

INFORME FINAL

DIRECTRICES NORMATIVAS Y TÉCNICAS SOBRE PLÁSTICOS DE UN SOLO USO



ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y BIOPROCESOS



“DIRECTRICES NORMATIVAS Y TÉCNICAS SOBRE PLÁSTICOS DE UN SOLO USO”

Octubre 2018

Con la colaboración de:



ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y BIOPROCESOS
ESCUELA DE INGENIERÍA

Equipo de trabajo

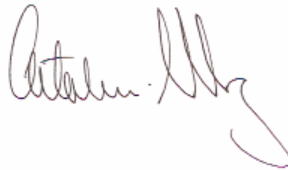
César Sáez – Pontificia Universidad Católica de Chile
Leonardo Rodríguez – Pontificia Universidad Católica de Chile
Mauricio Ramos - Regenerativa
Leonardo Rodríguez - Regenerativa
Alejandro Florenzano - Regenerativa
Camilo Bastías - Regenerativa
Francisco Urquiza – Regenerativa
Nicolás Labra – Regenerativa

Prólogo

Las sociedades modernas estamos reconfigurando nuestra relación con los plásticos. Lograr adoptar plenamente los principios de la economía circular requiere importantes esfuerzos tanto públicos como privados, cuyo éxito radicará especialmente en el sustento científico y la coherencia global.

A su vez, se requiere que un conjunto amplio y diverso de actores cuenten con información de alta calidad técnica y pertinente para las decisiones que cada uno debe tomar en el corto y mediano plazo, para contribuir a la economía circular de los materiales.

En este contexto, y dada la especial preocupación sobre el uso y disposición de plásticos de un solo uso, en 2018 Supermercados de Chile A.G. encargó el presente estudio esperando poder aportar a generar los amplios consensos técnicos necesarios para que las acciones que emprendamos como sociedad, contribuyan lo más posible al medioambiente que le dejaremos a las futuras generaciones.



Catalina Mertz
Presidenta
Supermercados de Chile A.G.

Tabla de contenido

1. Resumen ejecutivo.....	5
2. Introducción.....	8
3. Objetivos.....	11
4. Metodología.....	11
5. Plásticos convencionales y Bioplásticos	11
5.1. Descripción de los tipos de plásticos y su clasificación.....	12
5.2. Descripción de los tipos de Bioplásticos y su clasificación.....	19
5.3. Impactos ambientales asociados a los plásticos de un solo uso desde un enfoque de ciclo de vida	38
5.4. Síntesis de conceptos y conclusiones.....	51
6. Tendencias y casos internacionales sobre políticas acerca de los plásticos de un solo uso.....	53
6.1. Tendencias e hitos recientes	53
6.2. Casos Internacionales y nacionales	54
6.3. Síntesis de conceptos y conclusiones.....	65
7. Estado del Arte: Regulaciones y Normativas para plásticos y la sustitución de materiales.	65
7.1. Revisión de las principales normativas técnicas existentes para la regulación y utilización de materiales para envases y embalajes, uso de plásticos en productos de consumo y productos desechables.	65
7.2. Tendencias para evaluar alternativas de sustitución	69
7.3. Síntesis de conceptos y conclusiones.....	72
8. Revisión de alternativas de tecnologías en materiales y potenciales soluciones aplicables en Chile	73
9. Análisis y discusión final	74
10. Conclusiones y recomendaciones.....	77
11. Bibliografía	79

1. Resumen ejecutivo

El objetivo del presente estudio es recopilar, sistematizar y analizar antecedentes técnicos y regulatorios respecto al uso de plásticos de un solo uso, identificando los principales impactos ambientales y económicos. Esto, con el fin de ser un insumo que permita orientar acciones y directrices en debates futuros sobre la implementación de políticas públicas que busquen regular la comercialización y uso de este tipo de plásticos y productos, como también el diseño de normativas que sean adicionales a la ley 20.920 (Ley REP).

El estudio se divide en cinco secciones, estas son: (1) Plásticos convencionales y bioplásticos; (2) Tendencias y casos internacionales sobre políticas acerca de los plásticos de un solo uso; (3) Regulaciones y normativas para plásticos y la sustitución de materiales; (4) Revisión de alternativas de tecnologías en materiales en base a polímeros de diferentes fuentes y potenciales soluciones aplicables a Chile y un (5) Análisis y discusión final.

Los resultados del estudio sostienen que los plásticos convencionales son materiales que presentan propiedades afines a nuestros estilos de vida actuales, sin embargo, el enorme volumen que ha sido dispuesto en el mercado mundial, las deficiencias en los sistemas de gestión a lo largo de su ciclo de vida y su resistencia a la biodegradación han hecho de ellos uno de los principales desafíos ambientales de nuestro tiempo. Entre sus impactos negativos -y que han sido los más visibles durante los últimos años- están el *littering* (abandono de residuos) y el desequilibrio que han generado en ecosistemas marinos, en cursos de agua y el océano, aunque no son los únicos. Esto ha atraído una creciente atención de manera transversal: mediática, ciudadana, política, académica e industrial.

Existen diferentes tipos de plásticos con numerosas propiedades y aplicaciones. Desde una perspectiva medioambiental existen 2 atributos que son relevantes y que permite clasificarlos para distinguir cuáles presentan oportunidades para mejorar su desempeño ambiental. Estos son el tipo de materia prima con el cual se producen y la capacidad de ser reabsorbidos por los sistemas naturales a través de un proceso de biodegradación. Respecto al origen de la materia prima se pueden dividir en dos tipos: Los plásticos derivados del petróleo y los plásticos derivados de biomasa (fuentes biológicas). Por otra parte, existen plásticos que son biodegradables y los que no son biodegradables, entendiendo esto como la capacidad que tienen de ser degradados en determinadas condiciones ambientales y, en parte o en su totalidad, por la acción de microorganismos que los absorben como fuente de materia y energía.

El foco en el origen de la materia prima es importante porque la forma de obtención es relevante desde una perspectiva de la eficiencia en el uso de los recursos naturales. Por lo tanto, se pueden tener materias primas que son renovables y otras que no son renovables. También hay que tener en cuenta que el elemento fundamental que permite crear plásticos es el carbono, el cual circula en un ciclo entre la tierra y la atmósfera desde las plantas y animales hacia el aire y viceversa, y está asociado a mantener una economía dependiente de la extracción de combustibles fósiles.

El segundo foco sobre la biodegradabilidad es relevante para poder mejorar la reabsorción de los materiales en su fin de vida. Sin embargo, no basta con que un material se degrade en condiciones naturales si es que no puede ser biodegradado, y en particular que pueda ser compostado, que es el proceso de biodegradación en determinadas condiciones ambientales.

A los plásticos que son derivados del petróleo se les refiere como plásticos convencionales y a los plásticos derivados de biomasa renovable se les refiere como bioplásticos. En ambos casos existen plásticos y bioplásticos que son biodegradables y no biodegradables.

Esto significa que existe un grupo de plásticos convencionales que no son biodegradables, como el polipropileno (PP), el polietileno (PE) o el tereftalato de polietileno (PET). También existen versiones de estos mismos plásticos, pero derivados de biomasa (bioplásticos), como el Bio-PP, Bio-PE o Bio-PET, que tienen propiedades idénticas a sus contrapartes fósiles y por lo tanto tampoco son biodegradables. Por otra parte, existen plásticos convencionales que son biodegradables, como el polibutilen adipato tereftalato (PBAT), el policaprolactona (PCL) y el alcohol polivinílico (PVOH, PVA); y bioplásticos biodegradables, como el ácido poliláctico (PLA), la polihidroxialcanoatos (PHA) y la polihidrobunitato (PHB).

A nivel global se producen alrededor de 348 millones de toneladas de plásticos anualmente que representan entre un 5 a un 6 por ciento de la producción anual de petróleo. De éstas más de un tercio se destinan para la producción de envases y embalajes, y se concentra mayoritariamente en la producción de polipropileno y polietileno. Respecto a los bioplásticos se producen alrededor de 2,05 millones de toneladas anuales, y el PLA y PHA son las resinas biodegradables que muestran mayor expansión a nivel comercial.

Los bioplásticos aún son un mercado pequeño con desafíos para mejorar su competitividad frente a los plásticos convencionales en términos de precios. Sin embargo, las nuevas exigencias ambientales están generando los incentivos apropiados para que exista un desarrollo y aumento en la demanda por bioplásticos, y en particular los biodegradables.

Desde una perspectiva de impactos ambientales, al revisar el comportamiento de los plásticos convencionales con los bioplásticos biodegradables, se puede ver que los últimos pueden generar menores impactos si se aplican ciertas condiciones que aseguren un buen manejo en las etapas de obtención de materias primas y de fin de vida. Para que esto sea posible se debe, por una parte, poner foco en los métodos para la obtención de biomasa cuidando que no generen deforestación u otros tipos de daños a los ecosistemas. Uno de los principales impactos asociados a la obtención de biomasa, al igual que la industria agrícola, es el aumento en la carga de nutrientes en los suelos para asegurar la producción de los cultivos, generando un potencial de eutrofización en los entornos acuáticos cercanos. Por otro lado, el poner en contraste el uso de suelo para producir productos desechables versus producción de alimentos es algo que ha generado intensos debates sobre el uso de materiales renovables de origen orgánico.

Desde la perspectiva del fin de vida, los bioplásticos biodegradables permiten ampliar las oportunidades para realizar una gestión de residuos que mejore la valorización, al ser una alternativa que permite disponer en sistemas de compostaje industrial y por lo tanto recuperar el material orgánico que puede ser insumo para la elaboración de nueva biomasa. Al mismo tiempo esto debe ser complementado con fomentar una segregación adecuada al momento de gestionarlos como residuos, orientando a los consumidores a que puedan disponer de este tipo de materiales en contenedores que sean destinados a compostaje, simplificando las dificultades actuales en la segregación de plásticos convencionales. Esto permite que la transición de materiales sea compatible con la implementación de un esquema de responsabilidad extendida del productor (REP), ya que se incorpora como una alternativa para la gestión post-consumo con un alto potencial de valorización.

A nivel nacional e internacional se han creado una serie de regulaciones que se pueden describir en tres tipos: 1) impuestos (a la producción y/o al consumo); 2) prohibición parcial o total de

entrega o comercialización de un determinado producto o material (como el caso de las bolsas plásticas); 3) iniciativas voluntarias por parte de empresas, gremios, algunas veces público-privadas para cambios en la cadena de valor de un producto. Estas regulaciones han apuntado, principalmente, a lidiar con los impactos relacionados con la disposición final. Principalmente, se han regulado las bolsas plásticas y los productos hechos de polietileno (PE), poliestireno (PS) y polipropileno (PP). Recientemente, han surgido propuestas para regular, de forma más amplia, los plásticos de un solo uso. A nivel nacional, existen regulaciones municipales y nacionales, siendo los hitos más relevantes la reciente promulgación de la Ley de Bolsas Plásticas y la Ley 20.920 de Fomento al reciclaje y de Responsabilidad Extendida del Productor.

Desde el punto de vista de normativas técnicas para la regulación del uso de bioplásticos se pueden encontrar dos grandes grupos: las que permiten distinguir a los bioplásticos biodegradables y compostables, y las que entregan criterios para evaluar la sustitución de componentes en productos. En el caso de las primeras se menciona que existen normas, tanto chilenas como internacionales, que fijan criterios claros sobre las propiedades de biodegradabilidad y compostabilidad de un determinado material, al igual que hay normas que indican los procesos y métodos para verificar estos materiales. Sin embargo, no entregan un listado de los materiales que cumplan con estas normas. Para las segundas hay una serie de criterios estandarizados a nivel internacional, que permiten evaluar la pertinencia y calidad para realizar una sustitución, esto se enfoca principalmente en la mejora de impactos negativos que permitan justificar el cambio.

Finalmente existen ciertas limitaciones en cuanto a las tecnologías disponibles en el país tanto para gestionar de manera apropiada el fin de vida de bioplásticos biodegradables, como la falta de sistemas de compostaje industrial. Al mismo tiempo la presencia de proveedores de bioplásticos está aumentando dado el incremento en la demanda por este tipo de materiales, sin embargo, su producción a nivel nacional aún es incipiente, provocando que los precios de venta aún sean mayores que los de plásticos convencionales.

Como conclusión estamos entrando en una época donde la relación con los plásticos está siendo reformulada a través de una transición amparada por distintas estrategias, y con un futuro basado en la innovación y el desarrollo de nuevos materiales. Para poder compatibilizar esta transición en la sociedad, es importante reconocer que los criterios ambientales y de sostenibilidad que se están exigiendo con mayor fuerza no pueden ser abordados con una sola regulación, normativa o legislación, o por una sola implementación tecnológica o de gestión. Sino que debe ser abordado como un problema de alta complejidad e interdependencia. Lo que significa que las soluciones también deberán ser combinaciones entre diferentes instrumentos y acciones que promuevan tanto los cambios en materiales para determinados productos, la mejora en la gestión y valorización de los materiales, y cambios en la forma en que utilizamos ciertos productos, siendo todas complementarias y conectadas entre sí. Vemos que el mejor resultado posible es en base a un balance más que en potenciar solo cada una por separado.

Desde esta mirada una transición hacia el uso de nuevos materiales, mejorar la gestión de residuos y aumentar los procesos de transparencia con certificaciones son los 3 focos a trabajar para poder complementar a las políticas y regulaciones que busquen disminuir los impactos ambientales de los productos de un solo uso.

2. Introducción

El plástico es uno de los descubrimientos más revolucionarios del siglo XX. Globalmente se producen cerca de 310 millones de toneladas anuales¹. Eso son aproximadamente unos 37,6 kilogramos por persona al año, y se espera que se cuadruplique su producción para el 2050.

Como material sus aplicaciones son tan variadas que hoy lo encontramos presente en casi todos los productos que utilizamos diariamente. Desde la ropa hasta computadores, desde muebles hasta canchas deportivas, y la gran mayoría está hecho en base a petróleo proveniente de combustibles fósiles. En el mundo entre un 5 a 6 por ciento de la producción anual de petróleo se convierte en plástico². Es un material que ha apalancado el desarrollo de una sociedad altamente industrializada y tecnologicada, estando presente en muchos aspectos de nuestros estilos de vida.

La unidad que conforma cualquier plástico se llama “polímero”, que es una sustancia con estructuras de tipo cadenas, hechas de varios átomos o moléculas unidas unas a otras. La mayoría se configuran en una columna vertebral de carbono, conectada con otros elementos tales como hidrógeno, nitrógeno, y oxígeno. Existen una variedad muy amplia de polímeros, y se siguen descubriendo nuevas configuraciones constantemente.

Los polímeros están presentes en toda la naturaleza, no solo como formas fosilizadas (combustibles fósiles). Si bien, podemos sintetizar polímeros, éstos también aparecen de manera natural en nuestros entornos e incluso en nuestro interior, y son parte de todo organismo vivo. La celulosa, el material orgánico más abundante en la tierra, es un polímero presente en las paredes celulares de las plantas. La quitina es otro polímero abundante que se encuentra en las conchas y exoesqueletos de los crustáceos e insectos. La papa, la caña de azúcar, la corteza de árbol, las algas, y los camarones, todos tienen polímeros naturales que pueden ser convertidos en plásticos.

Se denominan entonces, como “bioplásticos” aquellos plásticos cuyos polímeros provienen de fuentes de biomasa (material orgánico), ya sea desde cultivos o de residuos de otros procesos. Estos bioplásticos vienen de la tierra y la mayoría pueden regresar a ésta, comúnmente con menos emisiones de carbón que sus versiones en base a petróleo. Se estima que el 90 por ciento de los plásticos actuales podría ser derivado de plantas u otras fuentes renovables.

A pesar de que actualmente los plásticos convencionales derivados del petróleo dominan el mercado, los primeros plásticos fueron hechos en base a celulosa de plantas. En el siglo XIX, el inventor estadounidense John Wesley Hyatt creó una sustancia derivada de la celulosa en el algodón, denominándola “celuloide”, la que resulto ideal para productos como peinetas, espejos de mano, cepillos de dientes, y filme para películas.

Además de ser el principal polímero, el celuloide dio paso para la invención del primer plástico en base a petróleo, llamado “Baquelita”. Junto con la aparición de una industria petroquímica, la baquelita permitió el desarrollo de muchos otros polímeros a principios del siglo pasado. En poco

¹ Hawken, P. *Drawdown: The most comprehensive plan ever proposed to reverse global warming*, Chapter: Materials, Bioplastic, Pág 167. 2017, Penguin books, ISBN 9781524704650

² Hawken, P. *Drawdown: The most comprehensive plan ever proposed to reverse global warming*, Chapter: Materials, Bioplastic, Pág 167. 2017, Penguin books, ISBN 9781524704650

tiempo fue posible crear productos de varios tamaños, formas, de alta durabilidad, bajo peso, y a bajo costo.

