

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RAFAELA
MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS

**Sustentabilidad en envases flexibles de leche en polvo en
Argentina: Análisis de la situación actual y propuestas de
innovación**

Alumno: Lic. LEONARDO RUSCH

Director: Lic. Mg. MARIO GARRAPPA

RAFAELA, SANTA FE, ARGENTINA

2026

Agradecimientos

Expreso mis agradecimientos, en primer lugar, a mi familia. A mi esposa, Julieta, y a mis hijos, Juani y Euge, por su amor, su paciencia y por el aguante incondicional durante todo este camino; ellos son el pilar de éste logro.

A mi director de tesis, Mario, por su generosidad al no escatimar tiempo ni conocimientos para guiarme en este proceso. Su aporte fue fundamental para la culminación de este trabajo.

Finalmente, agradezco a todos los profesores y compañeros que tuve a lo largo de la Maestría. De cada uno de ellos me llevo aprendizajes, experiencias y sobre todo el compañerismo de grandes personas y colegas.

Agradecimientos.....	2
Glosario.....	5
Resumen.....	7
Introducción y justificación de la temática seleccionada.....	8
Antecedentes.....	10
Objetivo general:	13
Objetivos específicos:.....	13
Marco conceptual.....	14
Definición y función de los envases en la industria alimentaria.....	14
Envases flexibles: características y tipologías.....	15
Materiales y requerimientos técnicos del envase alimentario.....	16
Envases flexibles para leche en polvo.....	17
Plásticos, packaging e impacto ambiental en Argentina.....	17
Marco ambiental y regulatorio.....	18
Sustentabilidad en envases: enfoque conceptual.....	19
Estrategias y tendencias en envases flexibles sustentables.....	19
Implicancias para los envases de leche en polvo.....	20
Metodología de la investigación.....	21
CAPÍTULO 1. Caracterización de los envases flexibles de uso actual para el envasado de leche en polvo en Argentina.....	24
Análisis del proceso de fabricación de envases flexibles para el envasado de leche en polvo en Argentina.....	30
CAPÍTULO 2: Necesidades y desafíos en envases de leche en polvo.....	39
2.1 Requerimientos técnicos y funcionales de los envases actuales.....	39
2.2 Formatos, volúmenes y lógica comercial.....	40
2.3 Gestión del scrap y situación actual de los residuos de envases.....	41
2.4 Tendencias y motivaciones del sector hacia la sustentabilidad.....	42
2.5 El sistema de reciclaje en Argentina: capacidades y limitaciones.....	43
2.6 Marco regulatorio y perspectivas hacia el futuro.....	45
CAPÍTULO 3: Identificación, descripción y evaluación comparativa de las estructuras propuestas.....	47
3.1 Contexto: experiencias de implementación de envases sostenibles.....	47
3.2 Descripción de las estructuras actuales y sus limitaciones ambientales.....	48
3.3 Alternativas propuestas: descripción técnica y ambiental detallada.....	49
Estructura propuesta N°1: Trilaminado biodegradable (PET cristal biodegradable + PET metalizado biodegradable + PEBD).....	49
Estructura propuesta N°2: Trilaminado con PET de contenido reciclado postconsumo (PET cristal PCR + PET metalizado biodegradable + PEBD).....	50
Estructura propuesta N°3: Envase monomaterial de polietileno de siete capas con EVOH.....	52
3.4 Análisis comparativo de costos.....	54
3.5 Evaluación de factibilidad integral: técnica, económica y ambiental.....	55
Propuesta N°1 — Trilaminado biodegradable.....	55
Propuesta N°2 — Trilaminado con PET PCR.....	56
Propuesta N°3 — Monomaterial de PE de siete capas.....	56

3.6 Barreras para la adopción y estrategia de transición.....	57
Barreras regulatorias.....	57
Barreras económicas.....	57
Hacia una estrategia de transición.....	58
Conclusiones.....	60
Referencias bibliográficas.....	62
Anexo N°1.....	68
Anexo N°2.....	74
Anexo N°3.....	75

Glosario

ACV: Análisis de ciclo de vida

AFFINITY™ PL1881: nombre comercial de resina de plastómero de poliolefina basada en un copolímero de etileno y un octeno, fabricada mediante catálisis de sitio único (metaloceno) por *The Dow Chemical Company*.

ANMAT: Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica

BOPP: Polipropileno Biorientado

CO₂: Dióxido de Carbono

CAA: Código Alimentario Argentino

ELITE™ AT6900: Nombre comercial de resina de polietileno mejorado de densidad media y alto desempeño, desarrollada por *The Dow Chemical Company*.

EVOH: Copolímero de Etilén-Vinil-Alcohol

GEI: Gases de Efecto Invernadero

GMC: Grupo Mercado Común

INNATE™ ST100: nombre comercial de resina de polietileno de precisión para empaques de alto rendimiento físico, desarrollada por *The Dow Chemical Company*.

INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

INTI: Instituto Nacional de Tecnología Industrial

LDPE / PEBD: Polietileno de Baja Densidad

LLDPE / PEBDL: Polietileno Lineal de Baja Densidad

O₂: Oxígeno

OTR: Oxygen Transmission Rate / Tasa de Transmisión de Oxígeno

PCR: Post-Consumer Recycled / Plástico Reciclado Post-Consumo

PE: Polietileno

PEAD / HDPE: Polietileno de Alta Densidad

PET: Polietileno Tereftalato

PET Metalizado: Polietileno Tereftalato Metalizado

PLA: Ácido Poliláctico

PP: Polipropileno

PS: Poliestireno

PVC: Policloruro de Vinilo

REP: Responsabilidad Extendida del Productor

SB 54: California Senate Bill 54: Ley de Responsabilidad Extendida del Productor y
Prevención de la Contaminación por Plásticos, aprobada en California, EE. UU.

TRVA / WVTR: Tasa de Transmisión de Vapor de Agua

VFFS: Vertical Form-Fill-Seal / Formado, Llenado y Sellado Vertical

Resumen

La presente tesis analiza los envases flexibles utilizados para el envasado de leche en polvo en Argentina, con el objetivo de evaluar alternativas de envases sustentables, entendiendo la sustentabilidad como la integración de criterios ambientales, económicos y técnicos en el diseño de packaging.

La investigación adopta un enfoque metodológico mixto, combinando análisis documental con la realización de nueve entrevistas semiestructuradas a actores clave de la industria láctea, fabricantes de envases y organismos científico-tecnológicos de la región de Rafaela (INTA, INTI y empresas del sector).

En primer lugar, se caracteriza la estructura y composición de los envases actualmente utilizados, identificándose el predominio de materiales multilaminados (poliéster, aluminio y polietileno), cuya principal limitación radica en su baja reciclabilidad.

En segundo lugar, se identifican y analizan alternativas de envases sustentables, destacándose tres opciones principales: una estructura con materiales biodegradables, otra que contiene material reciclado postconsumo y por último una estructura monomaterial de polietileno (PE) de siete capas, con potencial de reciclabilidad en corrientes existentes.

Posteriormente, se realiza una evaluación comparativa de las alternativas identificadas en términos de desempeño técnico, costos y potencial de reciclabilidad.

Los resultados indican que la estructura monomaterial de polietileno constituye la alternativa más adecuada, al combinar viabilidad técnica, competitividad económica y mejora en la reciclabilidad, lo que reduce el impacto ambiental del envase en su ciclo de vida.

Se concluye que la transición hacia envases reciclables es técnicamente posible y económicamente viable, aunque requiere ajustes operativos y un entorno regulatorio que favorezca su adopción. En este sentido, la solución propuesta representa una alternativa concreta para avanzar hacia un modelo de packaging más sustentable en la industria láctea.

Introducción y justificación de la temática seleccionada.

En las últimas décadas, la industria láctea argentina ha experimentado un proceso de creciente concentración y especialización, consolidándose como un actor relevante en el mercado internacional, particularmente en la producción y exportación de leche en polvo. Estas transformaciones han permitido incrementar los volúmenes de procesamiento y mejorar la competitividad del sector, posicionando al país entre los principales exportadores a nivel global.

En este contexto, el envase adquiere un rol estratégico, no solo como elemento de contención y conservación del producto, sino también como componente clave en la eficiencia productiva, la logística y el impacto ambiental asociado a la cadena de valor.

En la presente tesis, la sustentabilidad del envase se entiende como la capacidad de un sistema de packaging de integrar de manera equilibrada tres dimensiones: ambiental (reducción del impacto y mejora en la reciclabilidad), económica (costos competitivos y estabilidad en el abastecimiento) y técnica (cumplimiento de los requisitos funcionales e industriales). Esta definición constituye el eje conceptual del trabajo y orienta el análisis de las alternativas evaluadas.

De acuerdo con datos del Observatorio de la Cadena Láctea Argentina (OCLA, 2025), el 28,5 % del total de leche producido por el país en el año 2025 tuvo como destino la producción de leche en polvo (entera y descremada). Este producto representó más de un tercio del total de ventas externas de la cadena láctea siendo Brasil y Argelia los principales destinos durante el año 2025.

Asimismo, las proyecciones internacionales indican una tendencia creciente en la demanda global, particularmente en el segmento de leche descremada en polvo, lo que refuerza la relevancia estratégica de este producto para la economía nacional (Observatorio de la Cadena Láctea Argentina, 2025).

Actualmente, la comercialización de leche en polvo se realiza mayoritariamente mediante envases flexibles multilaminados, en formatos de 400 g y 800 g, compuestos por combinaciones de poliéster, aluminio y polietileno. Estas estructuras permiten garantizar las propiedades de barrera necesarias para preservar la calidad e inocuidad del producto durante su vida útil. Sin embargo, presentan limitaciones significativas en

términos de sustentabilidad, especialmente en su dimensión ambiental, debido a la dificultad para su reciclado y recuperación una vez finalizado su uso.

A esta problemática se suma la dependencia de insumos importados para la fabricación de estos materiales, lo que introduce volatilidad en los costos y condiciona la competitividad de la industria. Asimismo, tanto el residuo generado en la etapa de consumo como el scrap producido durante los procesos industriales contribuyen al incremento del impacto ambiental asociado al packaging.

En este marco, la necesidad de avanzar hacia envases más sustentables se vuelve cada vez más relevante. La problemática ambiental ha adquirido una dimensión global, impulsando a organismos internacionales, gobiernos y empresas a promover modelos de producción y consumo más responsables. En esta línea, la Agenda 2030 de las Naciones Unidas establece objetivos vinculados a la producción sostenible, la reducción de residuos y la transición hacia economías circulares (Organización de las Naciones Unidas, 2015) .

En paralelo, se observa un cambio en las preferencias de los consumidores, quienes valoran crecientemente el impacto ambiental de los productos que adquieren. Este fenómeno, sumado a la evolución de los marcos regulatorios, genera incentivos para que las empresas incorporen criterios de sustentabilidad en el diseño de sus envases.

Desde el punto de vista tecnológico, el desafío radica en desarrollar soluciones que mantengan las propiedades funcionales requeridas -principalmente barreras frente a la humedad, el oxígeno y la luz- sin comprometer la reciclabilidad ni incrementar significativamente los costos. En este sentido, el diseño de envases implica resolver tensiones entre desempeño técnico, impacto ambiental y viabilidad económica.

A partir de lo expuesto, la presente investigación se enfoca en el análisis de los envases flexibles utilizados para el envasado de leche en polvo en Argentina, con el propósito de evaluar alternativas que permitan mejorar su desempeño en términos de sustentabilidad.

El trabajo se justifica, en primer lugar, por su relevancia ambiental y social, dado que busca contribuir a la reducción del impacto generado por los residuos de envases, tanto en etapas domiciliarias como industriales. En segundo lugar, presenta una justificación tecnológica, al analizar la viabilidad de nuevas estructuras de materiales y su aplicación en procesos productivos existentes. Finalmente, posee una justificación

económica, al evaluar los costos asociados a las alternativas propuestas y su impacto potencial en la competitividad de la industria.

En este sentido, la investigación tiene como finalidad generar conocimiento aplicado que permita identificar, evaluar y proponer alternativas de envases flexibles más sustentables, que resulten técnicamente viables, económicamente competitivas y ambientalmente superadoras respecto a las soluciones actualmente utilizadas.

Si bien el análisis se centra en el caso argentino, los resultados adquieren relevancia en un contexto más amplio, dado que la problemática abordada es común a otros países productores de leche en polvo, especialmente aquellos que enfrentan el desafío de compatibilizar la eficiencia productiva con la transición hacia modelos de producción más sustentables.

Antecedentes

La creciente presión ambiental y la necesidad de avanzar hacia modelos de producción y consumo más responsables han posicionado a la sustentabilidad del packaging como un desafío central para la industria alimentaria a nivel global. En este contexto, el diseño de envases enfrenta el reto de compatibilizar desempeño técnico, viabilidad económica y reducción del impacto ambiental, en línea con los principios de sustentabilidad y economía circular promovidos internacionalmente.

En el caso de la leche en polvo, este desafío adquiere particular relevancia debido a las exigencias técnicas propias del producto. Se trata de un alimento de larga vida útil que requiere envases con elevadas propiedades de barrera frente a la humedad, el oxígeno y la luz, a fin de preservar su calidad e inocuidad durante el almacenamiento y la distribución. Estas condiciones han llevado históricamente al uso de envases flexibles multilaminados, compuestos por distintas combinaciones de polímeros -como polietileno (PE) y poliéster (PET)- y, en muchos casos, aluminio.

Si bien estas estructuras responden adecuadamente a los requerimientos funcionales y de conservación del producto, presentan importantes limitaciones desde el punto de vista ambiental. La complejidad de los materiales que las componen dificulta significativamente su reciclado, ya que la separación de las distintas capas resulta técnica y económicamente inviable en gran parte de los sistemas actuales de gestión de residuos. Como consecuencia, una proporción considerable de estos envases

termina en disposición final o incineración, contribuyendo a la generación de residuos de difícil valorización.

Frente a esta problemática, la agenda internacional en materia de packaging se ha orientado hacia tres grandes líneas de innovación: la reducción de materiales, el diseño para la reciclabilidad y el desarrollo de materiales alternativos. Iniciativas globales vinculadas a la nueva economía de los plásticos han impulsado a empresas, gobiernos y organizaciones a establecer metas orientadas a que los envases sean reutilizables, reciclables o compostables (Ellen MacArthur Foundation, 2018), promoviendo una transición hacia esquemas de producción más circulares.

Dentro de este marco, una de las estrategias más relevantes ha sido el desarrollo de envases monomateriales, particularmente a partir de polietileno. Estas soluciones buscan reemplazar las estructuras multilaminadas por configuraciones capaces de mantener las propiedades funcionales necesarias y, al mismo tiempo, integrarse a las corrientes de reciclaje existentes. Diversas experiencias internacionales evidencian avances concretos en este sentido, con el desarrollo de envases flexibles reciclables de alta barrera para productos en polvo, lo que demuestra la viabilidad técnica de estas alternativas en determinados segmentos de mercado.

En paralelo, también se ha intensificado la investigación en materiales biodegradables y de origen renovable, incluyendo biopolímeros y recubrimientos elaborados a partir de almidón, celulosa o proteínas. Al respecto, European Bioplastics (2023) señala que el sector del packaging lidera el mercado global de estos materiales con un 43% de la participación total, proyectando que la capacidad de producción mundial se triplicará en los próximos cinco años. No obstante, su aplicación en productos como la leche en polvo enfrenta aún limitaciones importantes, principalmente asociadas a sus propiedades de barrera, costos de producción, escalabilidad industrial y disponibilidad de infraestructura adecuada para el tratamiento al final de la vida útil.

Asimismo, otras soluciones tradicionales, como los envases metálicos, continúan siendo utilizadas debido a su elevada reciclabilidad y capacidad de protección del producto. Sin embargo, su utilización se encuentra condicionada por factores económicos, logísticos y de costo relativo frente a otras alternativas. De este modo, las distintas opciones disponibles implican *trade-offs* entre dimensiones técnicas, ambientales y económicas, lo que refuerza la necesidad de realizar evaluaciones integrales al momento de seleccionar materiales y configuraciones de envases.

En los últimos años también comenzaron a consolidarse metodologías específicas orientadas al diseño de envases compatibles con los sistemas de reciclaje existentes. Entre ellas se destacan los lineamientos impulsados por RecyClass¹, organización que propone criterios técnicos de “diseño para reciclabilidad” basados en principios como la priorización de estructuras monomateriales, la reducción de componentes incompatibles, la minimización de materiales barrera y la incorporación de contenido reciclado. Estas metodologías constituyen una referencia creciente para el desarrollo de envases plásticos más compatibles con esquemas de economía circular y reciclaje mecánico.

En este sentido, distintos criterios promovidos internacionalmente recomiendan minimizar la utilización de materiales múltiples dentro de una misma estructura, reducir la cobertura de impresión sobre los envases, limitar el uso de barnices y primers, y priorizar combinaciones de materiales compatibles entre sí desde el punto de vista del reciclaje (RecyClass, 2022). Del mismo modo, se destaca la importancia de reducir la proporción de materiales barrera complejos y fomentar el uso de contenido reciclado como mecanismo de fortalecimiento de los mercados circulares de materiales (The Association of Plastic Recyclers, 2023).

