



*Pontificia Universidad Católica Argentina*  
*“Santa María de los Buenos Aires”*  
*Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias*

## **Carrera Ingeniería Ambiental**

### **Trabajo Final:**

**“Análisis y búsqueda de alternativas de materia prima  
para la producción de bolsas biodegradables en una  
PyME de la Provincia de Misiones”**

**Alumna: Melania Almirón**

**Legajo:15-152174-6**

**Director de Carrera: Mg. Pablo E. Buscemi**

**Tutor: Mg. Ing. José Eduardo Contento**

## ÍNDICE

<b>1. Introducción</b> .....	1
<b>2. Problemática actual</b> .....	2
<b>3. Objetivos</b> .....	3
<b>4. Hipótesis</b> .....	3
<b>5. Desarrollo y Análisis</b> .....	3
<b>6. Matriz de Decisión</b> .....	19
<b>7. Alternativa Superadora</b> .....	24
<b>8. Conclusión</b> .....	27
<b>9. Plan de trabajo</b> .....	29
<b>Anexo</b> .....	30
<b>Bibliografía</b> .....	32

## Tablas y Figuras

Tabla 1: Alternativas a desarrollar .....	4
Tabla 2: Información técnica Bolsa de Papel. ....	10
Tabla 3: Información económica Bolsa de Papel. ....	11
Tabla 4: Evaluación Ambiental bolsa de Papel. Fuente: Bousted Consulting & Associates and ACC (American Chemical Council). ....	11
Tabla 5: Información técnica Bolsa Bio-plástica .....	13
Tabla 6: Evaluación Ambiental bolsa bioplástica. Fuente: Bousted Consulting & Associates and ACC (American Chemical Council) .....	16
Tabla 7: Información técnica Bolsa yute .....	17
Tabla 8: Información económica Bolsa de Yute .....	18
Tabla 9: Evaluación Ambiental bolsa bioplástica. Fuente: Bousted Consulting & Associates and ACC (American Chemical Council) .....	18
Figura 1: Imagen de la Planta brindada por la empresa .....	3
Figura 2: Maquina extrusora. Fuente: WG Scientech Jiaxing Co., Ltd .....	4
Figura 3: Maquina impresora. Fuente: WG Scientech Jiaxing Co., Ltd .....	5
Figura 4: Maquina selladora. Fuente: WG Scientech Jiaxing Co., Ltd .....	5
Figura 5: Esquema de Ciclo de Vida de un producto. Fuente: AIMPLAS .....	7
Figura 6: Posibles impactos asociados a las distintas etapas del proceso de elaboración de bolsas. Fuente: Plaza, G.C & Pacli, M. (2012). ....	9
Figura 7: Estudio de mercado de los materiales biodegradables. Fuente: Ernst and Young. ....	13
Figura 8: Distribución del consumo no alimentario del maíz. Fuente: Walter Ganapini, Milano, Edizioni Ambiente, 2012. ....	14

Figura 9: Comparativa en la Huella Hídrica. Fuente: Waterfootprint Or. ....	15
Figura 10: Energía total en 1000. bolsas Fuente: Elaboración Propia . ....	22
Figura 11: Energía total en 1000. bolsas Fuente: Elaboración Propia. ....	23
Figura 12: Energía total en 1000. bolsas Fuente: Elaboración Propia. ....	23
Figura 13: Distribución actual de las maquinarias de la Planta. ....	25
Figura 14: Sector de almacenamiento dentro de la Planta. ....	25

# 1. Introducción

Durante junio del 2020 Misiones publicó en el boletín oficial la Ley XVI-129: “Prohibición de uso de bolsas plásticas y todo otro material no biodegradable utilizadas y distribuidas en la actividad económica para el transporte de productos o mercaderías de los consumidores”. No sólo Posadas trabaja en esta iniciativa: también los municipios optaron por impulsar ordenanzas para reducir el uso de este material (Ledesma L, 3 de julio de 2023). Varias localidades misioneras que incluyen Montecarlo, Apóstoles, Puerto Iguazú y Gobernador Roca, habían implementado ordenanzas para prohibir la utilización de bolsas plásticas en los negocios desde 2019 (anteriores a esta ley).

Debido a la pandemia de COVID-19 la concreción de dichas leyes y ordenanzas se ralentizó, pero a fines de 2022 se transformó en una meta que todas las localidades tienen que alcanzar. Sobre este ultimátum de plazos de cumplimiento que proponen las leyes y ordenanzas, varios municipios ya se encuentran trabajando en esta alternativa y algunos habrían logrado evitar el uso de bolsas de plástico tradicionales como es el caso de Montecarlo e Iguazú, localidades de la provincia de Misiones. Esto promueve al día de hoy un fuerte cambio de hábitos en las compras cotidianas que industrias, comercios y habitantes evalúan.

Los objetivos de la antedicha ley se basan en promover la concientización sobre la utilización de materiales biodegradables, proteger los ecosistemas afectados por material no biodegradable y contribuir al derecho de los habitantes a gozar de un ambiente sano, equilibrado y apto para el desarrollo humano.

El ex gobernador de la provincia, Carlos Rovira, explicó que la ley nació de la preocupación por la grave crisis ambiental que afecta a nuestro planeta. En una entrevista con Luana Ledesma para el diario “El Territorio” el 6 de mayo del 2020, Rovira destacó el problema que representa las bolsas de plástico. Según sus palabras, estas bolsas se han convertido en uno de los mayores desafíos para el mundo y además agregó que si no la disponemos en lugares adecuados, estas bolsas pueden contaminar suelos, desagües, paisajes e incluso océanos. Lo impactante es que el plástico puede tardar más de 150 años en degradarse, pudiendo provocar un impacto importante a largo plazo. En este contexto, Rovira advirtió sobre la importancia de depositarlas adecuadamente y de considerar alternativas más amigables con el ambiente.

Con este panorama, es clave el rol de la industria, la cual debe adaptarse a nuevas alternativas de producción a fin de velar por el correcto funcionamiento de las empresas y también por el ambiente provincial y nacional.

PLASTIMI S.R.L es una empresa familiar que nació en 1972 en la provincia de Misiones y se asentó firmemente en la ciudad de Posadas. Se dedica fundamentalmente a la fabricación y comercialización de films plásticos y varios tipos de bolsas plásticas: desde camisetas, rollos de arranque y fólex hasta productos más sofisticados como bolsas de e-commerce y además bolsas de fondo cuadrado para la industria yerbatera. Hace más de cuatro décadas que apuestan al progreso del negocio y lo materializan siempre que pueden ampliando sus áreas de influencia y elaborando cada vez más líneas de productos con avances tecnológicos amigables con el ambiente.

La empresa en cuestión durante el 2022 produjo un total de 127 toneladas de bolsas plásticas al año. De este total producido, un 70 % se fabrica como bolsa Camiseta ya que tiene como principal comprador una cadena muy importante de supermercados, otro 20 % se destina a las bolsas de arranque y el 10 % restante se divide entre la producción de bolsas tipo residuo o de consorcio y bolsas Riñón (cabe aclarar que la empresa también produce productos para envasado, pero no serán tenidos en cuenta a lo largo de este estudio). Dada esta considerable cifra, resulta crucial implementar nuevas estrategias para reducir el impacto

ambiental en la comunidad de las bolsas plásticas, las cuales tienen un solo uso. Esto no se debe únicamente a la creciente conciencia ambiental, sino también a la necesidad de cumplir con las nuevas regulaciones.

Según la legislación actual, la producción de bolsas plásticas debe cumplir con el requisito de biodegradabilidad, es decir, deben descomponerse a través de procesos biológicos facilitados por microorganismos. Este enfoque no solo busca cumplir con las normativas, sino también contribuir activamente a la reducción de residuos plásticos y preservar nuestro entorno. La adopción de prácticas más sostenibles no sólo beneficia al ambiente, sino que también puede ser una oportunidad para mejorar la imagen de la empresa y su compromiso con la responsabilidad ambiental.

## **2. Problemática actual**

Misiones es una provincia de Argentina muy conocida por su destacada y abundante flora y fauna, diversidad de paisajes y su valor cultural. A su vez, sobresale por ser pionera en temáticas ambientales, ya que cuenta desde diciembre de 1984 con un Ministerio de Ecología y Recursos Naturales Renovables.

Los residuos plásticos conforman entre el 20% y el 30% del total del volumen de los rellenos sanitarios municipales. Debido a que estos materiales son resistentes a la degradación bacteriana, permanecen durante años bajo tierra, y contaminan los ecosistemas para convertirse en una de las corrientes de residuos más problemáticas en los contextos urbanos (Ishigaki et al., 2004).

Sin embargo, como explica el artículo publicado en el diario "El Territorio" (El Territorio, 2022), actualmente se enfrenta a un serio dilema debido al uso excesivo de bolsas plásticas. Este dilema tiene consecuencias adversas tanto en aspectos sociales como en los económicos y ambientales, pudiendo generar impactos negativos en los diversos ecosistemas. Dos razones principales contribuyen a estos problemas: en primer lugar, la producción y uso masivo de bolsas plásticas, que representan el 4% de los residuos generados, según un informe del diario "La República" (La República, 2020); en segundo lugar, la problemática radica en la materia prima plástica ya que, al ser un subproducto del petróleo, presenta una resistencia a la degradación (La República, 2020).

Cabe destacar que el proceso de reciclaje también enfrenta sus desafíos: a pesar de que la mayoría de los plásticos podrían ser reutilizados o reciclados, la realidad es que el tratamiento de estos desechos plantea un problema de difícil solución. La gestión, recolección y disposición final de estos residuos resulta un proceso costoso y complejo para las autoridades municipales, ya que deben lidiar no solo con la cantidad de envases sino también con el volumen que estos representan (El Territorio, 2022).

Fundamentándose principalmente en la preocupación por el ambiente, es que Misiones sanciona la Ley XVI-129 (2020) y surge una oportunidad para que se puedan pensar en alternativas para las empresas como PLASTIMI S.R.L, la cual se dedica a fabricar bolsas plásticas industriales. El cambio del uso de bolsas plásticas a bolsas biodegradables buscará contribuir a la reducción de la acumulación de plásticos en la provincia y abordar la problemática mencionada anteriormente.



Figura 1: Imagen de la Planta brindada por la empresa.

### 3. Objetivos

Los objetivos de este trabajo se centrarán en:

- Estudiar materias primas alternativas e identificar la óptima para la fabricación de bolsas en PLASTIMI SRL (aquella que resulte en un proceso productivo viable, rentable y amigable con el ambiente, a fin de poder concretarla en un futuro cercano).
- Diseñar un proceso óptimo para la obtención de un nuevo producto que cumpla con los estándares de calidad de la empresa y que además cumpla con las regulaciones planteadas en la Ley XVI-129 (2020), buscando la mejor forma de mitigar el impacto ambiental.

### 4. Hipótesis

La hipótesis central de este trabajo plantea que la adopción de materias primas alternativas al plástico proporcionará a la empresa la capacidad de optimizar sus recursos productivos. La adopción de esta nueva materia prima en el proceso productivo será viable y respetuosa del ambiente y concomitantemente rentable para la empresa.

### 5. Desarrollo y Análisis

La solución a plantear consistirá en el cambio de la materia prima que ingresa al proceso, de manera que la materia que la reemplace cumpla con los requisitos que enumera la Ley Misionera. Se buscará obtener la mejor técnica disponible y las mejores herramientas de gestión que, acompañadas con nuevas tecnologías, permitan el reemplazo por completo del plástico.

Cabe resaltar que el polietileno, al ser un derivado del petróleo, tiene una gran huella de carbono asociada. Al pensar en su sustitución también se estudiarán variables asociadas como la reducción de las emisiones a la atmósfera (en caso de que existieran), consumos energéticos del proceso, consumo de agua involucrado y otras aristas como pueden ser la económica o la social.

Para esto se propondrán tres posibles soluciones orientadas a la prevención y atenuación de las problemáticas derivadas del uso de bolsas plásticas, teniendo en cuenta las buenas prácticas de gestión ambiental (prevenir, reducir, recuperar-reciclar, tratar y disponer). Posteriormente, estas soluciones serán sometidas a un análisis en el cual se

tendrán en cuenta los aspectos técnicos, económicos y el contexto, es decir, tanto escala temporal como logística, para determinar la solución óptima para el caso.

Las tres alternativas planteadas son:

<b>Alternativa 1</b>	Producción de bolsas a partir de papel tipo Kraft.
<b>Alternativa 2</b>	Elaboración de bolsas bio-degradables a base de almidón de maíz.
<b>Alternativa 3</b>	Sustitución de las bolsas plásticas por bolsas de Yute.