Impulsado por un contexto post-segunda guerra mundial, nuevos desarrollos de polímeros sintéticos con múltiples propiedades y aplicaciones, y una constante disminución en el precio del petróleo, los plásticos derivados de combustibles fósiles comenzaron a dominar el emergente mercado de plásticos en el mundo, siendo su masificación exponencial en los últimos 50 años.

Junto con los beneficios que han traído los plásticos convencionales (derivados del petróleo) a nuestra sociedad moderna, en las recientes décadas hemos presenciado como al mismo tiempo se han transformado en uno de los principales causantes de los altos niveles de degradación que se están evidenciando en los ecosistemas que sostienen la vida en el Planeta, donde los océanos han surgido con fuerza como uno de los entornos más afectados.

Un atributo, y al mismo tiempo problema, es que todos los plásticos, provenientes de combustibles fósiles o de plantas, pueden ser altamente duraderos, difíciles de degradar, y de ser absorbidos en los ecosistemas naturales. Es decir, como material no necesariamente se puede asegurar su “biodegradabilidad”, lo que ha significado un aumento acelerado de la presencia de plástico como un contaminante de lugares en los cuales originalmente no existía.

Una de las causas de esta contradicción se genera por haber creado y masificado un material que posee una durabilidad y resistencia tremendamente estable, y paulatinamente ir utilizándolo en productos de uso masivo cuya finalidad es ser funcionales por breves periodos de tiempo. Es decir, hemos estado aumentando el consumo de productos “desechables” o de “un solo uso” que se han vuelto accesibles porque se pueden fabricar en base a plásticos convencionales de bajo costo, pero que al mismo tiempo se transforman en residuos a tasas cada vez más aceleradas, mermando la capacidad de gestión en sistemas de recuperación, y quedando principalmente mezclados con otros residuos, disminuyendo considerablemente las oportunidades de generar una valorización post-consumo que permita recircular los materiales.

A nivel global se han generado varias alertas sobre los impactos que tiene mantener un ritmo acelerado de descarte de plásticos de manera excesiva. Se proyecta que si no se genera un cambio en el corto plazo habrá más plástico que peces en el mar, en términos de peso, para el año 2050³.

Los impactos ambientales y sociales que se producen por la alta generación de desechos plásticos combinan una serie de problemáticas interconectadas que reflejan la complejidad de los sistemas productivos que sostienen una economía intensiva en uso de recursos naturales. La alta concentración de piezas y partes de productos hechos de plásticos convencionales no biodegradables genera pérdidas de biodiversidad y uso inapropiado de suelos, tanto en los ecosistemas marinos como terrestres. Sumado a esto, la fragmentación de los plásticos en los distintos entornos ha hecho que exista un aumento considerable de “micro plásticos” en distintos animales que los ingieren por error, y que luego terminan en las cadenas tróficas aguas arriba, llegando hasta a estar presentes en peces y otros tipos de animales marinos de consumo humano. Incluso estudios recientes han demostrado una alta presencia de micro plásticos en las fuentes de agua potable que se distribuye en las ciudades para consumo humano⁴.

³ <https://www.theguardian.com/business/2016/jan/19/more-plastic-than-fish-in-the-sea-by-2050-warns-ellen-macarthur>

⁴ <https://phys.org/news/2017-09-plastic.html>, https://orbmedia.org/stories/EI_pl%C3%A1stico/

Con el objetivo de intentar combatir estas amenazas a los ecosistemas, y potenciado por una creciente atención pública y política, es que han surgido diversas regulaciones o iniciativas voluntarias en varios países sobre el uso del plástico para el consumo de determinados productos. A nivel internacional, las primeras y más comunes de las regulaciones son aquellas que se enfocan en el uso de bolsas plásticas y los productos desechables. En los últimos años y debido a ciertas tendencias y hechos concretos que se explican más adelante, se han hecho propuestas para regular los plásticos de “un solo uso”, o más comúnmente denominados como desechables. Este grupo de productos comúnmente son envases y embalajes destinados a ser usados una sola vez antes de ser desechados o reciclados (UNEP, 2018). Entre esos productos se encuentran las bolsas plásticas, los envases de alimentos, las botellas plásticas, las bombillas, entre otros. A nivel nacional, existen regulaciones a escala municipal y a escala nacional, siendo el hito más relevante la reciente promulgación de la Ley de Bolsas Plásticas (2018) y la ley 20.920 (2016).

En el escenario actual se ha hecho indispensable que productores y comercializadores de plásticos de un solo uso comiencen a actuar y a adaptarse ante cambios regulatorios que por una parte, tienen el fin de proteger el medio ambiente, pero por otro pueden afectar la continuidad de determinadas industrias, siendo esto último no por una falta de alternativas de transición que permitan la generación de nuevos negocios que impulsen los cambios requeridos, sino que por generar regulaciones con falta de claridad, o con sesgos que no den espacio para que existan incentivos que permitan a las industrias actuales transitar rápidamente.

En este sentido, se hace necesario entender qué tipo de materiales existen en el contexto nacional y cuáles son sus impactos ambientales a lo largo de todo su ciclo de vida, y es allí donde los bioplásticos han mostrado ser una alternativa a tener en consideración. Esto va de la mano con entender a cabalidad cuáles son las directrices y normativas técnicas que regulan los distintos tipos de plásticos y su uso en Chile, y cuál ha sido su tendencia en el extranjero. Por su parte, al evaluar las alternativas en términos de materiales se hace necesario entender cómo funcionan los sistemas de gestión y reciclaje a nivel local.

El presente estudio entrega orientaciones sobre el contexto general en las normativas y regulaciones que están apareciendo rápidamente como respuesta a las problemáticas antes mencionadas, y cómo las industrias pueden tomar en consideración aspectos técnicos que permitan avanzar en una transición hacia el uso de plásticos biodegradables, y las condiciones que se requieren para que los impactos de éstos sean menores con respecto a las versiones no biodegradables. Todo ello con el fin de entregar una visión que facilite las implementaciones a futuro de cambios que apunten a disminuir los impactos ambientales respecto al uso de los plásticos como productos desechables o de un solo uso.

3. Objetivos

El objetivo general del estudio es:

Recopilar, sistematizar y analizar antecedentes técnicos y regulatorios respecto al uso de plásticos de un solo uso, identificando los principales impactos ambientales y económicos, para generar un documento que permita orientar acciones y directrices en debates futuros sobre la implementación de políticas públicas que busquen regular la comercialización y uso de estos, como también el diseño de normativas que sean adicionales a la ley 20.920 (Ley REP).

4. Metodología

El estudio se basa en la recopilación y análisis de fuentes de información secundaria las cuales se dividen en 3 categorías:

1. Revisión de otros estudios, artículos académicos, literatura especializada, reportajes de tendencias.
2. Revisión de normativas y regulaciones nacionales e internacionales sobre plásticos y bioplásticos.
3. Análisis y consulta a expertos sobre temas técnicos de plásticos de un solo uso.

En la bibliografía se encuentran todas las referencias de los documentos de información secundaria descritos para las primeras 2 categorías.

La consulta a expertos se ha realizado a través de los aportes desarrollados en el presente informe por el equipo de académicos del Departamento de Ingeniería Química y Bioprocesos de la Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile que ha participado en la elaboración del presente estudio.

La información recopilada es ordenada y estructurada con el fin de generar una visión objetiva que se presenta en las secciones siguientes.

5. Plásticos convencionales y Bioplásticos

En la siguiente sección se va a describir de manera general el espectro de plásticos que más se utilizan en la actualidad para la creación de productos de consumo masivo de un solo uso, como lo son las bolsas plásticas, envases de alimentos, productos desechables en general, entre otros.

Se revisará la problemática ambiental actual que se genera por el uso de plásticos en productos de un solo uso, y qué criterios considerar para evaluar e implementar alternativas más sostenibles y de menor impacto.

Es importante mencionar que las problemáticas ambientales actuales son de naturaleza compleja, es decir, existen múltiples factores que generan las condiciones para que sucedan. Esto significa que las soluciones para enfrentar y revertir los efectos de degradación y daño se

conforman por una variedad de soluciones aplicadas que en conjunto generan sinergias positivas que permitan transformaciones más profundas. En el caso de los plásticos de un solo uso, las soluciones vienen por varios cambios que deben suceder de manera simultánea.

Se revisará cómo los bioplásticos se presentan como una parte de la solución, y cómo otra parte está en reforzar la capacidad de biodegradabilidad de algunos tipos de plásticos. Además de esta transición de materialidad se deben considerar otros factores como la gestión y la estandarización como elementos igualmente relevantes.

El mundo de los plásticos es amplio e involucra una serie de atributos que permiten comprender la problemática ambiental que se evidencia en la actualidad. En parte se genera por el uso de un material con alta durabilidad y resistencia en productos que están diseñados para ser desechables.

Las alternativas de transición pueden suceder en la medida que las políticas públicas y las demandas sociales se conjuguen para generar mercados que movilicen a los distintos actores para su adopción.

5.1. Descripción de los tipos de plásticos y su clasificación

La palabra plástico proviene de la raíz griega “*plassein*” que significa “moldeable o formable” y hace referencia a la capacidad de ser un material maleable o de plasticidad, permitiendo que se pueda utilizar para múltiples aplicaciones dada la gran flexibilidad para adaptarlo a requerimientos específicos según las necesidades que se quieran cubrir.

Los plásticos tienen estas propiedades porque están hechos de polímeros, una macro molécula que permite crear estructuras ordenadas y estables. Los polímeros son estructuras con forma de cadena, constituidos en base a átomos o moléculas de distintos tipos unidas unas a otras. La gran mayoría posee una columna vertebral de carbono unida a otros elementos como el hidrógeno, nitrógeno y oxígeno.

Los polímeros se encuentran presentes en toda la naturaleza, desde caparazones y conchas en crustáceos e insectos hasta en las paredes celulares de las plantas. A fines del siglo XIX se descubren los primeros procedimientos para poder sintetizar el celuloide desde las plantas de algodón, un polímero que se transformó en el punto de inicio del desarrollo de una industria y un mercado que revolucionó al mundo moderno.

A inicios del siglo XX se comienza a sintetizar nuevos polímeros desde fuentes derivadas del petróleo, siendo la baquelita el primero en ser usado en aplicaciones como estructura para teléfonos, radios, y otros tipos de productos. Al poco tiempo del desarrollo de la baquelita nacen otros polímeros como el poliestireno que hoy vemos presente en casi todos los plásticos que producimos.

Los plásticos presentan diversas propiedades que los hacen ser el material de elección para su uso en variadas aplicaciones. Son livianos en peso, la mayoría posee propiedades de aislación térmica y eléctrica, son resistentes a la corrosión, son durables y se pueden usar en ambientes peligrosos. Algunos son transparentes permitiendo crear aparatos ópticos, otros son fáciles de

moldear en formas complejas, lo que también los hace compatibles con otros materiales. Inclusive si las propiedades físicas de un determinado plástico no son útiles para cumplir algún requerimiento específico, sus propiedades pueden ser modificadas con la adición de colores, refuerzos estructurales, retardantes de llamas, entre otros para satisfacer dichos requerimientos.

La producción anual de plásticos superó los 348 millones de toneladas en 2017⁵. Esta producción se distribuye de la siguiente manera:

Zona	%
Asia	50,1%
Europa	18,5%
América del Norte	17,7%
Oriente Medio y África	7,1%
América Latina	4,0%
Otros	2,6%

Tabla 1: Distribución global de producción de plásticos⁶. Elaboración propia.

Como se menciona anteriormente existe una gran diversidad de plásticos. Estos se pueden separar en base a dos atributos que influyen directamente en los impactos ambientales asociados al ciclo de vida de los plásticos: Origen de la materia prima para producción, y capacidad de ser absorbido por los ecosistemas naturales. Es decir, si los plásticos están elaborados a partir de derivados del petróleo (combustibles fósiles), o si es que provienen de fuentes de biomasa (material orgánico) renovable, y al mismo tiempo determinar si es que son biodegradables y compostables o no.

En la figura 1 se presenta un mapa de distintas resinas de plásticos según sus atributos.

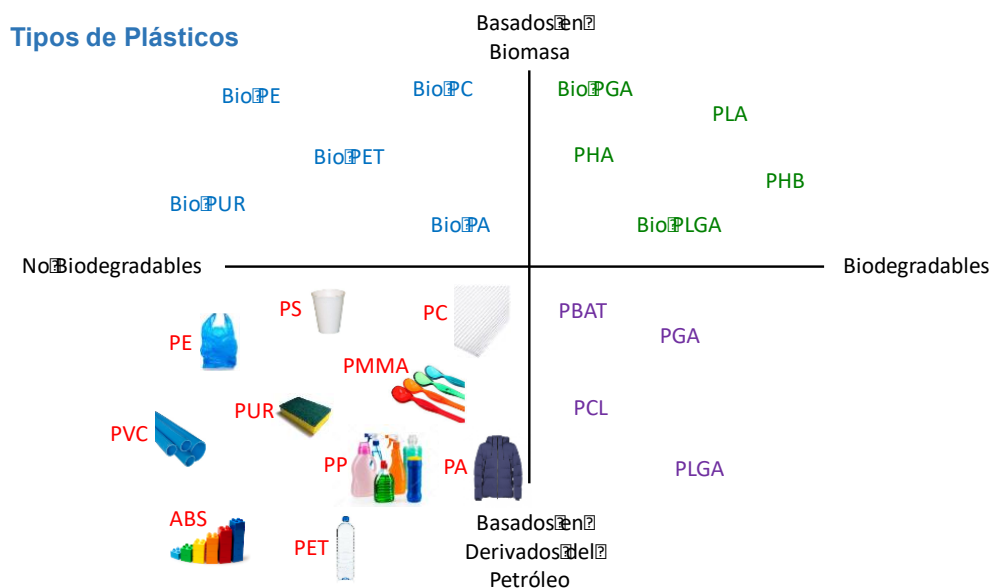


Figura 1: Clasificación de plásticos respecto origen y cualidad de biodegradación. Elaboración propia.

⁵ European Commission. A European Strategy for Plastics in a Circular Economy Factsheet. 2018.

⁶ https://www.plasticseurope.org/application/files/6315/4510/9658/Plastics_the_facts_2018_AF_web.pdf

Glosario	
PE: Polietileno	PA: Poliamida
PS: Poliestireno	PET: Polietileno tereftalato
PC: Policarbonato	PBAT: Polibutileno adipato tereftalato
PUR o PU: Poliuretano	PCL: Policaprolactona
PMMA: acrílico, poli metil metra acrilato	PGA: Acido Poliglicólico
PVC: Poli cloruro de vinilo	PLGA: Ácido poliláctico co glicólico
PP: Polipropileno	PHA: Polihidroxicanoato
ABS: Acrilonitrilo butadieno estireno	PHB: Polihidroxibutirato

Tabla 2: Glosario de nombres de resinas más comunes en la fabricación de plásticos. Elaboración propia.

Atributos	No biodegradables	Biodegradables
Basados en Biomasa	Bio PET Bio PE Bio PC Bio PUR Bio PA	BioPGA PLA PHA PHB Bio PLGA
Basados en derivados del petróleo	PE PS PC PVC PUR PMMA ABS PET PP PA	PBAT PGA PCL PLGA

Tabla 3: Clasificación de plásticos respecto de su origen y calidad de biodegradación. Elaboración propia.

Los plásticos se pueden producir en base a fuentes naturales y renovables como la madera (celulosa), aceites vegetales, azúcares y almidones. Se definen como Bioplásticos todos los plásticos que sean generados en base a estas fuentes de biomasa. Existen diversas formas para poder producir bioplásticos a partir de biomasa o material orgánico renovable. En las siguientes secciones se realizará un análisis más en detalle sobre los bioplásticos.

En el eje vertical de la Figura 1 se separan los plásticos que son “basados en biomasa” y los que son “basados en derivados del petróleo”. En el eje horizontal se puede separar los plásticos en “no biodegradables” o en “biodegradables”. La Tabla 3 resume a donde pertenece cada resina.

La gran mayoría de plásticos que utilizamos diariamente son los que están representados en el cuadro inferior izquierdo de la Tabla 3. Por ejemplo, el polipropileno (PP) es el plástico que más se produce globalmente seguido del polietileno de baja densidad (PEBD). En ambos casos se utilizan para la creación de envases y embalajes de distintos productos, como los de limpieza e higiene, las bolsas plásticas convencionales, envases para alimentos, entre otros.

En el Gráfico 1 se indica la producción global de los principales plásticos utilizados actualmente.