Otro aspecto emergente en la literatura especializada es la creciente preocupación por la posible migración de microplásticos desde ciertos tipos de envases hacia los alimentos, lo que incorpora una dimensión adicional vinculada a la salud humana (EFSA, 2025) y refuerza la necesidad de revisar los materiales utilizados desde una perspectiva más amplia e integral.

En el contexto argentino, la sustentabilidad aplicada al packaging ha adquirido creciente relevancia tanto en el ámbito científico-tecnológico como en el sector productivo. Organismos como el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) han impulsado investigaciones vinculadas al desarrollo de bioplásticos a partir de residuos agroindustriales, incluyendo subproductos de la cadena láctea, con el objetivo de reducir la dependencia de polímeros de origen fósil y generar alternativas de mayor valor agregado.

Por su parte, algunas empresas del sector alimentario han comenzado a incorporar criterios de sustentabilidad en sus estrategias de packaging, principalmente mediante

¹ ONG surgida de la iniciativa conjunta de grandes y pequeñas empresas fabricantes de envases, convertidores, productores de materias primas y recicladores de toda la CEE (www.recyclclass.eu)

la reducción del gramaje de los envases, la utilización de materiales reciclables y la incorporación de contenido reciclado. Sin embargo, en el segmento específico de leche en polvo, la adopción de soluciones alternativas continúa siendo limitada, lo que evidencia un espacio de oportunidad para el desarrollo y evaluación de nuevas propuestas adaptadas a las condiciones técnicas y productivas locales.

A nivel regional e internacional, la evidencia disponible muestra avances en la implementación de envases reciclables y en la sustitución de estructuras multilaminadas por configuraciones monomateriales, así como experiencias en el desarrollo de soluciones compostables para aplicaciones específicas. No obstante, los antecedentes analizados sugieren que no existe una solución única para el desafío de la sustentabilidad en envases de leche en polvo, sino que la elección del material y de la estructura más adecuada depende de la capacidad de equilibrar simultáneamente requerimientos técnicos, económicos y ambientales.

En este contexto, se identifica una brecha de conocimiento aplicada al caso argentino, particularmente en relación con la evaluación comparativa de alternativas de envases flexibles para leche en polvo que integren criterios de sustentabilidad de manera simultánea. La presente investigación se inscribe en este vacío, proponiendo un análisis que articula la caracterización de los envases actualmente utilizados con la identificación y evaluación de alternativas técnicamente viables y ambientalmente más sustentables para su eventual reemplazo.

Objetivo general:

Analizar los envases flexibles utilizados para el envasado de leche en polvo en Argentina, desde una perspectiva técnica, económica y ambiental, con el fin de identificar y evaluar alternativas sustentables viables para su implementación en la industria nacional.

Objetivos específicos:

- Caracterizar la composición y el proceso de fabricación de los envases flexibles actualmente utilizados para el envasado de leche en polvo en Argentina.
- Analizar las limitaciones de sustentabilidad de los envases actuales, especialmente en términos de reciclabilidad e impacto ambiental.

- Identificar y sistematizar alternativas de envases flexibles sustentables, considerando desarrollos tecnológicos y tendencias del sector.
- Evaluar comparativamente las alternativas identificadas en términos de desempeño técnico, costos y potencial de reciclabilidad.
- Analizar la viabilidad de implementación de la alternativa seleccionada en el contexto industrial argentino.

Marco conceptual

El presente apartado tiene como finalidad establecer el marco conceptual que sustenta el desarrollo de la investigación, delimitando los principales conceptos, categorías analíticas y dimensiones relevantes para el estudio de los envases flexibles utilizados en el envasado de leche en polvo. Se abordan a continuación las definiciones fundamentales vinculadas al packaging, sus funciones dentro de la cadena alimentaria y las características específicas de los envases flexibles, con especial énfasis en aquellos utilizados como envase primario en productos en polvo.

Asimismo, el capítulo incorpora el análisis del rol de los materiales plásticos y su impacto ambiental, junto con el contexto regulatorio y las principales tendencias en materia de sustentabilidad aplicadas al diseño de envases. En línea con la definición adoptada en esta tesis, la sustentabilidad es entendida como la integración de dimensiones técnicas, económicas y ambientales, lo que permite estructurar el análisis de las distintas alternativas de packaging. De este modo, el marco conceptual proporciona los elementos necesarios para comprender el problema de investigación y fundamentar la evaluación de soluciones más sustentables en los capítulos siguientes.

Definición y función de los envases en la industria alimentaria

Los envases constituyen un componente central en la cadena de valor de los alimentos. De acuerdo con Coles, McDowell y Kirwan (2004), se definen como “todo producto fabricado con materiales de cualquier naturaleza destinado a contener, proteger, manipular, distribuir y presentar mercancías en las distintas etapas de producción, comercialización y consumo”.

En el ámbito alimentario, el envase cumple funciones críticas que exceden la mera contención física. Entre sus principales atributos se destacan la protección del producto, la preservación de su calidad e inocuidad, la comunicación de información al consumidor y su rol en la diferenciación comercial. En este sentido, el envase se

configura como un elemento que integra dimensiones técnicas, económicas y de marketing.

Desde el punto de vista funcional, el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI, 2012) clasifica los envases en tres niveles:

- Envase primario, en contacto directo con el alimento
- Envase secundario, que agrupa unidades sin contacto directo
- Envase terciario, destinado al transporte y almacenamiento

La presente investigación se centra específicamente en el envase primario, dado que es el que interactúa directamente con la leche en polvo y condiciona tanto su conservación como su impacto ambiental.

Envases flexibles: características y tipologías

Dentro de las distintas categorías de envases, los envases flexibles se caracterizan por su capacidad de adaptarse a la forma del producto contenido. Están compuestos por materiales como plásticos, papel o aluminio, lo que permite su plegado, enrollado y almacenamiento eficiente.

Su utilización en la industria alimentaria se ha expandido significativamente debido a una serie de ventajas comparativas. En primer lugar, ofrecen propiedades de barrera frente a la humedad, el oxígeno y la luz, fundamentales para productos sensibles como la leche en polvo. En segundo lugar, su bajo peso reduce costos logísticos y mejora la eficiencia en el transporte. Asimismo, permiten un alto grado de versatilidad en el diseño y la comunicación comercial.

En función de su estructura, los envases flexibles pueden clasificarse en:

- Monolaminas: compuestos por un único material
- Laminados: integrados por dos capas de materiales diferentes
- Trilaminados: estructuras de tres capas que incorporan una capa adicional de barrera o rigidez
- Multilaminados: configuraciones más complejas, utilizadas en aplicaciones específicas

La combinación de materiales en estructuras multicapa responde a la necesidad de cumplir simultáneamente múltiples funciones técnicas (FABEN,1998). Sin embargo,

esta misma complejidad constituye una de sus principales limitaciones en términos de sustentabilidad, particularmente en lo referido a su reciclabilidad.

Materiales y requerimientos técnicos del envase alimentario

Los materiales más utilizados en envases flexibles incluyen polietileno (PE), polipropileno (BOPP), poliéster (PET), aluminio, poliamidas y biopolímeros como el ácido poliláctico (PLA), entre otros. La selección de estos materiales depende de las propiedades requeridas para cada aplicación.

Según la Cámara Argentina de la industria de reciclados plásticos, se pueden citar siete categorías. Esta identificación corresponde a la norma IRAM 13700 (Figura 1)

Figura 1 - Categorías de plásticos según norma IRAM 13700



Fuente: recuperado de <https://cairplas.org.ar/plasticos-reciclables/>

Estas siglas son importantes en el marco de esta investigación, pues resultan en conceptualizaciones axiales en el estudio.

En el caso de los alimentos, el envase debe cumplir con exigencias específicas que garanticen la seguridad y calidad del producto. Entre los principales requerimientos se destacan:

- Inocuidad: ausencia de migración de sustancias tóxicas
- Propiedades de barrera: protección frente a humedad, gases y luz
- Resistencia mecánica: capacidad de soportar condiciones de transporte y manipulación
- Estabilidad: resistencia a factores físicos y químicos
- Operacionalidad: compatibilidad con procesos industriales de envasado
- Conveniencia: facilidad de uso para el consumidor
- Viabilidad económica: costos compatibles con la producción

En este sentido, el diseño de envases implica la necesidad de equilibrar múltiples variables, lo que convierte a la selección de materiales en un proceso complejo que integra criterios técnicos, económicos y operativos (FABEN,1998).

Envases flexibles para leche en polvo

La leche en polvo es un producto que requiere condiciones específicas de conservación, particularmente en lo referido a la protección frente a la humedad, el oxígeno y la luz. Por este motivo, en Argentina se utilizan predominantemente envases flexibles multilaminados, en formatos de entre 400 y 800 gramos.

Estas estructuras combinan materiales como poliéster, aluminio y polietileno, logrando altos niveles de desempeño técnico. Sin embargo, presentan dificultades en su gestión al final de su vida útil, debido a la imposibilidad de separar sus componentes de manera eficiente.

En consecuencia, el análisis de estos envases requiere considerar no sólo su funcionalidad técnica, sino también su desempeño en términos de sustentabilidad, particularmente en relación con su impacto ambiental y su potencial de reciclabilidad.

Plásticos, packaging e impacto ambiental en Argentina

El uso de materiales plásticos ha crecido de manera sostenida en las últimas décadas, consolidándose como un insumo estratégico para múltiples sectores productivos, particularmente para la industria del packaging. En Argentina, este fenómeno adquiere especial relevancia: según datos de la Cámara Argentina de la Industria Plástica (CAIP, 2024), el consumo anual alcanza aproximadamente 32,5 kg por habitante, posicionando al país entre los de mayor consumo relativo de América Latina.

Para abastecer esta demanda, en el país se producen más de 1.261.158 toneladas anuales de materiales plásticos y se importan alrededor de 673.000 toneladas adicionales. A su vez, se exportan aproximadamente 535.000 toneladas, configurando un mercado interno cercano a 1.399.000 toneladas consumidas durante 2024, volumen que representa una caída del 28% respecto al año anterior (CAIP, 2024).

Dentro de este universo, el sector del packaging constituye el principal destino de utilización de materiales plásticos, concentrando alrededor del 45,5% del total consumido, muy por encima de otros sectores relevantes como la construcción, que representa cerca del 13% (CAIP, 2024). Entre los materiales de mayor utilización se

destacan el PEBD y PEAD (polietileno de baja y alta densidad), con aproximadamente 625.000 toneladas anuales, seguidos por el BOPP (polipropileno) con 245.000 toneladas y el PET (poliéster) con 189.000 toneladas (CAIP, 2024). Tanto el PEBD como el PET son actualmente utilizados en Argentina para el envasado de leche en polvo, entre otras aplicaciones vinculadas a envases flexibles.

Si bien el reciclado de plásticos ha mostrado avances en los últimos años, su desarrollo continúa enfrentando limitaciones estructurales relacionadas con la recolección, clasificación y procesamiento de residuos. Estas dificultades se profundizan particularmente en el caso de los envases flexibles multilaminados, cuya composición compleja dificulta su valorización y reciclabilidad, incrementando la proporción de residuos destinados a disposición final.

En este contexto, el impacto ambiental del packaging no depende únicamente del volumen de materiales consumidos, sino también de las características de diseño y composición de los envases utilizados. Esta situación refuerza la necesidad de abordar la problemática desde una perspectiva integral que contemple simultáneamente aspectos técnicos, económicos y ambientales.

Marco ambiental y regulatorio

La problemática asociada a los residuos plásticos ha impulsado la adopción de marcos regulatorios orientados a promover una gestión más eficiente y sustentable de los materiales.

A nivel conceptual, estos marcos se estructuran en torno a principios como la economía circular, que propone reducir, reutilizar y reciclar los materiales, y la responsabilidad extendida del productor, que asigna a los fabricantes un rol activo en la gestión del ciclo de vida de los productos.

En Argentina, si bien el marco normativo específico se encuentra en desarrollo, se observan avances en iniciativas orientadas a promover la reducción de residuos y el incremento del reciclado, así como en la incorporación de certificaciones vinculadas al contenido de material reciclado (ECOPLAS, 2022).

En el plano internacional, las regulaciones han avanzado con mayor rapidez. La Unión Europea, por ejemplo, ha establecido objetivos concretos para que los envases sean reutilizables o reciclables hacia el año 2030 (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2025), mientras que en Estados Unidos algunas jurisdicciones han

fijado metas de reducción y reciclabilidad para envases de un solo uso destacándose marcos estatales pioneros como la Ley SB 54 de California (California Legislative Information, 2022).

Estas tendencias regulatorias generan un nuevo entorno competitivo, en el cual la sustentabilidad del envase deja de ser un atributo deseable para convertirse en una condición creciente de acceso a mercados.

Sustentabilidad en envases: enfoque conceptual

En el marco de esta investigación, la sustentabilidad aplicada al packaging se entiende como la capacidad de un envase de cumplir su función técnica, ser económicamente viable y minimizar su impacto ambiental a lo largo de su ciclo de vida.

Este enfoque implica superar una visión centrada exclusivamente en el material, para adoptar una perspectiva sistémica que contemple todas las etapas: producción, uso y disposición final.

Una herramienta clave en este análisis es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), que permite evaluar los impactos ambientales asociados a un producto en cada una de sus etapas, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final. Este enfoque resulta fundamental para evitar soluciones parciales que reduzcan impactos en una etapa pero los incrementan en otra.

Desde esta perspectiva, un envase sustentable debe cumplir con tres condiciones principales:

- Desempeño técnico adecuado, garantizando la conservación e inocuidad del producto
- Viabilidad económica, permitiendo su adopción a escala industrial
- Mejora en el desempeño ambiental, especialmente en términos de reducción de residuos y reciclabilidad

Estrategias y tendencias en envases flexibles sustentables

A nivel global, el desarrollo de envases sustentables se ha orientado hacia distintas estrategias, que buscan mejorar el desempeño ambiental sin comprometer la funcionalidad del envase.

Una de las principales líneas de trabajo es el diseño para la reciclabilidad, que promueve la simplificación de estructuras, reducción de espesores y la utilización de monomateriales (CEFLEX, 2020), facilitando su procesamiento en corrientes de reciclaje existentes.

Otra estrategia relevante es la incorporación de material reciclado postconsumo (PCR), que permite reducir la demanda de materias primas vírgenes, aunque su aplicación en envases alimentarios presenta restricciones asociadas a la disponibilidad y a los requisitos sanitarios dado que no debe estar en contacto con el alimento, sino usarse en capas exteriores por ejemplo.

En paralelo, se desarrollan materiales biodegradables y compostables, diseñados para degradarse en condiciones específicas. Si bien estas alternativas presentan ventajas en determinados contextos, su implementación a gran escala enfrenta desafíos técnicos, económicos y de infraestructura.

Asimismo, el diseño del envase adquiere un rol central, a través de la reducción del gramaje, la optimización del uso de materiales y la mejora en la eficiencia logística, lo que contribuye a disminuir tanto los costos como el impacto ambiental.

En este sentido, el concepto de packaging sustentable no se limita a la elección de materiales, sino que implica una reconfiguración integral del diseño del envase, orientada a mejorar su desempeño en todas las dimensiones consideradas.

Implicancias para los envases de leche en polvo

En el caso específico de la leche en polvo, la transición hacia envases más sustentables presenta desafíos particulares, debido a las exigencias técnicas del producto y a las restricciones normativas en materia de seguridad alimentaria.

Actualmente, en Argentina predominan estructuras multilaminadas que cumplen adecuadamente con los requisitos de conservación, pero presentan limitaciones en términos de reciclabilidad. La adopción de alternativas sustentables requiere, por lo tanto, identificar soluciones que permitan mantener el desempeño técnico, garantizar la viabilidad económica y mejorar el comportamiento ambiental del envase.

En este contexto, se destacan como líneas de desarrollo relevantes tanto las estructuras monomateriales reciclables como ciertas alternativas basadas en

materiales biodegradables y reciclados postconsumo, cuya evaluación comparativa constituye uno de los ejes centrales de la presente investigación.

Metodología de la investigación

Para el cumplimiento de los objetivos planteados, se utilizó un método de investigación mixto o combinado, adoptando elementos de los enfoques cuantitativo y cualitativo

En primer lugar se realizó un análisis de la composición y el proceso de fabricación de los envases flexibles actualmente utilizados para el envasado de leche en polvo en Argentina en sus formatos de 400 y 800 gramos. La selección de este tipo de envases radica en que se trata de los formatos de uso mayoritario para la comercialización de este producto en el mercado doméstico y en los destinos de exportación con mayor valor agregado.

El trabajo de investigación incluyó una etapa de entrevistas con actores relacionados al objeto de estudio, entre los que se incluyen técnicos de empresas que fabrican envases flexibles de Rafaela y personal de las empresas lácteas de la ciudad y la región que envasan leche en polvo.

En estas primeras etapas de la investigación, predominó la adopción de un enfoque cualitativo, en búsqueda de conocer los tipos de envases utilizados actualmente y de la existencia de alternativas de envases flexibles sustentables que pudieran resultar potencialmente sustitutas a los mismos.