Tabla 1: Alternativas a desarrollar.

## Análisis general

La fábrica de la empresa en estudio se encuentra en el Parque Industrial y de la Innovación Posadas (PIIP). Actualmente tiene una producción de 127 toneladas al año de bolsas plásticas y se encuentra en búsqueda de una alternativa que le permita reemplazar la producción actual por otra que cumpla con lo que requiere la Ley Misionera.

Como todas las empresas fabricantes de bolsas plásticas, la empresa PLASTIMI SRL actualmente cuenta con un proceso productivo formado por 3 máquinas principales: extrusora, impresora y selladora.

El circuito productivo se desarrollará de la siguiente manera:

- En la máquina extrusora (la maquina principal con la que comienza el proceso productivo) se transforma la materia prima (polietileno) en un tubo continuo mediante una boquilla.



Figura 2: Maquina extrusora. Fuente: WG Sciencetech Jiaxing Co., Ltd

- En la máquina impresora, las bobinas con el material procedente de la máquina extrusora se introducen en un extremo de las rotativas flexográficas, y luego se hace pasar el film (de polietileno) por unos rodillos y tinteros hasta que llegan al otro extremo con tinta seca.



Figura 3: Máquina impresora. Fuente: WG Scientech Jiaxing Co., Ltd.

- Finalmente, en la máquina selladora se realiza el corte y sellado de las bolsas. Para esto, se insertan las bobinas (cargadas con el film plástico) en la selladora y automáticamente la máquina empieza a jalar y sellar las láminas de plásticos de acuerdo con la medida que haya programado el operario sellador.



Figura 4: Máquina selladora. Fuente: WG Scientech Jiaxing Co., Ltd

Es importante mencionar que, si bien la materia prima utilizada hoy en día es el polietileno, las máquinas mencionadas anteriormente pueden realizar el mismo trabajo con bioplásticos.

Si bien los procesos principales se desarrollan en las máquinas extrusora, impresora y selladora, hay otra serie de procesos esenciales vinculados con la producción de bolsas, a saber: el embalaje, los trabajos administrativos, la mano de obra y el almacenamiento (tanto de la materia prima como del producto final).

### **Contexto Global**

La reciente legislación, alineada con las reflexiones presentadas por Castañeda et. al. (2020), aborda la complejidad de los temas ambientales que han surgido como puntos centrales de análisis sobre las condiciones de la sociedad moderna. Dentro de estas condiciones, se destaca la necesidad de sustituir gradualmente los productos derivados de combustibles fósiles con sustancias provenientes de fuentes renovables. Es crucial reconocer

que el petróleo, siendo un recurso finito, experimenta un aumento en su costo debido al crecimiento constante de la demanda global.

Alrededor del 4% de la producción mundial de gas y petróleo es utilizada para abastecer a la industria del plástico, y se calcula que además se usa un 3% extra para proveer de energía a la cadena productiva. Se estima que para producir 1 kg de plástico son necesarios 2 kg de algún derivado de los hidrocarburos (Mugdal et al., 2011). En este sentido, vale la pena reconsiderar las ventajas y alternativas de un producto con un ciclo de vida útil tan corto (como la bolsa plástica liviana).

En este contexto, el uso de materia prima proveniente de fuentes renovables en la industria química y plástica surge como una respuesta estratégica para el control de los gases de efecto invernadero. La investigación de Castañeda (2020) enfatiza que el desarrollo de productos derivados de esta materia prima renovable y biodegradables representa una contribución significativa al desarrollo sostenible. Esto se traduce en la posibilidad de reducir el consumo de energía durante la producción y en una amplia gama de opciones para la gestión de residuos, lo que, en última instancia, mitiga el impacto ambiental.

Para el entendimiento de este trabajo resulta importante tener en cuenta los conceptos planteados a continuación: estos fueron tenidos en cuenta meticulosamente para el desarrollo de mismo y resultan claves para su comprensión.

- **Contaminación ambiental:** es un proceso cíclico que incluye todos los medios (agua, aire, suelo) y desde todos los ángulos (organismos vivos, tanto emisores como receptores de contaminantes). Los factores de contaminación son los remanentes de las actividades humanas en la sociedad, y causan que afectan al ambiente físico, biológico, social y económico, así como los recursos naturales y las condiciones de salud (Escanilla, 2019).
- **Contaminantes ambientales:** son aquellos contaminantes que se liberan directamente de la fuente se denominan contaminantes primarios y se liberan a la tasa o flujo de emisión, que es la velocidad a la que se emiten desde la fuente, en donde sufren procesos como transporte, dispersión y reacciones químicas, convirtiéndose en contaminantes secundarios. Estos contaminantes alcanzan los receptores a través de diversos mecanismos (precipitación o cadena alimenticia) provocando inestabilidad, desorden, daño o malestar en un ecosistema (Conde, 2013).
- **Contaminantes no degradables** son sustancias que no se descomponen por procesos naturales (como el plomo y el mercurio). La mejor manera de lidiar con los contaminantes no biodegradables (que se degradan lentamente) es evitar que se liberen al ambiente, por ello la mejor opción es reciclarlos y reutilizarlos (Conde, 2013). En el caso de los plásticos, tardas décadas en degradarse, aunque no se degrada por completo debido a la presencia de micro-plásticos (Castañeda, 2020).
- **Contaminantes Biodegradables:** son aquellas sustancias contaminantes que pueden transformarse en compuestos más simples gracias a la actividad de seres vivos. Ortega (2013) afirma que la biodegradación de contaminantes orgánicos antropogénicos involucra una gran variedad de reacciones enzimáticas, mediante las cuales estos compuestos son modificados por organismos (principalmente microorganismos) para producir cambios significativos en el ambiente.

## Contexto Local y Condiciones Específicas

Con las distintas alternativas se buscarán atacar distintos frentes:

- **Producto:** bolsas hechas de un material que permita que estas se mantengan intactas desde su producción hasta su almacenamiento, envasado y uso por parte del cliente. Además, es necesario que una vez que sean desechadas, comiencen a experimentar cambios químicos como consecuencia de factores ambientales como la exposición a la luz solar y la humedad. Después de este proceso, comienza el proceso de biodegradación.

La fabricación del producto se enfocará en garantizar que este cumpla con las mismas propiedades esenciales que caracteriza a las bolsas plásticas convencionales. Estas propiedades incluyen la resistencia, practicidad y permeabilidad, aspectos fundamentales que los consumidores valoran en su experiencia diaria con este tipo de productos.

La resistencia (esencial para transportar artículos de manera segura), la practicidad (para facilitar su uso cotidiano) y la permeabilidad (para adaptarse a diversas necesidades) son consideraciones claves para el proceso de fabricación. Estamos comprometidos a proporcionar un producto que no sólo cumple con las normas de calidad, sino que también satisface las expectativas del mercado, promoviendo así la aceptación y adopción de esta alternativa sostenible en un escenario de creciente conciencia ambiental y cambios normativos.



Figura 5: Esquema de Ciclo de Vida de un producto. Fuente: AIMPLAS

- **Mercado Potencial para el Proyecto:** en la actualidad la empresa produce unas 127 toneladas en un año. Las empresas que deciden comprar en PLASTIMI SRL son las mismas que piden alguna alternativa para adecuarse a los requisitos de la ley, por lo que el público continúa siendo el mismo. Las compañías que optan por comprar en la empresa en cuestión comparten una preocupación común por alinearse con las regulaciones ambientales y adoptar prácticas más sostenibles, por lo que el cambio de la materia prima no debería afectar el público objetivo. Es decir, este enfoque en la calidad y la sostenibilidad debería permitir continuar sirviendo al mercado existente mientras cumplimos con los estándares ambientales emergentes.
- **Análisis de Comercialización:** aquí el objetivo es señalar los principales aspectos y estrategias relacionadas con los cuatro elementos que conforman la mezcla de

marketing (producto, precio, plaza y promoción). Este punto se desarrollará más adelante.

## Herramienta de Evaluación

En los últimos años el concepto de ciclo de vida (LCT, por sus siglas en inglés) se ha convertido en una definición sumamente relevante a la hora de una evaluación de impacto ambiental de un bien o servicio. El LCT es tan importante y fundamental como lo es el enfoque cultural: debe tener en cuenta toda la cadena del producto y, en este sentido, las mejoras e innovaciones que se pueden hacer.

Evaluar la oferta de materias primas, producción, uso y fin de la vida útil tiene un enorme potencial, ya que permite el desarrollo de productos que se integran estrechamente con el sistema de consumo y con los hábitos de consumo de la comunidad. En este sentido, un análisis adecuado puede proporcionar grandes áreas de mejora.

Según Bollarín y Agullo (2019), el uso de plásticos se ha incrementado dramáticamente en los últimos años. La difícil reciclabilidad y la baja biodegradabilidad conducen a su acumulación en el medio ambiente. A pesar de su alta estabilidad, está sujeto a la corrosión física y química, lo que conduce a la aparición de virutas más pequeñas ( $\leq 5\text{mm}$ ). En la actualidad, los plásticos se producen de forma masiva para dar cabida a nuevas necesidades, lo que promueve un consumo incesante de los mismos; sin embargo, el verdadero problema de los plásticos ocurre cuando finaliza su vida útil, donde una de las lamentables opciones, es depositarlos en los vertederos, deteriorando el paisaje y originando contaminación (López y Franco, 2021). Es por esto por lo que el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) se vuelve útil en este contexto.

EL ACV es la principal herramienta del concepto del ciclo de vida. Se trata de un método objetivo de evaluación y cuantificación de la energía, del impacto ambiental y de los impactos potenciales asociados a un producto/proceso. Esta técnica consiste en la evaluación de todas las fases de un proceso de producción, relacionados y dependientes, lo que le permite evaluar el impacto ambiental acumulativo. A nivel internacional, el LCA es regulada por la norma ISO 14040 e ISO 14044.

## Desarrollo de las alternativas.

Consideraciones comunes a tener en cuenta a fin de poder estandarizar el estudio de las alternativas:

- Los transportes terrestres se consideran que se efectuarán con camiones de motor Diesel con consumos promedio de 11-15 km/l y peso de carga promedio de 25 toneladas (t).
- El poder calorífico del gasoil se considera de 8,915 Kcal/l (tabla de conversiones energéticas de la Secretaría de energía de la Nación)
- Para el transporte marítimo se consideró el consumo promedio de 6 l de gasoil por milla náutica (KRALL Volumeter) y el peso de carga promedio de 20 t.
- Se toman factores de conversión y de emisión de CO<sub>2</sub> para la generación eléctrica y uso térmicos adoptando una emisión de 0,372 Kg/Kwh para ciclo combinado de Gas Natural (rendimiento 54%), 0.275 Kg/Kwh para fuel oil y 0,201 Kg/Kwh para gas natural (dato suministrado por el plan de energías renovables de España 2005-2010).
- Las tintas pigmentos, pigmentos y adhesivos utilizados en la fabricación de bolsas no se contabilizan por resultar un porcentaje muy bajo del componente de las bolsas.
- Se considerará el posible impacto para un total de 1000 bolsas fabricadas para los distintos componentes.

- Como PLASTIMI SRL actualmente se encuentra en normal funcionamiento, sus costos administrativos no serán tenidos en cuenta dado que la inversión inicial ya está realizada: es decir, se considerará únicamente el delta entre la maquinaria/materia prima actual y la requerida para los distintos tipos de bolsa.

Se evaluará, para cada etapa del proceso, el desempeño de emisiones a la atmósfera, agua consumida y combustibles consumados.

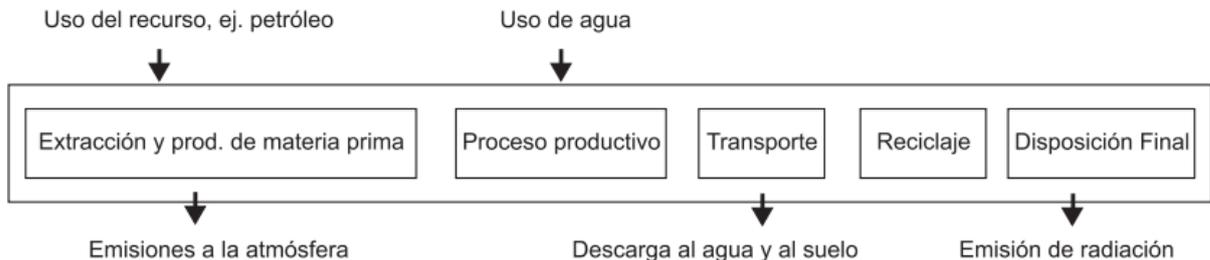


Figura 6: Posibles impactos asociados a las distintas etapas del proceso de elaboración de bolsas. Fuente: Plaza, G.C & Pacli, M. (2012). Análisis ambiental de bolsas de transporte de mercancías. Revista ciencia y tecnología. 14(17), 9-17.