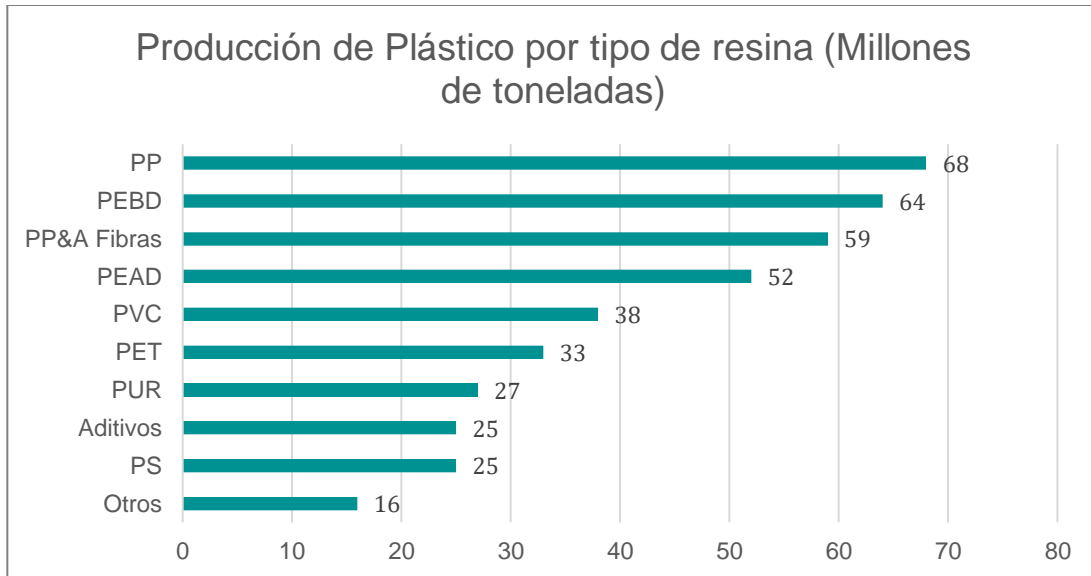


Gráfico 1: Producción de plástico por tipo de resina año 2015⁷. Elaboración propia

Más de un tercio de los plásticos producidos en el mundo se utilizan para la fabricación de envases y embalajes (*packaging*), al mismo tiempo es la categoría que mayor cantidad de residuos genera. En el Gráfico 2 se muestra la proporción de las industrias que utilizan el plástico.

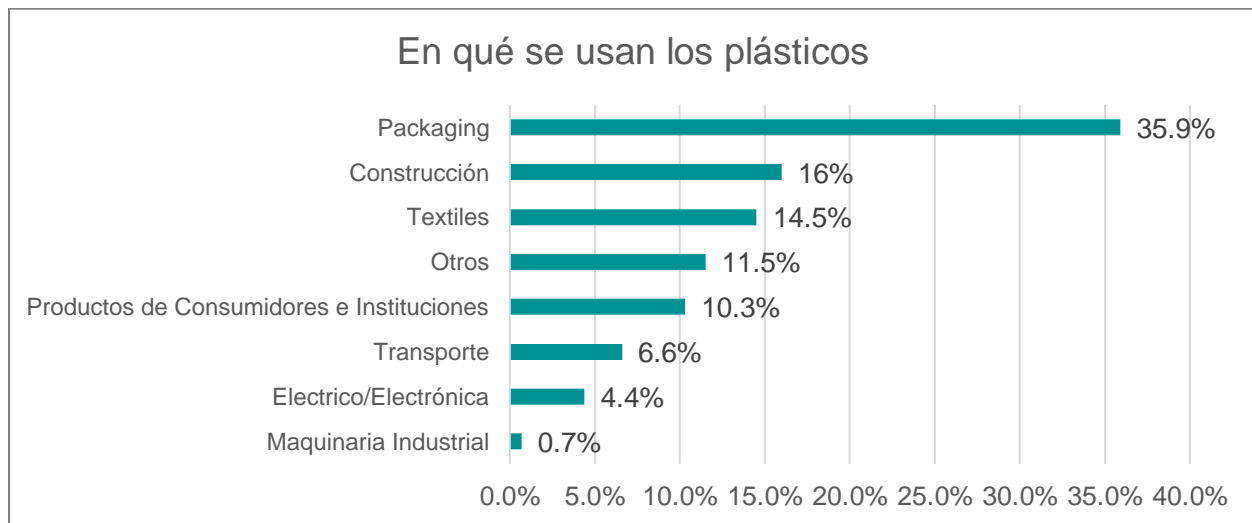


Gráfico 2: Proporción de uso de plástico por Industrias año 2015⁸. Elaboración propia.

Se puede observar que para ciertos plásticos en base a derivados del petróleo existen versiones alternativas en base a biomasa, es decir, existe un equivalente del mismo plástico pero que se

^{7, 8} Geyer, R; Jambeck, J; Lavender K. *Science Advances* Production, use, and fate of all plastics ever made. 19 de Julio. 2017.

<http://advances.sciencemag.org/content/3/7/e1700782>

sintetiza de una fuente de materia prima orgánica renovable. A estos plásticos se les agrega el prefijo “Bio” junto al nombre de la resina plástica convencional. Esto no necesariamente significa que el plástico en su versión “bio” posee mejores características que la versión convencional.

En comparación con los plásticos convencionales, las versiones que son derivadas de biomasa y biodegradables son aún materiales de nicho, siendo utilizados para aplicaciones diversas, pero no masivas.

La Tabla 4 resume las diferencias que existen en los rangos de precios de los distintos tipos de plásticos.

Plástico / Bioplástico	Costo resina base
HPDE	Medio (1 US\$/kg)
LPDE	Medio
PS	Bajo
PVC	Medio
PP	Medio
PBAT	Medio-Alto (3 US\$/kg)
PLA	Medio-Alto (3 US\$/kg)
PHA	Alto
PHB	Alto
PCL	Alto (8 US\$/kg)
PGA	Alto

Tabla 4: Listado de precios promedio por tipo de plástico⁹. Elaboración propia.

Se puede ver que hay diferencias sustanciales en los precios de comercialización de los plásticos convencionales versus las alternativas presentadas en los otros cuadrantes de la Figura 1. En términos generales, los polímeros convencionales se comercializan en precios que se mueven en torno a 1 USD o menos por kilogramo, mientras que las resinas de otros tipos de polímeros pueden llegar a comercializarse en 8 USD por kilogramo, en los casos más extremos, o en 3 USD por kilogramos de material. Esto muestra que a la industria de plásticos alternativos le queda aún mucho margen de acción y desarrollo para reemplazar a los plásticos convencionales.

En términos de proyecciones, los plásticos convencionales se proyectan de pasar de los 348 millones de toneladas anuales en 2017 a 700 millones de toneladas para el 2030. Mientras que el mercado de bioplásticos biodegradables (cuadrante superior derecho de la Figura 1) se proyecta desde una producción de 2 millones de toneladas en 2015 a 2,5 millones de toneladas en 2022. Es decir, en términos proporcionales los bioplásticos representan menos del 1% del total del mercado de plásticos global. La Figura 2 muestra que de manera similar a lo que sucede

⁹ Cotizaciones realizadas en sitios de comercialización de plásticos. No se encontraron todos los precios disponibles por lo que se utilizó una escala de 3 graduaciones (alto, medio y bajo) para representar la realidad.

en los plásticos convencionales, las regiones que producen mayor cantidad de bioplásticos son Asia y luego Europa.

Producción Global de Bioplásticos

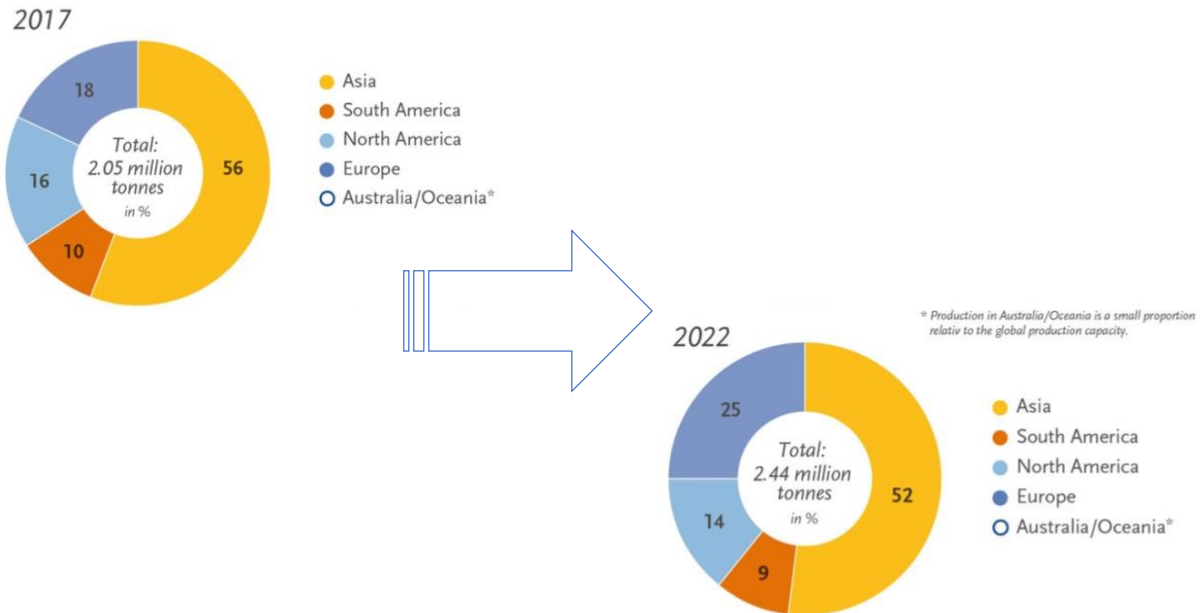


Figura 2: Proyección de producción global de Bioplásticos. European Bioplastics 2017.

Los otros dos cuadrantes restantes en el mapa anterior muestran que existe tanto polímeros de origen derivado de petróleo como también de origen de biomasa que son biodegradables. Esto implica poder distinguir mejor los conceptos de degradabilidad, biodegradabilidad y compostabilidad para comprender los alcances de este tipo de polímeros y cómo se refleja en los impactos ambientales que pueden generar.

Degradabilidad

Un plástico puede ser considerado como “degradable” cuando sufre un cambio significativo en sus propiedades a causa de la desintegración de las macromoléculas que conforman varios polímeros. Esto se traduce en que el material se puede descomponer y fragmentar bajo ciertas condiciones naturales, pero sin requerir de la presencia de microorganismos. Son plásticos que se degradan bajo condiciones de luz, humedad, temperatura, u otros factores ambientales. Ejemplos de esto son los oxo-degradables y los UV-degradables que comienzan a fragmentarse cuando son expuestos a oxígeno o radiación solar.

Es importante señalar que el hecho de que un plástico sea degradable no significa que la fragmentación y descomposición del material sea total, sino que llegado un determinado punto el proceso deja de ocurrir, quedando solo micro-fragmentos de plástico que no se pueden absorber de manera natural a través de microorganismos. Por tanto, el acelerar el proceso de descomposición y degradación del plástico contribuye al aumento de la presencia de

microplásticos en los entornos terrestres y marinos. Los plásticos degradables bajo estos métodos sean cada vez menos utilizados.

Otro factor que influye su retirada es que para dar la propiedad de degradabilidad a plásticos convencionales se incorporan aditivos a la composición original de este. Los aditivos generan una aceleración en el proceso de degradación. Varios estudios¹⁰ señalan que la incorporación de estos aditivos, para acelerar la degradación de los plásticos convencionales, no mejora los impactos ambientales y potencialmente pueden generar efectos negativos como no ser compatibles con los sistemas de reciclaje de plásticos, o no ser aptos para procesos de compostaje industrial dado que no son absorbidos por microorganismos, quedando solo los micro-fragmentos de plástico en el medioambiente.

Biodegradabilidad

Los materiales biodegradables son aquellos que pueden ser reducidos y transformados en sustancias fácilmente asimilables por el medio ambiente.

La biodegradabilidad se puede describir como: “La degradación de un polímero por la acción, al menos en parte, de un fenómeno mediado por células”. Como resultado de la acción de microorganismos los materiales son convertidos en agua, dióxido de carbono, biomasa y metano.

La biodegradabilidad depende de la estructura del polímero. Por ejemplo, existen algunos polímeros derivados de biomasa que son biodegradables (PHA), como otros que no lo son (BioPE).

Además, la biodegradabilidad depende en gran medida de las condiciones (temperatura, pH, presencia de microorganismos, concentración de oxígeno y humedad) en las cuáles los residuos de material quedan expuestos¹¹. Los principales entornos en lo que se define y testea la biodegradabilidad son: condiciones de compostaje, ambiente marino y suelo.

Un factor crucial relacionado a la biodegradabilidad es el tiempo o fase de biodegradación. En el caso de la degradación en suelo, por ejemplo, un material plástico se define biodegradable si el 90% del carbono presente en los polímeros del material original se transforma en CO₂ en un período igual o menor a dos años¹². A pesar de que alcanzar una biodegradabilidad completa en magnitudes de meses resulta difícil incluso para condiciones de laboratorio, la Comisión Federal de Comercio de Estados Unidos propone que el criterio para afirmar la biodegradabilidad en un material es una descomposición total (100% biodegradación) en un período igual o menor a un año luego de la disposición como residuo¹³.

Es importantes destacar que no todos los bioplásticos son biodegradables ni viceversa como se muestra en la Figura 1.

¹⁰ Mclauchlin, A; Thomas, N; Patrick, S; Clarke, J. Oxo-degradable plastics: *Degradation, environmental impact and recycling*; Waste and Resource Management, 2012.
https://www.researchgate.net/publication/270465953_Oxodegradable_plastics_Degradation_environmental_impact_and_recycling

¹¹ Van de Zee, 1997.

¹² Norma ASTM.

¹³ Malinconico, 2017.

Compostabilidad¹⁴

Para que un plástico sea considerado compostable, debe cumplir los siguientes criterios:

- Biodegradarse en dióxido de carbono, agua y biomasa. 90% del material orgánico es convertido en dióxido de carbono dentro de 6 meses o menos.
- Desintegrarse después de 3 meses de compostaje y luego de pasar por un tamiz de 2mm, donde no puede haber más de un 10% de residuo remanente.
- Ecotoxicidad: La biodegradación no produce ningún material tóxico y el compost puede generar crecimiento vegetal.

A modo de conclusión, un plástico puede ser degradable pero no biodegradable, o puede ser biodegradable pero no compostable (ejemplo: se descompone demasiado lento o deja residuos tóxicos).

5.2. Descripción de los tipos de Bioplásticos y su clasificación

Los bioplásticos se muestran como una prometedora alternativa para reemplazar a los plásticos convencionales, debido a las oportunidades de disminuir los impactos ambientales a lo largo del ciclo de vida por su origen basado en biomasa. Sin embargo, es relevante que también cumplan con las condiciones para ser biodegradables y compostables, y al mismo tiempo gestionados de manera que su fin de vida pueda ser en instalaciones preparadas para su valorización como materia orgánica.

Otro de los desafíos que presentan es que aún son una proporción pequeña dentro de la producción global de plásticos, lo que hace que sus precios de comercialización sean relativamente altos en comparación con los plásticos convencionales. Esto genera una barrera de entrada para sostener una transición continua y lo más rápido posible.

Los bioplásticos en general tienen la cualidad de biodegradarse. Sin embargo, están fuera de esta cualidad aquellos que tienen la misma estructura de los polímeros convencionales: BioPET, BioPE, BioPC, BioPA y BioPUR que corresponden a los plásticos que se encuentran en el cuadrante superior izquierdo de la Figura 1. Estos últimos no serán abordados en esta sección.

Se revisarán las principales tendencias sobre la producción de bioplásticos en el mundo, y se detallarán algunas de las características que les permiten ser un material de reemplazo para productos que hoy se hacen con plásticos convencionales.

¹⁴ <http://www.bpf.co.uk/plastipedia/polymers/polymer-bio-based-degradables.aspx>

Una clasificación bastante estandarizada los caracteriza según:

1. Aquellos basados en recursos renovables (p.ej. celulosa y almidón).
2. Aquellos polímeros sintéticos creados a partir de síntesis bioquímica o química realizada con monómeros obtenidos de recursos naturales (p.ej. el ácido poliláctico (PLA), la policaprolactona (PCL), entre otros).
3. Aquellos sintetizados gracias a microorganismos como los polihidroxicanoatos (PHA) y polihidroxibutirato (PHB).

La Figura 3 ilustra la clasificación de los bioplásticos que se describirán en esta sección.