Para dar cumplimiento al objetivo de describir el proceso de fabricación de envases flexibles, se utilizó un tipo de investigación descriptiva, de tipo transversal, comenzando por realizar un diagnóstico respecto a la situación actual en lo que refiere al packaging predominante. En este apartado se utilizaron fuentes primarias de datos, procedentes de entrevistas a fabricantes de envases, personal calificado de las empresas lácteas que envasan leche en polvo en la ciudad de Rafaela y profesionales dependientes de entidades sectoriales de ciencia y tecnología.

El análisis incluyó un recorrido con información técnica relacionada a envases y embalajes alimenticios, resultante de investigaciones realizadas por referentes del tema, reportes de la industria, datos estadísticos y bibliografía especializada.

Se realizaron en total 9 entrevistas, guiadas a partir de un cuestionario semiestructurado de preguntas (Ver anexo 1). Para la elaboración de esta guía de

entrevistas, se adoptó la metodología propuesta por Crozier y Friedberg (1999). Entre los informantes consultados se incluyó principalmente a personal técnico de Faben S.A, una empresa especializada en el diseño, desarrollo, producción y venta de envases flexibles, cuya planta industrial se encuentra localizada en la ciudad de Rafaela.

A su vez, se entrevistó a personal de la Gerencia Operativa de Desarrollo Tecnológico e Innovación del INTI Lácteos, sede Rafaela, a profesionales del Departamento de Valorización de Subproductos, dependiente de la citada Gerencia y a miembros del equipo técnico del área Calidad de Leche y Agroindustria de la Estación Experimental Agropecuaria INTA Rafaela. De manera complementaria, se entrevistó a personal de las áreas técnicas y de producción de empresas lácteas de la región .

Las categorías de análisis abordadas en las entrevistas incluyeron aspectos técnicos relacionados a la tipología de envases predominantes para el envasado de leche en polvo, requisitos técnicos y funcionales que deben cumplir dichos envases, consideraciones asociadas a la calidad del producto, alternativas de materiales disponibles, costos de provisión, factibilidad de suministro y exigencias medioambientales actuales y/o previstas a futuro en lo que refiere al envasado de la producción para el consumo interno y los mercados de exportación.

A partir de esta información, se exploraron e identificaron alternativas sustentables. En particular, se trabajó en la identificación de alternativas de envases flexibles que reúnan los requisitos exigidos para la industria alimenticia en lo que refiere a sanidad, seguridad alimentaria y capacidades de preservación del alimento, que además resulten más amigables con el ambiente (sustentables).

Las alternativas identificadas fueron sometidas a un proceso de costeo directo, con el objetivo de elaborar un análisis comparativo de los costos asociados a la producción de dichos envases, en comparación con los envases flexibles convencionales.

En este sentido, el estudio se centró en primer lugar en la evaluación de costos, considerando los gastos directamente atribuibles a la producción de cada opción de envase, dado que se trata de un componente crítico en la formación del precio del producto final y su relación con la rentabilidad empresarial.

Para llevar a cabo este análisis, se consideraron diversas clasificaciones económicas, siguiendo las directrices de Bodie y Merton (2004), y complementando con otros enfoques metodológicos relevantes en el ámbito de la contabilidad de costos. El

análisis se realizó con base en datos empíricos recolectados y se utilizó un enfoque comparativo para determinar la viabilidad económica de las nuevas propuestas de envases en el contexto del mercado actual.

Por otro lado, se realizó un análisis técnico y de reciclabilidad de cada una de las alternativas evaluadas en comparación con la estructura utilizada actualmente. Dicho análisis se basó en las propiedades técnicas y el comportamiento ambiental de cada material, considerando aspectos tales como la barrera de protección otorgada al producto, el desempeño en máquina envasadora y el grado de reciclabilidad de cada estructura.

CAPÍTULO 1. Caracterización de los envases flexibles de uso actual para el envasado de leche en polvo en Argentina

Como fuera expresado anteriormente, en Argentina la leche en polvo se comercializa mayormente en envases de 400 y 800 gramos (Figura 2). En este capítulo, se profundiza en las características actuales de estos envases y los procesos de producción asociados. Se analizan aspectos clave como el diseño, materiales utilizados, tecnologías de envasado empleadas, y se aborda cómo estos factores influyen en la calidad del producto final y en su aceptación en el mercado.

Figura 2 - Envases de leche en polvo del mercado argentino



Fuente: Elaboración propia

El Código Alimentario Argentino (CAA, 2019), en su Artículo N°567, define a la leche en polvo como “el producto que se obtiene por deshidratación de la leche entera, descremada o parcialmente descremada y apta para la alimentación humana, mediante procesos tecnológicamente adecuados.”

De acuerdo al porcentaje de materia grasa se clasifica en:

- Entera : mayor o igual al 26%
- Parcialmente descremada : entre 1.5 y 25.9 %.
- Descremada: menor al 1.5 %.

Cuando se produce leche en polvo para uso comercial es necesario cumplir con ciertos requisitos de naturaleza sensorial, físico química y microbiológica. Los mismos se basan en la caracterización realizada por la Norma ADMI (American Dry Milk Institute, 1990) o por el CAA (Código Alimentario Argentino, 2019), normativa Mercosur.

Los requisitos en cuanto a las características sensoriales son los siguientes:

- Aspecto: polvo uniforme sin grumos, sin sustancias extrañas a nivel macro y micro.
- Color: blanco amarillento.
- Sabor y olor: agradable, no rancio, semejante a la leche fluida

La leche en polvo debe contener solamente las proteínas, azúcares, grasas y otras sustancias minerales de la leche, y en las mismas proporciones relativas, salvo por las modificaciones originadas por un proceso tecnológicamente adecuado.

La calidad microbiológica de las leches en polvo depende de la calidad de la materia prima, la limpieza de la planta y del equipamiento utilizado en la elaboración y envasado, los niveles de contaminación ambiental y las condiciones higiénicas en todas las etapas de elaboración.

Algunos países imponen especificaciones de calidad adicionales, según el uso final de este producto. Entre ellas pueden citarse el recuento de bacterias termodúricas, la grasa libre superficial, la estabilidad térmica, etc (Páez, 2002).

Estas exigencias adicionales se deben a que las leches en polvo son el ingrediente lácteo por excelencia para la industria de alimentos y su vida útil está determinada por tres factores: la calidad de la materia prima empleada durante el proceso de elaboración, la tecnología utilizada, y la forma de envasado y conservación del polvo.

La estabilidad durante el almacenamiento de la leche en polvo está constituida principalmente por su capacidad de retener sabor fresco y natural.

La acción conjunta de la temperatura y la humedad, según las características del envase utilizado, promueven reacciones químicas indeseables en el producto, modificando su calidad organoléptica original.

La alteración de las propiedades organolépticas de la leche en polvo es una de las causas que determinan la caducidad de su vida útil. Durante el almacenamiento de leche entera en polvo, la oxidación lipídica y el pardeamiento no enzimático son las principales reacciones que provocan el deterioro de la calidad original de los polvos, limitando su período de consumo por pérdidas de valor nutricional y capacidad funcional. (Revista Argentina de Lactología, N°23, 2004/05. Páez R.1*, Chávez M.1, Sabbag N.3, Pensel N.2, Taverna M.1 y Zalazar C.4).

Para prevenir la oxidación de la leche en polvo, el envase debe proporcionar una barrera de alto nivel de O₂ y ser capaz de retener esa barrera durante el período de conservación previsto.

Las leches en polvo destinadas a consumo directo son envasadas en los siguientes tipos de envases provistos de cierre hermético, los que son previamente aprobados por la autoridad sanitaria competente:

- A. Recipientes de material impermeable a la luz visible y/o ultravioleta, al aire y al vapor de agua.
- B. Los envases mencionados arriba llenados al vacío o con un gas inerte permitido por la autoridad sanitaria nacional.
- C. Recipientes de material plástico sintético, permeables a la luz visible y/o ultravioleta, y deberán incluirse en otro, impermeable a la luz visible y/o ultravioleta. (BOCCI - CASAS 2013)

Cualquier variación durante el proceso de empaque de la leche puede afectar la calidad del producto, generando desperdicios y pérdidas a la empresa, convirtiéndose en no consumible y causando riesgos al bienestar del consumidor.

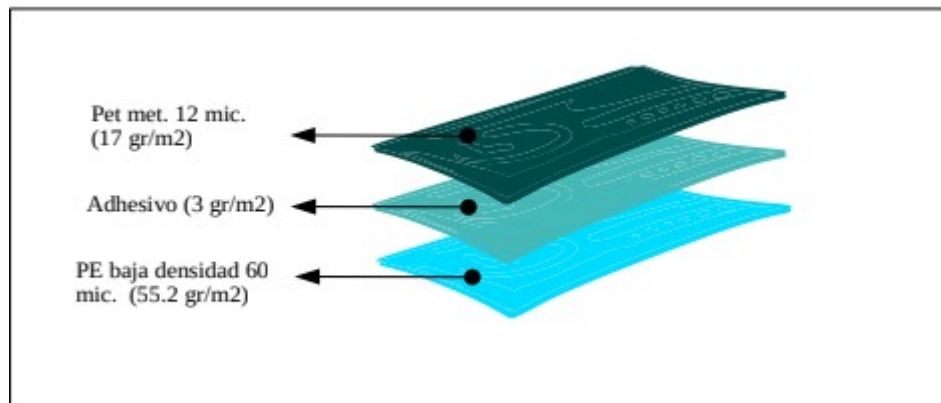
Al analizar las características técnicas de los envases de uso predominante en Argentina para el envasado de leche en polvo, según información provista por FABEN S.A., una de las principales empresas proveedoras de envases flexibles en el territorio nacional, se pueden detallar 2 grandes grupos.

Un primer grupo, denominado *laminados*, el cual incluye envases compuestos por 2 capas de material, que normalmente suelen utilizarse sin impresión, dado que se colocan luego en estuches de cartón impresos.

Dentro de este grupo, las estructuras se dividen en dos tipologías:

1) Laminado de Poliéster metalizado sin impresión (pet met) + Polietileno baja densidad antiestático (pebd) (Figura 3).

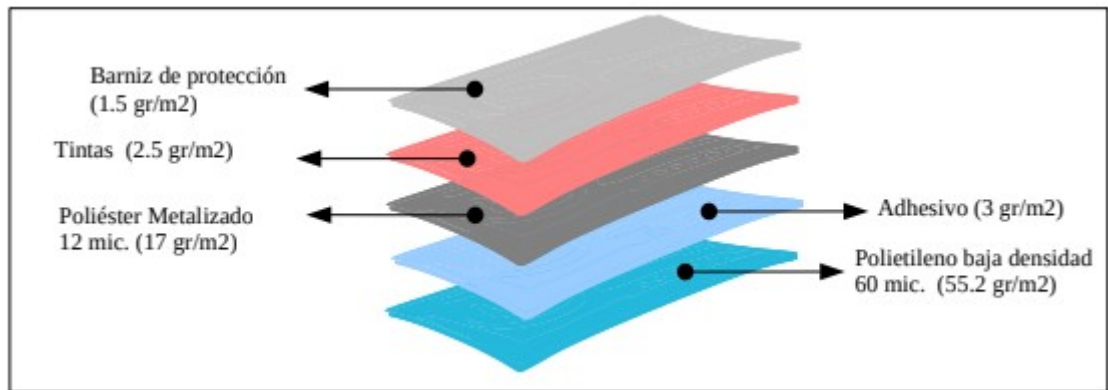
Figura 3 - Diagrama estructura laminada de Pet Met + Polietileno baja densidad antiestático



Fuente: Elaboración propia

2) Laminado de Poliéster metalizado impreso por fuera + Polietileno baja densidad antiestático (Figura 4)

Figura 4 - Diagrama estructura laminada de Pet Met impreso por fuera + Polietileno baja densidad antiestático



Fuente: Elaboración propia

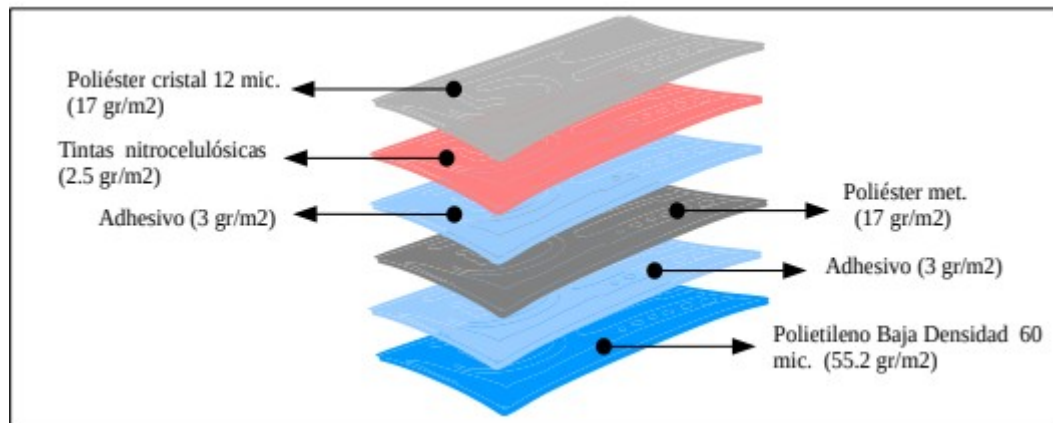
Dentro de los laminados existen diferentes espesores, sobre todo del PEBD, en función a las necesidades del cliente y su envasadora. Lo más común es un PEBD de 60 micrones de espesor. El PEBD además de ser la capa de sello del envase es la que otorga mayor consistencia o “cuerpo” al envase.

Por otro lado, se encuentran los envases *trilaminados*, el cual incluye envases que en general cuentan con impresiones, dado que se trata del tipo de envase que va directamente a la góndola y no dentro de un estuche como puede suceder con los laminados.

Las estructuras utilizadas para este tipo de envases son las siguientes:

1) Trilaminado Poliester cristal impreso + Poliester metalizado + Polietileno baja densidad antiestático (Figura 5)

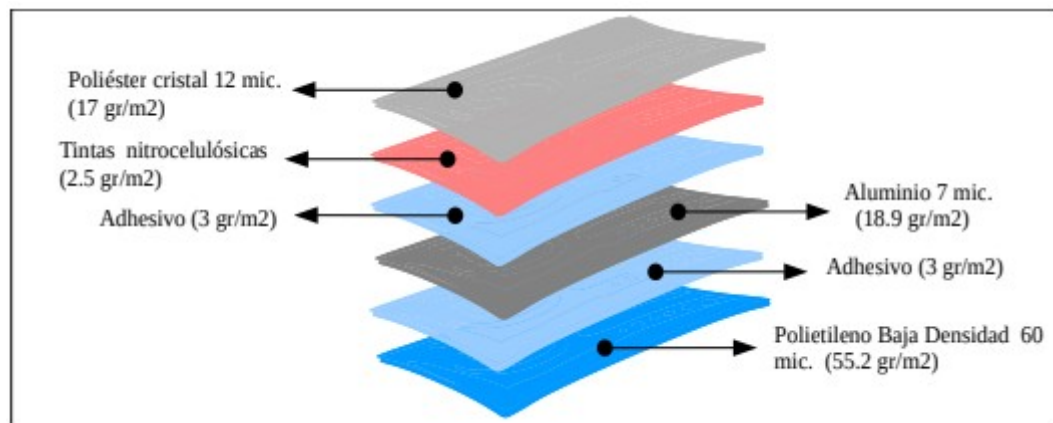
Figura 5 - Diagrama estructura trilaminada de poliester cristal impreso + Poliester Met + Polietileno baja densidad antiestático



Fuente: Elaboración propia

2) Trilaminado Poliester cristal impreso + Aluminio + Polietileno baja densidad antiestático (Figura 6)

Figura 6 - Diagrama estructura trilaminada de poliéster cristal impreso + aluminio + Polietileno baja densidad antiestático.



Fuente: Elaboración propia

Se trata de estructuras desarrolladas especialmente para recibir impresiones en las que la tinta no queda expuesta, ya que se aplica sobre el PET CRISTAL en retroverso. En algunos casos, existe también la opción de incorporar aluminio al envase, un elemento que suele ser más frecuente cuando el producto es de exportación, puesto

que incorpora una barrera total y disminuye riesgos además de darle más rigidez al envase.

Análisis del proceso de fabricación de envases flexibles para el envasado de leche en polvo en Argentina.

Este apartado desarrolla un análisis detallado del proceso de fabricación de envases flexibles para el envasado de leche en polvo, abordando desde las materias primas utilizadas, hasta las tecnologías empleadas, con el objetivo de comprender mejor los factores que influyen en la calidad y eficiencia de estos envases. Además, se exploran las tendencias actuales y las innovaciones en el sector, así como los desafíos y oportunidades que enfrentan los fabricantes en este contexto competitivo y en evolución constante.

