía

De acuerdo a la información recabada, la tecnología FFS consume una mayor cantidad de energía al utilizar láminas de PET y de PP, que cuando usa láminas de PAI. El mayor consumo de energía se debe a que la temperatura de fusión de los otros materiales es mayor que la del PAI, por lo que requieren más calor para el proceso de formado. En el caso del PP, el aumento correspondería a un 110% y en el del PET a un 25%. Sin embargo, no hemos logrado obtener información respecto a la magnitud de las diferencias en términos absolutos⁴⁸.

2.2.2.3 Mantenciones más frecuentes

De acuerdo a la información recabada, los cuchillos de corte de las máquinas FFS pierden su filo más rápidamente al trabajar con PP o PET, debido a que estas resinas son más duras. Esto implica que la maquinaria debe ser sometida a mantenciones más frecuentes, lo que implica un aumento en los costos de mantención y un aumento de los tiempos de detención de las líneas de producción. No fue posible obtener información precisa respecto a la magnitud de los impactos en cuestión. Sin embargo, Roy Cox indicó que este factor es de importancia reducida en comparación al precio de las láminas. En el caso del PP, el aumento correspondería a un 100% y en el del PET a un 300%.

2.3. Impacto ambiental del cambio a envases de PP o PET

Un análisis de ciclo de vida se encuentra fuera del alcance del presente estudio. Sin embargo, el análisis acá presentado aplica principios de análisis de ciclo de vida para evaluar el impacto ambiental de reemplazar el PAI por PP o PET. Para nuestro análisis simplificado, asumimos que las principales diferencias en las huellas ambientales del envase de PAI respecto de los envases de PP o PET radican en los impactos de los procesos de extracción de materia prima y de refinación de cada una de las resinas, así como en el hecho de que los distintos polímeros tienen densidades diferentes, por lo que el mismo envase requiere cantidades distintas de cada material para su fabricación. Por lo tanto, nos centramos solo en estos aspectos para cuantificar los impactos ambientales de reemplazar el PAI por PP o PET, lo que naturalmente implica hacer supuestos de trabajo sobre otros aspectos que tienen impactos ambientales y acotar el análisis de estos.

En la sección 2.3.1 identificamos los supuestos realizados, señalamos cómo se acotó el análisis de los impactos ambientales y las limitaciones sobre los resultados que esto impone.

⁴⁷ Este valor a su vez proviene de los siguientes supuestos: precio del PAI virgen de 1.350 dólares por tonelada y estructura de costos tal que la resina corresponde al 85% del costo de fabricar la lámina de PAI. Estos datos provienen de evaluaciones expertas, pero no corresponden a información oficial.

⁴⁸ De acuerdo a información aportada por Coexpan durante entrevistas.

Posteriormente, en la sección 2.3.2 presentamos el resultado del análisis realizado a partir de la información extraída de la herramienta EcoPackaging de CENEM⁴⁹.

2.3.1 Supuestos de trabajo y acotamiento de los impactos ambientales evaluados

Debido a limitaciones en la información disponible y al alcance del presente estudio, es necesario realizar múltiples supuestos de trabajo. Es importante destacar que estos supuestos son una forma de simplificar el análisis y centrarnos en los aspectos que son factibles y más importantes de analizar.

A continuación, explicamos cada supuesto y las limitaciones que estos imponen sobre los resultados del análisis.

2.3.1.1 La tasa de reciclaje de los envases de yogurt sería la misma para cada uno de los materiales

A partir de las conclusiones de la primera sección del presente informe, resulta razonable hacer el supuesto de que el reciclaje de los envases de yogurt será similar para el escenario donde son fabricados a partir de PAI, PP o PET. Lo anterior puesto que una vez que se resuelve el problema del lavado de los residuos de envase de yogurt, en un contexto de largo plazo con REP, la tasa de reciclaje de estos no debiera ser distinta si son de PAI, PP o PET. El supuesto subyacente acá es que la mayoría de los envases reciclados serán recolectados mediante la recolección puerta a puerta de los sistemas de gestión y que los consumidores entregarán el envase de yogurt de la misma forma, independiente de si este es de PAI, PP o PET. Esto simplifica el análisis considerablemente, puesto que diferencias en la tasa de reciclaje redundan en diferencias en los impactos ambientales de cada resina, pero si las tasas de reciclaje de cada resina son las mismas, podemos asumir que las diferencias de los impactos ambientales del fin de vida de los envases serán similares para las diferentes resinas.

2.3.1.2 Se excluyen los impactos ambientales del transporte, suponiendo que son similares para cada uno de los materiales y de baja magnitud relativa.