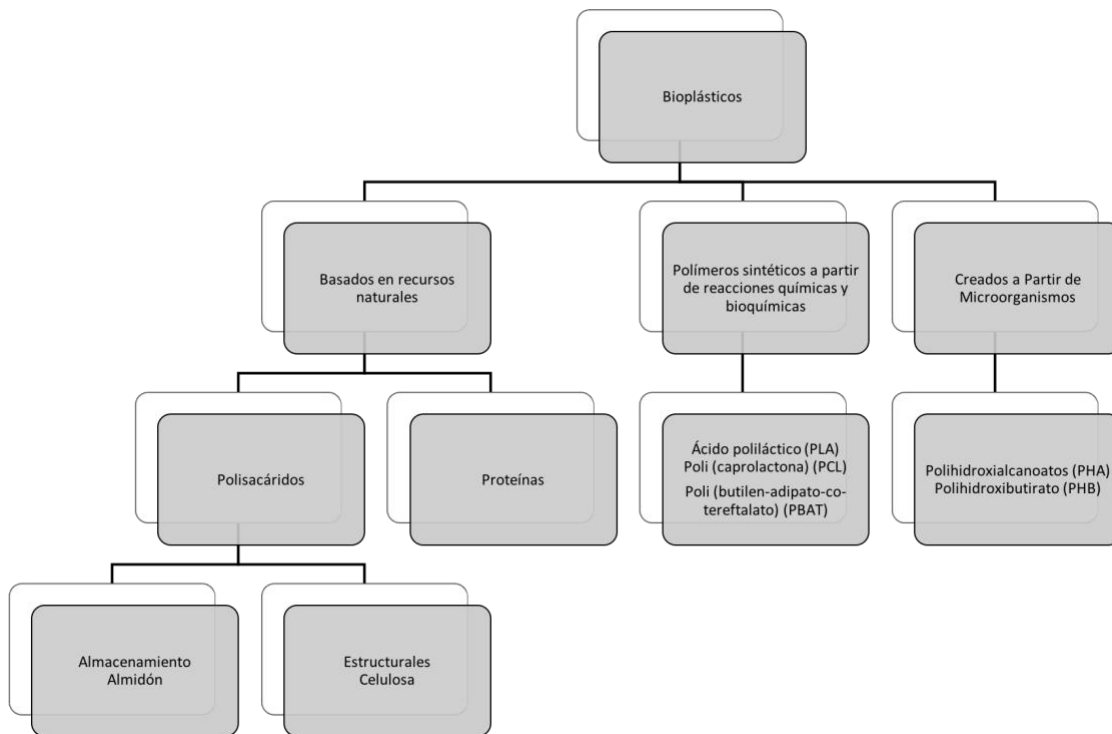


Figura 3: Clasificación de los bioplásticos. Elaboración propia.

Dentro de las características que presentan estas familias de bioplásticos, la Tabla 5 muestra los principales atributos.

Tipo de bioplástico			Atributos	Costo	Biodegradable
Bioplásticos basados en recursos naturales	Bioplásticos basados en polisacáridos	Bioplásticos hechos de almidón	_Olor similar a su materia prima _Resistencia menor a polímeros tradicionales	US\$1-10 tonelada	SI
		Bioplásticos hechos de celulosa			
		Bioplásticos basados en quitina y quitosano			
	Bioplásticos basados en Proteínas	Bioplásticos basados en proteína del maíz			
		Bioplásticos basados en proteína de la leche			
		Bioplástico basado en la proteína de soya			
Bioplásticos basados en polímeros sintéticos	Bioplástico PLA	_Pueden tener olor o no dependiendo del tipo de producción _Resistencia ligeramente menor a polímeros convencionales	US\$3-20/ tonelada	SI	
	Bioplástico PGA				
	Bioplástico PCL basado en mezcla con derivados del petróleo				
	Bioplástico PBAT basado en mezcla con derivados del petróleo				
Bioplásticos a partir de microorganismos	Bioplástico PVOH basado en mezcla con derivados del petróleo				
	Bioplástico PHA	_Sin olor característico	US\$5-30/tonelada	SI	
	Bioplástico PHB	_Resistencia similar a polímeros convencionales			
Bioplástico PHB/HV					

Tabla 5: Resumen de características de los bioplásticos biodegradables. Elaboración propia.

La siguiente tabla indica ejemplos de plásticos biodegradables comercializados y sus aplicaciones.

Polímero	Aplicaciones
Mater-Bi	Bolsas para residuos orgánicos, películas plásticas para agricultura y artículos desechables.
Polynat	Artículos desechables y contenedores para plantas.
Ecofoam	Envoltorios plásticos.
Biopol	Afeitadoras y botellas
Eco-pla	Productos sanitarios, ropa deportiva, gorros de ducha y envoltorios.
Bio-D	Películas plásticas para agricultura.
Ecoflex	Películas plásticas para agricultura.
Eastar Bio	Películas plásticas para agricultura.
Bak 1095	Artículos desechables y contenedores para plantas.

Tabla 6: Ejemplos de aplicaciones de polímeros biodegradables. Fuente: Vroman & Tighzert (2009).

5.2.1. Producción de Bioplásticos

Como se menciona en la sección anterior, la producción global de bioplásticos es de alrededor de 2,054 millones de toneladas anuales. Según las cifras de la *European Bioplastics*, las proyecciones de producción esperan un crecimiento aproximado de 20% para el 2023 llegando a los 2,44 millones de toneladas anuales. La Figura 4 muestra con más claridad esta tendencia.

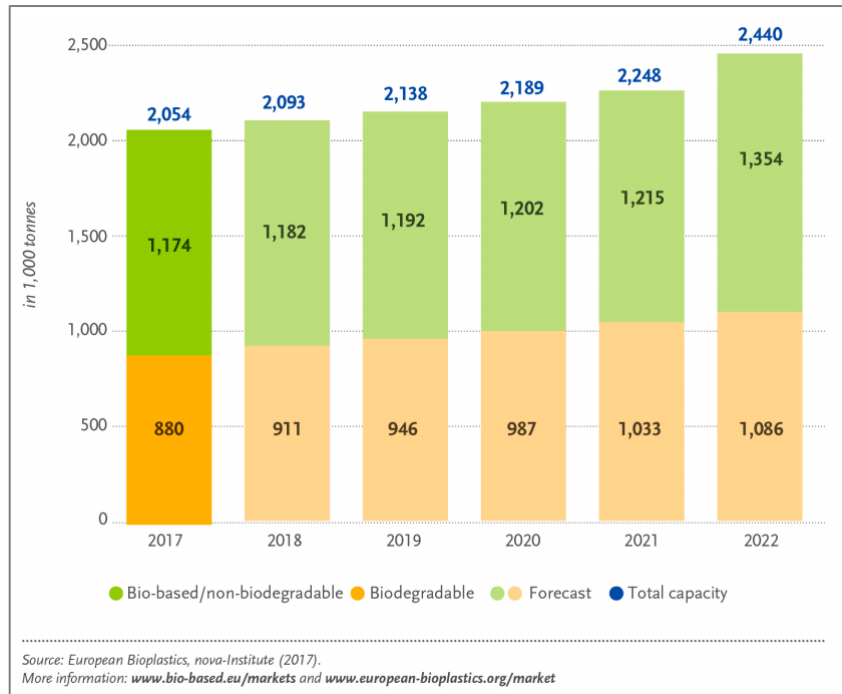


Figura 4: Producción global de bioplásticos 2017 – 2022. *European Bioplastics, nova-institute (2017).*

Como se puede ver dentro de la producción de bioplásticos a nivel global la producción de bioplásticos no biodegradables, es decir las versiones “bio” de los plásticos convencionales, sigue siendo más representativo mientras que los bioplásticos biodegradables van aumentando y achicando esta diferencia.

En la Figura 5 se presentan los distintos tipos de bioplásticos que componen las cifras anteriores.

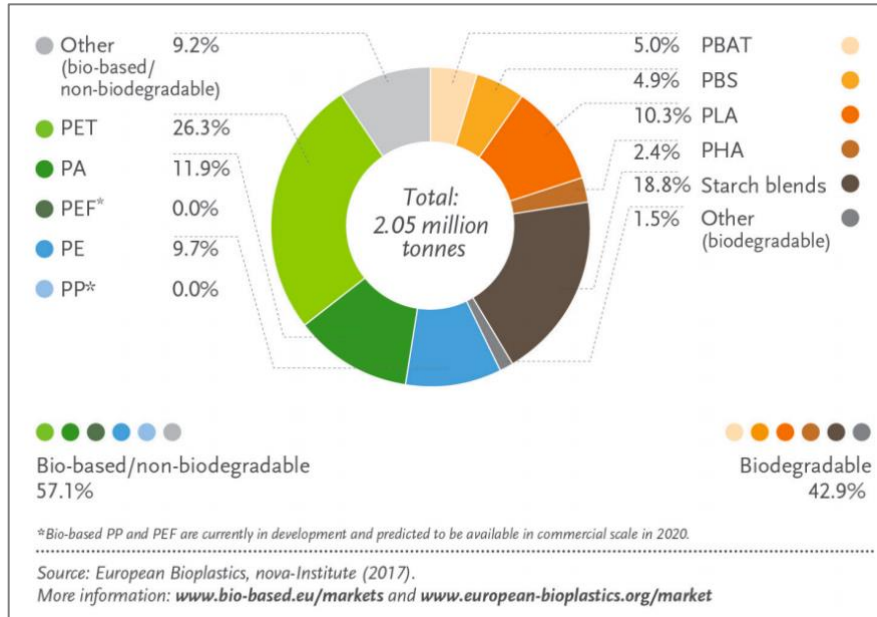


Figura 5: Producción global de bioplásticos por material. European Bioplastics, nova-institute (2017).

El crecimiento del mercado de los bioplásticos está siendo apalancado principalmente por el Ácido poliláctico (PLA) y la Polihidroxicanoatos (PHAs), ambos bioplásticos biodegradables que están ingresando a escala comercial a los mercados de plástico.

La mayoría de bioplásticos se están empleando en la industria de los envases y embalajes. La Figura 6 muestra cómo se distribuye la producción de bioplásticos para diferentes usos por industria.

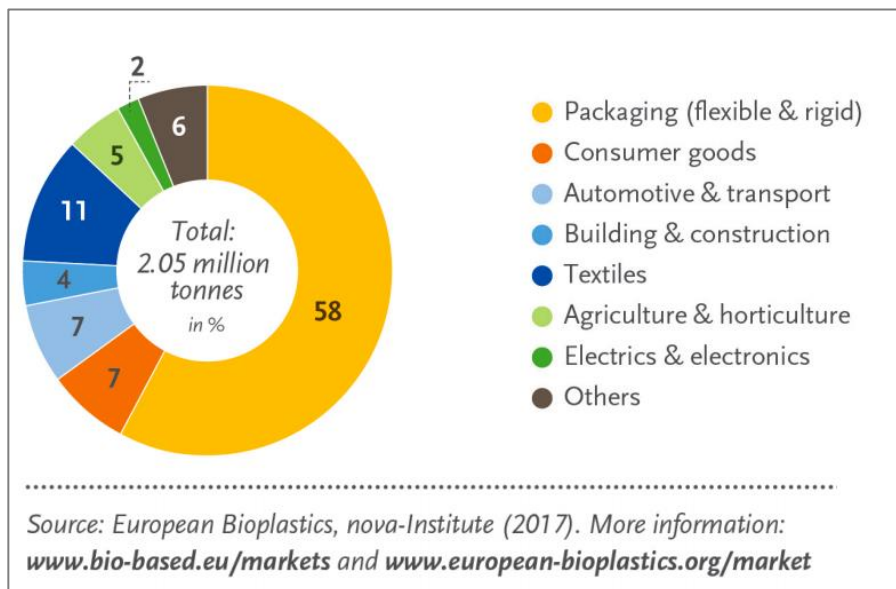


Figura6: Distribución de producción anual de bioplásticos por industria. European Bioplastics, nova-institute (2017).

Desglosado por tipo de material utilizado se puede ver que a pesar de que existe una alta presencia de bioplásticos en el sector de envases y embalajes y bienes de consumo masivo, la gran mayoría se compone de materiales no biodegradables. Esto es relevante al momento de compatibilizar la presencia de bioplásticos con los impactos ambientales asociados donde la pérdida de la capacidad de la biodegradabilidad quita oportunidades de mejora para todo el sistema de gestión de residuos provenientes de este tipo de plásticos.

La Figura 7 muestra como el BioPet y el BioPE dominan el sector de envases y embalajes rígidos mientras que en el caso de los envases y embalajes flexibles hay mayor presencia de bioplásticos biodegradables.

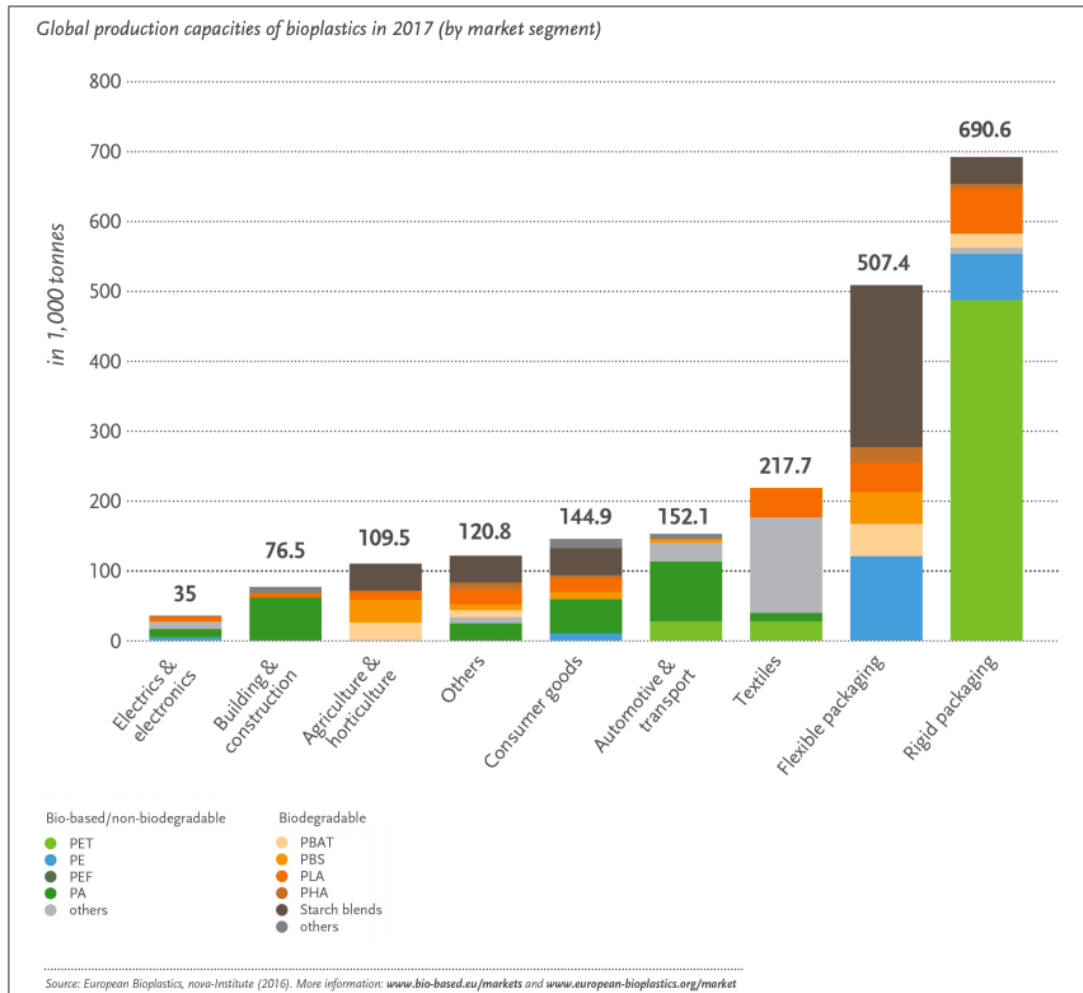


Figura 7: Distribución de producción anual por materia y por industria. European Bioplastics, nova-institute (2017).

5.2.2. Tipos de Bioplásticos

La Figura 3 muestra una clasificación general sobre los bioplásticos. A continuación, se detalla de manera resumida cada una de las clasificaciones y las características presentes en cada familia de bioplásticos.

Bioplásticos basados en Recursos Naturales

Los bioplásticos creados a partir de recursos renovables son variados, existiendo desde las películas desarrolladas a partir de proteína animal (caseína, gelatina y queratina), vegetal (proteína de soya, canola, girasol, centeno, trigo, maíz)¹⁵ hasta los creados de polisacáridos como el almidón y la celulosa. Tanto proteínas como polisacáridos pueden procesarse utilizando tecnologías convencionales, aunque los últimos destacan por ser de más fácil acceso en el mercado¹⁶. El costo de este tipo de bioplásticos varía entre US\$1 a 10 dólares el kilogramo de resina puesta en Chile, lo que depende del volumen y la frecuencia de importación. Ninguno de estos bioplásticos es comercializado a gran escala en Chile, a excepción del Celofán. Una subclasificación propuesta de este tipo de bioplásticos se muestra a continuación:

Bioplásticos basados en polisacáridos

Este tipo de bioplásticos se divide en tres categorías que se explican a continuación.

a) Bioplásticos hechos de almidón

Los bioplásticos fabricados a partir de almidón están formados por una combinación de dos polímeros, amilosa y amilopectina. Estos materiales poseen propiedades físicas similares a los polímeros sintéticos; carecen de olor y sabor, son transparentes, tiene la cualidad de ser semipermeables al dióxido de carbono e impermeables al oxígeno. Son biodegradables, con una buena disponibilidad y bajo costo¹⁷. Pese a estas propiedades, el almidón no presenta las propiedades físicas y mecánicas necesarias para ser usado en empaques de productos¹⁸. Puede soportar los procesos de extrusión como los termoplásticos sintéticos, para formar almidón termoplástico, sin embargo, este proceso no logra mejorar sus propiedades físicas y mecánicas.