En primer lugar, la fabricación de envases comienza por el proceso de extrusión de polietileno (Figura 6), el cual es esencial en la fabricación de envases flexibles debido a su capacidad para crear materiales versátiles y adaptables que cumplan con los estándares de protección del producto, eficiencia en costos y necesidades específicas de envasado.

Figura 7 - Esquema de extrusión película soplada



Fuente: Recuperado de <https://todoenpolimeros.com/procesos-de-extrusion>

Figura 8 - Burbuja de extrusora de polietileno



Fuente: Fotografía propia tomada en Faben SA, Rafaela.

Mediante la extrusión de distintas resinas de polietileno se obtiene el film que es utilizado como capa de sello en estos laminados y trilaminados. Dichas resinas varían en función de las características que se deseen otorgar al film. Además, actúa como capa de sello, aportando funcionalidades como por ejemplo barrera a la luz, oxígeno, humedad, antiestático, entre otras.

A través del uso de equipamiento disponible en las empresas, es posible obtener materiales de diversos anchos, en variados espesores y colores.

Figura 9 - Máquina extrusora de Polietileno

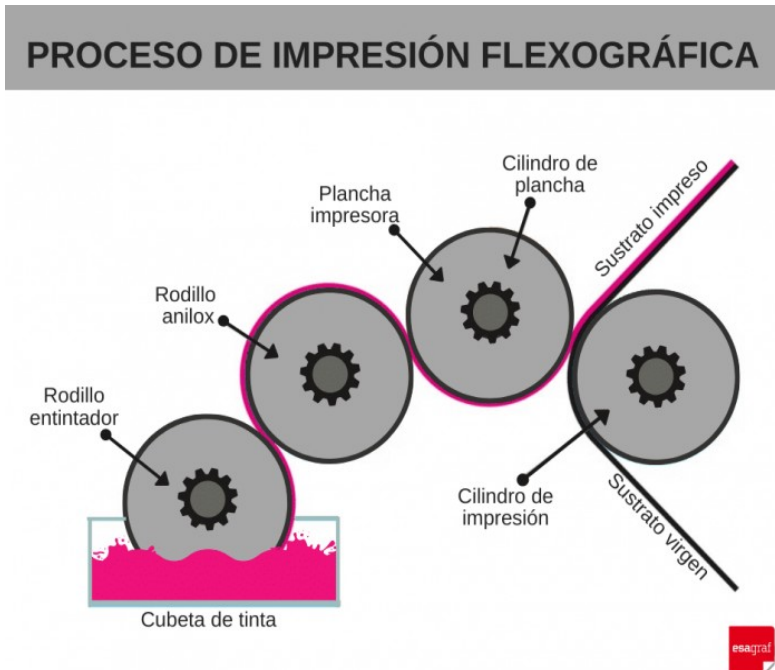


Fuente: Fotografía propia tomada en Faben SA, Rafaela.

Por otro lado, se realiza la impresión del film. Se trata de un segundo proceso, a través del cual se reproduce la imagen gráfica definida por los clientes en cualquier tipo de material. En el caso de los envases para leche en polvo, actualmente el material que se imprime es el *PET cristal*, o metalizado en el caso de los laminados.

Figura 10

Proceso de impresión flexográfica -



Fuente:

Recuperado

de

<https://www.esagraf.com/caracteristicas-impresion-flexografica/>

Figura 11 - Cilindros de impresión



Fuente: Fotografía propia tomada en Faben SA, Rafaela

Figura 12 - Impresora flexografica



Fuente: Fotografía propia tomada en Faben SA, Rafaela

El PET cristal, abreviatura de tereftalato de polietileno, es un tipo específico de plástico que se utiliza ampliamente en la industria del envasado debido a sus propiedades únicas.

El PET cristal es un polímero termoplástico que se forma mediante la polimerización del etilenglicol y del ácido tereftálico. Esta combinación molecular le confiere una estructura cristalina cuando se procesa adecuadamente, lo que proporciona claridad óptica y transparencia.

Entre las características principales del PET cristal se incluyen su alta resistencia mecánica y térmica, así como su excelente barrera contra el oxígeno, el dióxido de carbono y la humedad. Esto lo hace ideal para el envasado de productos que

requieren protección contra la oxidación y una larga vida útil, como bebidas carbonatadas, agua embotellada, jugos , barras de frutas y también leche en polvo.

El PET utilizado actualmente tiene su origen en México , Brasil e India dependiendo de el proveedor. No se fabrica en Argentina.

Respecto a la impresión en sí misma, cualquier combinación es posible de ser lograda, ya sea utilizando colores plenos, trama o fotografías de alta fidelidad impresas en impresoras flexográficas, de huecograbado o digitales de acuerdo a la tecnología disponible, generalmente de hasta 10 colores.

Un tercer paso crítico en el proceso de elaboración de los envases para leche en polvo es el laminado/trilaminado. Consiste esencialmente en el proceso en el que se adhieren dos o tres materiales completamente distintos con el fin de lograr un producto (laminado o trilaminado) que suma las propiedades de los elementos que lo componen. Con el mismo concepto es posible el agregado de más capas hasta cubrir con las necesidades que el producto o mercado requieren, no superando las 4 capas.

Figura 13 - Máquina laminadora Super Combi



Fuente: Fotografía propia tomada en Faben SA, Rafaela

Figura 14 - Máquina laminadora Combi Duplex



Fuente: *Recuperado* de <https://es.nordmeccanica.com/products/combi-solutions/duplex-combi-linear>

Los materiales comúnmente utilizados incluyen películas plásticas como el PET cristal y/o metalizado , polietileno (PE) y polipropileno (PP), así como películas metálicas como el aluminio, y materiales barrera como el Polietileno con EVOH (copolímero de etileno y alcohol vinílico).

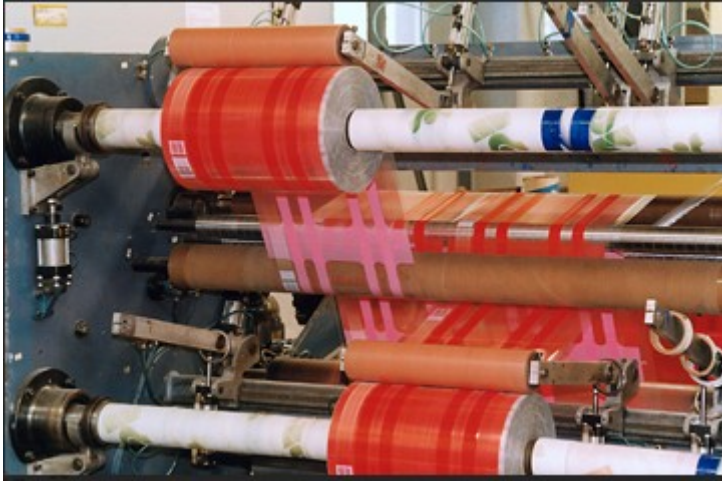
El laminado o tr laminado permite crear envases con propiedades de barrera mejoradas, como resistencia al oxígeno, a los aromas, a la luz y a la humedad, dependiendo de los materiales utilizados en las capas.

Además, al combinar diferentes materiales, se puede mejorar la resistencia física del envase, haciéndolo más resistente a la rotura y al desgarro.

Por último, se debe mencionar el proceso de refile (Figura 15) . Esta operación complementaria permite ajustar el ancho del material de envase al requerido para el proceso de envasado sin variaciones , en función a las especificaciones técnicas de la máquina envasadora del cliente.

En el proceso de refile, se realiza además el recorte o corte de los bordes o márgenes sobrantes de material de una lámina durante la fabricación de envases flexibles.

Figura 15 - Máquina refiladora



Fuente: Fotografía propia tomada en Faben SA, Rafaela

Este proceso es importante por varias razones. En primer lugar, permite eliminar irregularidades del proceso de fabricación, asegurando que las láminas tengan bordes limpios y uniformes. Al eliminar los bordes sobrantes o defectuosos, se mejora la calidad general del material utilizado para fabricar los envases. Esto es crucial para asegurar que los envases finales cumplan con los estándares de calidad requeridos en términos de apariencia, resistencia y funcionalidad.

Una vez producidas las láminas o rollos de material mediante procesos como extrusión y laminado, las bobinas de material se forman enrollando estas láminas o películas en grandes rollos, en un proceso denominado bobinado.

Cada bobina embalada se etiqueta adecuadamente con información relevante como el tipo de material, número de lote, dimensiones y cualquier otro dato necesario para su identificación y trazabilidad. También se prepara la documentación correspondiente para el registro y seguimiento del inventario.

Por último, se reúnen las bobinas embaladas, se agrupan y se organizan sobre un pallet (Figura 16) para su comercialización y distribución a los clientes, de acuerdo con un plan predeterminado. Este plan puede considerar factores como el peso máximo permitido por pallet, la estabilidad durante el transporte y la distribución eficiente en almacenes o puntos de carga.



En síntesis, este capítulo presentó de manera integrada cada una de las etapas, maquinarias y procesos convencionales utilizados en la producción de envases laminados, con el objetivo de ofrecer un marco técnico completo que permita comprender las condiciones reales de operación de la industria. Para complementar esta descripción, en el anexo 2 se incluye el diagrama de flujo de procesos correspondiente a la empresa FABEN (Rafaela), cuya incorporación resulta especialmente relevante por tratarse de uno de los actores regionales con mayor trayectoria en la conversión y fabricación de envases flexibles. Su referencia permite anclar el análisis en un caso representativo del entramado productivo local, aportando una visión concreta sobre cómo estos procesos se materializan en una planta industrial en funcionamiento.

CAPÍTULO 2: Necesidades y desafíos en envases de leche en polvo.

El mercado de envases de leche en polvo enfrenta una encrucijada en la que la sustentabilidad y la eficiencia productiva ya no pueden seguir siendo objetivos disociados. Durante décadas, el criterio dominante para evaluar un envase fue exclusivamente su desempeño técnico -proteger el producto, durar en góndola, funcionar en la línea de envasado- y su costo. Hoy, sin embargo, la ecuación se ha complejizado: a esos dos factores se suma la dimensión ambiental, impulsada tanto por presiones regulatorias como por una creciente conciencia dentro de la propia industria.

Este capítulo analiza las necesidades y desafíos asociados al envasado de leche en polvo en Argentina, a partir de la integración de perspectivas provenientes de distintos actores clave: empresas lácteas usuarias de envases, fabricantes de envases flexibles, proveedores de materias primas y organismos del sistema científico-tecnológico. La combinación de estas miradas permitió construir un diagnóstico integral que va más allá del desempeño técnico e incorpora las dimensiones económica y ambiental que caracterizan a cualquier evaluación de sustentabilidad seria.

2.1 Requerimientos técnicos y funcionales de los envases actuales

El primer conjunto de necesidades que emergen de las entrevistas realizadas refiere a los requisitos mínimos que cualquier envase debe cumplir para ser viable en la cadena productiva de leche en polvo. Estos requisitos no son negociables. Su incumplimiento afecta directamente la calidad del producto, la inocuidad alimentaria y la eficiencia operativa de las plantas.

En términos de aptitud para contacto con alimentos, el envase debe cumplir con las normativas vigentes del Código Alimentario Argentino (CAA) y los estándares del MERCOSUR, que establecen restricciones sobre la migración de sustancias hacia el alimento. Esto implica que cualquier material empleado, ya sea convencional o alternativo, debe haber sido evaluado y aprobado por la ANMAT (Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica) para su uso en contacto directo o indirecto con productos lácteos.

Las propiedades de barrera constituyen otro requisito central. La leche en polvo es altamente sensible a la humedad, el oxígeno y la luz. La presencia de humedad desencadena la reconstitución parcial del polvo y favorece el crecimiento microbiano; el oxígeno activa la oxidación de los lípidos -principal mecanismo de deterioro de la

leche entera en polvo, según Páez et al. (2004)-; y la exposición a la luz ultravioleta degrada vitaminas y genera rancidez. Por estas razones, el envase debe ofrecer bajas tasas de transmisión de vapor de agua (TRVA) y de oxígeno (OTR), además de barrera efectiva a la radiación luminosa.

La hermeticidad del sellado es igualmente crítica. Durante el proceso de envasado en máquinas verticales de formado-llenado-sellado (VFFS), el polvo en suspensión puede interferir con el cierre térmico de la bolsa. Por ello, el material de la capa interior debe ser antiestático -para evitar que el polvo se adhiera- y ofrecer una temperatura de sellado lo suficientemente baja como para garantizar la integridad del cierre incluso en presencia de contaminación superficial.

Finalmente, el material debe ser compatible con la maquinaria existente en las plantas de envasado. La inversión en equipamiento de llenado es significativa, y la transición hacia nuevos materiales no puede implicar la adquisición de nuevas líneas de producción si ello no está justificado económicamente. Esta consideración resulta especialmente relevante al evaluar las alternativas propuestas en esta tesis.

2.2 Formatos, volúmenes y lógica comercial

El formato de envase más utilizado en el mercado doméstico argentino es el de 800 gramos, aunque el de 400 gramos también tiene presencia significativa, especialmente en segmentos de precio más accesible. Para exportación, el producto se despacha principalmente en bolsas de 25 kg, destinadas a granel industrial. Esta segmentación del mercado impone requerimientos diferenciados. Mientras los envases de consumo masivo requieren impresión a todo color y acabado atractivo para góndola, los envases de exportación priorizan la integridad mecánica durante el almacenamiento y el transporte de larga distancia.

En cuanto a las regulaciones para exportación, las empresas deben considerar las normativas del país de destino, que pueden incluir exigencias sobre el tipo de material, la ausencia de determinadas sustancias (como ciertos solventes o plastificantes) y, en mercados como la Unión Europea, los atributos de reciclabilidad del envase. Este último punto está cobrando creciente relevancia. La regulación europea sobre envases (Packaging and Packaging Waste Regulation, en revisión al momento de esta investigación) prevé metas de reciclabilidad obligatorias que, en la práctica, condicionan el acceso de productos a esos mercados.

2.3 Gestión del scrap y situación actual de los residuos de envases

Un aspecto que no siempre recibe la atención que merece en los análisis de packaging es la gestión del scrap generado durante el proceso de conversión y envasado. En las plantas fabricantes de envases, los recortes laterales, las bobinas con defectos y los materiales fuera de especificación constituyen un volumen relevante de residuos industriales que debe ser gestionado de algún modo.

En la actualidad, las empresas fabricantes de envases separan y clasifican estos residuos, que luego son retirados por contratistas externos. Materiales como el poliéster, polietileno y el aluminio, por ser de mayor valor comercial, se derivan hacia corrientes de reciclaje específicas. El resto -generalmente mezclas de distintos materiales incompatibles- es tratado como residuo sin valor de recuperación y destinado a disposición final, ya sea en rellenos sanitarios o mediante certificados de destrucción entregados a municipios.

Esta situación pone de relieve una de las principales limitaciones de los envases multilaminados actuales: incluso cuando los materiales que los componen son individualmente reciclables (Poliéster, polietileno, aluminio), su unión mediante adhesivos los convierte en una mezcla no separable a escala industrial. El reciclaje mecánico convencional, que es el proceso predominante en Argentina, procesa polímeros puros o de alta homogeneidad. Introducir un laminado PET//PETmet//PEBD en una línea de reciclado de PEBD, por ejemplo, genera una contaminación que degrada el material recuperado, haciéndolo inservible para aplicaciones de valor.

A nivel postconsumo, la situación es aún más crítica. Los envases de leche en polvo utilizados en hogares argentinos no cuentan, en la gran mayoría de los municipios, con un circuito de recolección diferenciada que permita desviarlos del relleno sanitario. Incluso en localidades con sistemas de separación en origen, los laminados y trilaminados quedan excluidos de los flujos recuperables porque los recicladores informales no tienen mercado para este material. El resultado práctico es que prácticamente la totalidad de los envases flexibles multilaminados de leche en polvo termina en disposición final una vez consumido el producto.

Esta realidad debe tenerse presente al evaluar las alternativas propuestas. La reciclabilidad teórica de un material vale poco si no existe infraestructura que la haga efectiva en el contexto donde opera el envase.

2.4 Tendencias y motivaciones del sector hacia la sustentabilidad

A partir de las entrevistas realizadas, se verificó un alto grado de interés genuino en las empresas del sector por avanzar hacia envases más sustentables. Este interés no responde únicamente a la presión regulatoria o a las expectativas de los consumidores, sino también a una visión estratégica de largo plazo orientada a la innovación, la reducción del impacto ambiental y el acceso a mercados que valoran estas características.

"La empresa se encuentra en una búsqueda permanente de alternativas sustentables para todas sus líneas de producción, convencida de que el futuro de los envases estará marcado por soluciones que minimicen el impacto ambiental, promuevan la economía circular y respondan a las nuevas demandas de consumidores y mercados" (Jefe de compras de importante empresa láctea de la región)

Este cambio de enfoque revela una creciente conciencia sobre el rol del envase como vector de valor agregado y diferenciación competitiva dentro de la cadena productiva, más allá de su función primaria de contención y protección del producto.