### **Alternativa 1: Producción de bolsas a partir de papel tipo Kraft**

Para la fabricación de las bolsas de papel se utilizan numerosas especies de árboles. Por lo general se aplican coníferas, abetos y pinos. Además, se obtienen celulosas del algodón, aserrín, astillas de madera y pajas de cereales. Muchos fabricantes combinan fibras recicladas y fibras nuevas de las maderas para obtener la calidad necesaria para la fabricación de las bolsas de papel (SCA, 2010).

El papel es producido por las fibras de madera que contienen principalmente celulosa (45 %), hemicelulosa (20%) y lignina (35 %) (Ortuño, A. 1995), además de un alto porcentaje de papel reciclado. Desde el año 2000 hasta el 2010, el uso de papel reciclado para la fabricación de papel se ha incrementado en un 45.4%.

Las bolsas de papel Kraft están fabricadas de Papel Madera, obtenido partir del proceso Kraft (o también conocido como pulpeo al sulfato). Para llevar a cabo este proceso se utiliza pasta de celulosa (generada a través de soda caustica e hidróxido de sodio). Esta pasta será la materia prima del papel madera. Debido a la coloración que se obtiene en este proceso generalmente se comercializa en tonos marrones (Royte E, 2018).

Existe una modalidad mixta de papel madera que contiene un reviste de plástico en su interior. Las bolsas obtenidas a partir de este material no serán tenidas en cuenta en este estudio, ya que nos centraremos en las bolas compuestas exclusivamente de papel madera.

#### **1) Evaluación Técnica**

Para fabricar las bolsas de papel Kraft, la materia prima más utilizada es el Papel Madera. Este tipo de material es un papel basto y grueso, generalmente de color marrón. Como se mencionó previamente, está fabricado con pasta química y es sometido a una leve cocción. Su principal característica física es la resistencia a desgarrar, la tracción y los estallidos, esto se suma a la ventaja ambiental de que es considerado un material reciclable (Paper SRL, 2023).

El proceso de producción se divide en dos partes: primero en la formación del tubo y posteriormente el doblado de fondo. Las bobinas de papel Kraft se desenrollan y se introducen en la tubera, la capa externa es transportada a través de la unidad de impresión en línea e impresa con tintas con base de agua y tecnología de impresión flexográficas.

La función de la tubera es dar forma a la materia prima, es decir, dobla el papel para luego ser microperforado a fin de mejorar su permeabilidad. Seguidamente se aplica cola para pegar las capas, se envía a una cuchilla perforadora para cortar las bolsas individualmente. Luego, las bolsas son transportadas a la fondera: esta se encarga de generar los pliegues del fondo de la bolsa con precisión. Por último, para asegurar las bolsas, pasan por una unidad de prensado para garantizar la correcta adhesión de la cola y darle un tiempo de secado. Una vez listas para enviar, se acumulan en paquetes que se envían en pallets.

Es importante considerar que las bolsas fabricadas con materiales alternativos (como el papel) no exhiben la misma resistencia que las bolsas de plástico y, además, son susceptibles a daños por líquidos. En este estudio se considera que el volumen de una bolsa de papel equivale al volumen de una bolsa y media de polietileno reciclable o plástico degradable (se hará referencia como relación 1,5:1), lo cual tiene implicancias directas con su transporte. Para respaldar esta comparación, se utilizaron datos obtenidos de pesos asumidos durante un análisis de ciclo de vida de bolsas de supermercado realizado por la agencia ambiental de Bristol, Inglaterra (Life Cycle Assessment of Supermarket Carrier Bags. Report: SC030148).

Si se decide migrar la producción de bolsas plásticas a bolsas de papel tipo Kraft, es necesario tener en cuenta que, si bien el predio es el indicado, es necesario cambiar toda la maquinaria productiva y capacitar a todo el personal sobre la manera de producir con esta nueva materia prima.

<b>Bolsa de Papel Tipo Kraft</b>	
<b>Peso (g)</b>	55
<b>Dimensiones (cm)</b>	29,9 : 43 : 17,5
<b>Volumen (l)</b>	22,5

Tabla 2: Información técnica Bolsa de Papel.

## 2) Evaluación de contexto

Para fabricar 50.000 bolsas de papel se consumirían 3.628 kg de madera, lo que significa 732 troncos de 1,2 m de alto y 10 cm de diámetro.

Su costo es superior a las bolsas tradicionales, y típicamente no son utilizadas en los comercios de Misiones. El peso de estas es mayor a otras opciones como bolsas bioplásticas y su tamaño también, por lo que ocupan más espacio en el relleno sanitario de disposición final: esto se traduce en mayor costo de transporte, manipuleo y almacenamiento (Rubio, 2010). En la provincia de Misiones, el papel para la fabricación de bolsas se adquiere en la provincia de Buenos Aires (ubicada a 1050 km de distancia).

Siguiendo el estudio realizado por Galana en 2017 en España, cuyo propósito era evaluar el impacto ambiental mediante el análisis de ciclo de vida, se examinaron tres

variedades de bolsas (polietileno, polipropileno y Kraft) que cumplen la misma función en tres etapas claves: la fabricación, el montaje y el final de su vida útil. Este estudio concluyó que para el caso de las bolsas de papel y su proceso de fabricación si bien no contribuyen al cambio climático; puesto que su impacto en este aspecto es prácticamente nulo, se genera toxicidad debido al uso de sustancias como el Zinc, el Cadmio y el Mercurio, especialmente en la etapa de blanqueo de pulpa de papel. Estas sustancias tienen un impacto significativo en términos de afección a las personas. Se concluyó entonces que, si bien las bolsas de papel Kraft son las que menor impacto generan al final de ciclo de vida, estas impactan más en el proceso de fabricación que los procesos de otros tipos de bolsas (Galana, 2017).

### 3) Evaluación económica

Se determinará el monto de los recursos económicos que se requieren para llevar a cabo la sustitución del plástico por papel tipo Kraft.

Maquinaria troqueladora	21.000 usd
Cortadora/grabadora laser	16.900 usd
Materia prima	1,5 usd/kg

Tabla 3: Información económica Bolsa de Papel.

### 4) Evaluación ambiental

Siguiendo lo que plantea el artículo publicado por Plaza, G.C & Pacli, M. (2012) "Análisis ambiental de bolsas de transporte de mercancías. Revista ciencia y tecnología. 14(17), 9-17", el potencial de calentamiento global es una medida de los gases de efecto invernadero (por ejemplo, dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, etc) que contribuyen al calentamiento global. El calentamiento global se produce debido a un aumento de la concentración atmosférica de gases de efecto invernadero, lo que produce un cambio en la absorción de radiación infrarroja en la atmósfera. El potencial del calentamiento global se mide términos equivalentes de CO<sub>2</sub>.

El consumo de energía y agua, el combustible fósil usado y el total de residuo sólido generado para elaborar 1000 bolsas a lo largo de su ciclo de vida se reflejan en la Tabla N°4. A su vez, una de las filas muestra el valor de CO<sub>2</sub> equivalente emitido.

Impacto de 1000 Bolsas de Papel	
Energía total usada en (MJ)	41.04
Combustible Fossil usado (kg)	23.2
Residuo Sólido Urbano (Kg)	33.9
Emisiones de Gases de efecto invernadero (Tn CO2 Equiv. )	0.08
Uso de agua dulce (l)	3800

Tabla 4: Evaluación Ambiental bolsa de Papel. Fuente: Bousted Consulting & Associates and ACC (American Chemical Council).

En una compostera con condiciones específicas de biodegradabilidad, los resultados muestran que las bolsas de papel se degradan fácilmente al estar en contacto con agua, debido a sus propiedades hidrófilas y porosas, lo cual facilita su rápida descomposición. Pero en las capas más profundas de un relleno sanitario, las bolsas de papel no se degradarían ya que no se cumplen las condiciones básicas de humedad, aire, microorganismos, temperatura, etc. (Rubio, 2010).

## **Alternativa 2: Producción de bolsas bio-plásticas a base de almidón de maíz**

Como se comentó en la introducción, cualquier tipo de bolsa plástica se produce a partir de petróleo, que en una primera instancia se somete a un proceso de purificación en una refinería especializada. Este proceso lo convierte en gas etileno, que luego se solidifica para crear polietileno (un polímero).

En contraste, para el caso de las bolsas biodegradables hechas a base almidón de maíz, se sustituye el polietileno por granulados obtenidos del almidón de maíz. Sin embargo, el proceso de fabricación y la maquinaria utilizada son prácticamente idénticos. Como se mencionó anteriormente, este proceso también consta de tres etapas principales: extrusión, impresión y confección.

Las bolsas biodegradables resultantes tienen una apariencia similar a las bolsas de plásticos convencionales y poseen las mismas propiedades de resistencia mecánica. Sin embargo, es importante destacar que el costo de fabricación actual de las bolsas biodegradables suele ser más elevado en comparación con las bolsas de polietileno.

### **1) Evaluación técnica**

El principal compuesto de los bioplásticos es el ácido poli-láctico (PLA), obtenido a partir de la polimerización de ácido láctico derivado del almidón proveniente de fuentes renovables como el maíz, la papa, la mandioca o el trigo con poliéster fabricado a partir de hidrocarburos (Murphy et al 2002).

Los bioplásticos poseen una estructura molecular similar a la de los plásticos, por lo que están constituidos por largas cadenas de polímeros. Sin embargo, estas cadenas están mezcladas con compuestos naturales de origen vegetal, los cuales generan cambios significativos en su estructura química. Es por esto que los bioplásticos son mucho más susceptibles que los plásticos a la descomposición generada por microorganismos.

A continuación, una tabla que indica las principales empresas productoras de bioplástico en el mundo. Estas producen materiales biodegradables a partir de almidón, fécula o la mezcla de ambas:

MATERIALES		PRODUCTORES	PAIS
<b>Almidón, fécula y mezcla</b>	Bioplast	Bioplast Biotec GmbH & Co.KG	Alemania
		SPHERE	Francia
	Bioflex	Fkur	Alemania
	Mater-Bi	Novamont	Italia
	Cereplast	Cereplast	USA
	Biopar	Biop	Alemania
	Solanyl	Rodenburg	Países Bajos
	Vegeplast	Vegemat	Francia

Figura 7: Estudio de mercado de los materiales biodegradables. Fuente: Ernst and Young.

Tomaremos como bioplástico a estudiar al producido por Novamont ya que el contenido de materias primas es renovable, biodegradable y compostable certificado según normas internacionales (ISO, CEN, ASTM, DIN, UNI). Sus propiedades fisicoquímicas son similares a las de los materiales plásticos. De origen italiano y con base en Munro (provincia de Buenos Aires), ofrece una materia prima compuesta esencialmente de almidón de maíz y aceites vegetales no modificados genéticamente.

Los productos realizados con Mater Bi pueden reutilizarse todo el tiempo que se desee ya que solo se biodegradarán en un entorno microbiano, con humedad y oxígeno. Es decir, en un entorno de compostaje, cumpliendo con los tiempos de biodegradación que exigen las normas europeas y americanas.

La materia prima deberá ser llevada desde Buenos Aires a Misiones también por camión. El proveedor oficial en Argentina de la empresa es Santa Rosa Plásticos ubicado en Munro, Buenos Aires. Cabe aclarar que, si bien el proveedor argentino se encuentra en Buenos Aires, este mismo importa la materia prima desde Italia: la distancia jugará entonces un rol importante en las aristas ambiental (emisiones asociadas al traslado en barco), logística y económica.

Para la producción de bolsas a partir de bioplásticos no será necesario adecuar la planta actual, ya que las máquinas y procesos admiten los bioplásticos como materia prima y mantienen el mismo proceso productivo.

BOLSAS BIOPLASTICAS	
<b>Peso (g)</b>	16
<b>Dimensiones (cm)</b>	26,7 : 35,5
<b>Volumen (l)</b>	14

Tabla 5: Información técnica Bolsa Bio-plástica.

## 2) Evaluación de contexto

En el contexto de nuestro país, la única forma de comparar el material que estamos utilizando con otros es mediante el uso de los estándares y normas que establezcan de manera clara las características específicas de cada material o producto terminado. Dentro de estos estándares, resultan de gran importancia los plazos máximos en los que debe ocurrir la biodegradación.