Las tres resinas vírgenes necesitan ser importadas a Chile. No contamos con información clara respecto a si ciertas resinas son importadas desde orígenes más remotos que otras, por lo que asumimos que provienen de orígenes relativamente similares. Incluso si este supuesto fuera muy lejano a la realidad, el impacto en los resultados sería acotado. De acuerdo a EcoPackaging, si la materia prima es importada desde una distancia relativamente grande (15.000 km), el impacto en emisiones de gases de efecto invernadero del transporte es aproximadamente 5% del impacto generado por la extracción de la materia prima y la elaboración de las resinas.

⁴⁹ <https://ecopackagingchile.cl/>

2.3.1.3 Se excluyen los impactos ambientales de la fabricación de las láminas y el formado de los envases

Según la información que hemos recabado, el PP y el PET tienen requerimientos de energía mayores al PAI. El mayor uso de energía se traduce de forma directa en mayores impactos ambientales, debido a un mayor consumo de combustibles fósiles. Sin embargo, no hemos logrado cuantificar estas diferencias.

En ausencia de la información necesaria, excluimos estos impactos ambientales del análisis, sabiendo que esto puede estar generando una subestimación de los impactos ambientales del PP y el PET. A diferencia del caso del transporte, no tenemos forma de identificar cuán importante podría ser este impacto en comparación con la fabricación de las resinas.

2.3.1.4 Se excluyen los impactos ambientales de los procesos de reciclaje

La herramienta EcoPackaging no cuenta con la información necesaria para incorporar este aspecto en el análisis. Sabemos que los procesos de reciclaje para cada uno de los materiales son similares (lavado, chipeado, extrusión), por lo que resulta razonable suponer que los impactos ambientales serán similares. Sin embargo, es esperable que cada una de las resinas tenga requerimientos de energía diferentes durante el proceso de extrusión.

2.3.1.5 Peso de los envases para cada uno de los materiales

Suponemos que el envase de yogurt tiene un contenido de PAI de 3,28 gramos. Este valor viene de un estudio académico publicado en una revista indexada⁵⁰.

Como se mencionó en la sección 2.2.2.1, suponemos que los envases de PP son un 10% más espesos que los de PAI, mientras que los de PET serían un 5% menos espesos que los de PAI. Por lo tanto, en base a las densidades de cada resina podemos determinar el contenido de plástico en los envases para cada material a partir del contenido de plástico de los envases de PAI (3,28 gr). La siguiente tabla detalla el contenido de plástico para el envase de cada resina.

⁵⁰ Packaging Functions and Their Role in Technical Development of Food Packaging Systems: Functional Equivalence in Yoghurt Packaging (<https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.01.063>).

Tabla 5. Peso del envase vacío, por resina

Material	Densidad	Contenido de plástico en un envase de 150 gr de yogurt
PAI	1,05 ⁵¹	3,28
PP	0,91	3,13
PET	1,35	4,01

2.3.2 Resultados a partir de la herramienta EcoPackaging

Como se indica en la subsección precedente, el análisis de los impactos ambientales analizados se centra en los impactos de la extracción de la materia prima virgen y la elaboración de las resinas plásticas. Esta es la etapa que se espera concentre la mayor parte de los impactos ambientales⁵².

Considerando el contenido de PAI, PP y PET indicado en la tabla 3 se obtuvieron los impactos ambientales de la fabricación de la resina necesaria para la producción de los envases utilizados para envasar el yogurt comercializado en Chile durante un año calendario, asumiendo que todo el consumo de PAI se destina a la venta de yogurt en envases de 150 gramos⁵³. A partir de dichos resultados se construyó la siguiente tabla que presenta los impactos de reemplazar los envases de PAI por PP o PET para toda la producción nacional.

⁵¹ Cabe destacar que el PAI puede ser sometido a un proceso que baja su densidad a aproximadamente 0.88. La mayor parte del PAI utilizado en Chile no es sometido a este proceso. Si esto cambia en el futuro, el impacto del PAI podría reducirse sustancialmente.

⁵² Debido a que los procesos de extracción y refinamiento son sustancialmente más intensivos en consumo de energía, estas etapas concentran gran parte de los impactos ambientales. De acuerdo al estudio "Growing environmental footprint of plastics driven by coal combustion", publicado en la revista Nature en 2021, la producción de la resina y todas las actividades productivas que ocurren aguas arriba de esa etapa corresponde a cerca del 96% de la huella de carbono de los plásticos a nivel mundial. (<https://doi.org/10.1038/s41893-021-00807-2>)

⁵³ Este es un supuesto simplificador que no debería tener un impacto relevante en los cálculos, puesto que el volumen total de material utilizado es el mismo (10.800 toneladas)