Desde el lado de los proveedores de materias primas, los representantes de empresas multinacionales proveedoras de polietileno y poliéster ofrecieron un panorama de las alternativas ya disponibles en el mercado. En el caso del proveedor de polietileno, la propuesta central se orienta hacia estructuras monomateriales elaboradas íntegramente a partir de polietileno, que incorporan EVOH (alcohol etileno-vinílico) como barrera al oxígeno pero en proporciones que no superan el 5%, preservando la reciclabilidad del conjunto. Este umbral del 5% de EVOH es técnicamente relevante. Según los lineamientos de Ecoplas y de organizaciones como RecyClass, la presencia de EVOH por debajo de ese porcentaje en peso no interfiere con el reciclaje mecánico de polietileno en las corrientes LDPE/LLDPE (código 4).

"Nuestras propuestas se basan en la economía circular, en donde el concepto de residuo no existe, sino que pasa a ser una materia prima para un próximo proceso de reutilización. Este concepto es sustentable

desde el punto de vista de la eliminación del residuo y la reutilización de los materiales." (Sergio Araujo, Dow)

Entre las resinas de polietileno propuestas para estas estructuras monomateriales se mencionan ELITE AT6900 (valorada por su alta resistencia mecánica y buena procesabilidad), AFFINITY PL1881 (familia de resinas de alta flexibilidad y excelente sellado a baja temperatura) e INNATE ST100 (diseñada para optimizar la rigidez y la estabilidad dimensional del envase). La combinación de estas resinas permite lograr un equilibrio entre desempeño técnico, eficiencia productiva y sustentabilidad.

Por su parte, el proveedor de poliéster presentó dos líneas de alternativas: film poliéster biodegradable y film con contenido reciclado postconsumo (PCR), elaborado a partir de botellas de PET recicladas e incorporando hasta un 30% de material recuperado, con aprobación MERCOSUR para contacto alimentario (Resolución GMC 30/07). Ambas opciones conservan las propiedades técnicas del PET convencional, aunque con diferencias significativas en su comportamiento ambiental al final de la vida útil, aspecto que se analiza en detalle en el Capítulo 3.

"Consideramos que habrá un cambio radical, en tanto y en cuanto cada país comience a penalizar la fabricación de envases no sustentables o que atenten contra el medio ambiente." (Federico Famularo, Gerente Comercial, Flex Americas S.A. de C.V.)

2.5 El sistema de reciclaje en Argentina: capacidades y limitaciones

Para contextualizar adecuadamente la discusión sobre las alternativas propuestas, es indispensable describir el estado actual del sistema de reciclaje de plásticos en Argentina, ya que el desempeño ambiental real de un envase depende en gran medida de la infraestructura disponible para gestionarlo al final de su vida útil.

El proceso de reciclaje más extendido en el país es el reciclaje mecánico, que consiste en la molienda, lavado, secado y extrusión del plástico posconsumo para obtener pellets de resina reciclada. Este proceso es eficiente y económicamente viable cuando opera con materiales homogéneos o monomateriales. En Argentina, el PEBD flexible -el polietileno de baja densidad utilizado en bolsas, silobolsas y films industriales-

cuenta con corrientes de reciclaje establecidas y con mercado comprador para el material recuperado. Los grandes centros urbanos y algunas regiones agroindustriales procesan regularmente estos materiales, transformándolos en insumos para bolsas de consorcio, caños o aplicaciones de menor exigencia técnica.

La situación es marcadamente diferente para los laminados y tr laminados compuestos por distintos polímeros unidos mediante adhesivos. Para reciclar este tipo de estructuras sería necesario un proceso previo de delaminación (separación física o química de las capas) que en Argentina no está disponible a escala industrial. El reciclaje químico, que incluye métodos de despolimerización y disolución capaces de separar materiales complejos, se encuentra en etapa inicial de desarrollo en el país y no puede considerarse un destino confiable para los envases actuales.

En este marco, la distinción entre reciclabilidad teórica y reciclabilidad real adquiere relevancia crítica para esta investigación. Un material puede ser técnicamente reciclable, pero si no existe la infraestructura para hacerlo en el territorio donde opera, esa propiedad no se traduce en beneficio ambiental concreto. Por eso, la evaluación de las alternativas propuestas en el Capítulo 3 considera explícitamente el grado en que cada estructura puede integrarse a las corrientes de reciclaje existentes en Argentina, no solo su reciclabilidad teórica.

Adicionalmente, el sistema de reciclaje argentino está fuertemente articulado con la gestión social. Los recuperadores urbanos y las cooperativas de reciclaje son actores centrales del circuito, y su interés por un material -determinado por el precio de mercado del recuperado- condiciona en la práctica qué envases se reciclan efectivamente y cuáles no. Un envase que no tiene demanda en el mercado de recuperados, aunque técnicamente sea reciclable, muy probablemente terminará en el relleno sanitario. Este factor es una variable concreta de sustentabilidad ambiental que ningún análisis serio puede ignorar.

Finalmente, es necesario destacar que las estructuras multilaminadas de PET, aluminio y PEBD utilizadas actualmente para el envasado de leche en polvo en Argentina no son reciclables en el contexto operativo local. Los recicladores no las aceptan, no existe tecnología de separación disponible a escala industrial y la totalidad de los envases posconsumo termina en disposición final. Esta constatación -respaldada por los testimonios de los propios fabricantes de envases entrevistados- refuerza la urgencia de avanzar hacia alternativas técnicamente superiores desde el punto de vista ambiental.

2.6 Marco regulatorio y perspectivas hacia el futuro

El análisis del entorno regulatorio es otro componente central de este capítulo. En Argentina, la normativa específica para envases sostenibles se encuentra en desarrollo. No existen aún incentivos fiscales, exigencias técnicas obligatorias ni penalizaciones que regulen la transición hacia materiales más sustentables. Sin embargo, hay señales claras de que este escenario está cambiando.

En el ámbito parlamentario, se han presentado proyectos de ley de Responsabilidad Extendida del Productor (REP) que, de ser aprobados, impondrán a los fabricantes y comercializadores de envases la obligación de financiar y gestionar el fin de vida de los materiales que ponen en el mercado. Este tipo de legislación ya existe en Brasil y Chile, y es una realidad consolidada en la Unión Europea, donde además se han fijado metas de reciclabilidad para envases que entrarán en vigor progresivamente en los próximos años.

"El mercado seguramente demandará envases sustentables y en nuestro país se ha comenzado a hablar del tema a través de una ley de envases por la cual cada empresa deberá pagar impuestos por los materiales que usa." (Asistente en envases y embalajes, Ilolay)

La implementación de una ley de este tipo en Argentina representaría un punto de inflexión para el sector, al introducir un costo adicional asociado al uso de materiales no reciclables. En ese escenario, las alternativas sustentables propuestas en esta tesis ganarían ventaja competitiva no solo por sus atributos ambientales intrínsecos, sino también por su mejor posicionamiento frente a potenciales exigencias regulatorias.

Organismos como el INTI y el INTA acompañan estas tendencias desde el ámbito científico-tecnológico. El INTI, a través de su división de Envases y Embalajes, asiste a la industria en el cumplimiento de requisitos normativos, la evaluación de materiales alternativos y la realización de análisis de ciclo de vida. El INTA Rafaela, por su parte, cuenta con líneas de investigación en vida útil de leche en polvo bajo distintas condiciones de envasado, cuyos resultados pueden aportar evidencia empírica valiosa para la validación de las alternativas propuestas.

"Entiendo que la implementación de estos envases sustentables en el mercado de la leche en polvo va a suceder por exigencias normativas ambientales. Es decir, cuando se penalice a los envases que no cumplan con ciertas metas ambientales. Las ofertas tecnológicas ya están disponibles en el mercado." (Emanuel Prochetto, Responsable de I+D, FABEN SA)

En síntesis, este capítulo evidencia que la transición hacia envases más sustentables en la industria de leche en polvo está impulsada por una convergencia de factores: la demanda del propio sector, las tendencias regulatorias en Argentina y en los mercados de exportación, la disponibilidad de materiales alternativos técnicamente viables y la creciente restricción que impone la ausencia de infraestructura de reciclaje para los envases actuales. El capítulo siguiente avanza sobre la identificación, descripción detallada y evaluación comparativa de las alternativas concretas, incorporando tanto la dimensión económica como la ambiental en el análisis de factibilidad.

CAPÍTULO 3: Identificación, descripción y evaluación comparativa de las estructuras propuestas

El análisis desarrollado en el capítulo anterior permitió identificar con claridad las principales limitaciones de los envases actualmente utilizados para el envasado de leche en polvo en Argentina. Se destaca su composición multilaminada, la ausencia de infraestructura de reciclaje compatible y la creciente presión regulatoria y de mercado hacia materiales con mejor desempeño ambiental. A partir de ese diagnóstico, este capítulo presenta tres estructuras alternativas que buscan responder simultáneamente a los requerimientos técnicos del producto y a los criterios de sustentabilidad identificados.

La evaluación de cada alternativa integra tres dimensiones: técnica (barreras, sellado, maquinabilidad), económica (costo por kilogramo y por metro cuadrado de envase producido) y ambiental (tipo de material, condiciones de degradación o reciclaje, y grado de compatibilidad con los sistemas de gestión de residuos existentes en Argentina). Esta última dimensión, incorporada de manera explícita en respuesta a las observaciones recibidas, es la que permite avanzar desde una evaluación de viabilidad convencional hacia una evaluación de factibilidad integral, alineada con el concepto de sustentabilidad que articula toda la investigación.

3.1 Contexto: experiencias de implementación de envases sostenibles

Antes de presentar las alternativas propuestas, es útil contextualizar las experiencias internacionales y nacionales que demuestran la viabilidad concreta de transitar hacia envases más sustentables en la industria láctea y de consumo masivo.

En Argentina, el caso más relevante es el de Petropack S.A., empresa que desarrolló un sachet de leche fluida fabricado mediante coextrusión de polietileno blanco/negro con incorporación de una capa de EVOH como barrera al oxígeno. Este envase, validado por el INTI mediante un análisis de ciclo de vida, evidenció una reducción del impacto ambiental del 36,1% en comparación con envases multicapa tradicionales (Publitech, 2023). Su reciclabilidad como monomaterial de PE en corrientes existentes lo convierte en un caso de referencia directamente aplicable a la lógica de la estructura monomaterial propuesta en esta tesis.

A nivel internacional, empresas como Taghleef Industries han desarrollado envases para leche en polvo con estructuras monomateriales funcionales que mantienen las propiedades de barrera e integridad de sellado, mientras optimizan la reciclabilidad

(Taghleef Industries, 2024). Amcor, por su parte, lanzó en 2024 una bolsa reciclable de alta barrera para leche en polvo en Nueva Zelanda, como parte de su compromiso con la Pledge 2025 de eliminación de envases no reciclables de su portafolio (Amcor, 2024). Estos antecedentes confirman que la tecnología necesaria para producir envases reciclables de alto desempeño para este segmento ya existe y está siendo escalada comercialmente.

En el ámbito del PET reciclado, empresas como Greiner Packaging y Starlinger Visotec en Europa han demostrado que es técnica y regulatoriamente viable incorporar PET PCR en envases para contacto alimentario, siempre que el material cumpla con los estándares de descontaminación grado alimentario (Greiner Packaging, 2022). Esta experiencia sustenta la pertinencia de la Estructura N°2 propuesta en esta tesis.

3.2 Descripción de las estructuras actuales y sus limitaciones ambientales

Los envases utilizados actualmente para leche en polvo en Argentina responden a dos configuraciones trilaminadas principales, cuyas características técnicas fueron descritas en el Capítulo 1. Desde el punto de vista ambiental, ambas presentan la misma limitación estructural: la combinación de materiales incompatibles en el reciclaje mecánico convencional hace que sean envases no reciclables en las condiciones operativas del sistema de gestión de residuos argentino.

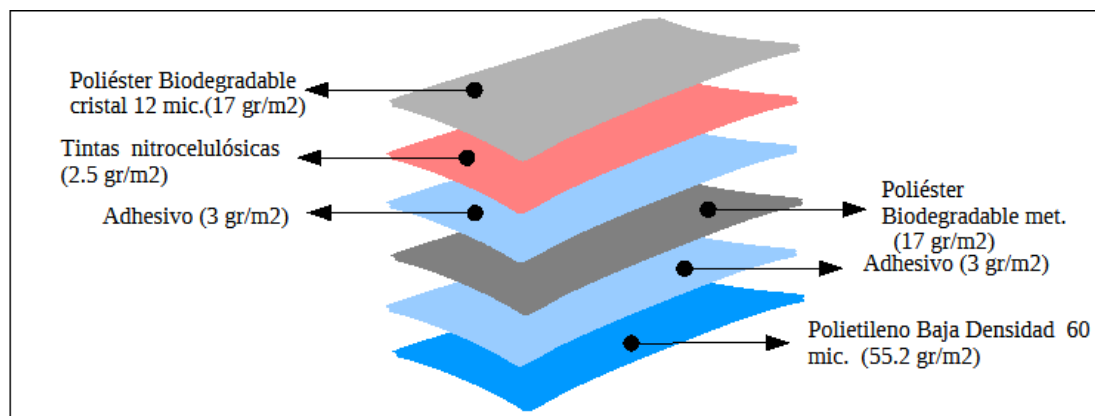
La estructura más utilizada (PET cristal impreso + PET metalizado + PEBD, 97 g/m²) tiene un costo de 0,31 USD/m². La variante con aluminio (PET cristal impreso + aluminio + PEBD, 98 g/m²) alcanza los 0,38 USD/m², con una barrera más completa pero un costo significativamente mayor y una trazabilidad de reciclaje aún más comprometida, ya que el aluminio incorporado como capa funcional -en contraste con el aluminio de envases metálicos que sí tienen mercado de recuperación- no puede separarse de los polímeros adheridos. El costo estimado de cada una de las estructuras utilizadas surge de información provista y validada conjuntamente con personal técnico de las empresas participantes y de FABEN, empresa fabricante de los envases (Fabén S.A.).

En ambos casos, el destino final mayoritario de los envases posconsumo en Argentina es el relleno sanitario. Esto equivale, en términos de ciclo de vida, a que los materiales fósiles empleados en su fabricación no se reincorporan a ningún ciclo productivo, generando impactos en emisiones de gases de efecto invernadero, consumo de recursos no renovables y generación de residuos que persisten en el ambiente durante décadas.

3.3 Alternativas propuestas: descripción técnica y ambiental detallada

Estructura propuesta N°1: Trilaminado biodegradable (PET cristal biodegradable + PET metalizado biodegradable + PEBD)

Figura 17 - Diagrama PET cristal biodegradable impreso (12 micrones) + PET metalizado biodegradable (12 micrones) + PEBD



Fuente: Elaboración propia

Esta primera alternativa propone reemplazar los componentes de PET convencional por versiones biodegradables, manteniendo la capa de PEBD como sellante interno. Los materiales biodegradables considerados son films de poliéster modificado mediante la incorporación de aditivos de degradación oxo-biodegradable o, en las versiones más avanzadas, copolímeros basados en PLA (ácido poliláctico) que conservan las propiedades ópticas y mecánicas del PET.

Desde el punto de vista técnico, estos materiales conservan la barrera a la luz y al oxígeno propia del PET convencional, así como las características de sellado del PEBD, haciendo viable su uso en las líneas de envasado verticales estándar. La estructura resultante tiene un peso superficial de 97 g/m² y un costo de 0,34 USD/m² (Ver anexo 3).

La propiedad de biodegradabilidad merece una descripción precisa, porque el término es frecuentemente mal interpretado. Un material biodegradable no se desintegra de manera espontánea en cualquier ambiente. Su degradación requiere condiciones específicas de temperatura, humedad y presencia de microorganismos, tal como las que existen en un proceso de compostaje industrial certificado. Los estándares internacionales de referencia son la norma ASTM D6400 (compostaje industrial) y la

norma EN 13432 (vigente en Europa), que establecen que un material biodegradable certificado debe desintegrarse en más del 90% dentro de los 180 días en condiciones controladas de compostaje a temperaturas superiores a los 58°C.

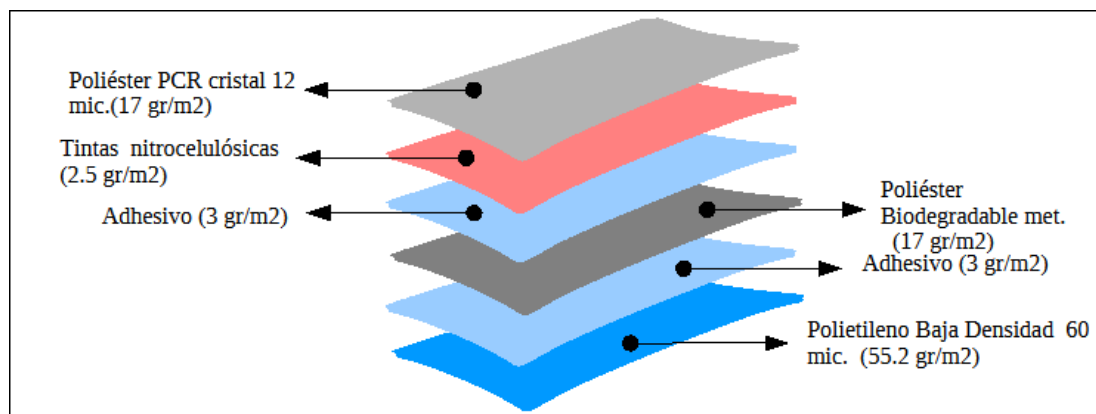
Esta condición tiene una implicancia práctica fundamental para la realidad argentina. En ausencia de infraestructura de compostaje industrial, los envases de este tipo terminan con alta probabilidad en el relleno sanitario, donde las condiciones anóxicas y la escasa actividad microbiana a las temperaturas habituales hacen que la degradación sea extremadamente lenta y potencialmente generadora de metano. Peor aún, si ingresan por error a los circuitos de reciclaje mecánico del PET convencional, actúan como contaminantes que degradan el lote completo, ya que los polímeros modificados presentan propiedades de fusión distintas que generan puntos de debilidad en el material recuperado. Este fenómeno ha sido documentado por la industria recicladora europea y es uno de los argumentos centrales por los que organizaciones como RecyClass desalientan el uso de aditivos oxo-biodegradables en materiales que van a corrientes mixtas de reciclaje.