Si bien la utilización de recursos agrícolas para la fabricación de bioplásticos resulta atractiva en una primera instancia, dados los menores plazos de descomposición, es una metodología que no está exenta de críticas: la explotación masiva de recursos naturales se manifiesta activamente mediante métodos como la deforestación, el monocultivo y el uso incontrolado de los recursos hídricos. Todos estos procesos producen agotamiento de los suelos y de la biodiversidad. Es por esto por lo que la elección de Mater Bi como materia prima renovable no es aleatoria: esta no utiliza tierras vírgenes o deforestadas, sino que los cultivos industriales utilizados son derivados de las empresas agrícolas tradicionales. En la actualidad, la mayor parte del almidón utilizado en la producción de Mater-Bi es el cultivo de origen italiano.

Según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), el suelo italiano cultivada con maíz en 2008 fue de 1.053.396 hectáreas, mientras que los cultivos de Novamont para ese mismo año ocuparon un total de 627 hectáreas: esto significa que la tierra dedicada a las necesidades de producción de Novamont es de aproximadamente 0.06% del total del suelo italiano dedicado a la producción de maíz. En este sentido, en el contexto del debate sobre los usos no alimentarios de los recursos agrícolas, es interesante observar que el almidón se utiliza para uso industrial desde hace décadas y en los datos disponibles se estima que alrededor de 200.000 toneladas en todo el mundo son directa o indirectamente empleadas en la producción de plásticos biodegradables (sólo un 1% de la producción total de Europa destinada a aplicaciones no alimentarias). De esta manera, la demanda del almidón para la producción de bioplásticos no afecta la limitada disponibilidad de alimentos y tampoco puede aumentar los precios de estos (Novamont, 2008, Ecología del Producto y Comunicación Ambiental, Reporte No. EP-02-IT, Ver. 1).

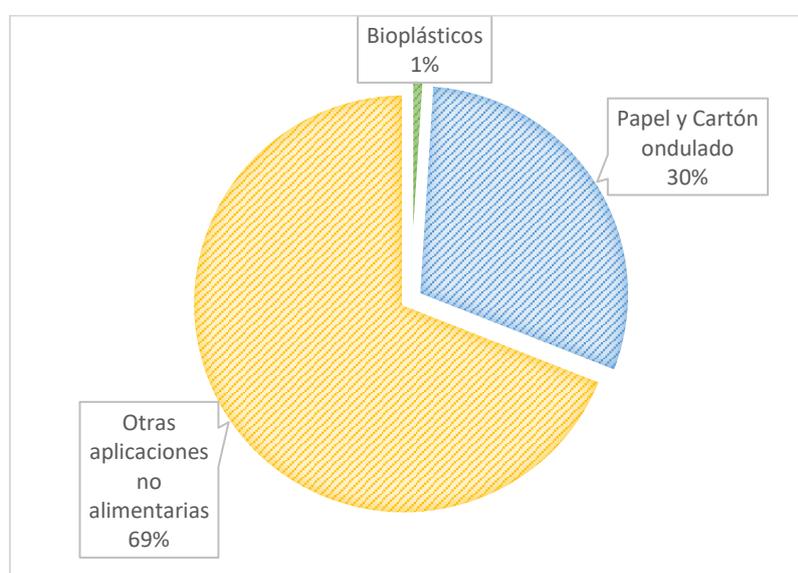


Figura 8: Distribución del consumo no alimentario del maíz. Fuente: Walter Ganapini, Milano, Edizioni Ambiente, 2012

Además, la superficie terrestre arable total es de 6000 millones de hectáreas, y se calcula que para la producción de bioplásticos a nivel mundial corresponde menos de un 0,02%.

En cuanto al uso del almidón de maíz destinado puntualmente para nuestro estudio, la cantidad total para la fabricación de 1000 bolsas es de 7,3 kg de maíz (equivalente a 7,6 m<sup>2</sup> de terreno fértil).

De acuerdo con Labeaga (2018), la ventaja de los bioplásticos es su capacidad para reducir los residuos plásticos depositados en los vertederos, con el fin de reducir su impacto en el medio ambiente, pero es de destacar que para esto se necesita contar con un sistema de clasificación y recolección anterior al proceso productivo. Según Julio et al. (2021), los beneficios de los bioplásticos son los siguientes:

- Suponen un ahorro energético en la producción.
- No consumen materias primas no renovables.
- Reducen los residuos no biodegradables.
- No contienen aditivos perjudiciales para la salud.

### 3) Evaluación económica

En relación con la evaluación económica, no será necesario realizar una gran inversión, ya que para esta alternativa se utilizará la maquinaria del proceso productivo que utiliza la empresa hoy en día. La principal diferencia se da en el costo de la materia prima, ya que en el mercado actual el polietileno se vende a 3 usd/kg, mientras que el bioplástico se vende a 6 usd/kg.

Por otro lado, es clave tener en cuenta que el producto final terminado (bolsa de bioplástico) se venderá a 10 usd el kg.

### 4) Evaluación ambiental

En cuanto a la evaluación del impacto en términos de consumo de agua y tomando la información de la organización Water Foot Print, se necesitan aproximadamente 320 litros de agua de irrigación para obtener las materias primas renovables necesarias para la producción de 1 kg de Mater BI.

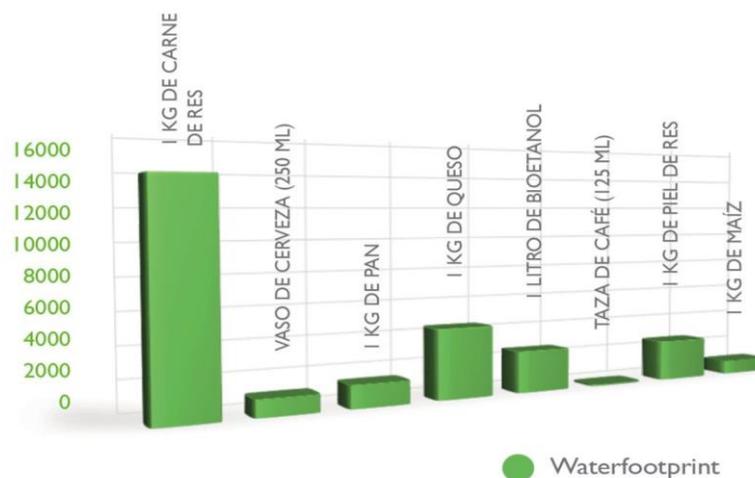


Figura 9: Comparativa en la Huella Hídrica. Fuente: Waterfootprint Org

PLASTIMI destacará al ofrecer bolsas biodegradables y compostables que no solo cumplirán su función primaria de transporte de mercadería, sino que también desempeñarán un papel esencial en la gestión de los residuos domésticos. Más allá de brindar un servicio al cliente, PLASTIMI presentará un producto que irá más allá de su uso inicial: estas futuras bolsas biodegradables y compostables tendrán la versatilidad de ser utilizadas tanto para la recolección de residuos no diferenciados como para los residuos húmedos.

En el primer caso, la compostabilidad será una característica neutral, no necesariamente útil, pero tampoco perjudicial. Los residuos no diferenciados podrán ser gestionados mediante la incineración, recuperación de energía o disposición controlada en rellenos sanitarios.

En el segundo caso, el uso de una bolsa compostable adquirirá una relevancia significativa, ya que contribuirá a la creación de un residuo homogéneo. Tanto el contenedor como su contenido compartirán la propiedad de biodegradación.

Además, debemos recordar que el proveedor en estudio cuenta con certificaciones internacionales como la norma europea EN12432 o la norma estadounidense ASTM6400, las cuales aseguran la biodegradabilidad.

El consumo de energía y agua, el combustible fósil usado y el total de residuo sólido generado para elaborar 1000 bolsas a lo largo de su ciclo de vida se reflejan en la Tabla N°6. A su vez, una de las filas muestra el valor de CO<sub>2</sub> equivalente emitido.

Impacto de 1000 Bolsas Bioplásticas	
Energía total usada en (MJ)	62.06
Combustible Fossil usado (kg)	41.5
Residuo Sólido Urbano (Kg)	19.2
Emisiones de Gases de efecto invernadero (Tn CO <sub>2</sub> Equiv. )	0.18
Uso de agua dulce (l)	3850

Tabla 6: Evaluación Ambiental bolsa bioplástica. Fuente: Bousted Consulting & Associates and ACC (American Chemical Council)

### Caso de Éxito

Un informe publicado por la empresa Triteli SRL (2011), en junio de 2010 se inició en la ciudad de Las Flores (Buenos Aires) una experiencia tendiente a mejorar la gestión de los Residuos Sólidos Urbanos. En la Planta de Tratamiento de residuos Sólidos Urbanos (planta municipal) se realiza la separación de residuos con destino a reciclado y el compostaje de residuos orgánicos. A nivel municipio, se decidió realizar la separación en origen de los residuos orgánicos y la recolección diferenciada de esta fracción con destino directo a compostaje, utilizando bolsas biodegradables compostables realizadas con el bioplástico Mater Bi.

Para esto, se planificó e implementó una campaña de concientización a fin de lograr para lograr el compromiso de los vecinos y su participación activa en el proyecto. El municipio destinó el transporte para la recolección diferenciada.

Como resultado, el uso de las bolsas compostables para la recolección del residuo orgánico separado en origen generó múltiples beneficios:

- El tiempo de vida útil del relleno sanitario se duplicó.
- Al no enterrar los residuos orgánicos en el relleno sanitario, se evitaron olores, riesgo de incendios y contaminación de napas por lixiviados.
- Reducción de la frecuencia de recolección con la consiguiente reducción del costo de gestión
- Mejores condiciones higiénico-sanitarias de los operarios.
- Se duplicó la cantidad de material reciclable disponible (el cual se podrá vender).
- Reducción (gracias a la generación y el uso del compost) del uso de agua, fertilizantes y pesticidas. Además, el compostaje está considerado como una de las técnicas que más reducen el calentamiento global, ya que disminuyen de manera significativa las emisiones de metano.

Analizando el caso recién mencionado y trazando un paralelismo con la ciudad de Posadas, es importante destacar que para aquellas personas de la ciudad que no composten en sus hogares, el municipio cuenta con una compostera comunitaria (cuyo compost es luego repartido como abono). La compostera se encuentra ubicada en el ecopunto de Avenida Chacabuco y Costanera, y tiene como objetivo fomentar la separación de la basura. De esta forma, el municipio amplía su enfoque hacia la llamada economía circular.

### **Alternativa 3: Sustitución de las bolsas plásticas por bolsas de Yute**

El yute es la fibra vegetal extraída del tallo y de la corteza de la planta denominada yute blanco. Estas fibras pueden ser de un color amarillo, marrón claro o blanco amarillento, pero se puede teñir de otros colores con facilidad.

Velásquez, Pelaéz, & Giraldo (2016) indican que es una de las fibras naturales más asequibles y ocupa el segundo lugar después del algodón en el volumen de producción y variedad de uso. Las fibras de yute consisten principalmente de celulosa (componente principal de las fibras vegetales) y lignina (componente principal de la fibra de la madera). Las fibras vegetales ofrecen ventajas distintivas a las fibras sintéticas, incluida la naturaleza no corrosiva y su alta resistencia a las cargas.

Pero, por otro lado, el yute presenta la desventaja de ser muy absorbente y requerir de una gran cantidad de agua para su producción. La biodegradación toma un período de entre 2 a 3 años, pero sin producir ningún gas tóxico.

Otro desafío que presenta esta materia prima es que, al ser proveniente principalmente de la India, no cuenta con un mercado tan desarrollado. Un reciente informe publicado por la FAO asegura que primero se debe transformar la cadena de producción para luego llegar a una escala masiva (FAO (2023), Future Fibres: Yute).

#### **1) Evaluación técnica**

Las bolsas de yute son una alternativa a las bolsas de plástico de un solo uso. Tienen alta resistencia y larga vida en comparación con otras bolsas. Al igual que el algodón, el yute también es una fuente renovable, natural, biodegradable y compostable. Las bolsas de este material pueden degradarse biológicamente en dos años (bajo condiciones específicas de compostabilidad) (FAO. (2023), Future Fibres: Yute).

Para establecer la fabricación de bolsas de yute es necesario instalar máquinas de coser industriales según la cantidad que se desee producir, siempre siguiendo un patrón de costura requerido y ciertos estándares para determinar la mejor opción de máquina a

seleccionar. Esto incluye la calidad de las máquinas de sellado lateral, cosido en punto y cortadoras de bolsas (Cárdenas et al., 2018, p. 108).