Estas sí pueden aumentar significativamente cuando se mezcla con otros polímeros tanto naturales como sintéticos, que incluyen celulosa, zeína (una proteína del maíz), caucho natural, alcohol polivinílico, copolímeros de acrilato, copolímeros de polietileno y etileno, poliésteres y poliuretanos.

¹⁵ Avérous, L.; Pollet, E. *Environmental Silicate Nano-Biocomposites*; 2012; Vol. 50.

¹⁶ Valero-Valdivieso, M. F.; Ortegón, Y.; Uscategui, Y. *Biopolímeros: Avances y Perspectivas*. Dyna 2013, 80 (181), 171–180.

¹⁷ Stagner, J. A.; Alves, V. D.; Narayan, R. *Application and Performance of Maleated Thermoplastic Starch-Poly(Butylene Adipate-Co-Terephthalate) Blends for Films*. J. Appl. Polym. Sci. 2012, 126 (SUPPL. 1).

¹⁸ Lendvai, L.; Apostolov, A.; Karger-Kocsis, J. *Characterization of Layered Silicate-Reinforced Blends of Thermoplastic Starch (TPS) and Poly(Butylene Adipate-Co-Terephthalate)*. *Carbohydr. Polym.* 2017, 173, 566–572.

b) Bioplásticos hechos de celulosa

La celulosa es considerada el material renovable más abundante en nuestro planeta, representando aproximadamente el 50% del peso seco de las plantas¹⁹. Los bioplásticos basados en celulosa se producen a través de la modificación química de la celulosa natural, la cual tiene una capacidad limitada de formar películas por ser un polímero altamente cristalino e insoluble en agua. Se pueden fabricar directamente de estas películas el producto conocido como celofán, el cual posee buenas propiedades mecánicas, pero es sensible a la humedad, por lo cual a menudo se recubre con cera de nitrocelulosa o de cloruro de polivinilideno para mejorar sus propiedades de barrera a la humedad. El celofán recubierto se utiliza para productos de panadería, productos frescos, carnes frías, quesos y dulces²⁰. De la celulosa también se obtiene acetato de celulosa, el cual es usado actualmente en materiales de radiografías²¹.

c) Bioplásticos basados en quitina y quitosano

La quitina es el segundo polímero biodegradable más abundante producido en la naturaleza después de la celulosa²². Es un componente primario de las paredes celulares en hongos y de los exoesqueletos de artrópodos, como los crustáceos (p.ej. cangrejos, langostas y camarones, entre otros) e insectos. A través de un proceso químico conocido como desacetilación la quitina es transformada en quitosano. La quitina es insoluble en su forma nativa, pero el quitosano es soluble en agua. Ambos son biocompatibles y tienen propiedades antimicrobianas y capacidad para absorber iones de metales pesados.

Debido a sus propiedades de retención de agua e hidratación, se usan en la industria cosmética²³. Pueden formar membranas las cuales son utilizadas en aplicaciones de ingeniería de tejidos²⁴ en industrias; la alta reactividad química del quitosano los hace útiles en conjugados de fármacos para la terapia del cáncer. Los geles, polvos, películas y fibras de quitosano han encontrado uso en encapsulamiento, barreras de membrana, materiales para lentes de contacto y cultivos celulares.

Se han desarrollado métodos para replicar la disposición molecular del quitosano a partir de materiales naturales, como el caparazón de los camarones, de tal manera que se puedan fabricar objetos como cubiertos, platos, entre otros, por medio del moldeado por inyección²⁵. Una vez descartados, los objetos construidos con quitosano son biodegradables y no tóxicos²⁶.

¹⁹ Chen, Y.; Zhang, Y.; Xu, C.; Cao, X. *Cellulose Nanocrystals Reinforced Foamed Nitrile Rubber Nanocomposites*. *Carbohydr. Polym.* 2015, 130, 149–154.

²⁰ Tang, X. Z.; Kumar, P.; Alavi, S.; Sandeep, K. P. *Recent Advances in Biopolymers and Biopolymer-Based Nanocomposites for Food Packaging Materials*. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2012, 52 (5), 426–442.

²¹ Woodhead Publishing. *Trends in Packaging of Food, Beverages and Other Fast-Moving Consumer Goods* (FMCG); 2013.

²² Shahidi, F.; Arachchi, J. K. V.; Jeon, Y. J. *Food Applications of Chitin and Chitosans*. *Trends Food Sci. Technol.* 1999, 10 (2), 37–51.

²³ Nair, L. S.; Laurencin, C. T. *Biodegradable Polymers as Biomaterials*. *Prog. Polym. Sci.* 2007, 32 (8–9), 762–798.

²⁴ Ahmed, S.; Ikram, S. *Chitosan Based Scaffolds and Their Applications in Wound Healing*. *Achiev. Life Sci.* 2016, 10 (1), 27–37.

²⁵ Fernandez, J. G.; Ingber, D. E. *Bioinspired Chitinous Material Solutions for Environmental Sustainability and Medicine*. *Adv. Funct. Mater.* 2013, 23 (36), 4454–4466.

²⁶ Shukla, S. K.; Mishra, A. K.; Arotiba, O. A.; Mamba, B. B. *Chitosan-Based Nanomaterials: A State-of-the-Art Review*. *Int. J. Biol. Macromol.* 2013, 59, 46–58.

Bioplásticos basados en proteínas

Las proteínas, los principales componentes estructurales de muchos tejidos, son esencialmente polímeros de aminoácidos dispuestos en una estructura plegada tridimensional y son una de las clases más importantes de biomoléculas identificadas. Al ser un componente principal de los tejidos naturales, las proteínas y otros polímeros derivados de aminoácidos han sido un material biológico preferido para suturas, agentes hemostáticos, andamios para ingeniería de tejidos y vehículos de administración de fármacos. Además, se sabe que los biomateriales basados en proteínas pasan por procesos de degradación controlados de forma natural²⁷.

a) Bioplásticos basados en proteína del maíz

En el maíz se encuentra la proteína zeína. Por lo general, se fabrica en forma de polvo a partir de harina de gluten de maíz. La zeína pura es transparente, inodora, insípida, insoluble en agua y comestible²⁸. Históricamente, se ha utilizado en la fabricación de una amplia variedad de productos comerciales, incluidos revestimientos para vasos de papel, revestimientos de tapas de botellas de refrescos, telas para ropa, botones, adhesivos, revestimientos y aglutinantes²⁹. El uso histórico dominante de la zeína fue en el mercado de las fibras textiles. En el Reino Unido la zeína es usada desde hace más de 10 años como parte de las botellas desechables con agua envasada³⁰.



Figura 8: Botella de bioplástico a base zeína. Fuente: información bibliográfica.

b) Bioplásticos basados en proteína de la leche

La leche contiene cuantiosas moléculas de una fosfoproteína llamada caseína. En la leche de vaca, el 82% de la proteína es caseína. Las caseínas suspendidas en la leche forman estructuras llamadas micelas que contienen agua y sales, principalmente de calcio y fósforo. El queso, mantequilla y crema batida comparten maneras de fabricación con los bioplásticos de caseína. De hecho, desde principios de 1900 hasta aproximadamente 1945, el plástico hecho con leche

²⁷ Meinel, L.; Hofmann, S.; Karageorgiou, V.; Kirker-Head, C.; McCool, J.; Gronowicz, G.; Zichner, L.; Langer, R.; Vunjak-Novakovic, G.; Kaplan, D. L. *The Inflammatory Responses to Silk Films in Vitro and in Vivo*. *Biomaterials* 2005, 26 (2), 147–155.

²⁸ Chanvrier, H.; Valle, G. Della; Lourdin, D. *Mechanical Behaviour of Corn Flour and Starch-Zein Based Materials in the Glassy State: A Matrix-Particle Interpretation*. *Carbohydr. Polym.* 2006, 65 (3), 346–356.

²⁹ Lawton, J. W. *Zein: A History of Processing and Use*. *Cereal Chem.* 2002, 79 (1), 1–18.

³⁰ Brangenberg, S. *Bioplastics Magazine*. 2008, p 45.

era bastante común. Este bioplástico era conocido como “plástico de leche”. Mediante el uso de los nombres comerciales Galalita y Erinoid se usaba para fabricar botones, hebillas decorativas, cuentas y otras joyas, así como plumas estilográficas, espejos de mano y elegantes conjuntos de peine y cepillo³¹. La Figura 9 muestra ejemplos de hebillas de cinturón hechas de plástico de caseína en los años 30's y 40's. Actualmente se sigue usando para fabricar botones de ropa.



Figura 9: Hebillas de bioplástico proveniente de la leche. Fuente: información bibliográfica.

c) Bioplástico basado en la proteína de soya

Entre las leguminosas, la soya se valora por su alto contenido de proteína (38-45%) y su alto contenido de aceite (aproximadamente 20%). La soya es la segunda exportación agrícola más valiosa en los Estados Unidos, por detrás del maíz ³². Aproximadamente el 85% de la cosecha mundial de soya se procesa en harina de soya y aceite de soya, el resto se procesa de otra manera o se consume entero.

En el ámbito industrial la soya se ha desarrollado en diversos productos tales como el jabón, cosméticos, resinas, bioplásticos, tintas, crayones, solventes y ropa. Su desarrollo como bioplástico parte en 1936, de la mano de la *Ford Motor Company*, quien desarrolló un método en el que se enrollaban soja y fibras. Esto producía una “sopa” que luego se utilizaba en varias partes para sus automóviles, desde la tapa del distribuidor hasta las perillas en el tablero de instrumentos. Sin embargo, pese a los años, su uso no ha ganado aceptación en la industria del automóvil debido a su baja resistencia a la tracción y alta absorción de humedad.

³¹ Keenan, T. W.; Patton, S. *The Structure of Milk: Implications for Sampling and Storage. Handb. Milk Compos.* 1995, 5–50.

Brother, G. H. *Casein Plastics.* Ind. Eng. Chem. 1945, 32 (1), 31–33.

³² Madison, L. L., & Huisman, G. W. *Metabolic Engineering of Poly (3-Hydroxyalkanoates): From DNA to Plastic.* Microbiol. Rev. 1999, 63 (1), 21–53.



Figura 10: Partes de automóvil hechos de soya. Fuente: información bibliográfica.

Bioplásticos basados en polímeros sintéticos

Entre los bioplásticos basados en polímeros sintéticos se hallan en gran parte los poliésteres alifáticos, los cuales son los polímeros biodegradables más usados en aplicaciones cotidianas hoy³³. Estos pueden ser obtenidos con biotecnología, como el ácido poliláctico (PLA), o con síntesis químicas, como la poli-caprolactona (PCL). Es posible encontrar clasificaciones distintas de estos polímeros como biobasado y bioplástico basado en recursos provenientes del petróleo (PCL, PBAT y PVOH), los cuales, aunque se escapan de la definición de esta sección, igualmente serán referidos al final por su potencialidad. El costo de este tipo de bioplásticos varía entre US\$3 a 20 dólares el kilogramo de resina puesta en Chile, lo que depende del volumen y la frecuencia de importación. Ninguno de estos bioplásticos es comercializado a gran escala en Chile.

En el último tiempo, ha surgido una amplia gama de aplicaciones donde estos polímeros sintéticos biodegradables pueden ser usados. Algunas de ellas incluyen empaque, textiles, agricultura y uso doméstico³⁴, destacando el PLA y PCL tanto en el uso de aplicaciones biomédicas como en la utilización de servicio de comida, industria farmacéutica, computación, entre otras³⁵.

a) Bioplástico PLA

El Ácido Poliláctico (PLA) es un bioplástico sintético derivado de recursos naturales renovables, que se produce a partir del ácido láctico, siendo este su principal componente.

En principio, el PLA solo se usaba con fines médicos en sistemas de liberación controlada de fármacos e implantes debido a su baja biotoxicidad y gran biocompatibilidad. Las tecnologías actuales hacen posible su moldeo a través de inyección, extrusión de láminas, espumado y termo formado, presentando propiedades de barrera (frente a olores y sabores), mecánicas,

³³ Donglu, S. Synthetic Biodegradable Polymers. Chapter 12 2006, 187–197.

³⁴ Anne, B. Biodegradable Polymers and Composites. Integr. waste Manag. 2011, I, 341–364 Chapter 18.

³⁵ Applications, B.; Pradesh, U. *New Advancements Of Bioplastics In Medical Applications* Kulsoom Bano, Reetika Pandey, Jamal-e-Fatima and Roohi * *Protein Research Laboratory, Department of Bioengineering, Integral University, Lucknow - 226026, Uttar Pradesh, India.* 2018, 9 (2), 402–416.

ópticas y térmicas comparables a los polímeros sintéticos comerciales más utilizados como polipropileno (PP), tereftalato de etileno (PET) y poliestireno (PS)³⁶.

El PLA se puede procesar en los mismos equipos que se utilizan en la producción de los polímeros sintéticos ya mencionados, pudiendo formar botellas, como las producidas por PET, pues tiene excelentes características organolépticas para contacto con alimentos³⁷. Además, cuenta con la singularidad de ser degradable en menos de tres semanas de compostaje industrial, mientras que la botella de PET no puede ser degradada en tan corto tiempo.

b) Bioplástico PGA

El ácido poliglicólico (PGA) es un bioplástico biodegradable derivado de recursos naturales renovables (caña de azúcar, frutas como las uvas verdes, entre otras) y no renovables (combustibles fósiles)³⁸.

Las fibras de PGA tienen una resistencia excepcionalmente alta, logrando así excelentes propiedades de barrera contra el dióxido de carbono, oxígeno, hidrocarburos aromáticos, humedad ambiental, en comparación con muchos otros productos químicos y disolventes comunes³⁹. Gracias a estas propiedades el PGA logra mostrar un mejor comportamiento de barrera frente a los componentes de sabor y aroma, tales como d-limoneno, L-mentol y vainillina, que otros bioplásticos como los hechos a base de celulosa y/o almidón.

En efecto el PGA presenta una resistencia al dióxido de carbono hasta de 100 veces más que la presentada por el PET, por lo que la incorporación de solo un 2% de PGA se usa con frecuencia como una capa intermedia entre las del PET. Esto para crear barreras de protección a los alimentos perecederos, incluidas las bebidas carbonatadas y alimentos que pierden frescura en la exposición prolongada al aire, permitiendo que el peso total de la botella se reduzca en un 35%⁴⁰, obteniendo botellas de plástico más finas que conservan las propiedades de barrera deseables.

El tiempo de degradación en este bioplástico puede llegar a ser de pocas semanas, por lo que se usa en dispositivos médicos que deben ser implantados como alfileres, varillas, placas y tornillos⁴¹. Para el caso de suturas usadas en el ámbito médico el PGA suele combinarse con otros bioplásticos para disminuir su dureza, de modo tal de ser absorbido completamente en 4 a 6 meses.

Mediante su combinación con otros monómeros como la lactida, se puede obtener copolímero Poliácido (láctico-co-glicólico) (PLGA). Este es útil en aplicaciones de administración de fármacos y regeneración de tejidos, ya que se degrada en sustancias que no son nocivas para el ser

³⁶ Castro-Aguirre, E.; Iñiguez-Franco, F.; Samsudin, H.; Fang, X.; Auras, R. Poly(Lactic Acid)—*Mass Production, Processing, Industrial Applications, and End of Life*. Adv. Drug Deliv. Rev. 2016, 107, 333–366

³⁷ Dmytrów, I.; Szczepanik, G.; Kryza, K.; Mituniewicz-Malek, A.; Lisiecki, S. *Impact of Polylactic Acid Packaging on the Organoleptic and Physicochemical Properties of Tvarog during Storage*. Int. J. Dairy Technol. 2011, 64 (4), 569–577.

³⁸ Chandra, R. Biodegradable Polymers. Prog. Polym. Sci. 1998, 23 (7), 1273–1335.

³⁹ Sina Ebnesajjad. *Handbook of Biopolymers and Biodegradable Plastics*; 2013.

⁴⁰ Woodhead Publishing. *Trends in Packaging of Food, Beverages and Other Fast-Moving Consumer Goods* (FMCG); 2013.

⁴¹ Portnoy, R. C.; Navarrete, L.; Hermanson, N. *Absorbable Polymers with Engineered Biomedical Properties*. Med. Plast. 1998, 167–169.

humano. El PLGA se utiliza para suturas biodegradables y se puede usar potencialmente en clavos, tornillos implantables, endoprótesis intravasculares, dispositivos de administración de fármacos y “*scaffold*” para reparación de tejidos y huesos.

c) Bioplástico PCL basado en mezcla con derivados del petróleo

La Poli-caprolactona (PCL) es un bioplástico que no solo es conocido como un material biodegradable y no tóxico, sino que también es identificado por su capacidad única de compatibilizar o combinarse con una gran variedad de otros polímeros (sintéticos o naturales) que pueden dar como resultado propiedades superiores⁴². Es fácil de manufacturar, manipular y mezclar con otros bioplásticos y plásticos, para mejorar su resistencia al agrietamiento por tensión, la capacidad de poder ser teñido y ser parte de un sistema de unión y/o sellado de materiales biomédicos.