Tabla 6. Impactos ambientales de reemplazar PAI por PP o PET

	Reemplazo a PP		Reemplazo a PET	
	Valor absoluto	Cambio porcentual	Valor absoluto	Cambio porcentual
Consumo de agua (m3)	-50.851	-35,03%	45.230	31,16%
Emisiones GEI (ton CO2e)	8.105	18,25%	697	1,57%
Generación de residuos (ton) ⁵⁴	-152	-30,45%	95	19,02%

Vemos que el PET tiene un desempeño sustantivamente peor que el PAI en las categorías consumo de agua y generación de residuos y un desempeño similar para emisiones de gases de efecto invernadero. Por otro lado, el PP tiene un peor desempeño que el PAI para emisiones de gases de efecto invernadero, pero un mejor desempeño en lo que respecta a consumo de agua y generación de residuos. En este sentido, las estimaciones indican que el reemplazo por PET tendría un claro impacto negativo, mientras que el reemplazo por PP tiene un impacto mixto.

Cabe recordar que los resultados anteriores son una subestimación de los impactos negativos y una sobreestimación de los impactos positivos de reemplazar el PAI, en tanto no se considera el mayor consumo de energía durante el proceso de fabricación de las láminas y durante el proceso de envasado.

2.4. Recomendaciones

En conclusión, vemos que el reemplazo del PAI por PP o PET genera sustantivos costos de inversión para adaptar la infraestructura, además de importantes aumentos de los costos operativos de las empresas lácteas. A su vez, el impacto ambiental del cambio en el caso del PET es claramente negativo, mientras que en el caso del PP el impacto ambiental es mixto. Todo lo anterior mientras no se genera un cambio en la reciclabilidad del envase, puesto que, como se indicó en la primera parte de este informe, la reciclabilidad del envase en cuestión depende principalmente de la inclusión de este en las cadenas de recolección de residuos domiciliarios y la incorporación de infraestructura de lavado, no de un cambio en la resina utilizada.

Por lo tanto, se observa que los antecedentes apoyan el camino de viabilizar el reciclaje del PAI, en lugar de reemplazar dicho material por PP o PET.

⁵⁴ Es importante tener presente que esto solo incluye la generación de residuos durante la extracción de materia prima y fabricación de la resina y no incorpora los residuos de envase posconsumo. Esto en tanto el alcance definido para el análisis solo incluye esas etapas.

Anexo 1: Cálculo del impacto en costos de inversión

1. Tecnología de lavado⁵⁵

Los costos de inversión en infraestructura serían de aproximadamente \$17.000.000 para una capacidad de aproximadamente 800 toneladas anuales, lo que equivale a aproximadamente \$20.000 pesos por tonelada/año de capacidad⁵⁶.

Cabe destacar que la infraestructura de lavado para envases PAI probablemente también podría ser utilizada para el lavado de otros envases contaminados con material orgánico.

2. Reciclaje mecánico

Como se indicó previamente, en Chile esto ya se está haciendo para residuos de *scrap* industrial y la incorporación de un proceso de lavado permitiría incorporar residuos posconsumo al proceso.

3. Fabricación de láminas ABA

Las máquinas de los dos principales proveedores de láminas PAI de Chile ya tienen la capacidad para fabricar la lámina ABA y las empresas lácteas no necesitan hacer ningún cambio en sus líneas de producción para usar una lámina ABA. Por lo tanto, no hay ningún costo de inversión adicional⁵⁷.

4. Fabricación de láminas monocapa usando tecnologías de descontaminación que aseguren inocuidad alimentaria

En Chile existen al menos dos empresas que ya cuentan con este tipo de tecnología, Integrity y Coexpan. Integrity utiliza actualmente esta tecnología para la fabricación de cajas de fruta de PET exclusivamente (*clamshells*), pero podría utilizarlas para la fabricación de láminas de rPAI sin la necesidad de hacer ajustes significativos. Coexpan tiene este tipo de tecnología instalada sin usarla para procesar material reciclado. Por lo

⁵⁵ Es importante destacar que la tecnología de lavado considerada para este análisis no consiste en un sistema de lavado de hojuelas, sino en un proceso mucho más simple y con un menor costo asociado. El proceso de lavado en cuestión busca reducir la carga orgánica de los residuos de envases de yogurt mediante un lavado relativamente simple mediante centrifugado. Tal proceso de lavado permitiría introducir el residuo domiciliario en el mismo proceso de reciclado que los residuos de origen industrial, proceso que incluye su propio proceso de lavado profundo en el que, entre otras cosas, se remueve la etiqueta.

⁵⁶ La información utilizada para determinar estos valores fue provista por Junco mediante entrevista.