El proceso de fabricación de bolsas de yute es simple: luego de obtener la materia prima, se deberán crear diseños y patrones adecuados según la forma que se desee, y según lo establecido serán fabricadas las bolsas. Finalmente, una vez hechas, estas se colocarán en mesas para su impresión (Cárdenas et al., 2018, p. 108).

Durante el proceso de confección también hay que tener en cuenta de otros consumibles a utilizar, como por ejemplo forros, hebillas, cadenas, bambú, bastones, hilos y agujas.

Al igual que las bolsas de papel, si se decide ir por esta alternativa será necesario hacer un recambio de toda la maquinaria de la planta actual y capacitar al personal.

BOLSAS YUTE	
<b>Peso (g)</b>	120
<b>Dimensiones (cm)</b>	37 :51,5
<b>Volumen (l)</b>	43,5

Tabla 7: Información técnica Bolsa yute.

## 2) Evaluación de contexto

El yute es una fibra natural derivada de las plantas *Corchorus capsularis* L y *Corchorus olitorius*, cultivadas principalmente en países tropicales, siendo India y Bangladesh los dos mayores productores de esta materia prima. A pesar de su abundancia en estos países, el yute se enfrenta a un desafío significativo, ya que, en su mayoría, proviene de mercados que aún no están completamente desarrollados (Yadav & Garg, 2018).

Se decidió tomar para este estudio al proveedor textil Rosalía ubicado en la provincia de Buenos Aires, dada su gran disponibilidad de entrega y los precios competitivos.

## 3) Evaluación económica

Tendremos una inversión aproximada total de 56.000 dólares si se decide cambiar toda la fábrica para poder fabricar bolsas de yute:

Maquinaria y equipo de producción	56.000 usd
Materia prima	7,2 usd/kg

Tabla 8: Información económica Bolsa de Yute.

La inversión de maquinaria incluye la cortadora de yute, máquinas para coser y máquinas impresoras. También se deben tener en cuenta materias como hilos, tinta y agujas esenciales en el proceso.

#### 4) Evaluación ambiental

Algunas características particulares del yute son:

- La extracción de fibra, la cual se separa simplemente sumergiendo los tallos en agua. Es decir, se emplean únicamente procesos biológicos, sin uso de químicos.
- Su degradación es lenta, pero es un elemento es biodegradable y reciclable.
- La asimilación con el CO<sub>2</sub> es mayor a la de los árboles: una hectárea de plantación de yute consume 25 toneladas de CO<sub>2</sub> y libera 11 toneladas de oxígeno.
- Necesita poco plaguicida y fertilizante.
- Tiene un crecimiento de entre 4 y 6 meses.
- Puede ser cultivado en tierras áridas: el cultivo de yute favorece la fertilidad del suelo, permitiendo el uso de este para otras cosechas.

El consumo de energía y agua, el combustible fósil usado y el total de residuo sólido generado para elaborar 1000 bolsas a lo largo de su ciclo de vida se reflejan en la Tabla N°9. A su vez, una de las filas muestra el valor de CO<sub>2</sub> equivalente emitido.

Impacto de 1000 Bolsas de Yute	
Energía total usada en (MJ)	39.9
Combustible Fossil usado (kg)	45
Emisiones de Gases de efecto invernadero (t CO <sub>2</sub> Equiv. )	0.15
Uso de agua dulce (l)	4500

Tabla 9: Evaluación Ambiental bolsa bioplástica. Fuente: Bousted Consulting & Associates and ACC (American Chemical Council)

## 6. Matriz de Decisión

En función de los análisis realizados para cada alternativa y los aspectos considerados en cada caso, para facilitar la elección de una alternativa, se llevará a cabo una matriz de decisión.

El fenómeno de biodegradación constituye un elemento esencial en el ciclo natural de la vida en la Tierra, especialmente centrado en el carbono. Gracias a la fotosíntesis llevada a cabo por plantas y algas, con la inagotable fuente de energía solar, el dióxido de carbono se extrae de la atmósfera para sintetizar azúcares y otras sustancias fundamentales utilizadas por las plantas en su crecimiento y desarrollo. La interacción en la cadena alimentaria establece un flujo continuo de materia y energía, donde las plantas transfieren estos compuestos a herbívoros y, posteriormente, a carnívoros. Este proceso, en su conjunto, demuestra la complejidad y la interconexión de los elementos biológicos y ambientales, subrayando la importancia de la biodegradación como un componente vital en la dinámica de la vida en nuestro planeta

Los términos desintegrar, degradar, biodegradar y compostar se utilizan muchas veces como sinónimos. Sin embargo, de acuerdo con el estándar internacional ASTM3 D6400, la biodegradabilidad se refiere a la capacidad de un producto de ser descompuesto en dióxido de carbono, agua, metano, compuestos orgánicos o biomasa como consecuencia de las acciones enzimáticas de los microorganismos y sin dejar huellas de su composición

original. La biodegradación se refiere a la capacidad intrínseca de sustancias orgánicas y materiales para descomponerse en compuestos más simples bajo la acción enzimática de microorganismos. Recién cuando este proceso biológico se consuma por completo, se logra una transformación total de las sustancias orgánicas en moléculas inorgánicas elementales, tales como dióxido de carbono, agua y metano (Huang y Streitwieser, 2015).

La biodegradación es un proceso con variaciones en su duración según la naturaleza química del material, y además se ve influida significativamente por las condiciones ambientales. Materiales como paja y madera requieren más tiempo que sustancias como almidón y celulosa. En entornos fríos y secos, la biodegradación es más lenta en comparación con ambientes cálidos y húmedos.

Con el objetivo de reducir los impactos derivados de los residuos plásticos, a finales de los '80 y en un contexto internacional de interés acerca de la conservación del ambiente, se iniciaron diferentes investigaciones que promocionaron el desarrollo de plásticos biodegradables (Huang y Streitwieser, 2015). Sin embargo, estas bolsas no se degradan con facilidad en el ambiente ya que los ecosistemas naturales no presentan las condiciones que se requieren para el desarrollo de este proceso (Mugdal et al, 2011).

Las condiciones óptimas para una biodegradación constante y manejable a nivel industrial se encuentran en sistemas de compostaje y digestión anaerobia. Estos sistemas permiten el tratamiento de residuos sólidos orgánicos, incluyendo productos como plásticos biodegradables con tasas de biodegradación compatibles con dichos procesos. Los resultados incluyen para la primera opción una producción de compost maduro, que es un valioso fertilizante y para el caso de la digestión anaerobia, se generará biogás, una fuente de energía, seguido por el compost como subproducto. (Angamarca y Delgado, 2022).

El estándar europeo EN 13.432 es la norma técnica que establece los requisitos para obtener la certificación de compostabilidad de un producto, es decir, para que pueda ser reciclado a través de un proceso de valorización orgánica que comprende el compostaje y la digestión anaeróbica (para lo cual el mismo debe ser sometido a diferentes pruebas físicas). El material debe biodegradarse hasta un 90% de su peso original en 180 días o menos, sometido a una temperatura de 58°C y liberando completamente durante este proceso su toxicidad y efectos negativos (Hermann et al., 2011). En Argentina, los requisitos para la certificación de las bolsas plásticas biodegradables y compostables están a cargo de la Norma IRAM 29.421 de "Calidad Ambiental para materiales y productos plásticos biodegradables y compostables". La misma establece los requisitos para su valorización mediante la realización de compost en plantas de compostaje industrial o municipal y resulta similar a la norma europea EN 13.432. La norma nacional también exige un rotulado en las bolsas que debe indicarse de la siguiente forma: "Biodegradable y Compostable IRAM 29.421".

A modo de síntesis, y a partir de un relevamiento de estudios y recomendaciones internacionales se puede concluir lo siguiente:

- Las bolsas certificadas de conformidad con estándares para plásticos biodegradables y compostables son beneficiosas ambientalmente en el caso de una gestión de residuos orgánicos diferenciada, que además cuente con la infraestructura necesaria para su tratamiento en plantas de compostaje industrial. Deberían ser utilizadas en conjunto con un programa de recolección y tratamiento que asegure su destino a compostaje.
- Cualquier programa de compostaje que acepte bolsas plásticas compostables debe verificar que lleven el sello de certificación de acuerdo con las normas correspondientes.

- Su proceso de biodegradación depende de ciertas condiciones ambientales. Los productos aptos para el compostaje industrial (de acuerdo con su certificación) son aptos para su compostaje en plantas de tratamiento biológico, pero no para otras condiciones en la naturaleza. Es decir, las bolsas no se degradarán si son descartadas como residuos a la tierra o a otros ambientes.
- De acuerdo al “Standard ASTM D5526” (Determinación de la biodegradabilidad anaeróbica de materiales plásticos bajo condiciones aceleradas de relleno sanitario), la mayoría de los bioplásticos permanecen inertes en relleno sanitario: una vez que el relleno es cubierto por tierra y limitado en oxígeno y agua disponible (humedad), la tasa de degradabilidad de todos los materiales, incluidos aquellos que se biodegradan rápidamente en la superficie, se hace extremadamente lenta.

La publicación “Life cycle assessment of supermarket carrier bags: a review of the bags available in 2011” evaluó el impacto ambiental a lo largo de todo el ciclo de vida de diversos tipos de bolsas para el transporte de mercancías. El informe pone el foco principal en su impacto potencial de cambio climático y tiene en cuenta cuántas veces una bolsa alternativa debería ser utilizada de modo tal de reducir su impacto comparado con el uso de una bolsa convencional de polietileno de alta densidad (que es utilizada en un 40% de los casos como bolsa de residuos). El estudio llegó a las siguientes conclusiones:

- El impacto ambiental de todos los tipos de bolsas es dominado por las etapas de utilización de recursos y de producción.
- Sea cual fuere el tipo de bolsa utilizada, la clave para la reducción de su impacto es su reutilización la mayor cantidad de veces posibles. Incluso, la reutilización de las bolsas produce mayores beneficios que reciclarlas.
- Las bolsas de papel, las de polietileno de baja densidad, las no tejidas de polipropileno y las de algodón deben ser reutilizadas al menos 3, 4, 11 y 131 veces respectivamente para asegurar que generan un menor impacto potencial sobre el calentamiento global que una bolsa convencional que se utiliza por única vez.
- Reciclar o compostar generalmente produce sólo una pequeña reducción en el impacto potencial de calentamiento global y de agotamiento de recursos no renovables.

Es importante señalar que la empresa PyME objeto de estudio, PLASTIMI S.R.L, sostiene hoy día una posición ventajosa en virtud de contar con instalaciones de fabricación establecidas, una cartera de clientes consolidada y una reputación conocida en la comunidad en términos de calidad laboral. Es importante resaltar que además la empresa posee la certificación vigente conforme a la norma ISO 9000, demostrando su compromiso con altos estándares de calidad y aspirando a mantener estos niveles de excelencia en sus operaciones.

La existencia de una infraestructura sólida, una base de clientes establecida y el reconocimiento de calidad a través de la certificación ISO 9000 proporcionan a PLASTIMI S.R.L una base sólida desde la cual abordar la consideración y ejecución de iniciativas adicionales, como la propuesta de fabricación de bolsas biodegradables.

En cuando a la evaluación técnica, las bolsas de almidón de maíz son las más beneficiadas ya que esta materia prima tiene mucho en común en cuanto a técnicas y equipos que las bolsas plásticas tradicionales. Las bolsas de Papel y Yute requieren de un recambio total en cuanto a maquinarias y técnicas de trabajo, por lo que la puesta en marcha de estas llevaría un tiempo de adaptación considerablemente mayor. A su vez, la bolsa yute es significativamente más pesada que el resto y la de papel representa la menor resistencia.

En cuanto a la evaluación económica, las bolsas de papel resultan las más baratas, ya que la materia prima de fabricación nacional (recordando que las otras dos alternativas, si

bien cuentan con representantes nacionales, la materia prima de es importada de Asia y Europa, respectivamente). Pero, por otro lado, el bioplástico cuenta con un beneficio muy notorio: no requiere inversiones con respecto a nuevas maquinarias de la fábrica, ya que la misma maquinaria se usa hoy en día es apta para esta alternativa de materia prima. A su vez, como se mencionó previamente, se decide desprestigiar todo lo que implica gastos de mano de obra, gestión administrativa, etc., ya que la empresa hoy en día cuenta con esos insumos/gastos fijos y seguirán existiendo para cualquiera de las alternativas que se desee desarrollar.