Este bioplástico puede ser biodegradado por organismos tales como bacterias y hongos mesofilos, sin embargo, pese a ello no es posible ver una degradación de estos polímeros en cuerpos de animales y/o humanos debido a que carecen de enzimas adecuadas para este proceso. Esto hace que sea fácil su excreción a la hora de realizar aplicaciones biomédicas (p.ej. insumos médicos como suturas, apósitos para heridas, anticonceptivos femeninos y masculinos, dispositivos de fijación tanto ortopédicos como odontológicos, entre otros). Su capacidad de combinarse con distintos polímeros ha despertado el interés en industrias como la automotriz.

d) Bioplástico PBAT basado en mezcla con derivados del petróleo

El Poli (butilen-adipato-co-tereftalato) (PBAT) es un bioplástico sintético biodegradable. Como se ha estudiado en general, los poliésteres aromáticos proporcionan excelentes propiedades térmicas y mecánicas, pero también son resistentes al ataque microbiano en condiciones ambientales. Otras características son la alta elasticidad, resistencia al desgaste, al agua, aceite, fractura del material y un amplio punto de fusión. Estas últimas propiedades lo hacen ideal para mezclar con otros bioplásticos biodegradables. En efecto, se han estudiado las mezclas de PLA/PBAT en diferentes proporciones producidas por fusión; los resultados mostraron que PBAT refuerza eficazmente el PLA⁴³.

Hasta hace algunos años los altos costos de producción y la dependencia de los recursos de combustibles fósiles como materia prima hacían que las aplicaciones de este polímero fueran muy limitadas. Hoy tiene mayor uso, pues estudios han demostrado que puede usarse como polietileno de baja densidad y este puede ser procesado en películas plásticas, mezcladas con PLA o Almidón para diversos usos. Alguno de sus usos son las películas de embalaje y bolsas de compost para agricultura, bolsas de todo tipo, utensilios de comida y revestimiento para planchas de construcción, entre otros.

⁴² Messersmith, P. B.; Giannelis, E. P. Synthesis and Barrier Properties of Poly(E-caprolactone)-layered Silicate Nanocomposites. *J. Polym. Sci. Part A Polym. Chem.* 1995, 33 (7), 1047–1057.

⁴³ Yeh, J.; Tsou, C.; Huang, C.; Chen, K.; Wu, C. *Compatible and Crystallization Properties of Poly (Lactic Acid)/ Poly (Butylene Adipate- Co -Terephthalate) Blends.* 2009, 680–687.

e) Bioplástico PVOH basado en mezcla con derivados del petróleo

El alcohol polivinílico (PVOH) es uno de los polímeros biodegradables derivados del petróleo. El costo de producción de este polímero es muy sensible a la fluctuación de los precios del crudo. Es considerado el polímero biodegradable competidor más cercano al PLA, a pesar de que el PLA y el PVOH sean muy diferentes entre sí en cuanto a características. El PVOH es soluble en agua mientras que el PLA es hidrófobo (no absorbe el agua) y tiene el potencial de ser utilizado como un sustituto de algunos de los polímeros de poliolefina existentes, el cual está en fase de desarrollo.

En los diferentes usos del PVOH, este ha demostrado ser efectivo como una solución única o en combinación con dispersiones plásticas para, por ejemplo, empacar adhesivos para cigarrillos y engomado humectable. En el campo de la industria textil el PVOH es una excelente materia prima para el dimensionamiento de hilos y filamentos estables de fibra. En la industria del papel es usado para la producción de pliegos recubiertos y con propiedades especiales de barrera específicas. El problema que resulta a la hora de enfrentarlo a otros bioplásticos es su baja resistencia en comparación a otros biopolímeros (PBAT, PLA).

Bioplásticos a partir de microorganismos

Estos bioplásticos, como su nombre lo indica, son creados a través de biotecnología con microorganismos. Algunos de estos pueden ser:

- bacterias (*Bacillus megaterium*, *Wautersia eutropha*),
- especies de *Pseudomonas*.
- bacterias en forma de metabolitos (como el caso del PLA en una fermentación bacteriana anaeróbica).

Algunos de estos bioplásticos que se conocen a nivel comercial son:

- Polihidroxialcanoatos (PHA),
- Polihidroxibutirato (PHB), y
- Poli (hidroxibutirato-hidroxivalerato) (PHB / HV).

Entre las características más importantes que poseen estos bioplásticos destaca el presentar una buena resistencia al agua; en general los productos fabricados con estos bioplásticos son impermeables. Pueden ser procesados por inyección y moldeo por soplado y debido a su biodegradabilidad tienden a tener valores bajos de barrera frente a compuestos como CO₂ y O₂. El costo de este tipo de bioplásticos varía entre US\$5 a 30 dólares el kilogramo de resina puesta en Chile, lo que depende del volumen y la frecuencia de importación. Ninguno de estos bioplásticos es comercializado a gran escala en Chile.

a) Bioplástico PHA

Los Polihidroxialcanoatos (PHA) son una familia de bioplásticos producidos por numerosas bacterias, que los acumulan como reservas de carbono y energía en forma de gránulos. En la producción de PHA sintetizado por bacterias, llaman la atención aquellas que tienen la capacidad

de utilizar como sustrato materia prima de origen petroquímico, pudiendo obtenerse a partir de contaminantes orgánicos, que constituyen materiales orgánicos de bajo costo.

El PHA se acumula como una respuesta inherente a las condiciones de estrés que enfrentan las células de las bacterias. Estas son generadas *in vitro* al exponer a las bacterias a las limitaciones de nutrientes, por lo que cambian sus rutas metabólicas con el fin de utilizar todas sus reservas de carbono y energía para así obtener la máxima producción de PHA.

Los biopolímeros a base de PHA son insolubles en agua, pero presentan cierta biocompatibilidad, y es posible procesarlos mediante moldeado por inyección. Inicialmente fueron usados en películas de empaquetado en bolsas, contenedores y empaques de papel, estas películas también eran usadas para hacer láminas con otros polímeros como el alcohol polivinílico. Actualmente el PHA se puede utilizar en una variedad de aplicaciones que van desde la industria de la salud, como refuerzo en suturas, bioimplantes, placas de hueso, estructura quirúrgica y reemplazo en vasos sanguíneos, hasta productos de vida cotidianos como bolsas de compras, envases y revestimientos de papel, artículos desechables como maquinillas de afeitar, utensilios, pañales, productos de higiene femenina, envases cosméticos, tazas y cascos de bicicleta hecho de fibras tejidas de alto rendimiento optimizadas para la resistencia y el comportamiento de energía en competiciones.

b) Bioplástico PHB

El bioplástico polihidroxibutirato (PHB) es el segundo miembro de los poliésteres creados por bacterias y es un bioplástico completamente biodegradable. Fue sintetizado a partir de *Bacillus megaterium* por Lemoigne en 1925.

Exceptuando su biodegradabilidad, este bioplástico es similar al polipropileno (PP) en las propiedades de barrera, grado de cristalinidad, transición vítrea y microestructura. Esta última determina en el PHB el grado de fragilidad, pues este tiende a volverse quebradizo cuando se almacena durante períodos más largos a temperatura ambiente. A diferencia de otros polímeros biodegradables, los PHB son resistentes a la hidrólisis. PHB tiene baja permeabilidad para el oxígeno, el agua y el dióxido de carbono. Sin embargo, solo ofrece una ligera protección contra la resistencia química.

Este bioplástico es un material muy versátil. Se utiliza como un implante quirúrgico y como hilos de costura para la curación de heridas y vasos sanguíneos. Debido a su compatibilidad con la sangre y los tejidos de los mamíferos es usado como microcápsulas en administración de medicamentos de uso prolongado y de liberación moderada. A menudo se usa en productos desechables de la industria alimentaria como, por ejemplo, botellas, utensilios, tazas y platos. También como envoltura de plástico para embalaje, revestimientos de papel y cartón, películas de barrera contra la humedad para productos higiénicos, envases desechables para champú y cosméticos, artículos desechables como máquinas de afeitar, bolsas de basura y pañales desechables. Posee incluso usos agrícolas, estos incluyen un transportador para la liberación lenta de pesticidas, herbicidas o fertilizantes.

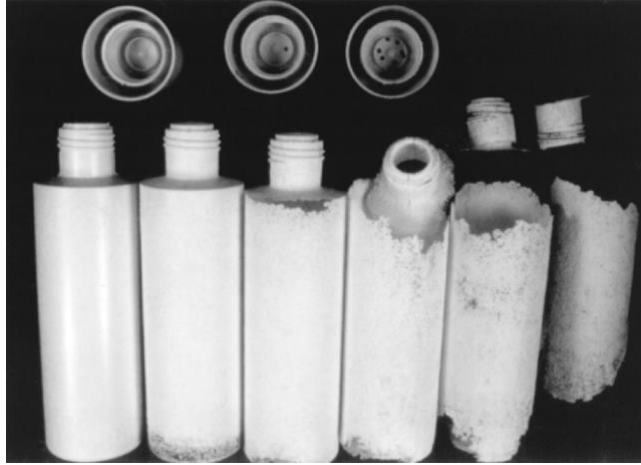


Figura 11: Degradación de botellas hechas de PHB. Fuente: Madison et al. (1999).

c) Bioplástico PHB/HV

El (poli(3-hidroxi butirato-co-3-hidroxi valerato)) más conocido como PHBV es un copolímero en el que las unidades de hidroxivalerato (HV) se incorporan en la cadena principal de P3HB durante el proceso de fermentación. El PHBV producido microbiológicamente es preparado comercialmente con *Rastonia eutropha*, *Alcaligenes latus*, *Methylobacterium organophilum*, *Azotobacter vinelandii*⁴⁴.

PHBV ha mejorado la flexibilidad, la resistencia y posee una más baja temperatura de procesamiento que P3HB. El PHBV disponible en el mercado tiene una baja tenacidad y una tendencia a la rotura por alargamiento.

Este bioplástico ha alcanzado cierta importancia económica debido a sus propiedades de barrera similares al PP y muy similar al PHB. Pese a lo prometedor que pueden ser P3HB y PHBV, suelen tener algunas propiedades por debajo de polímeros como el PET. Por su lado, el P3HB tiende a ser térmicamente inestable, mientras que PHBV a menudo tiene velocidades de cristalización lentas y propiedades de flujo que dificultan el proceso de manufactura.

Los PHBV disponibles comercialmente representan solo un pequeño componente de las alternativas existentes a los plásticos convencionales, teniendo no solo un uso como reemplazo biodegradable a estos, sino que también tanto el PHBV como el PHB han sido ampliamente estudiados para su uso en aplicaciones biomédicas.

5.2.3. Usos de bioplásticos en embalajes

Los envases de plástico ofrecen protección contra la humedad y la suciedad, ayudan a proporcionar higiene y apariencia atractiva. En muchos casos, los materiales de embalaje están destinados a un solo uso.

⁴⁴ Mothes, G.; Ackermann, J. U.; Babel, W. *Mole Fraction Control of Poly([R]-3-Hydroxybutyrate-Co-3-Hydroxyvalerate) (PHB/HV) Synthesized by Paracoccus Denitrificans*. *Eng. Life Sci.* 2004, 4 (3), 247–251.

Los materiales de embalaje fabricados con bioplástico responden a las preocupaciones sobre el agotamiento de los recursos naturales no renovables y los efectos de la generación de gases de efecto invernadero. Existe evidencia en el mundo de que bajo ciertas condiciones los bioplásticos (biodegradables o compostables) ayudan a reducir la dependencia de los combustibles fósiles y pueden reducir la producción de gases de efecto invernadero. En la actualidad, el envasado es la mayor aplicación de los polímeros biodegradables⁴⁵. Los polímeros como el PLA y el PBAT son de los materiales más populares y disponibles en el mercado de envases y embalajes. Otros polímeros de base biológica como los PHA y en particular PHB también son de gran interés y están comenzando a estar disponibles comercialmente.

Aunque los bioplásticos biodegradables pueden generar mejoras medioambientales, tienen algunas limitaciones en términos de rendimiento, como resistencia térmica, barrera y propiedades mecánicas, asociadas con los costes. A pesar de estas limitaciones, los bioplásticos biodegradables han encontrado muchas aplicaciones en campos de la medicina farmacéutica y médica, donde el costo no es tan importante como la función misma.

Las aplicaciones de los materiales de envases y embalajes son muy diversas, desde aquellas en que el período de uso de los materiales es corto y se eliminan después, como sucede con el envasado de alimentos, hasta aplicaciones que requieren un alto funcionamiento y en el que las propiedades iniciales de los polímeros pueden mantenerse durante un período más prolongado, como el embalaje de artículos electrónicos, envases de cosméticos, entre otros. A continuación, se desarrollarán los usos de bioplásticos en envases y embalajes.

Películas o Films

Aproximadamente un tercio de la producción mundial de plásticos se utiliza para la elaboración de películas o films⁴⁶. Las películas se pueden producir como monocapa o multicapa.

Convencionalmente las películas de embalaje se utilizan para sellar y proteger productos dentro de un contenedor o simplemente dentro de un paquete formado por películas que evitan la exposición a la atmósfera de un producto. Con el fin de proporcionar las propiedades de barrera y sellado necesarias, se han usado tradicionalmente materiales tales como poliolefinas y PET.

Existe una demanda para reemplazar parte de estas películas, especialmente aquellas usadas para empaquetar productos con una vida útil corta (por ejemplo, envases de alimentos, bolsas de desechos, entre otros) con películas hechas de polímeros biodegradables. Sin embargo, hasta ahora ha resultado difícil hacer películas biodegradables que tengan propiedades de barrera y/o sellado adecuadas.

Las películas biodegradables de uso común comprenden almidón y celulosa, especialmente en forma de celulosa regenerada o acetato de celulosa. Las películas basadas en celulosa tienen, en general, malas propiedades de barrera para el agua a menos que el grado de sustitución de la celulosa por grupos de acetato sea alto o se aplique una capa de un polímero de barrera a la

⁴⁵ Aeschelmann, F.; Carus, M.; Baltus, W.; Carrez, D.; de Guzman, D.; Káb, H.; Philp, J.; Ravenstijn, J. *Bio-Based Building Blocks and Polymers. Global Capacities and Trends 2016 – 2021*. Mark. Rep. 2016, No. February 2017, 1–24.

⁴⁶ Bonten C., Z. P. New Bioplastics for Multilayer Systems. *Bioplastic Magazine*. 2008, pp 3–6.

celulosa. Además, son insatisfactorias en cuanto a la resistencia mecánica y suponen un problema por el que es difícil fundir el proceso, por lo que su costo de procesamiento se vuelve alto.

En el caso de PLA y PBAT, estos tienen mejores propiedades de barreras que los polímeros basados en almidón y celulosa, al punto de poder compararse con el PET y PP. Es por esto que varias compañías están comercializando películas biodegradables con estos bioplásticos, principalmente en Estados Unidos y Europa.

Algunos ejemplos de películas comerciales hechas de polímeros biodegradables incluyen:

- Película de embalaje de uso general hecha de una celulosa regenerada que es transparente y adecuada para diversas aplicaciones tales como alimentos secos (galletas, cereales, patatas fritas, barras de refrigerio, etc.).
- Envases de vegetales hechos de PLA.
- Sobre envoltura hecha de PLA.
- Envoltura de flores hecha de una mezcla de PLA / copoliéster.
- Embalaje de concha de almeja.
- Burbuja de protección hecha de PLA y PBAT.

Bolsas y Sachets

a) Bolsas

Las bolsas de plástico son económicas de producir en masa, relativamente fáciles de transportar debido a su bajo peso y capacidad para doblarse hasta un tamaño pequeño. Son resistentes al agua y prácticamente no agregan peso a los productos que llevan. Usualmente se reutilizan pocas veces antes de ser descartadas, y muchas veces son utilizadas como bolsas para disponer los residuos domiciliarios. Al finalizar su ciclo de vida pueden ser incineradas, donde se generan emisiones al aire. Sin embargo, se ha reportado que en Chile es común que estas se filtren del proceso de gestión de residuos y terminen en el ambiente. Allí se generan externalidades negativas, en particular sobre el paisaje (urbano y rural) y los ecosistemas acuáticos en vías fluviales y el océano. Además, afectan diversos elementos de los sistemas sanitarios tales como canaletas y alcantarillas. Los impactos visuales han sido una preocupación sobre todo en comunas con gran afluencia de turistas. De hecho, este fue uno de los principales motivos reportados para la creación de ordenanzas municipales en diversas comunas del país que las regulaban, de forma previa a la promulgación de la Ley de Bolsas Plásticas el año 2018 (“Estudio sobre Bolsas Plásticas y el Comportamiento del Consumidor Sector Supermercados”, Regenerativa para ASACH, 2016).