Adicionalmente, la capa interna de PEBD convencional que compone esta estructura no es biodegradable, lo que impide que el envase sea compostable de manera íntegra incluso si los PET biodegradables cumplen su función. Para que esta alternativa alcance su potencial ambiental pleno, se requeriría tanto una capa interna de PEBD biodegradable (no disponible comercialmente a escala industrial al momento de esta investigación) como un sistema de compostaje industrial al que los envases posconsumo puedan efectivamente ser derivados.

Todos los materiales de PET en esta estructura son importados (principalmente de México, India y Brasil), lo que introduce un impacto ambiental adicional asociado al transporte de larga distancia, además de una exposición a la volatilidad del tipo de cambio y a las restricciones de importación que caracterizan al mercado argentino.

Estructura propuesta N°2: Trilaminado con PET de contenido reciclado postconsumo (PET cristal PCR + PET metalizado biodegradable + PEBD)

Figura 18 - Diagrama PET Cristal PCR Impreso (12 micrones) + PET Metalizado Biodegradable (12 micrones) + PEBD



Fuente: Elaboración propia

La segunda alternativa combina una capa exterior de PET cristal PCR (postconsumo reciclado, con hasta 30% de contenido recuperado de botellas PET) con una segunda capa de PET metalizado biodegradable y la capa interna estándar de PEBD. En términos de propiedades técnicas, esta estructura es prácticamente idéntica a la actual: barrera a luz, humedad y oxígeno, buen sellado térmico, peso superficial de 97 g/m² y procesabilidad en líneas VFFS estándar.

La diferencia sustantiva respecto al envase convencional reside en el origen del material de la capa exterior. El PET PCR se obtiene a partir del reprocesamiento de botellas de PET posconsumo descontaminadas hasta grado alimentario. Este proceso implica una serie de etapas de selección, lavado, extrusión y análisis de migración para garantizar la ausencia de contaminantes. En el MERCOSUR, el uso de PET PCR en envases para contacto alimentario está regulado por la Resolución GMC 30/07 (Grupo Mercado Común [GMC], 2007) , que establece los requisitos técnicos y de inocuidad que debe cumplir el material.

Desde el punto de vista ambiental, el principal beneficio de esta estructura es la reducción de la huella de carbono: al incorporar material reciclado se evita la producción de PET virgen a partir de petróleo crudo, reduciendo las emisiones de CO₂ equivalente asociadas a la fabricación de la resina. Según estimaciones del sector (EUROPEAN BIOPLASTICS, 2023; Ellen MacArthur Foundation), la fabricación de PET reciclado genera aproximadamente un 50-70% menos de emisiones de GEI que el PET virgen, aunque este porcentaje depende de la eficiencia del sistema de recolección y del proceso de descontaminación empleado.

Sin embargo, esta estructura presenta la misma limitación ambiental al final de su vida útil que las alternativas convencionales: al combinar PET y PEBD en una estructura

laminada, el envase no es reciclable mecánicamente en los circuitos actuales de Argentina. El PET PCR que ingresó como materia prima no puede recuperarse del envase posconsumo sin un proceso de delaminación industrial, no disponible en el país. En consecuencia, el beneficio ambiental de esta alternativa se concentra en la etapa de fabricación —reducción de huella de carbono— pero no resuelve el problema de fin de vida.

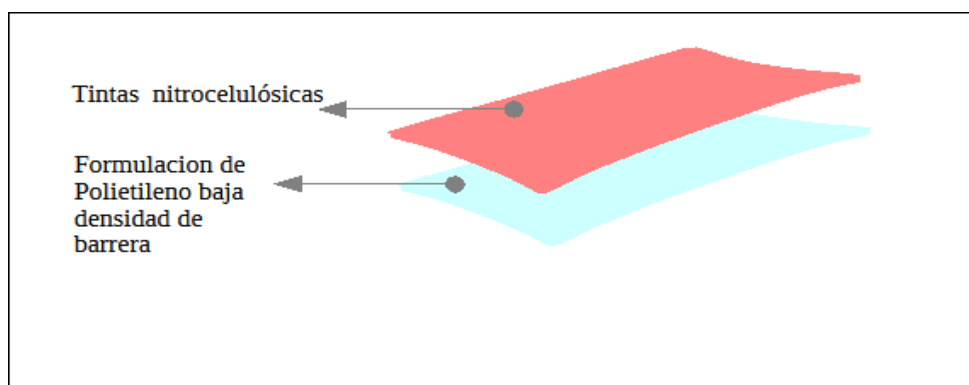
El costo de esta estructura es de 0,33 USD/m², ligeramente inferior al de la primera alternativa propuesta, dado que el PET PCR tiene un precio competitivo respecto al biodegradable, aunque superior al convencional por el proceso de descontaminación grado alimentario que requiere. Al igual que el resto de los materiales de PET, debe ser importado, con las implicancias logísticas y de abastecimiento mencionadas.

Estructura propuesta N°3: Envase monomaterial de polietileno de siete capas con EVOH

La tercera alternativa representa el cambio de paradigma más profundo respecto a los envases actuales: en lugar de combinar diferentes polímeros y materiales mediante laminación, propone fabricar toda la estructura a partir de un único tipo de polímero -polietileno- mediante coextrusión de siete capas. Esta tecnología permite distribuir distintas funcionalidades en capas específicas del film, obteniendo un envase con propiedades técnicas equivalentes a los multilaminados pero sin la incompatibilidad de materiales que hace inviable su reciclaje.

La estructura de siete capas se organiza típicamente de la siguiente manera: capas externas de PEBD o PEAD de alta rigidez, capas de enlace (tie layers) de polietileno modificado, una capa central de EVOH (copolímero de etileno y alcohol vinílico) como barrera al oxígeno, y una capa interior de PEBD con propiedades de sellado y antiestáticas. El EVOH es el componente crítico para la función barrera: ofrece una transmisión de oxígeno (OTR) muy baja, comparable a la del PET metalizado o el aluminio, lo que lo hace apto para proteger los lípidos de la leche en polvo frente a la oxidación durante la vida útil del producto.

Figura 19 - Diagrama estructura monomaterial de polietileno 7 capas



Fuente: Elaboración propia

La proporción de EVOH en la estructura es un parámetro técnico y ambiental de primera importancia. Estudios de reciclabilidad realizados por Ecoplas (Asociación Civil Especializada en Plásticos y Medio Ambiente en Argentina) en Argentina y por organizaciones europeas como RecyClass establecen que una estructura de polietileno con contenido de EVOH inferior al 5% en peso puede ser reciclada mecánicamente dentro de la corriente de PEBD (código de reciclaje 4), sin afectar significativamente las propiedades del material recuperado. Por encima de ese umbral, la presencia de EVOH comienza a interferir con el proceso de extrusión del reciclado. El diseño de la estructura propuesta debe mantener la proporción de EVOH por debajo de ese límite, lo que es técnicamente viable dado que el EVOH puede actuar como barrera efectiva en capas muy delgadas.

Una ventaja adicional de esta estructura es que el scrap generado durante el proceso de conversión -recortes, bobinas con defecto- puede reintroducirse al proceso de extrusión si está libre de adhesivos y tintas, cerrando un ciclo productivo parcialmente circular ya en la etapa industrial, antes de que el envase llegue al consumidor. Esto contrasta marcadamente con el scrap de los laminados convencionales, que por su composición heterogénea no puede ser reprocesado de esta manera.

En cuanto al abastecimiento de resinas, las principales formulaciones de PEBD y PEAD son de fabricación local -lo que reduce el impacto ambiental del transporte y la exposición a restricciones de importación-, con la excepción del EVOH, que debe importarse pero en proporciones muy pequeñas dentro de la estructura total. El film terminado tiene un peso superficial de 76 g/m², significativamente menor que las estructuras trilaminadas (97-98 g/m²), lo que implica menor consumo de materiales por metro cuadrado de envase producido.

El costo de esta estructura es de 0,28 USD/m², el más competitivo del conjunto analizado, a pesar de que el costo por kilogramo de material (3,64 USD/kg) es levemente superior al de las otras alternativas. La ventaja surge precisamente de ese menor peso superficial: como el envase pesa menos, se necesita menos material por metro cuadrado de bolsa producida, lo que mejora el rendimiento económico por unidad de packaging.

El principal desafío técnico de esta alternativa es la maquinabilidad. El film de polietileno de siete capas tiene propiedades mecánicas distintas a las del trilaminado convencional -en particular, menor rigidez y diferente comportamiento térmico durante el sellado-, lo que puede requerir ajustes en los parámetros de temperatura, tensión y velocidad de las líneas VFFS existentes. Sin embargo, según los técnicos entrevistados, la gran mayoría de las máquinas de envasado convencionales pueden adaptarse a este material sin necesidad de reemplazar el equipamiento, lo que mantiene la viabilidad económica de la transición.

3.4 Análisis comparativo de costos

El análisis de costos de las estructuras evaluadas se realizó sobre la base del costo directo de las materias primas y el costo de conversión (fabricación), sin incluir gastos de distribución, comercialización ni costos de gestión al fin de vida útil. Los valores se calcularon para un lote de 1.000 kg de material, expresando los resultados tanto en USD por kilogramo como en USD por metro cuadrado de envase producido. Esta última métrica es la más relevante desde la perspectiva industrial, ya que lo que se produce y vende son metros cuadrados de film, no kilogramos.

La tabla comparativa a continuación sintetiza los resultados:

Tabla comparativa de estructuras evaluadas (Ver Anexo 3)

Estructura actual A (PET cristal + PET metalizado + PEBD): 97 g/m² — 3,18 USD/kg — 0,31 USD/m²

Estructura actual B (PET cristal + aluminio + PEBD): 98 g/m² — 3,86 USD/kg — 0,38 USD/m²

Propuesta N°1 (PET biodegradable + PET met. biodegradable + PEBD): 97 g/m² — 3,47 USD/kg — 0,34 USD/m²

Propuesta N°2 (PET PCR + PET met. biodegradable + PEBD): 97 g/m² — 3,37 USD/kg — 0,33 USD/m²

Propuesta N°3 (monomaterial PE 7 capas con EVOH): 76 g/m² — 3,64 USD/kg — 0,28 USD/m²

El análisis revela que la propuesta N°3 (monomaterial de PE) ofrece el menor costo por metro cuadrado de todas las opciones, incluidos los envases actualmente utilizados. Esto se explica por su significativamente menor peso superficial (76 g/m² frente a 97-98 g/m² de las demás estructuras). Aunque el costo por kilogramo es el más alto de las alternativas propuestas, la eficiencia en el uso de material compensa ampliamente esa diferencia.

Las propuestas N°1 y N°2 presentan costos por metro cuadrado que superan a la estructura actual más económica (0,34 y 0,33 USD/m² respectivamente, frente a 0,31 USD/m²), lo que implica un sobre costo de entre el 6% y el 10% respecto al statu quo. Este diferencial podría considerarse moderado en el contexto de los beneficios ambientales que aportan, y es comparable a los incrementos de costo observados en experiencias de transición a materiales sostenibles en otros segmentos de la industria alimentaria.

3.5 Evaluación de factibilidad integral: técnica, económica y ambiental

La evaluación de factibilidad de las alternativas propuestas no puede limitarse al análisis económico, tal como señaló el dictamen evaluador de esta tesis. Una evaluación rigurosa debe integrar los tres pilares de la sustentabilidad: desempeño técnico, viabilidad económica y comportamiento ambiental real. La siguiente síntesis aborda cada dimensión para cada alternativa.

Propuesta N°1 — Trilaminado biodegradable

Técnicamente viable: conserva las propiedades de barrera y sellado requeridas. Económicamente, representa un sobre costo moderado respecto al envase convencional. Ambientalmente, su beneficio potencial -biodegradación del PET- está condicionado por la disponibilidad de infraestructura de compostaje industrial, prácticamente inexistente en Argentina a escala que pueda absorber este flujo de materiales. En su defecto, el envase termina en relleno sanitario con una velocidad de degradación muy similar a la del PET convencional, sin ventaja ambiental apreciable. En el circuito de reciclaje mecánico, actúa como contaminante del PET convencional. Su factibilidad ambiental en el contexto argentino actual es baja.

Propuesta N°2 — Trilaminado con PET PCR

Técnicamente equivalente al envase actual con aprobación regulatoria para contacto alimentario. Económicamente, presenta un sobre costo leve. Ambientalmente, genera una mejora concreta y verificable en la etapa de fabricación al reducir entre un 50% y 70% las emisiones de GEI asociadas a la producción del PET de la capa exterior, al utilizar material recuperado de botellas postconsumo. Sin embargo, no resuelve el problema de fin de vida dado que el envase continúa siendo no reciclable en las condiciones actuales del sistema argentino. Su factibilidad ambiental es parcial y se concentra en la reducción de huella de carbono en la fabricación.

Propuesta N°3 — Monomaterial de PE de siete capas

Es la alternativa con mejor posicionamiento integral. Técnicamente es muy buena: la coextrusión de siete capas permite alcanzar propiedades de barrera (al oxígeno mediante EVOH, a la humedad mediante PEBD, a la luz mediante polietileno opaco o pigmentado) equivalentes a las de los trilaminados actuales, con la flexibilidad y el sellado que exige el envasado de leche en polvo. Requiere ajustes operativos en las líneas de envasado, pero estos no implican la renovación del equipamiento. Económicamente, es la opción más competitiva por metro cuadrado de film producido, incluso por debajo del costo del envase convencional más barato. Ambientalmente, es la única alternativa que puede integrarse a los circuitos de reciclaje mecánico de PEBD existentes en Argentina, siempre que el contenido de EVOH no supere el 5% en peso, siendo un requisito que el diseño de la estructura debe garantizar. Su scrap industrial es reutilizable. Su material de base (PEBD) tiene demanda en el mercado de recuperados. Es la única opción que alinea los tres pilares de la sustentabilidad en el contexto operativo real del país.

No obstante, es preciso ser rigurosos respecto al alcance de esta ventaja ambiental. La reciclabilidad del monomaterial de PE en Argentina está condicionada por la efectividad del sistema de recolección selectiva posconsumo en cada municipio. En gran parte del territorio nacional, los envases flexibles postconsumo (incluso los monomateriales) no cuentan con sistemas de recolección diferenciada que los desvíen del relleno sanitario. En ese escenario, la ventaja ambiental del monomaterial de PE sobre las estructuras actuales se reduce a la menor cantidad de material empleado (menor peso superficial) y a la reciclabilidad del scrap industrial, pero no se extiende plenamente al fin de vida posconsumo. Para que el potencial ambiental completo de esta alternativa se realice, es necesario que avancen simultáneamente las políticas de

gestión de residuos y los sistemas de recolección selectiva en los principales centros urbanos del país.

En este sentido, la selección de la estructura monomaterial de PE como alternativa prioritaria se fundamenta en que es la única que puede aprovechar la infraestructura de reciclaje que ya existe en Argentina -aunque de manera incipiente- y que tiene el mayor potencial de mejora ambiental a medida que esa infraestructura se consolide. Las otras alternativas, en cambio, requieren infraestructuras (compostaje industrial, delaminación industrial) que no existen en el país ni están en vías de desarrollo a corto o mediano plazo.

3.6 Barreras para la adopción y estrategia de transición

Barreras regulatorias

La ausencia de una normativa nacional que regule y promueva el uso de envases sostenibles es una de las limitaciones más mencionadas por los actores del sector. Sin incentivos fiscales, metas obligatorias de reciclabilidad ni penalizaciones para materiales no recuperables, la decisión queda librada al mercado, que tiende a priorizar el menor costo a corto plazo. La experiencia internacional demuestra que los marcos regulatorios son el factor que más efectivamente acelera la transición en la industria del packaging: la implementación de la Directiva Europea de Envases, las leyes de Responsabilidad extendida al productor (REP) en Brasil y Chile, o en Estados Unidos la ley de prevención de contaminación por plásticos conocida como California SB 54 (2022) han generado cambios concretos en el diseño de envases en un horizonte de pocos años.