En la evaluación de contexto, la bolsa de papel presenta una menor reputación por la implicancia en la salud que puede llegar a tener dadas las emisiones de tóxicos en la fabricación de la materia prima. A su vez, si bien esta materia prima cuenta con un 30% de papel reciclado, el 70% restante hace referencia a una tala de árboles, aspecto que no está bien visto en la sociedad actual.

En cuanto a las bolsas de bioplástico, la generación de materia prima implicaría utilizar una porción de maíz que no será destinada al sector alimentario, pero que supone una porción insignificante con respecto al volumen de producción anual en el mundo. Además, otro punto importante para tener en cuenta es que la ciudad e Posadas cuenta con una compostera municipal, por lo que el circuito de bio-degradabilidad se podría cumplir en su totalidad. Por su parte las bolsas de Yute tienen la limitante de ser un mercado industrialmente poco desarrollado, por lo que en el mercado hay muy pocos proveedores disponibles.

En la Figura 9, se presenta a modo resumen la energía total utilizada para la generación de 1000 bolsas (discriminando según el tipo de bolsa).

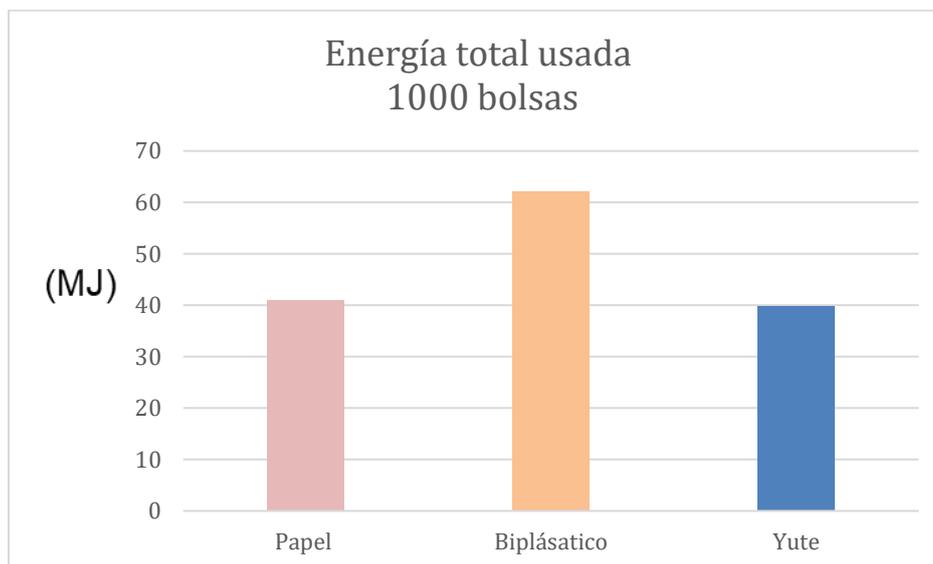


Figura 10: Energía total en 1000 bolsas.

En términos de consumo de agua, el consumo cada 1000 bolsas se presenta en la Figura 10. Este factor es clave, dado que el agua dulce es uno de los elementos cada vez más escasos en la naturaleza: solo el 3 % del agua de la tierra es dulce y el 66 % de ella se encuentra en forma sólida en los glaciares y en los hielos polares. La mayoría del resto de agua dulce es subterránea y sólo el 0,3 % es agua dulce que se encuentra en la superficie de la tierra. En definitiva, el agua que se consumirá para la producción de las bolsas proviene de este 0.3% disponible en la superficie terrestre.

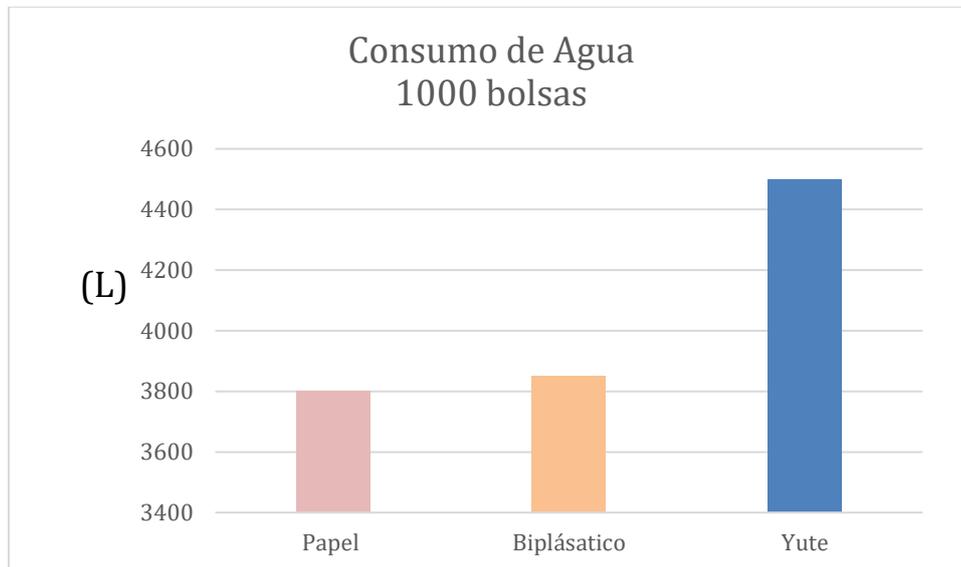


Figura 11: Energía total en 1000 bolsas.

La emisión de gases con efecto invernadero (CO<sub>2</sub>, Metano, SO<sub>x</sub>) tiene un gran impacto en el cambio climático. Existen acuerdos internacionales como el de Kioto para la reducción de estos con metas estrictas que los principales países del mundo están cumpliendo. En lo que respecta a este trabajo, las emisiones de CO<sub>2</sub> cada 1000 bolsas se presentan en la Figura 11.

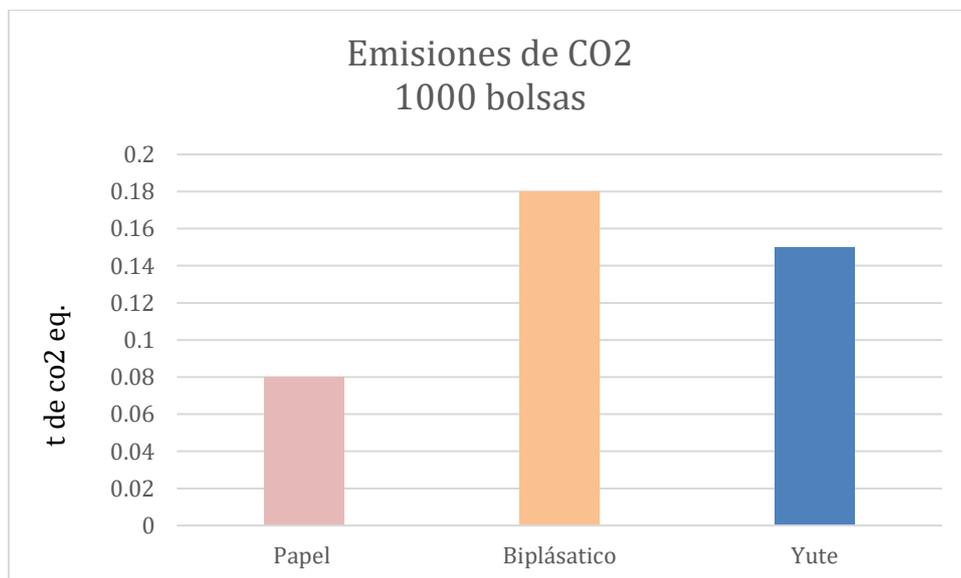


Figura 12: Energía total en 1000 bolsas.

En relación con la evaluación ambiental, se destaca que el papel se presenta como la opción más viable en los 3 ejes analizados. Esta preferencia se fundamenta principalmente en consideraciones logísticas, donde la distancia de transporte de la materia prima desde ubicaciones distantes (Yute de la India y Biplásticos de Italia) y el peso asociado al yute se revelan como factores significativos, generando posiblemente mayores emisiones durante las fases de transporte y extracción de materia prima. De todas formas, en el análisis específico de la propuesta mejorada, se limitará la consideración a la fabricación interna de la bolsa dentro de la empresa, por lo que en lo que respecta al aspecto de evaluación ambiental y

emisiones durante la etapa de transporte, se considerará el transporte desde los lugares de arribo de las importaciones y hasta PLASTIMI SRL.

A modo de conclusión y teniendo en cuenta los aspectos desarrollados en la matriz de decisión presentada anteriormente, se decide avanzar con la alternativa número dos: es decir, remplazar las bolsas plásticas o de un solo uso por las bolsas bioplásticas a base de almidón de maíz. Se entiende que esta elección le permitirá a la empresa adaptar su producción en un corto periodo y sin grandes implicancias en cuanto a inversiones de maquinaria y capacitación (ver Anexo A).

## **7. Alternativa Superadora**

Habiendo seleccionado la segunda alternativa, se procede a analizar las bases para el desarrollo de la misma en la empresa. Se considerarán los aspectos de ubicación y diseño, productividad, emisiones gaseosas, además del financiamiento de la producción verdadera de 127 toneladas/año. Para finalizar, en base a toda la información expuesta, se presentará una conclusión acerca de esta elección, su viabilidad y su posición como "alternativa superadora".

### **Evaluación Técnica**

La empresa seguirá ubicada en el Parque Industrial de Posadas y no deberá modificar o adecuar su fábrica y modelo de gestión. Es decir, la maquinaria principal conformada por las máquinas extrusora, impresora y selladora seguirá en funcionamiento.

También los clientes serán los mismos, ya que estos también deben adaptarse a lo que dispone la Ley N°129.

Se deberá tener en cuenta que a partir de ahora la materia prima vendrá desde el proveedor de Buenos Aires (a unos 1050 km aproximadamente) y a que su vez este proveedor se abastece por materia importada desde Europa.

Se fabricarán 127 toneladas en el año, para abastecer la demanda actual que tiene la empresa: esto equivale a 7.937.500 unidades de bolsas de 16 gr. al año, que asumiendo una jornada laboral de 5 días a la semana por 8 horas de trabajo representan unas 33.072 bolsas por mes.

Para lograr este objetivo se deberán comprar 144 toneladas de Mater Bi en el año, ya que un 12% de lo que ingresa al proceso es considerado scrap o residuo (aproximadamente 17.000 kg). En una primera instancia, el residuo debe ser acopiado y cuando llegue a un cierto volumen dado por el fabricante, el mismo indica que puede volver a ser ingresado al sistema para su utilización. En caso de no poder ingresarlo, este material continúa cumpliendo con los estándares de las normas internacionales mencionadas anteriormente por lo que puede ser compostado sin inconveniente.



Figura 13: Distribución actual de las maquinarias de la Planta.



Figura 14: Sector de almacenamiento dentro de la planta.

### **Evaluación de contexto**

La ciudad de Posadas cuenta con un servicio de separación de residuos muy avanzado e instalado en la ciudad, por lo que si se utilizan estas bolsas en un segundo uso (para desechos) probablemente correrán con una correcta segregación en la compostera municipal. Por otro lado, las bolsas de bioplástico no presentan diferencias en cuanto a resistencia ni forma con respecto a las de polietileno, por lo que no habrá distinciones ni resistencia por parte del usuario en cuanto a utilizarlas.

### **Evaluación económica**

Como mencionamos anteriormente, esta opción corre con la ventaja de que no se requiere de una inversión previa de maquinaria o de cambio en el proceso, por lo que es económicamente beneficiosa desde este punto de vista.

Para lograr el objetivo de las 127 toneladas/año es necesario invertir primeramente en la compra de la materia prima, hay que tener en cuenta que en el proceso de elaboración de bioplástico se contempla un 12% de desperdicio, por lo que la compra de materia prima es de 144 toneladas al año.

En cuanto a términos de gastos en energía, es importante mencionar que estos se reducen considerablemente dado que la temperatura de fundición del bioplástico es considerablemente menor que la del polietileno.

A su vez, a partir de la venta de estas 127 toneladas producidas en un año se tendrá una ganancia bruta de USD 1.270.000. A este monto, se le debe restar el costo de la materia prima, de la energía utilizada y los gastos administrativos, dando una ganancia neta de USD 200.000 anuales.

En el Anexo A pueden observarse con detalle las cuentas realizadas en cuanto a consumos energéticos y gastos. Además, es interesante notar que el gasto en materia prima de las bolsas que se fabrican actualmente en PLASTIMI SRL es de la mitad (USD 3 por kg), pero el gasto en energía es un 30% más, esto indica una reducción en la economicidad del proyecto en beneficio del ambiente.