En un intento de superar los problemas ambientales, se han introducido bolsas de plástico biodegradables hechas de almidón, PHA o polímeros basados en PLA. Sin embargo, las bolsas biodegradables han encontrado resistencia por parte de los minoristas porque son comparativamente más costosas de fabricar y, por lo tanto, son menos atractivas de proporcionar sin cargo a los clientes.

Ejemplos representativos del uso adecuado de bolsas biodegradables incluyen bolsas para compost, fertilizantes, semillas, arena, hilvanado, productos alimenticios, cereales, chips de bocadillos, comida para mascotas, sándwiches, residuos sólidos, transportar productos,

condimentos de un solo servicio, periódicos y eliminación médica. Otros usos incluyen bolsas con paredes múltiples, forros para almacenamiento o envío de bidones, bolsas de papel forradas de bioplástico para envío, bolsas de toallas y bolsas de malla. La dureza, flexibilidad y biodegradabilidad de las bolsas variarán según los requisitos de productos específicos. Estas bolsas son adecuadas como reemplazos directos para bolsas de supermercado tradicionales de PE o PP.

b) Sachets

El término sachet se refiere a envases sellados de plástico flexible o papel plastificado cuyo fin es contener diversos productos, el cual con frecuencia es desechado después de que se usa su contenido. Los sachet generalmente están compuestos de múltiples capas que incluyen diferentes tipos de materiales para proporcionar la funcionalidad deseada, como sellado, barrera e impresión. En el envasado de alimentos, por ejemplo, a menudo se usa un sobre como agente de protección a factores ambientales, el cual es eliminado rápidamente después de consumir su contenido. Los sachets también se utilizan para albergar una variedad de productos de consumo que tienen un ciclo de uso corto, como productos para el cuidado del cabello, belleza, cuidado bucal, cuidado de la salud, limpieza personal y limpieza del hogar.

Se han usado películas de celulosa biodegradables y metalizadas para formar sachets de 12" x 2", los cuales son capaces de contener productos secos en ambientes carentes de humedad. Sin embargo, estos sachet tienen un éxito limitado cuando se utilizan productos de consumo líquidos, dado que comienzan procesos acelerados de biodegradación. También se conocen sachets biodegradables adecuados para contener una sola dosis de productos secos, como el azúcar.

Los sachets biodegradables son útiles para contener un producto de consumo, como champú, acondicionador, jabón, pasta dental, jabón en barra y detergente. El sachet multicapa biodegradable, a diferencia de los sachets de la técnica anterior compuestas de una capa única de polímeros biodegradables, puede resistir el proceso de fabricación, tener una larga vida útil, cumplir los requisitos de barrera y biodegradarse en un período de tiempo relativamente corto.

Contenedores rígidos

Los polímeros biodegradables usados para fabricar envases rígidos incluyen PLA, almidón, celulosa y polímeros sintéticos biodegradables derivados de recursos provenientes de combustibles fósiles (PBAT, PGA, entre otros). Los contenedores hechos de materiales rígidos basados en PLA se forman típicamente con una parte superior abierta que luego se sella con una tapa para encerrar el contenido interior. Las tapas de tales recipientes adolecen de una serie de problemas, tales como proporcionar una resistencia adecuada del sellado entre la tapa y el recipiente. La Figura 7 muestra un ejemplo de contenedor rígido.

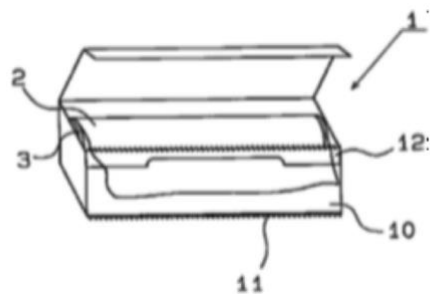


Figura 12: Contenedor equipado con cortador para película larga enrollada cilíndricamente.
Fuente: Información bibliográfica.

Los recipientes hechos de almidón y las composiciones PHB/HV tienen el problema de tener poca resistencia y rigidez, y pueden volverse mohosos bajo los usos y la conservación habituales.

Ejemplos de envases rígidos comerciales hechos de polímeros biodegradables son:

- Ventana envolvente de PLA,
- Frascos, contenedores roscados (SKS) hechos de PLA.
- Frascos hechos de una composición polimérica biodegradable que comprende (PLA y otros biopolímeros compostables).
- Tazas.
- Platos pequeños.
- Tazas Multipack de yogurt orgánico hechas de PLA.
- Copas para bebidas frías en vuelo fabricadas con PLA.

5.3. Impactos ambientales asociados a los plásticos de un solo uso desde un enfoque de ciclo de vida

En la presente sección se utilizará el enfoque de ciclo de vida para describir los principales impactos ambientales asociados a los plásticos de un solo uso contrastando entre plásticos convencionales y bioplásticos. En ambos casos la cualidad de biodegradabilidad, y en particular la de compostabilidad serán relevantes para determinar las alternativas que permiten generar los menores impactos ambientales.

5.3.1. Enfoque de ciclo de vida en plásticos convencionales y bioplásticos.

Al evaluar el desempeño ambiental de un producto, servicio o sistema, es fundamental considerar el ciclo de vida completo, desde la extracción de materias primas hasta su disposición, reciclaje o reutilización final. Además, es importante considerar una diversidad de impactos ambientales, en lugar de indicadores únicos (p.ej. huella de carbono). Así, mediante esta perspectiva

sistémica, podemos hacernos conscientes de cómo las decisiones de diseño o gestión pueden afectar diferentes partes de la cadena de valor y distintas componentes ambientales.

Para el caso de los plásticos convencionales y los bioplásticos en productos de un solo uso se puede considerar el esquema de ciclo de vida que se muestra en la Figura 13.

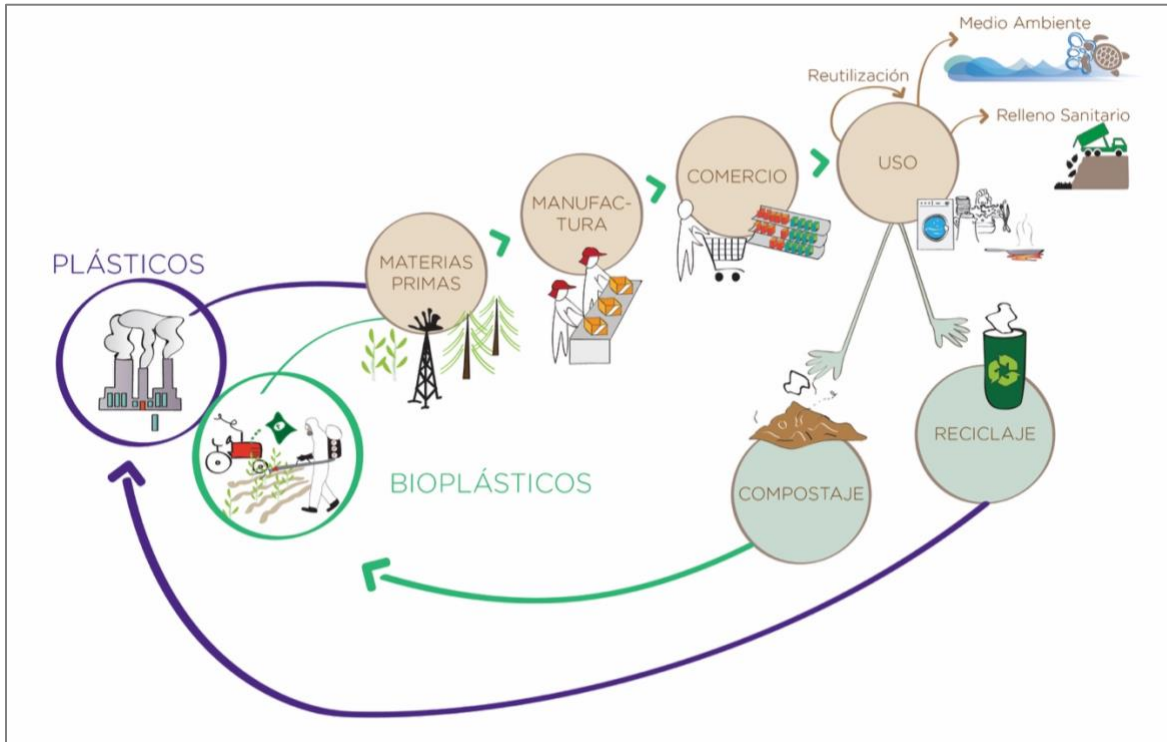


Figura 13: Ciclo de vida de los plásticos convencionales y bioplásticos para productos de un solo uso. Elaboración propia.

Para estimar los potenciales impactos ambientales del ciclo de vida de un producto, se utiliza la herramienta llamada análisis de ciclo de vida (ACV). Este es, de acuerdo con la Iniciativa de Ciclo de Vida de Naciones Unidas, “un proceso objetivo para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad, identificando y cuantificando tanto el uso de materia y energía como las emisiones al entorno, para determinar el impacto de ese uso de recursos y esas emisiones, y para evaluar y llevar a la práctica estrategias de mejora ambiental”.

Las 5 etapas que engloban todos los procesos y representan de manera simplificada el ciclo de vida de los plásticos de un solo uso son: Materias primas, manufactura, distribución y comercio, uso y disposición final (fin de vida). En la primera etapa se consideran los procesos de obtención de la materia prima que se utiliza para manufacturar los productos. La segunda etapa es la manufactura de productos, que es donde se representan los procesos de fabricación que transforman la materia prima. La tercera etapa es la de distribución y comercialización, que representa como los productos son puestos en el mercado para que se vuelvan accesibles a los consumidores. La cuarta etapa es la de uso de los productos, que involucra a las personas que compran los productos y los ocupan. Finalmente, la última etapa es la de disposición final, donde para el caso de los plásticos existen varias alternativas dependiendo del tipo de plásticos que se está gestionando como residuo.

Tanto plásticos convencionales como bioplásticos presentan etapas de ciclo de vida en común. En el caso de la manufactura, el comercio y uso de los productos los procesos tienden a ser similares, dado que los productos siguen siendo los mismos a pesar del cambio en la materialidad de cada caso respectivamente. En las etapas de materias primas y de fin de vida es donde se aprecian diferencias entre ambos materiales.

Como se muestra en la Figura 13, y como se ha mencionado en las secciones anteriores, los plásticos convencionales son todos aquellos derivados de petróleo, lo que implica que para obtener la materia prima para la posterior elaboración de los plásticos se realiza la extracción de combustibles fósiles, mientras que para los bioplásticos la materia prima se puede cultivar o puede provenir de desechos orgánicos de otros procesos. Esto significa que los impactos ambientales que se generan en cada etapa tienen efectos distintos. Sucede algo similar en el fin de vida dado que los bioplásticos presentan más alternativas de disposición final.

Las diferencias entre ambos ciclos de vida mencionados arriba es lo que permite determinar en qué condiciones los bioplásticos pueden generar menores impactos ambientales respecto a los plásticos convencionales. Los principales cambios están asociados a que para la etapa de materia prima los bioplásticos pueden ser obtenidos en base a recursos renovables y, por otra parte, en el fin de vida pueden ser recuperados para ser compostados y transformados en nutrientes que cierran el ciclo de renovación de las materias primas. Al poder generar materiales plásticos en base a los ciclos naturales de otros sistemas vivos se genera la posibilidad de funcionar en armonía con estos, lo que puede inclusive mejorar el desempeño ambiental en el largo plazo, si se hacen ciertos manejos especiales. La Figura 14 muestra el ciclo de vida en particular para los bioplásticos.

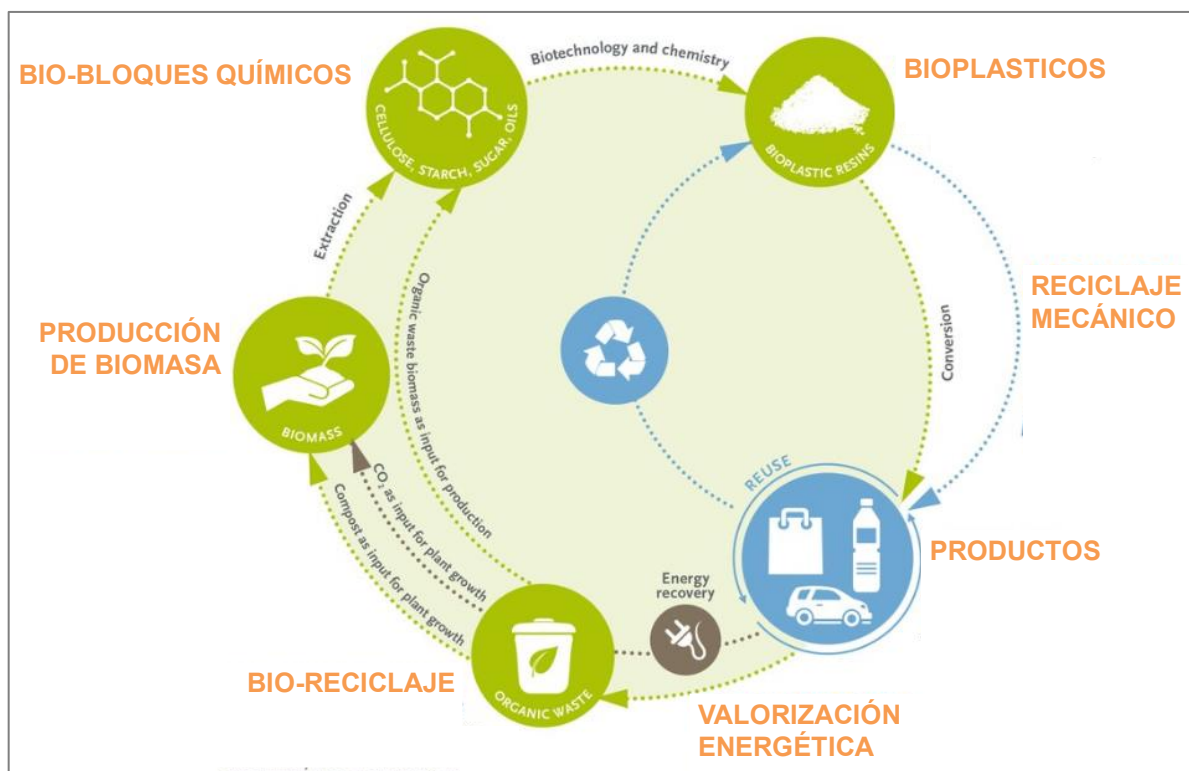


Figura 14: Ciclo de vida de los bioplásticos. Adaptación de European Bioplastics⁴⁷.

⁴⁷ <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/environment>

Como se menciona antes, el ciclo de los bioplásticos abre nuevas posibilidades en etapas cruciales del ciclo de vida de los plásticos.

En la sección anterior se detalló cómo los bioplásticos provienen de distintas fuentes de biomasa, las que pueden ser cultivados en sistemas agrícolas, como el caso de la caña de azúcar, el almidón, o pueden ser desarrollados por procesos biotecnológicos con bacterias; o, inclusive, sintetizados desde residuos orgánicos, tales como restos de madera y pulpa para papel. A diferencia de las fuentes de combustibles fósiles estas son fuentes renovables que, con buenos manejos y técnicas, se pueden alinear con flujos circulares que cierran el ciclo. Al mismo tiempo, dado que existen bioplásticos que además se pueden biodegradar y compostar permite que la gestión del fin de vida de estos materiales también se alinea con el cierre de ciclos al generar nutrientes que se pueden utilizar en las fuentes de biomasa.

Al observar la Figura 14 se puede ver que si consideramos un bioplástico, el flujo comienza en una fuente de biomasa renovable como un cultivo que requiere el crecimiento de plantas las cuales para su crecimiento absorben dióxido de carbono y nutrientes. Luego, a la biomasa se le extraen los bio-bloques químicos que permiten sintetizar los polímeros que después se transformaran en bioplásticos. En esta etapa, además, se puede realizar la extracción desde residuos de biomasa de otros procesos productivos como lo pueden ser restos forestales o de pulpa de papel. En la siguiente etapa se elaboran los bioplásticos que, como se revisó anteriormente, en algunos casos pueden ser compostables y en otros no.

Los bioplásticos no biodegradables se pueden gestionar en los sistemas de reciclaje mecánico tradicionales, como se hace con los plásticos convencionales. En caso de que no exista alternativa de reciclaje, se pueden recuperar a través de valorización energética, aunque esta última alternativa debe ser lo más restringida posible. En el caso de los bioplásticos biodegradables, se debe asegurar que estos además sean compostables para ser enviados a sistemas de compostaje industrial, los que luego proveerán insumo de nutriente y carbono para el crecimiento de nuevas fuentes de biomasa, cerrando el ciclo y generando un sistema circular.

Si bien, existe la posibilidad de tener un sistema circular cerrado, para poder lograr esto se requiere que exista infraestructura, capacidad de gestión, diseño de productos y generar una cultura de recuperación que valore las oportunidades de generar materiales que sean renovables en escalas razonables.