En Argentina, la aprobación de una ley de Responsabilidad Extendida del Productor representaría un punto de inflexión que haría económicamente más atractiva la transición hacia la estructura monomaterial propuesta, al internalizar los costos de gestión de residuos que hoy son externalizados al Estado y a la sociedad.

Barreras económicas

El análisis de costos realizado indica que la estructura monomaterial de PE es competitiva respecto a los envases actuales cuando se compara por metro cuadrado. Sin embargo, la transición hacia nuevas estructuras implica costos adicionales que no se capturan en ese análisis: las pruebas de maquinabilidad, los ajustes en líneas de envasado, la homologación del material por parte de la ANMAT y la eventual calificación del envase para mercados de exportación con exigencias específicas.

Estos costos de transición son difíciles de cuantificar sin un proyecto piloto de implementación, pero constituyen una barrera real que las empresas deben planificar.

Un factor que puede aliviar estas barreras es la escala dado que los costos de transición se diluyen cuanto mayor es el volumen de producción. Las empresas líderes del sector lácteo -que por su tamaño tienen mayor poder de negociación con los proveedores de materiales y mayor capacidad para absorber los costos iniciales de prueba- son las mejor posicionadas para iniciar la transición, generando aprendizajes y referencias que faciliten la adopción posterior por parte de las empresas medianas y pequeñas.

Asimismo, es importante señalar que los análisis económicos convencionales suelen no incorporar los costos ambientales asociados al uso de envases no reciclables, como las emisiones de GEI (Gases de efecto invernadero) de producción de materias primas vírgenes, el costo de gestión de residuos sólidos urbanos, el impacto por contaminación de suelo y recursos hídricos. La inclusión de estas externalidades en una evaluación de costo-beneficio completa mejoraría la posición relativa de las alternativas sustentables respecto a los envases convencionales.

Hacia una estrategia de transición

A partir del análisis desarrollado, se propone una estrategia de transición en dos etapas. En una primera etapa, de corto a mediano plazo, las empresas podrían orientarse hacia la adopción de la propuesta N°2 (PET PCR) como paso intermedio: técnicamente equivalente al envase actual, con sobre costo moderado y con un beneficio ambiental concreto y verificable en la huella de carbono de fabricación, sin requerir cambios en los procesos de envasado. Esta opción tiene la ventaja de ser implementable de manera relativamente inmediata, con materiales ya disponibles en el mercado y con aprobación regulatoria existente.

En una segunda etapa, de mediano a largo plazo, la migración hacia la propuesta N°3 (monomaterial de PE de siete capas) representaría el cambio más significativo y de mayor impacto ambiental. Esta transición requiere un desarrollo más cuidadoso -pruebas de maquinabilidad, ajustes en líneas de envasado, posible homologación- pero ofrece el mejor equilibrio entre los tres pilares de la sustentabilidad. Su avance dependerá también de la maduración del sistema de recolección selectiva posconsumo en Argentina, que determinará en qué medida el potencial de reciclabilidad del envase se convierte en beneficio ambiental real.

En ambos casos, la transición debería complementarse con acciones de concientización al consumidor sobre el correcto descarte y separación de los envases, y con la construcción de alianzas a lo largo de la cadena de valor —fabricantes de envases, empresas lácteas, municipios y cooperativas de recuperadores— para desarrollar los circuitos de recolección y procesamiento que permitan cerrar el ciclo de manera efectiva.

Conclusiones

Las conclusiones de esta investigación se construyen a partir de un análisis integral de los envases utilizados en el envasado de leche en polvo, considerando tanto su desempeño funcional, como su impacto ambiental. Este estudio comenzó por caracterizar la composición y el proceso de fabricación de los envases flexibles actualmente utilizados para el envasado de leche en polvo en Argentina para luego analizar las limitaciones de sustentabilidad de los envases actuales, especialmente en términos de reciclabilidad e impacto ambiental. Se identificaron alternativas de envases flexibles sustentables y se evaluaron comparativamente en términos de desempeño técnico, costos y potencial de reciclabilidad. Por último se analizó la viabilidad de implementación de la alternativa seleccionada en el contexto industrial argentino.

Luego de analizar los envases utilizados actualmente en el mercado argentino para el envasado de leche en polvo en sus formatos de 400 y 800 gramos se detectó que los mismos están compuestos por diferentes materiales, tales como el poliéster cristal, poliéster metalizado, aluminio y polietileno, lo que dificulta su reciclado.

Si bien la composición actual es válida dado que cumple con los objetivos principales del envase -contener y proteger el producto a lo largo de todo el ciclo de vida-, resulta pertinente considerar la incorporación de criterios de sostenibilidad ambiental que incrementen su compatibilidad con el medio ambiente.

En el marco de esta investigación se realizó un exhaustivo análisis de antecedentes de envases en el mercado nacional e internacional. Además, se llevaron a cabo entrevistas con informantes calificados de la industria láctea, proveedores de materiales, fabricantes de envases y personal del sistema científico-tecnológico, quienes aportaron información relevante para garantizar que los envases cumplan con las exigencias normativas y las necesidades del sector.

A raíz de esto, se plantearon diferentes alternativas sustentables que podrían resultar sustitutas a los envases actuales:

- Laminados de PET cristal biodegradable impreso (12 micrones) + PET metalizado biodegradable (12 micrones) + PEBD.
- PET Cristal PCR Impreso (12 micrones) + PET Metalizado Biodegradable (12 micrones) + PEBD.
- Envase monomaterial de PE, de 7 capas.

Dentro de las opciones detectadas, esta última (estructura monomaterial de polietileno de 7 capas) es la que mejor se posiciona en cuanto a rendimiento, costo y capacidad de reciclaje ya que está compuesta por un solo material (Polietileno), lo que facilita los procesos de recuperación y reciclabilidad.

A pesar de un costo por kilogramo ligeramente superior, su menor peso permite un costo por metro cuadrado más favorable (0,28 USD por metro cuadrado, contra 0,34 y 0,33 USD por metro cuadrado de las otras 2 alternativas restantes), optimizando el uso de material y recursos, al tiempo que garantiza la funcionalidad necesaria para la conservación de la leche en polvo.

Como desafío para esta estructura monomaterial, se presenta la adaptación del film a las envasadoras, dado que sus propiedades mecánicas difieren de las de los envases actualmente utilizados. Esto requerirá pruebas y ajustes específicos para garantizar un funcionamiento óptimo. Sin embargo, la mayoría de las máquinas de uso convencional podrían adaptarse a este material, lo que representa una ventaja significativa al no ser necesario adquirir nuevos equipos. Esta adaptación, aunque demande pruebas iniciales, no debería impedir la implementación del film, considerando la innovación que ofrece en términos de sustentabilidad, sin comprometer la productividad de la empresa.

Cabe señalar que la ventaja ambiental de la reciclabilidad del envase monomaterial de PE está condicionada por la efectividad del sistema de gestión de residuos en el que opera. En la presente investigación se seleccionó la estructura monomaterial de PE sobre la base de criterios técnicos y económicos, reconociendo que su atributo de reciclabilidad representa el mayor potencial de mejora ambiental entre las alternativas analizadas, en la medida en que se consolide la infraestructura de recolección y procesamiento necesaria además de complementarse con políticas de gestión de residuos que maximicen el aprovechamiento de sus atributos ambientales.

Finalmente, a partir del análisis de experiencias internacionales y de las opiniones de los entrevistados, se sugiere establecer un marco legal que respalde este tema, facilitando la implementación inicial de envases más sustentables y promoviendo progresivamente la migración hacia envases reciclables en reemplazo de aquellos que no cumplan con estas condiciones, trabajando en el diseño del envase desde sus orígenes con una mirada ambiental con el objetivo de lograr un envase reciclable.

Referencias bibliográficas

- Amcor. (2021, junio). *Amcor estrena bolsa reciclable en América Latina, el primer envase de plástico reciclado para chocolate en polvo*. <http://cenem.cl/newsletter/junio2021/detalle-21.php>
- Amcor. (5 de febrero de 2024). *Amcor Helps Cadbury Transition to 50% Recycled Plastic for Chocolate Wrappers*. <https://amcor.com>
- Amcor. (2024). *Amcor delivers new recyclable high-barrier dairy powder packaging in New Zealand*. <https://www.amcor.com/news/amcor-delivers-new-recyclable-high-barrier-dairy-powder-packaging-in-new-zealand>
- Asociación Española de Normalización. (2001). *Envases y embalajes. Requisitos de los envases y embalajes valorizables mediante compostaje y biodegradación. Programa de ensayo y criterios de evaluación para la aceptación final del envase (UNE-EN 13432:2001)*. une.org
- Association of Plastic Recyclers. (s.f.). *Association of Plastic Recyclers*. plasticsrecycling.org
- ASTM International. (2021). *Standard Specification for Labeling of Plastics Designed to be Aerobically Composted in Municipal or Industrial Facilities (ASTM D6400-21)*. astm.org
- BBC News. (2021). *Las consecuencias del cambio climático son irreversibles*. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-58143985>
- Becker Mendoza, J. J., Durand Sal y Rosas, A. P., Gonzales Panez, P., Palomino De La Vega, J. R., & Rodríguez Chávez, P. A. (2021). *PROYECTO, envases biodegradables y personalizados para cereales y derivados* [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. <http://hdl.handle.net/10757/659970>
- Bhimani, A., & Langfield-Smith, K. (2007). *Management accounting: Information for decision-making and strategy execution*. Cengage Learning.
- Bodie, Z., & Merton, R. C. (2004). *Finance*. Prentice Hall.

- BOCCI, D. I., & CASAS, M. R. (2013). *Producción de Leche en Polvo Entera, Parcialmente Descremada y Descremada: Estudio de prefactibilidad* [Proyecto de graduación]. Universidad Nacional de Cuyo.
- Bowe Pack. (s.f.). *Solución de bolsa monomaterial reciclable*. <https://es.bowepack.com/products/recyclable-monomaterial-pouch>
- Brundtland, G. H. (1987). *Our common future*. World Commission on Environment and Development.
- Cámara Argentina de la Industria Plástica. (2024). *Anuario de la industria plástica*. www.caip.org.ar
- Cámara Argentina de la Industria de Reciclados Plásticos. (2023). *Plásticos reciclables*. <https://cairplas.org.ar/plasticos-reciclables/>
- Cámara de Diputados de la Nación Argentina. (2019, 29 de abril). *Presupuestos mínimos para articular el manejo sustentable de envases y sus residuos. Régimen* (Expediente N.º 2127-D-2019). <https://www.diputados.gob.ar/comisiones/permanentes/cindustria/proyecto.html?exp=2127-D-2019>
- California Legislative Information. (2022). *Senate Bill No. 54: Plastic Pollution Prevention and Packaging Producer Responsibility Act*. State of California. [ca.gov](http://leginfo.ca.gov)
- CEFLEX. (2020). *Designing for a Circular Economy: Guidelines for Polyolefin-based Flexible Packaging*. Circular Economy for Flexible Packaging.
- Coles, R., McDowell, D., & Kirwan, M. J. (2004). *Manual del envasado de alimentos y bebidas* (1ª ed.). Blackwell Publishing Ltd.
- Economía Sustentable. (2025). *Así es el nuevo packaging de Mastellone Hnos fabricado con materiales de origen renovable*. <https://economiasustentable.com/noticias/asi-es-el-nuevo-packaging-sustentable-de-mastellone-hnos-fabricado-con-materiales-de-origen-renovable/>
- Ecoplas. (2022). *Contenido de plástico reciclado en productos, una acción para la economía circular* (Publicación 64). [Archivo PDF].

- Editorial RSyS. (2022, enero). *Sustentabilidad: qué es, definición, concepto, principios y tipos*. Responsabilidad Social. <http://responsabilidadsocial.net/sustentabilidad-que-es-definicion-concepto-principios-y-tipos/>
- Ellen MacArthur Foundation. (2018). *New Plastics Economy Global Commitment*. <https://ellenmacarthurfoundation.org/our-work/plastics/global-commitment>
- Esagraf. (2020, 30 de marzo). *Proceso de Impresión Flexográfica* [Diagrama]. En *Impresión flexográfica: características y ventajas*. Recuperado de <https://www.esagraf.com/caracteristicas-impresion-flexografica/>
- EUROPEAN BIOPLASTICS. (2023). *Bioplastics market development update 2023*. <https://www.european-bioplastics.org/market/>
- European Food Safety Authority [EFSA]. (2025). *Literature review on micro- and nanoplastic release from food contact materials during their uses*. EFSA Supporting Publications, 22(10), EN-9733. doi.org
- FABEN SA. (1998). *Presentación en UTN Rafaela realizada por Daniel Piovano, Gerente de Producción de FABEN S.A.* (Documento interno de circulación restringida).
- FABEN SA. (2021). *Reporte técnico Congelados del Sur, envases sustentables*. (Documento interno de circulación restringida).
- FLEXIBLE PACKAGING EUROPE: Sorting, Separation and Recycling/Recovery Technologies <https://www.flexpack-europe.org/recycling-recovery>
- Greiner Packaging. (20 de junio de 2022). *Safety assessment of the process Greiner Packaging, based on Starlinger deCON technology, used to recycle post-consumer PET into food contact materials*. EFSA Panel on Food Contact Materials, Enzymes and Processing Aids (CEP). PubMed. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35765380/>
- Grupo Mercado Común. (2007). *Resolución GMC N° 30/07: Reglamento Técnico MERCOSUR sobre envases de polietilentereftalato (PET) postconsumo reciclado grado alimentario (PET-PCR grado alimentario) destinados a estar en contacto con alimentos*. Sistema de Información Normativa del MERCOSUR.

https://normas.mercosur.int/simfiles/normativas/5274_RES_030-2007_ES_PET-PCR.pdf [1]

Han, Y., Han, S., Lee, M. H., Kadam, A., Perumalsamy, S., & Kim, Y. S. (2020). Recent trends in sustainable packaging for milk and dairy products: A review. *Journal of Dairy Science*, 103(12), 11099-11119.

Instituto Nacional de Tecnología Industrial. (2012). *Envases y embalajes: Apoyo al trabajo popular* (1ª ed.).

KIDV. (s.f.). *Projects*. kidv.nl

Li, Q., Lv, Y., Wen, M., Lin, C., Du, X., Deng, Y., & Cao, Q. (2021). Microplastics in powdered milk. *Science of The Total Environment*, 783, 147137.

Ministerio de Salud y Desarrollo Social y Ministerio de Producción y Trabajo. (2019). *Código Alimentario Argentino: Artículo 567 (Leche en polvo)*. Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (ANMAT). anmat.gov.ar

Nestlé. (2020, 7 de septiembre). *Transformación hacia envases sustentables*. www.nestle.com.ar

Nestlé. (s.f.). *¿Qué hace Nestlé para frenar los residuos de envases?* empresa.nestle.es

Nordmeccanica Group. (s.f.). *Duplex Combi Linear* [Fotografía]. En *Tecnología Combi*. Recuperado de <https://es.nordmeccanica.com/products/combi-solutions/duplex-combi-linear>

Observatorio de la Cadena Láctea Argentina. (28 de noviembre de 2025). *Elaboración de Productos Lácteos – a octubre de 2025*. <https://www.ocla.org.ar/noticias/34887855-elaboracion-de-productos-lacteos-a-octubre-de-2025>

Observatorio de la Cadena Láctea Argentina. (s.f.). *Perspectivas para el sector lácteo 2022-2031*. <https://www.ocla.org.ar/contents/news/details/23402383-perspectivas-para-el-sector-lacteo-2022-2031>

- Organización de las Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible* (Resolución A/RES/70/1). Asamblea General de las Naciones Unidas.
- Páez, R. B. (s.f.). *Efecto de condiciones de almacenamiento sobre la estabilidad oxidativa de leche entera en polvo* [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Litoral].
- Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2025, 22 de enero). Reglamento (UE) 2025/40, de 19 de diciembre de 2024, relativo a los envases y los residuos de envases. *Diario Oficial de la Unión Europea*, L 2025/40. <https://eur-lex.europa.eu>
- Polytag. (2023, 29 de noviembre). *SB54: Ley de prevención de la contaminación por plásticos en California*. <https://polytag.io/es/legislacion/sb54-ley-de-prevencion-de-la-contaminacion-por-plasticos-en-california/>
- Priyadarshini, A., & Perumal, A. B. (2020). Sustainable packaging materials for food and dairy industry: An overview. *Journal of Food Science and Technology*, 57(11), 3897-3914.
- Publitech. (7 de enero de 2023). *Petropack: Nuevo sachet de leche sin cadena de frío y totalmente reciclable*. Alimentación Latinoamericana. <https://publitech.com/petropack-nuevo-sachet-de-leche-sin-cadena-de-frio-y-totalmente-reciclable/>.
- RecyClass. (2022). *Design for Recycling Guidelines: Plastic Packaging*. RecyClass. <https://recyclclass.eu>
- Revista El Empaque. (2023, julio). *Dow, sello rojo y alico crean un empaque de café 100% reciclable*. <https://www.elempaque.com/es/noticias/dow-sello-rojo-y-alico-crean-un-empaque-de-cafe-100-reciclable>
- SPG Pack. (2023, 6 de marzo). *Descubre la nueva gama Eco: envases 100% monomateriales y reciclables*. <https://www.spg-pack.com/blog/descubre-la-nueva-gama-eco-envases-100-monomateriales-y-reciclables/>

Tacom Spout. (s.f.). *La evolución de los embalajes para productos alimentarios en polvo*. www.tacomspout.ch

Taghleef Industries. (19 de agosto de 2024). *Recyclable Milk Powder Packaging with Ultra High Barrier Properties*. <https://www.ti-films.com/case-studies/recyclable-milk-powder-packaging-with-ultra-high-barrier-properties/>

The Association of Plastic Recyclers. (2023). *The APR Design® Guide for Plastics Recyclability*. APR. <https://plasticsrecycling.org>

The Food Tech. (2022, 24 de agosto). *Envases sostenibles, una tendencia para el sector packaging*. thefoodtech.com

Todo en Polímeros. (s.f.). *Esquema de Extrusión Película Soplada* [Diagrama]. En *Procesos de Extrusión*. Recuperado de <https://todoenpolimeros.com/procesos-de-extrusion/>

Anexo N°1

Guía de Entrevistas Semiestructuradas

Se presentan las guías utilizadas para cada una de las personas entrevistadas diferenciadas por el sector al que pertenecen, fabricación de envases, sector lácteo e instituciones tecnológicas y públicas.