### **Evaluación ambiental**

La planta producirá a razón de 33.072 bolsas en un mes, asumiendo una jornada laboral de 8 horas y de lunes a viernes. Se espera alcanzar las 7.937.500 que necesita en el año y así cubrir su demanda. Es por esto por lo que en términos energéticos se cubren unos 3.630 MWh al año.

En cuanto al transporte tenemos los 1.050 km desde Munro a la fábrica en Posadas, por lo que teniendo en cuenta el transporte en camión nos aportaría un total de 1,6 t de CO<sub>2</sub> equivalente emitido a la atmosfera de manera anual. Hay que aclarar que estas emisiones igualmente serán tenidas en cuenta como alcance 3 de la empresa ya que la misma no tiene control directo sobre ellas (ver anexo b). En total la empresa emitirá un total de 1.526,2 t CO<sub>2</sub> equivalentes promedio en un año.

En el Anexo B pueden observarse con detalle las cuentas realizadas.

### **Huella Ecológica del Plástico**

La huella ecológica se transformó en un importante indicador de sostenibilidad a nivel internacional, y constituye el conjunto de impactos que realiza una comunidad sobre su entorno teniendo en cuenta tanto los recursos que son necesarios para mantener el consumo habitual como a los residuos generados por estos. Dos aspectos clave considerados para el cálculo de esta son:

- La producción de un bien o servicio necesita de un flujo de materiales y energía.
- Los sistemas ecológicos que absorban los residuos que se originan durante el proceso de producción disminuyen considerablemente la huella ecológica.

En el caso de la **huella del plástico**, todas las empresas deberían controlar el uso de este y publicar dichos resultados en sus informes anuales, comprometiéndose a reducir los impactos al ambiente a través objetivos y metas claras. Tal como define Richard Mattison, “Poniendo un valor financiero a los impactos de los desechos plásticos, las compañías pueden ser más efectivas en la gestión medio ambiental de sus negocios. Destacando el ahorro que se deriva de reusar y reciclar, poniendo las bases de buenas prácticas para la mejora proactiva de la sostenibilidad” (Mattison, 2014, p. 9) en la línea de este concepto y según una valoración pionera divulgada por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) “El costo ambiental del plástico que utilizan las empresas productoras de bienes de consumo podría rondar entre 75.000 millones de dólares anuales. Este cálculo se basa en el costo de las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por la producción de materiales plásticos y el eventual impacto de la basura resultante sobre la vida silvestre y los ecosistemas, especialmente en los océanos” (IPS (Inter Press Service), 2014).

Teniendo en cuenta además la gran relevancia de la huella del plástico a nivel mundial, la Ley Misionera prohibió la distribución de bolsas plásticas en comercios. En este contexto, PLASTIMI S.R.L. tiene el compromiso de reemplazar la materia prima en la fabricación de las bolsas; y la alternativa superadora de este trabajo plantea un horizonte de mejora al cambiar su proceso productivo, produciendo bolsas bio-plásticas a base de almidón de maíz, la empresa evitaría la compra y circulación en el mercado de un total 95,3 toneladas de plásticos anuales, manteniendo sus resultados económicos actuales (si bien la materia prima es más cara, se compensa este valor con la reducción del consumo energético - asociado a una menor temperatura de fundición de los materiales - y con un leve incremento en el precio de venta).

Las ventajas que generaría PLASTIMI S.R.L. con la utilización de bioplásticos como nueva materia primera son:

- La disminución del impacto ambiental negativo sobre el suelo, en aguas continentales y océanos.
- Consumiría un 15% menos de la energía necesaria para la obtención de una bolsa plástica común.
- En el proceso de descomposición se evitará la utilización de sustancias químicas que dañen el ambiente.
- Le otorgará valor agregado a la marca: las empresas buscan demostrar su interés y compromiso en el cuidado del ambiente, reemplazando las bolsas de plástico comunes por bolsas ecológicas y concientizando a sus clientes en la necesidad del uso de estas. Es así como PLASTIMI S.R.L. podrá fortalecer sus lazos con la comunidad y además generar un mayor sentido de pertenencia de parte del cliente.
- El uso de las bolsas biodegradables otorgaría a la empresa una ventaja competitiva proveniente de un reconocimiento de su marca, ante otras que no han adoptado este método (hasta ahora) para contribuir con el ambiente.
- Se reducirá el consumo de petróleo necesario para la obtención de las bolsas plásticas. El uso permanente de las bolsas de bioplástico permite minimizar las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera, la contaminación y mortandad de animales como principales aspectos negativos, creando un ambiente más sano, limpio y eficiente.

## 8. Conclusión

Internacionalmente, se ha señalado el camino a seguir en cuanto a cuidado del ambiente a nivel mundial mediante la resolución 70/1 "Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible" aprobada por la Asamblea General de las Naciones Unidas en 2015. Particularmente, esto puede observarse en su Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) N°12 referido a la producción y consumo responsables y de acuerdo con su meta 12.5 que apunta a reducir considerablemente para 2030 la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización. Seguidamente, la meta 12.8 tiene como fin asegurar que las personas de todo el mundo tengan la información y los conocimientos pertinentes para el desarrollo sostenible y los estilos de vida en armonía con la naturaleza. Finalmente, el ODS N° 14 propone conservar y utilizar en forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible.

En este contexto, Posadas está comprometida a trabajar en la concientización ambiental de sus ciudadanos mediante el diseño y la implementación de políticas públicas de prevención, minimización, recuperación y reciclado de sus residuos sólidos urbanos. En términos de consumo y producción, el objetivo se enmarca en la adopción de nuevos hábitos más responsables con el ambiente. La Ley N° 129 vigente pone su acento en el reemplazo

total, aunque progresivo, de materiales no biodegradables por otros biodegradables para las bolsas de uso comercial.

La elección entre bolsas de papel, bolsas de yute y bioplásticas (a base de almidón de maíz) como alternativas a las bolsas de plástico convencionales puede depender, como se ha explicado, diversos factores, incluidos los posibles impactos ambientales, la evaluación económica, así como también la evaluación técnica. Es por ello que con lo explicado a lo largo del trabajo podemos concluir que la mejor alternativa para la empresa es la fabricación de bolsas bioplásticas a base de almidón de maíz, dado que las ventajas encontradas en este tipo de bolsas son:

- **Biodegradabilidad y Compostabilidad:** las bolsas de bioplástico hechas de Mater Bi son biodegradables y compostables ya que cuentan con el sello internacional que lo respalda. Esto significa que pueden descomponerse naturalmente en un tiempo relativamente corto, reduciendo así la acumulación de residuos plásticos a largo plazo. Este aspecto es crucial para abordar los problemas ambientales asociados con la persistencia de las bolsas de plástico convencionales. A esto se le suma la ventaja de que Posadas cuenta con una compostera municipal que está muy avanzada, lo que podría ayudar a la concreción del proceso completo. También hay una fuerte tendencia de los vecinos a compostar en sus hogares. Esta característica cumple con lo que requiere la nueva ley N° 129.
- **Origen Renovable:** el almidón de maíz utilizado en las bolsas bioplásticas es un recurso renovable, ya que proviene de cultivos renovables. Esto marca una diferencia con respecto de los plásticos convencionales, derivados del petróleo.
- **Economía:** las bolsas de bioplástico son la opción que menor inversión requiere y a su vez los tiempos de implementación también serán los menores, ya que (como se mencionó anteriormente) no se requiere de cambio de maquinaria.

Si bien las bolsas de papel y de yute también tienen ventajas ambientales (dado que son biodegradables), las bolsas de bioplástico a base de almidón de maíz pueden destacar por su origen renovable y su alta capacidad para descomponerse en condiciones adecuadas, ofreciendo así una opción más completa desde una perspectiva ambiental. Sin embargo, es importante considerar todos los aspectos y evaluar las necesidades específicas del usuario como así también las condiciones locales, a fin de tomar decisiones sobre la mejor opción.

Como conclusión final, si bien con la alternativa desarrollada se logrará cumplir con la Ley XVI-129 (2020) “Prohibición de uso de bolsas plásticas y todo otro material no biodegradable utilizadas y distribuidas en la actividad económica para el transporte de productos o mercaderías de los consumidores” (Ver Anexo C), ya que PLASTIMI SRL pondrá en el mercado una bolsa que cumpla con la definición de biodegradabilidad, en cuestiones ambientales siempre es importante promover entre los usuarios las buenas prácticas de:

- Utilizar únicamente las bolsas necesarias, aprovechando al máximo la capacidad de carga de la bolsa. Si consumimos menos recursos, producimos menos contaminación. La bolsa biodegradable se debería utilizar solo cuando un consumidor “responsable” olvida su bolsa reutilizable.
- Reutilizar las bolsas tantas veces como sea posible.
- Utilizar las bolsas para recoger la basura en el hogar: responsabilizar y apoyar al consumidor final en cuanto a la correcta gestión de los residuos, en particular de la fracción orgánica.
- Compostado: promover esta práctica en los habitantes es de gran importancia, ya sea para que puedan realizarlo a nivel hogar o a lo sumo para que puedan separar sus residuos para su posterior utilización en la compostera municipal.
- Evitar el abandono de este producto en cualquier lugar, en especial en la naturaleza: si bien una bolsa fabricada con Mater-Bi puede ser biodegradada en

un período de tiempo relativamente breve al ser liberada en el ambiente, esto no justifica de ningún modo su incorrecta disposición final. Esta práctica debe evitarse no sólo con las bolsas de bioplástico, sino que también con cualquier material biodegradable.

## **9. Plan de trabajo**

Finalmente, teniendo en cuenta el estudio realizado y las condiciones locales de la ciudad de Posadas, se plantean una serie de pasos a seguir para la implementación de la alternativa elegida en PLASTIMI SRL:

1. Reuniones con la gerencia de la empresa para alinear los intereses económicos con los resultados del proyecto.
2. Evaluación de ventas y del proceso productivo actual utilizado: con el objetivo de obtener los datos requeridos para el dimensionamiento preciso de la instalación.
3. Evaluación y análisis financiero: con el objetivo de obtener datos para determinar los costos asociados al proyecto, como también nuevas formas de financiamiento (dada la importación y el transporte de la nueva materia prima a utilizar).
4. Presentación a la gerencia: presentar el proyecto completo, otorgando a la gerencia una instancia para evaluar la implementación y utilidad de este.

## **Anexo**

### **A) Calculo económico**

Para lograr el objetivo de las 127 toneladas anuales es necesario invertir primeramente en la compra de la materia prima. Hay que tener en cuenta que en el proceso de elaboración de bioplástico contempla un 12% de desperdicio, por lo que la compra de materia prima debe ser de 144 toneladas.

Cabe aclarar que por especificaciones del proveedor este sobrante inicial luego puede ser reutilizado para el año entrante. La inversión final se calcula multiplicando el precio dado por el proveedor de 6 usd/kg por los 144.000 kg necesarios en un año, lo que nos da un resultado de 864.000 usd/ año sólo de materia prima.

Otro aspecto a tener en cuenta es el consumo energético específico que va a tener la planta en este proceso. Sólo en la máquina extrusora, se espera que sea de 275 MWh al mes, mientras que las máquinas impresora y selladora poseen cada una un 5% del consumo de la máquina extrusora. Por lo tanto, el consumo mensual será de 302.5 MWh al mes. Teniendo en cuenta un precio de 54 usd/MWh, obtenemos un precio anual asociado a la generación de USD 196.020.

Los datos para el cálculo del gasto anual fueron tomados de EcoBags, una empresa bonaerense que en 2010 decidió migrar su producción de bolsas plásticas a bolsas elaboradas a partir de Mater Bi. Ellos notaron una reducción de consumo energético de aproximadamente 15% ya que en la máquina extrusora el polietileno se funde a 130°C y el bioplástico a 115°C, lo que se traduce en menos energía empleada en este paso del proceso.

A su vez, de la venta de estas 127 toneladas producidas en un año se tendrá una ganancia bruta de USD 1.270.000 al año, ya que el precio de venta estandarizado es de 10 usd/kg.

A diferencia de la producción de bolsas plásticas convencionales se asume un consumo eléctrico de un 15% menos en bioplásticos, ya que la temperatura de fundición del polietileno es de 130°C mientras que del bioplásticos solo se requerirán de 115 °C.