⁵⁷ La información utilizada para determinar estos valores fue provista por Coexpan mediante entrevista.

tanto, los costos de inversión podrían ser cero o cercanos a cero si estas empresas fuesen las que fabriquen láminas de rPAI. Sin embargo, Typack participa del mercado de las láminas de PAI con resina virgen, y no cuenta con tecnología de este tipo y tendría que hacer una inversión de aproximadamente 1.500 millones de pesos para instalarla en su planta. Esta infraestructura permitiría una capacidad de producción máxima cercana a las 3.000 toneladas anuales. Por lo tanto, el costo de generar nueva capacidad (en Typack u otra empresa) sería de aproximadamente \$500.000 por tonelada/año de capacidad. Sin embargo, si se instala nueva infraestructura, es posible que esta no sea utilizada al máximo de capacidad, en especial durante los primeros años de operación. Esto llevaría a que el costo de inversión por capacidad utilizada sea superior. Si la capacidad utilizada fuese solo de la mitad (1.500 toneladas/año) el costo de inversión por capacidad efectivamente utilizada sería \$1.000.000 por tonelada/año. En resumen, consideramos que el costo de inversión podría ser de entre \$0 y \$1.000.000 por tonelada/año.

Anexo 2: Cálculo del impacto en margen

El análisis acá realizado es agregado para toda la cadena productiva, por lo tanto, los ingresos por venta no resultan relevantes, en el entendido que los aumentos de ingresos por venta de un actor generan disminuciones de ingresos por venta de otro actor. Por lo tanto, dado que el margen corresponde a ingresos por venta menos costos de operación el impacto en margen es igual al impacto en costos operativos.

1. Tecnología de lavado

El costo de operación sería de aproximadamente \$25.000 por tonelada⁵⁸. Este es un proceso que no se realiza para los residuos industriales, por lo que implica un aumento de los costos y una consiguiente disminución de los márgenes.

2. Reciclaje mecánico

Una vez que se realiza el lavado del residuo posconsumo, el costo del proceso de reciclaje sería el mismo, por lo que no hay efectos sobre el margen por tonelada en este eslabón de la cadena productiva⁵⁹.

3. Fabricación de láminas ABA

Sin considerar la diferencia de precio entre el rPAI y el PAI virgen, el costo operacional para fabricar lámina ABA sería levemente superior al de lámina monocapa de materia prima virgen. Sin embargo, esa diferencia sería más que compensada por el menor precio del rPAI en comparación con el PAI virgen, por lo que probablemente el costo operacional

⁵⁸ La información utilizada para determinar estos valores fue provista por Junco mediante entrevista.

⁵⁹ Así lo indicó Junco durante entrevistas.

disminuiría. Sin embargo, no fue posible obtener información para estimar cuánto podría llegar a disminuir el costo operacional. De forma conservadora, hacemos el supuesto de trabajo de que el efecto agregado es neutro⁶⁰. Por lo tanto, asumimos que no hay efectos sobre el margen en este eslabón de la cadena productiva.

4. Fabricación de láminas monocapa usando tecnologías de descontaminación que aseguren inocuidad alimentaria

Los costos del proceso mismo son equivalentes a los de fabricación con PAI virgen. Sin embargo, el precio de la materia prima reciclada sería aproximadamente \$380.000 menor por tonelada que la materia prima virgen (asumiendo que el precio de venta de la hojuela de rPAI es de \$900.000 la tonelada y del PAI virgen es \$1.280.000 la tonelada). Por lo tanto, se generaría una reducción del costo operacional de \$380.000/tonelada.⁶¹ Esto a su vez implica un aumento de los márgenes de \$380.000/tonelada.

Anexo 3: Personas entrevistadas

Tabla A 1. Lista de organizaciones y personas entrevistadas

Nombre de la organización	Nombre de la persona entrevistada
Aislapol	Paulo Bravo
Asociación Nacional de la Industria del Reciclaje (ANIR)	Antonia Biggs
Asociación Gremial de Industriales del Plástico (ASIPLA)	Magdalena Balcells
Carvajal Empaques - Colombia	Mauricio Martínez
Coexpan	Cristián Miquel
Colun	Claudio Hermosilla y Sebastián Cautín
Comberplast	Michel Compagnon
Darnel - Colombia	Kathe Arenas
Desafío Ambiente	María José Vargas y Daniela Saavedra
Gneuss	Andrés Grünnewald
Indaver - Bélgica	Korneel Van Aelst
Junco	Gonzalo Pérez
Resirene - México	Martin Hernández
SOPROLE	Fernanda Lozier y Gloria Garín
Triciclos	Paula Rey
Typack	Felipe Dutilh
WRAP - Reino Unido	Roy Cox

⁶⁰ La información utilizada para determinar estos valores fue provista por Coexpan mediante entrevista.

⁶¹ La información utilizada para determinar estos valores fue provista por Junco, Gneuss y Coexpan mediante entrevista.

Desarrollado por:



PACTO
CHILENO
DE LOS
PLÁSTICOS