Además se detallan las personas entrevistadas

- **Ficha técnica para la entrevista a personal de empresas fabricantes de envases flexibles (FABEN S.A.)**

Nombre de la persona entrevistada:

Edad :

Cargo:

Empresa:

Antigüedad en la empresa

: _____

Profesión del

entrevistado: _____

Fecha de la entrevista:

1. ¿Fabrican en su empresa envases flexibles para el envasado de leche en polvo? En caso de respuesta afirmativa, ¿Qué tipo de envases flexibles fabrican en la actualidad para el envasado de este producto?
2. ¿Qué requisitos y/o exigencias deben cumplir los envases para poder ser utilizados en el envasado de leche en polvo?
3. ¿Podría describir el proceso de producción de los envases flexibles para leche en polvo? ¿Qué tipo de materiales e insumos se utilizan en su producción?
4. ¿Ha realizado la empresa un análisis del ciclo de vida para esta tipología de envases?

5. ¿Se genera algún tipo de scrap o desecho durante el proceso industrial? En caso de respuesta afirmativa, ¿Qué destino le dan al material de desecho del proceso productivo?
6. ¿Qué cantidad de envases para leche en polvo producen anualmente? De ser posible, desagregar la respuesta según los distintos formatos de envase que se producen en la empresa (400 gramos, 800 gramos, otros)
7. En materia de sustentabilidad, ¿conoce usted si los materiales utilizados para la fabricación de los envases para leche en polvo pueden ser reciclados total o parcialmente?.
8. ¿Cuenta la empresa con algún tipo de envase diseñado para ser biodegradable y/o íntegramente reciclable/reutilizable?
9. ¿Existen experiencias de fabricación de este tipo de envases para el envasado de leche en polvo a nivel internacional? En caso de conocer alguna experiencia al respecto, ¿podría indicarme cómo proceder para acceder a mayor información sobre la misma? (i.e. indicar nombre del proveedor, del producto, sitio web para el acceso a información, otro).
10. ¿Cuáles son las principales tendencias internacionales en lo que respecta al uso de envases y embalajes para productos alimenticios?
11. ¿Considera que los envases para leche en polvo que se utilizan actualmente serán reemplazados por otro tipo de alternativas más sustentables a futuro?
12. ¿Cuenta la empresa con proveedores en condiciones de suministrar materiales sustentables que pudieran resultar convenientes para reemplazar insumos y/o materias primas de uso actual que no revistan tal condición? (i.e. bioplásticos, biopolímeros, otros).
13. Con relación a sus principales competidores del mercado, ¿Conoce usted si algún competidor ha incorporado al mercado envases realizados a partir de materiales sustentables y/o con capacidad de ser reciclados/reutilizados íntegramente?
14. Por último, tomando en consideración el avance de normativas y regulaciones que incorporan la dimensión ambiental para la gestión integral de envases y embalajes ¿Cuál es su percepción respecto al futuro de los envases para la industria alimenticia en Argentina y el mundo?

- **Ficha técnica para la entrevista a personal de empresas lácteas que elaboran leche en polvo en la actualidad.**

Nombre de la persona entrevistada:

Edad :

Cargo:

Empresa:

Antigüedad en la empresa

:

Profesión del

entrevistado:

Fecha de la entrevista:

1. ¿Cuál es la escala de producción de su empresa (medida como litros de leche procesados por día) y cuáles son los principales productos elaborados?
2. ¿Cuál es el volumen anual total de producción de leche en polvo? De ser posible, desagregar la respuesta según los distintos formatos que se utilizan en la empresa para la comercialización de leche en polvo (400 gramos, 800 gramos, envases de 25 kg, otros).
3. ¿Exportan leche en polvo? ¿Qué formatos se utilizan para la exportación?
4. ¿Podría indicarme cuales son los requisitos técnicos y funcionales que deben cumplir los envases de leche en polvo en sus presentaciones de 400 a 800 gramos para la comercialización en el mercado nacional?
5. ¿Existen requerimientos y/o regulaciones adicionales para la comercialización en los mercados internacionales? En caso de respuesta afirmativa, se solicita ampliar la información respecto a estas exigencias.
6. ¿Qué cantidad de envases de los formatos de 400 a 800 gramos utilizan por año?
7. ¿Qué destino recibe el material de envases que se desecha de la línea de producción?

8. En materia de sustentabilidad, ¿sabe usted si los envases utilizados para la elaboración de leche en polvo en sus formatos de 400 y 800 gramos pueden ser reciclados total o parcialmente?
9. En caso de no conocer esta respuesta, ¿Podría la empresa tener interés en analizar las condiciones y aptitudes de sustentabilidad inherentes a los envases flexibles utilizados actualmente para el envasado de leche en polvo?
10. Tomando en consideración el avance en las normativas y exigencias para la gestión ambiental de envases y embalajes, ¿la empresa cuenta con alguna alternativa de envasado generado a partir de insumos biodegradables y/o que pudiera ser íntegramente reciclable/reutilizable?
11. ¿Consideran que el mercado les demandará envases sustentables para la comercialización de leche en polvo a futuro? ¿Considera importante que se trabaje en ello? ¿Cual es su opinión al respecto?.

- **Ficha técnica para la entrevista a personal de instituciones científicas y tecnológicas relacionadas a la cadena de valor láctea (INTA, INTI Lácteo).**

Nombre de la persona entrevistada:

Edad :

Cargo:

Empresa / Institución: _____

Antigüedad en la

Empresa/Institución: _____

Profesión del

entrevistado: _____

Fecha de la entrevista:

1. ¿Cuenta su organización con líneas y/o planes de trabajo en lo que refiere a la temática envases y embalajes?

2. ¿Existen antecedentes de trabajo en lo que refiere a envasado de productos lácteos? En caso de respuesta afirmativa, se agradece describir las acciones que realiza la institución con relación a esta temática.
3. ¿Conoce usted si existen alternativas desarrolladas y disponibles en el mercado nacional de envases flexibles para productos lácteos diseñados y producidos bajo criterios de sustentabilidad ambiental?
4. Tomando en consideración el avance de normativas y/o regulaciones que incorporan la dimensión ambiental para la gestión integral de envases flexibles, ¿Cuál es su percepción respecto al futuro de los envases para la industria alimenticia en Argentina y el mundo?
5. En caso de que la apreciación incluya un aumento en las exigencias y normativas que deberán cumplir las empresas, ¿Cuál considera que podría ser el aporte del sector científico y tecnológico argentino para acompañar a las empresas en adaptarse a este tipo de normativas?

Personas entrevistadas

Para éste estudio, se ha optado por no identificar a los participantes entrevistados por sus nombres y apellidos, ya que durante las entrevistas no se solicitó autorización expresa para la publicación de dicha información.

Con el fin de respetar su privacidad, se hará referencia a cada uno de ellos mediante el cargo o posición que ocupan dentro de sus respectivas organizaciones.

- Cargo: Jefe de compras
Sector: Compras
Tipo de Organización: Empresa lácteas
Ubicación geográfica: Rafaela. Santa Fe. Argentina.
- Cargo: Jefe de medio ambiente (Ingeniero Químico)
Sector: Producción.
Tipo de Organización: Empresa lácteas
Ubicación geográfica: Nogoyá. Entre Ríos. Argentina.
- Cargo: Asistente de envases y embalajes (Ingeniero en tecnología de los Alimentos).
Sector: Producción.
Tipo de Organización: Empresa láctea.

Ubicación geográfica: Rafaela. Santa Fe. Argentina.

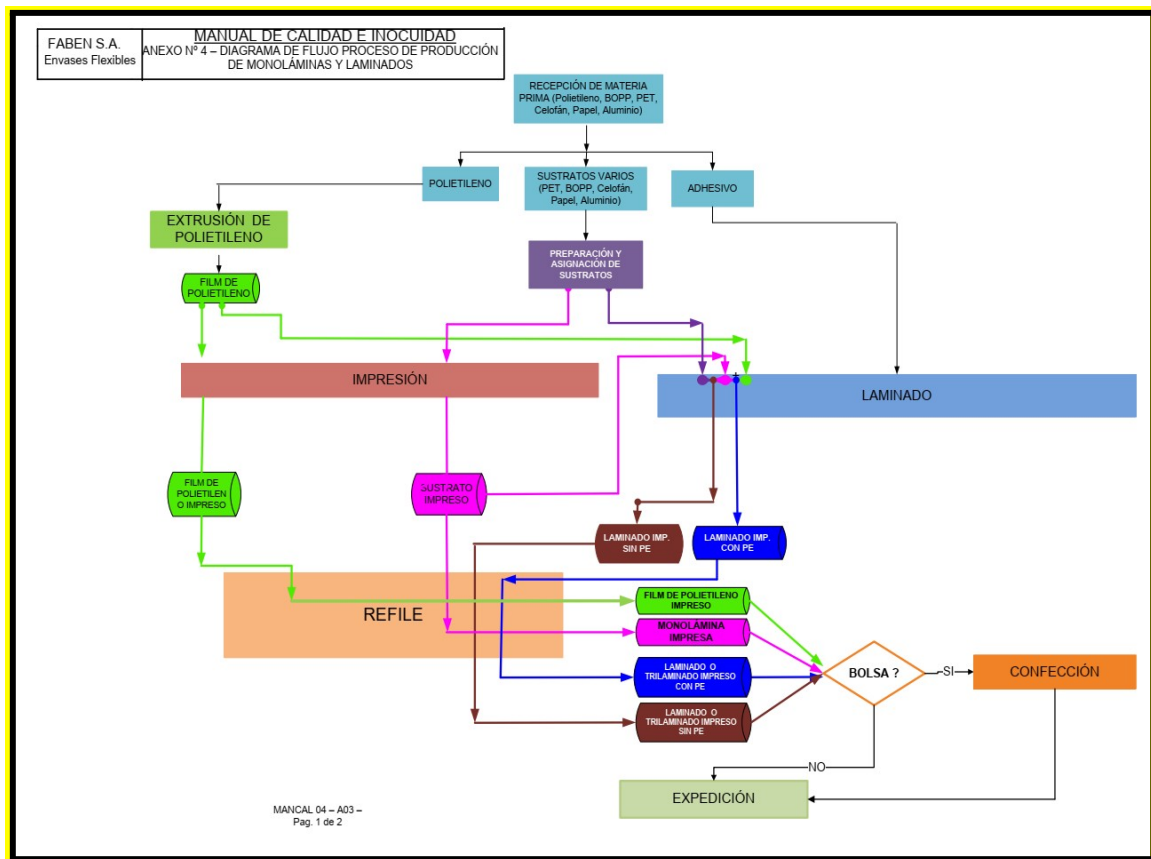
- Cargo: Jefe de Calidad (Ingeniero Químico).
Sector: Calidad.
Tipo de Organización: Empresa láctea.
Ubicación geográfica: Recreo. Santa Fe. Argentina.
- Cargo: Servicio Técnico y Desarrollo (Lic en Química).
Sector: Investigación y Desarrollo.
Tipo de Organización: Empresa proveedora de Polietileno.
Ubicación geográfica: Bahía Blanca. Buenos Aires. Argentina.
- Cargo: Gerente Comercial (Lic en Administración de Empresas).
Sector: Departamento Comercial.
Tipo de Organización: Empresa proveedora de Poliéster.
Ubicación geográfica: Altamira. México.
- Cargo: Responsable de Investigación y Desarrollo (Ingeniero Químico).
Sector: Investigación y Desarrollo.
Tipo de Organización: Empresa proveedora de Envases Flexibles.
Ubicación geográfica: Rafaela. Santa Fe. Argentina.
- Cargo: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
Sector: Investigación / Incubación de empresas de base tecnológica
Tipo de Organización: Científico-tecnológica
Ubicación geográfica: Rafaela, Santa Fe. Argentina .
- Cargo: Instituto Nacional de Tecnología Industrial - INTI Lácteos
Sector: Valorización de subproductos / envases y embalajes
Tipo de Organización: Científico - tecnológica.
Ubicación geográfica: Rafaela, Santa Fe. Argentina .

Anexo N°2

Proceso Productivo Faben SA

Se expone diagrama de flujo del proceso de producción de monolaminas y laminados correspondiente a la empresa Faben SA

Diagrama de Flujo Faben SA



Fuente: Faben SA

Anexo N°3

Apertura de costos

En este anexo se presentan las estructuras de costos correspondientes a cada una de las alternativas de envases evaluadas en la investigación. El costeo directo fue elaborado a partir de la composición de materiales de cada estructura, considerando la participación en peso de cada componente y los costos unitarios relevados durante el desarrollo de la investigación. La información utilizada surge de consultas y validaciones realizadas con proveedores de envases y empresas del sector, lo que permitió estimar el costo por kilogramo y por metro cuadrado de cada una de las configuraciones analizadas. A continuación, se detalla el desglose individual de costos para cada formato de envase propuesto.

<u>Apertura costos</u> <u>LOTE 1000 KG</u>					
Estructura de costos de los materiales propuestos					
	Materias primas (USD/KG)		Proporción en peso (U.M / KG)	usd/kg	
PET/TC 12 mic +ALUMINIO 7 mic +PEBD/C 60 mic sin solventes (Actual de línea)	2,59	Pet cristal	0,195	0,51	
Peso superficial 98 gr/m²	6,1	Aluminio	0,217	1,32	
	1,65	Polietileno	0,633	1,04	
	6,84	Tintas	0,072	0,49	
	2,05	Diluyentes	0,072	0,15	
	6,02	Adhesivos	0,058	0,35	
				3,86	TOTAL COSTO MP
				0,12	Flete vta
				0,09	Flete compra
				0,28	Energía
			Costo por m2	0,38	

PET/TC 12 mic+PET MET 12 mic +PEBD/C 60 mic sin solventes (Actual de línea)	2,59	Pet cristal	0,199	0,52	
Peso superficial 97 gr/m2	3,02	Pet metaliza do	0,199	0,60	
	1,65	Polietile no	0,645	1,06	
	6,84	Tintas	0,073	0,50	
	2,05	Diluyent es	0,073	0,15	
	6,02	Adhesiv os	0,058	0,35	
				3,18	TOTAL COSTO MP
				0,12	Flete vta
				0,09	Flete compra
				0,28	Energía
			Costo por m2	0,31	
PET/TC BIO 12 mic +PET MET BIO 12 mic +PEBD/C 60 mic sin solventes	3,28	Pet cristal	0,199	0,65	
Peso superficial 97 gr/m2	3,8	Pet metaliza do	0,199	0,76	
	1,65	Polietile no	0,645	1,06	
	6,84	Tintas	0,073	0,50	
	2,05	Diluyent es	0,073	0,15	
	6,02	Adhesiv os	0,058	0,35	
				3,47	TOTAL COSTO MP
				0,12	Flete vta
				0,09	Flete compra

				0,28	Energía
			Costo por m2	0,34	
PET/TC 12 mic +PET MET 12 mic +PEBD/C 60 mic sin solventes PCR	3,02	Pet cristal	0,199	0,60	
Peso superficial 97 gr/m2	3,54	Pet metaliza do	0,199	0,70	
	1,65	Polietile no	0,645	1,06	
	6,84	Tintas	0,073	0,50	
	2,05	Diluyent es	0,073	0,15	
	6,02	Adhesiv os	0,058	0,35	
				3,37	TOTAL COSTO MP
				0,12	Flete vta
				0,09	Flete compra
				0,28	Energía
			Costo por m2	0,33	
Monolamina PE especial 80 micrones	2,74	Polietile no	1,042	2,86	
Peso superficial 76 gr/m2	6,84	Tintas	0,088	0,60	
	2,05	Diluyent es	0,088	0,18	
				3,64	TOTAL COSTO MP
				0,12	Flete vta
				0,09	Flete compra
				0,17	Energía

			Costo por m2	0,28	