### **B) Cálculo de emisiones**

Teniendo en cuenta las consideraciones de transporte vía terrestre, se tiene un total de 1050 km entre el proveedor en Munro y la fábrica en Posadas, lo que implicaría 87,5 litros en un solo viaje (ver apartado inicial de consideraciones para estandarizar el proceso), y teniendo en cuenta su poder calorífico y con el factor de emisión brindado por el GHG Protocol (2,64 kg de CO<sub>2</sub> por litro, equivalente a 0,0026 t CO<sub>2</sub> eq por litro de diesel) obtenemos unas 0.231 t de CO<sub>2</sub> equivalente asociadas al transporte de un viaje en camión. Debemos recordar que el camión transporta un total de 20 toneladas por viaje y el estudio requiere de 144 t para su producción, por lo que se suman 7 viajes más que nos da un total del de 1,6 t de CO<sub>2</sub> equivalente anuales únicamente asociadas al transporte.

Tomando los resultados de la empresa EcoBags y, por ende, suponiendo el consumo energético anual de 302,5 MWh con el factor de emisión de la red nacional eléctrica de 0,42 t CO<sub>2</sub>/MWh (brindado por la secretaría de energía), se obtiene un total de 1524,6 t CO<sub>2</sub> anuales.

El total de las emisiones de CO<sub>2</sub> será entonces de 1526,2 t CO<sub>2</sub> al año. En cuanto al consumo de agua, este sería prácticamente nulo ya que se usa únicamente para enfriamiento (y el circuito de agua es cerrado).

## C) Normativa

**Internacional:** Dinamarca fue el primer país en incorporar un impuesto a las bolsas plásticas de un sólo uso en 1993. Los daneses tienen el promedio anual de uso de este producto más bajo del planeta: sólo utilizan 4 bolsas plásticas livianas por persona al año (Larsen, 2014). En el contexto europeo, y teniendo en cuenta que el viejo continente posee aproximadamente 500 millones de personas, es posible advertir un uso promedio de 175 bolsas plásticas de un sólo uso por persona al año (Mugdal et al., 2011). En este escenario, se elaboró la Directiva de la Unión Europea 2015/720 que establece el marco regulatorio respecto de la reducción del consumo de bolsas de plástico ligeras y considera que: “Los actuales niveles de consumo de bolsas de plástico producen unos altos niveles de basura dispersa, suponen un uso ineficaz de los recursos y es previsible que aumenten si no se toman medidas. Las bolsas de plástico dispersas provocan contaminación en el medio ambiente y agravan el problema generalizado de la presencia de basura en las masas de agua, lo que supone una amenaza para los ecosistemas acuáticos a nivel mundial; las bolsas de plástico con un espesor de menos de 50 micras («bolsas de plástico ligeras»), que representan la inmensa mayoría del número total de bolsas de plástico consumidas en la Unión, se reutilizan con menos frecuencia que las bolsas más gruesas. Por consiguiente, las bolsas de plástico ligeras se convierten en residuos más rápidamente y tienden a dispersarse como basura con mayor frecuencia debido a su reducido peso; las tasas actuales de reciclaje de bolsas de plástico ligeras son muy bajas y, debido a una serie de dificultades prácticas y económicas, no es probable que alcancen niveles significativos en el futuro próximo. Por otro lado, la información a los consumidores ha demostrado desempeñar un papel decisivo en la consecución de cualquier objetivo de reducción del consumo de plástico. Por ello, es necesario realizar esfuerzos a nivel institucional para que aumente la concienciación sobre el impacto medioambiental de las bolsas de plástico y acabar con la percepción que se tiene hoy en día de que el plástico es un material inocuo y barato”.

**Nacional:** provincias y municipios del país ya han implementado medidas de prohibición de entrega de bolsas plásticas en comercios. Entre ellos, la provincia de Chubut (2005), la de Río Negro (2009), los municipios de Pinamar (2012), Trenque Lauquen (2014), Bariloche (2012) y la ciudad de Neuquén (2010). La ciudad de Rosario dictó una ordenanza de reducción progresiva de entrega de bolsas tipo “camiseta” en supermercados. Sin embargo, este sector decidió voluntariamente dejar de entregarlas a partir del abril de 2016.

**Local:** Ley XVI-129. (2020) “Prohibición de uso de bolsas plásticas y todo otro material no biodegradable utilizadas y distribuidas en la actividad económica para el transporte de productos o mercaderías de los consumidores”. La legislación fue publicada en el boletín oficial el 5 junio de 2020. Reglamentación de la ley XVI-129 - DECRETO 960/2020 POSADAS, 3 de Julio de 2020 - Suplemento Oficial, 6 de Julio de 2020 – SUPLEMENTO BOLETÍN OFICIAL 15185 - Vigente, de alcance general.

Los objetivos de esta ley son promover la concientización sobre la utilización de materiales biodegradables, proteger los ecosistemas afectados por material no biodegradable y contribuir al derecho de los habitantes a gozar de un ambiente sano, equilibrado y apto para el desarrollo humano. La ley define a un material biodegradable como aquel que se puede descomponer en elementos químicos naturales, mediante la acción de agentes biológicos como el sol, el agua, las bacterias, las plantas o los animales.

En lo concerniente a la sustitución de bolsas no biodegradables, el plan progresivo de eliminación de las bolsas de polietileno previó la prohibición de su utilización por parte de empresas, instituciones u organismos emplazados dentro de Posadas, y también prohibió que se envíe correspondencia con estas bolsas a destinos dentro de los límites de la provincia. La resolución dispone la prohibición para todo Posadas de la entrega en cada venta, de bolsas no biodegradables livianas y utilizables para transporte de mercaderías en el sector de hipermercados, supermercados y autoservicios de alimentos y bebidas

## Bibliografía

- CAMMESA (2021). Informe Anual MEM. Obtenido de: Informe anual 2021 (cammesa.com).
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INDEC] (2023), Índice de precios al consumidor (IPC), obtenido de [https://www.indec.gob.ar/uploads/informesdeprensa/ipc\\_01\\_23891D383E4F.pdf](https://www.indec.gob.ar/uploads/informesdeprensa/ipc_01_23891D383E4F.pdf)
- Mirta Botta (2002). Tesis, monografías e informes; Nuevas normas y técnicas de investigación.
- José Vicente López Álvarez Bioplásticos: efectos e impactos sobre la gestión de los envases.
- Bhattacharya, S., Sarkar, A., & Ray, P. (2021). Plastic pollution and mitigation strategies. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 20(4), 693-711.
- Royte, E. (2018). Are paper bags really better than plastic? *National Geographic*.
- Sharma, G., Campbell, A., 2006. Life Cycle Inventory and Life Cycle Assessment For Windrow Composting Systems. ROU "Recycled Organic Unit" NSW Department of Environment and Conservation & The University of New South Wales Sidney – Australia.
- Crank M. et al. (2003) Techno-economic Feasibility of Large-scale Production of Bio-based Polymers in Europe
- Norma IRAM 14040: análisis de ciclo de vida
- Universidad Pompeu Fabra de Barcelona. Grupo de Investigación en Gestión Ambiental. (2008). Análisis del ciclo de vida de diferentes tipos de bolsas de supermercado (Informe de investigación). Autores: Dr. Pere Fullana y Sra. Cristina Gazulla Santos.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO.ORG), 2023, Capítulo 2. "composición química y valor nutritivo del maíz. (noviembre 2021)
- CEPAL (2020): Boletín 384: Las emisiones de CO<sub>2</sub> en las importaciones marítimas de América Latina y revisión del cálculo de las exportaciones.
- Boletín oficial la Ley XVI-129. (2020). Prohibición de uso de bolsas plásticas y todo otro material no biodegradable utilizadas y distribuidas en la actividad económica para el transporte de productos o mercaderías de los consumidores
- International Organization for Standardization. (2006). ISO 14044: Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines.
- International Organization for Standardization. (2006). ISO 14040: Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework.
- Plaza, G.C & Pacli, M. (2012). Análisis ambiental de bolsas de transporte de mercancías. *Revista ciencia y tecnología*. 14(17), 9-17.
- Boustead Consulting & Associates and ACC (American Chemical Council)
- Chanda, M. y Roy, S. 2006. *Plastics Technology Handbook*. 896 páginas. Taylor & Francis Group. ISBN 0-8493-7039-6.
- Boustead Consulting & Associates Ltd. 2006. *Life Cycle Assessment for Three Types of Grocery Bags - Recyclable Plastic; Compostable, Biodegradable Plastic; and Recycled, Recyclable Paper*. 64 páginas.
- American Society for Testing and Materials. (2012). ASTM D6400-12: Standard Specification for Labeling of Plastics Designed to be Aerobically Composted in Municipal or Industrial Facilities
- Comité Técnico CEN/TC 261. (2000). EN 13432: Requisitos de biodegradabilidad y desintegración de productos plásticos.
- Smith, J., & Johnson, A. (2019). *Composting: A Sustainable Approach to Organic Waste Management*. Editorial Green Solutions.

- Novamont, 2008, Ecología del Producto y Comunicación Ambiental, Reporte No. EP-02-IT, Ver. 1)
- Rubio, M. H. (2010). Conveniencia de las bolsas de polietileno entre sus alternativas (Tesis de grado en Ingeniería Industrial). [ITBA].
- Ortuño, A. 1995. "Introducción a la Química Industrial". 2da. Ed. España: Reverté.
- Arminen, H.; Hujala, M.; Puumalainen, K.; Tuppur, A.; Toppinen, A. 2013. "An update on inter-country differences in recovery and utilization of recycled paper." Resource, Conservation and Recycling, 78: 124-135.
- L. Ledesma (2023). Producción de bolsas 100% biodegradables. El Territorio
- Cirilo, Alfredo G. Fecha de la siembra y rendimiento del maíz, INTA. Pergamino, Buenos Aires, 2000..
- Jonna Meyhoff Fry, C. Life cycle Assessment of supermarket carrier bags. Report: SC030148 Environment Agency, Horizon House, Deanery Road, Bristol, BS1 5AH.
- ASTM D5988 (2003), "Standard test methods for determining aerobic biodegradation in soil of plastic materials or residual plastic materials after composting" Ban on Single-Use Carryout Bags. Senate Bill 270 - Proposition 67 California.
- N 13.432, "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 o embalajes"
- EUROPEAN UNION (2011), "Plastic Waste. Ecological and Human Health Impacts". Science for Environmental Policy.
- HERMANN, B.; DEBEER, L.; WILDE, B.; BLOK, K.; PATEL, M. (2011), "To compost or not to compost: Carbon and energy footprints of biodegradable materials was treatment", Polymer Degradation and Stability N° 96, p. 1159-1171
- HUANG, Tzu Hsin y STREITWEISER, Daniela Almeida (2015), "Estudio comparativo de la compostabilidad de fundas plásticas de PEDB, oxo-biodegradables y de papel distribuidas en el Distrito Metropolitano de Quito", Avances en Ciencias e Ingenierías, vol. 7, N° 1, p. 20-30.
- ISHIGAKI, T.; SUGANO, W.; NAKANISHI, A.; TATEDA, M.; IKE, M.; FUJITA, M.; (2004), "The degradability of biodegradable plastic in aerobic and anaerobic waste landfill model reactor", Chemosphere N° 54, p. 225-233.
- MOHEE, R.; UNMAR, G. D.; MUDHOO, A.; KHADDOO, P.; (2008), "Biodegradability of biodegradable/degradable plastic materials under aerobic and anaerobic conditions", Waste Management N° 28, p. 1624-1629.
- REN, X. (2003), "Biodegradable plastics: a solution or a challenge?", Journal of Cleaner Production N° 11, p. 27-40.
- SIVAN, A. (2011), "New perspectives in plastic biodegradation", Current opinion in Biotechnology N° 22, p. 422-426.
- Tritelli SRL, (2011), INFORME CIUDAD DE LAS FLORES.
- SMITH, Stewart (2004), "Plastic Bags", Briefing paper N° 5/04, New South Wales Parliamentary Library Research Service.
- UNEP (2014) Valuing Plastics: The Business Case for Measuring, Managing and Disclosing Plastic Use in the Consumer Goods Industry

## INTERNET

- [Http//energía3.mecon.gov.ar](http://energía3.mecon.gov.ar). Secretaria de Energía de la Nación Argentina. Tabla de conversiones Energéticas. Consulta en octubre de 2023.
- Proceso de manufactura de las bolsas de polietileno.
- [http://www.quiminet.com/ar3/ar\\_aasdRsDFRsDF-la-fabricacion-de-peliculas-plasticas-como-se-fabrican-las-bolsas-de-plastico.htm](http://www.quiminet.com/ar3/ar_aasdRsDFRsDF-la-fabricacion-de-peliculas-plasticas-como-se-fabrican-las-bolsas-de-plastico.htm). Página vigente al 12/10/23
- Plantas y equipos para clasificación de residuos sólidos urbanos. <http://www.deisa.com.ar/residuos.htm>. Vigente al 12/10/23.