El caso de los bioplásticos comparte los riesgos que se ven en la industria de los biocombustibles, en donde se terminan destruyendo bosques y suelos por el uso de técnicas destructivas que finalmente generan mayor daño que la producción en base a combustibles fósiles. Por otro lado, la posibilidad de terminar cultivando campos para producción de plásticos en lugar de producción de alimentos es también parte de los conflictos que generan el uso de fuentes renovables en base a biomasa. Sin embargo, esto también puede ser manejado y gestionado creando oportunidades que fomentan la sostenibilidad en el largo plazo.

5.3.2. Revisión de estudios de análisis de ciclo de vida comparativos entre plásticos convencionales y bioplásticos

Comparación entre plásticos convencionales versus bioplásticos

Se han revisado las publicaciones científicas más recientes sobre el tema. En particular, se han seleccionado para su revisión más detallada, por su relevancia a este estudio y por ser revisiones de múltiples estudios las siguientes dos publicaciones:

- a) Yates, M. R., & Barlow, C. Y. (2013). *Life cycle assessments of biodegradable, commercial biopolymers—a critical review*. *Resources, Conservation and Recycling*, 78, 54-66.

Revisión de literatura y meta análisis de ACV de tres tipos de biopolímeros biodegradables: PLA, PHA y polímeros basados en almidón en comparación con polímeros de origen petroquímico. Se destacan las siguientes conclusiones de los autores:

- La mayor parte de los estudios ACV se han enfocado en consumo de energía no renovable y emisiones de gas de efecto invernadero (GEI), frecuentemente encontrando que los bioplásticos tienen un desempeño mejor que los derivados del petróleo.
- La fase de producción de los bioplásticos es la más relevante en el ciclo de vida para estas dos categorías de impacto.
- Al considerar otros impactos, tales como potenciales de acidificación y eutrofización, no se puede sacar la misma conclusión.
- Respecto al fin de vida, los estudios no son concluyentes en cuanto a las distintas alternativas, incluyendo relleno sanitario, digestión anaeróbica, compostaje e incineración. Las emisiones desde rellenos sanitarios son muy sensibles a supuestos de degradación y captura de metano.
- Se requiere más investigación respecto al comportamiento de los biopolímeros bajo estas distintas alternativas de tratamiento o disposición final.
- Existe poca experiencia y muchos desafíos en el reciclaje de bioplásticos.
- Oportunidades de mejora de desempeño ambiental: uso de energía renovable en fase de producción, mejoras en prácticas agrícolas y uso de materias primas de menor impacto, como coproductos o cultivos menos intensivos en el uso de agroquímicos y energía.
- La evidencia que se puede obtener de ACV no permite sacar conclusiones claras respecto a los beneficios ambientales de un material sobre otro. Existen resultados discrepantes entre los distintos estudios y posibles traspasos de cargas ambientales (reducir un impacto para aumentar otro).

- Debe tomarse en cuenta la poca madurez de estas tecnologías dado que se esperan mejoras en procesos y mayor eficiencia en los próximos años. El perfil ambiental de los bioplásticos está mejorando y debiera seguir haciéndolo en el futuro.
- b) Spierling, S., Knüpfner, E., Behnsen, H., Mudersbach, M., Krieg, H., Springer, S., Albrecht, S., Herrmann, C., & Endres, H. J. (2018). *Bio-based plastics-A review of environmental, social and economic impact assessments*. *Journal of Cleaner Production*, 185, 476-491.

Este artículo de revisión buscó inicialmente proponer un enfoque holístico para calcular el desempeño en sustentabilidad de la producción de bioplásticos con un enfoque de ciclo de vida, incluyendo los componentes ambiental, social y económico. Sin embargo, se encontró que la disponibilidad de datos cuantitativos para los componentes sociales y económicos era muy escaso, por lo que el análisis se enfocó en lo ambiental.

Los autores reportan datos provenientes de estudios ACV para 10 tipos de bioplásticos (Bio-PA, Bio-PBS, Bio-PE, Bio-PET, Bio-PP, Bio-PTT, Bio-PVC, PHA/PHB, PLA y plástico basado en almidón) y 7 tipos de plásticos convencionales (PA, PE, PET, PP, PVC, PUR y PS). El alcance de este análisis es “de la cuna a la puerta”, es decir, desde las materias primas hasta el comercio, excluyendo las fases de uso y fin de vida.

La Tabla 5 y el Gráfico 3 resumen los resultados para las cuatro categorías de impacto más reportadas: potencial de calentamiento global, uso de energía no renovable, potencial de acidificación y potencial de eutrofización. Se aprecia que, en promedio, los bioplásticos tienen impactos significativamente menores en las dos primeras y significativamente mayores en las últimas dos.

Tipo Plástico	Potencial de calentamiento global (kgCO ₂ eq)	Uso de energía no renovable (MJ)	Potencial de acidificación (kgSO ₂ eq)	Potencial de eutrofización (kgPO ₄ eq)
Bioplásticos	1,5	38,7	0,021	0,003
Convencionales	2,9	80,9	0,007	0,001

Tabla 7: Emisiones promedio de la cuna a la puerta reportadas por estudios de ACV para cuatro categorías de impactos ambientales, diferenciando entre plásticos y bioplásticos. Fuente: elaboración propia en base a datos de Spierling et al. (2018).

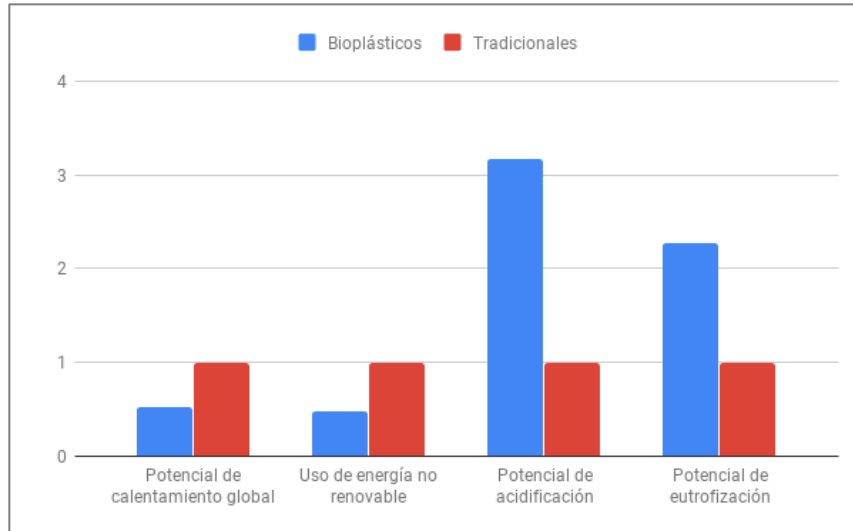


Gráfico 3 Comparación de valores promedio de impactos ambientales de la cuna a la puerta de plásticos tradicionales y bioplásticos. Valores adimensionales, normalizados respecto a los impactos de los plásticos convencionales. Fuente: elaboración propia en base a datos de Spierling et al. (2018).

Biodegradación de bioplásticos en el medio ambiente

Se han seleccionado dos publicaciones recientes para la revisión sobre la biodegradación, que a su vez analizan múltiples estudios sobre bioplásticos bajo distintas condiciones ambientales. El primero considera distintos tipos de bioplásticos, mientras que el segundo se enfoca exclusivamente en PLA.

- a) Emadian, S. M., Onay, T. T., & Demirel, B. (2017). *Biodegradation of bioplastics in natural environments*. *Waste management*, 59, 526-536.

Revisión bibliográfica de publicaciones sobre la biodegradación de bioplásticos en distintas condiciones ambientales. Se destacan las siguientes conclusiones de los autores respecto a la biodegradación de estos materiales en distintos escenarios de fin de vida:

- Compost
 - Existen bioplásticos de origen biológico y origen fósil (incluyendo PLA, PHA, basados en almidón, PHL) que son susceptibles de biodegradación en procesos de compostaje, bajo condiciones ambientales propicias (p.ej. pH, temperatura y humedad).
 - Las diferentes condiciones que se pueden encontrar en compostaje industrial y doméstico, particularmente la temperatura alcanzada en el proceso, generan diferencias significativas en la biodegradación de los bioplásticos.

- Suelos
 - Los suelos tienen una gran diversidad de vida microbiana, la que hace que la biodegradación de bioplásticos sea más favorable que en otros ambientes, como los acuáticos.
 - La biodegradación de bioplásticos en suelos es altamente variable, dependiendo del material y de las condiciones ambientales.

- Ambientes acuáticos
 - Para comprender la biodegradación de bioplásticos en ambientes acuáticos, es necesario hacer estudios de distintos materiales bajo distintos tipos de hábitat. La información disponible es aún muy limitada.
 - Los bioplásticos que lleguen a cuerpos de agua pueden causar impactos negativos en ecosistemas marinos y de agua dulce.
 - Los estándares internacionales que existen para evaluar la biodegradabilidad de materiales en ambientes acuáticos son insuficientes para predecir, de manera realista, la biodegradación en distintos tipos de ambientes. Además, no incluyen evaluaciones de toxicidad ecológica de polímeros, aditivos y productos de su biodegradación.

- Sistemas de gestión de residuos
 - La disposición de bioplásticos en rellenos sanitarios genera más problemas de gestión que soluciones, por lo que sistemas alternativos de gestión como el compostaje debiesen ser considerados como una forma relevante de recuperación de materiales, dentro de un enfoque de gestión de residuos integrado.

- b) Karamanlioglu, M., Preziosi, R., & Robson, G. D. (2017). *Abiotic and biotic environmental degradation of the bioplastic polymer poly (lactic acid): a review. Polymer Degradation and Stability*, 137, 122-130.

Los autores realizaron una revisión bibliográfica sobre la degradación de PLA en diferentes condiciones ambientales. Los principales resultados se resumen a continuación:

- Compost
 - Los productos hechos de PLA pueden ser degradados en condiciones de compostaje luego de 45 a 60 días a temperaturas entre 50 y 60°C.
 - Las botellas de PLA tienen tasas de degradación menores a otros productos del mismo material, dado su alto grado de cristalinidad.
 - Cuando la masa de PLA en el compost es muy elevada (>30% de la masa total), puede generarse una acidificación del compost que afecte negativamente al proceso.

- Suelos
 - La biodegradación del PLA en suelos es muy variable, dependiendo de las condiciones ambientales y biológicas de los suelos.
 - Existe una brecha de información para entender bien cómo estos distintos factores afectan la degradación del PLA en suelos.
- Ambientes acuáticos
 - Existen escasos estudios sobre la biodegradación de PLA en ambientes acuáticos.
 - La evidencia disponible sugiere que los microorganismos marinos tienen una capacidad limitada de degradar el PLA.

5.3.3. Conclusiones sobre los impactos ambientales de los bioplásticos

Al revisar las distintas etapas de ciclo de vida, y los principales procesos de cada una de éstas, se puede ver que las diferencias principales entre plásticos convencionales y bioplásticos se resumen en la obtención de las materias primas y en las alternativas de fin de vida. La Figura 15 muestra los procesos más relevantes para cada etapa.

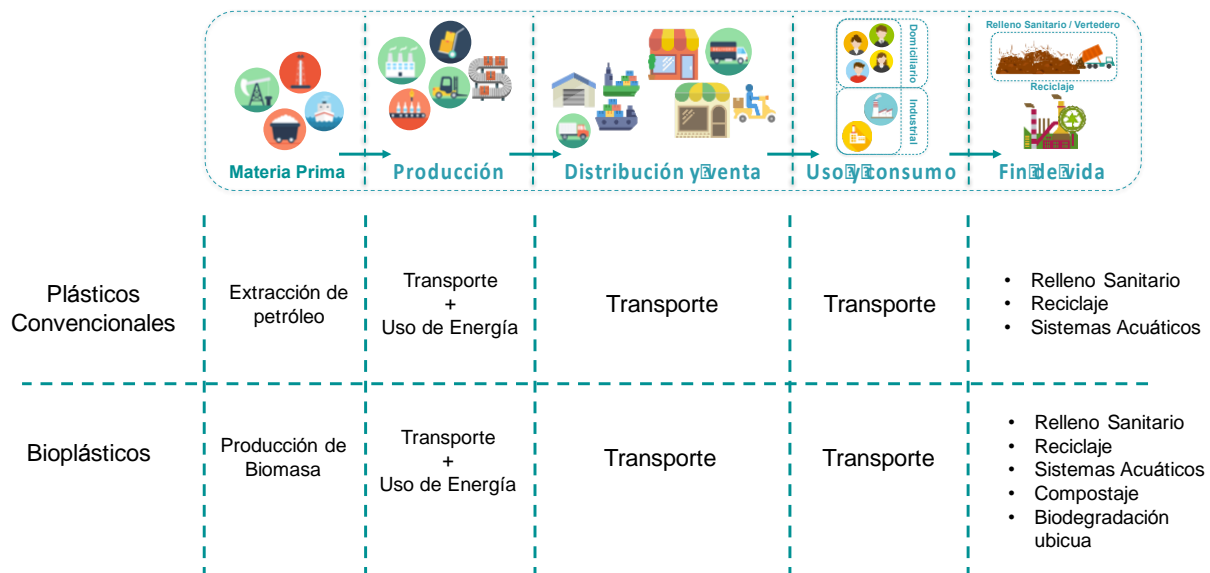


Figura 15: Principales procesos por etapa de ciclo de vida para plásticos. Elaboración propia.

Como se menciona antes, en la etapa de materia prima la principal diferencia entre plásticos convencionales y bioplásticos es que la fuente de obtención son dos procesos completamente diferentes. Para los plásticos convencionales se debe extraer petróleo, que es un recurso no renovable dado que se demora millones de años en formarse a través de procesos de descomposición, presión y temperatura que no se pueden reproducir de manera artificial.

Mientras que, en el caso de los bioplásticos, la materia prima se obtiene en base a biomasa, la cual puede ser cosechada a través de cultivos de determinadas plantas y vegetales, como también obtenida de fuentes forestales o de ciertos tipos de residuos de otros procesos que generen material orgánico compatible. En todos los casos al funcionar bajo ciclos biológicos con escalas de tiempo bajas se considera que la producción de biomasa es una fuente renovable.

En las etapas de producción, distribución, venta, uso y consumo se puede ver que no existen mayores diferencias dado que tanto para plásticos convencionales como bioplásticos tienden a suplir necesidades similares en cuanto a los productos que se elaboran con estos materiales. Esto implica que los procesos que generan mayores impactos están asociados a uso de energía y transporte. Sin embargo, va a depender de otros factores para determinar cuáles pueden generar mayores impactos.

Para la etapa de fin de vida, los bioplásticos al ser algunos biodegradables y otros no permite acceder a más alternativas de disposición. Se comparte en común la disposición en rellenos sanitarios, sistemas acuáticos y sistemas de reciclaje mecánico. Pero estas alternativas no aplican para todos los bioplásticos por igual. Es relevante considerar que se tiene que tener en cuenta cual puede ser la mejor forma de tratar el tipo de bioplástico según sus propiedades. Al tener alternativas que se biodegradan se debe tener la consideración de que estas además sean compostables de manera que puedan ser dispuestos en sistemas de compostaje industrial.

Identificados los procesos clave, se pueden ver los principales impactos ambientales que se generan en cada etapa y que resumen el desempeño ambiental para plásticos convencionales y bioplásticos. La Figura 16 muestra un resumen, por etapa de ciclo de vida, identificando los principales impactos.



Figura 16: Principales impactos ambientales por etapa de ciclo de vida. *Elaboración propia.*

Para las etapas de materia prima los principales impactos ambientales, en el caso de los plásticos convencionales, están dados por el agotamiento de recursos fósiles, emisiones de gases de efecto invernadero y la contaminación de suelos. Por otra parte, para los bioplásticos se generan

otros impactos relevantes como lo son el índice de estrés hídrico, eutrofización, uso de suelo y acidificación.

Para las etapas de producción, distribución, venta, uso y consumo las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al uso de transporte son el principal impacto. Como se ha mencionado estas variables tienden a ser comunes para ambos casos.

Respecto a los principales impactos asociados al fin de vida también se aprecia que los bioplásticos pueden evitar el problema de micro-fragmentarse. Sin embargo, es importante mencionar que esto no significa que su biodegradación suceda en corto tiempo, sino que al igual que otros materiales orgánicos su descomposición puede llegar a tardar hasta 2 años, lo que significa que no evitan el problema de pérdida de biodiversidad por daño a especies que los ingieren, sino que la oportunidad que permiten es de poder realizar una gestión eficiente en la recuperación de material al poder transformarlos en compost.

En la Figura 17, se consideran los puntos relevantes en cuanto a la comparación entre plásticos convencionales y bioplásticos. Como se ha dicho, los bioplásticos presentan oportunidades de mejora siempre y cuando ocurran bajo ciertas condiciones de gestión tanto en la etapa de obtención de materias primas como en el fin de vida.

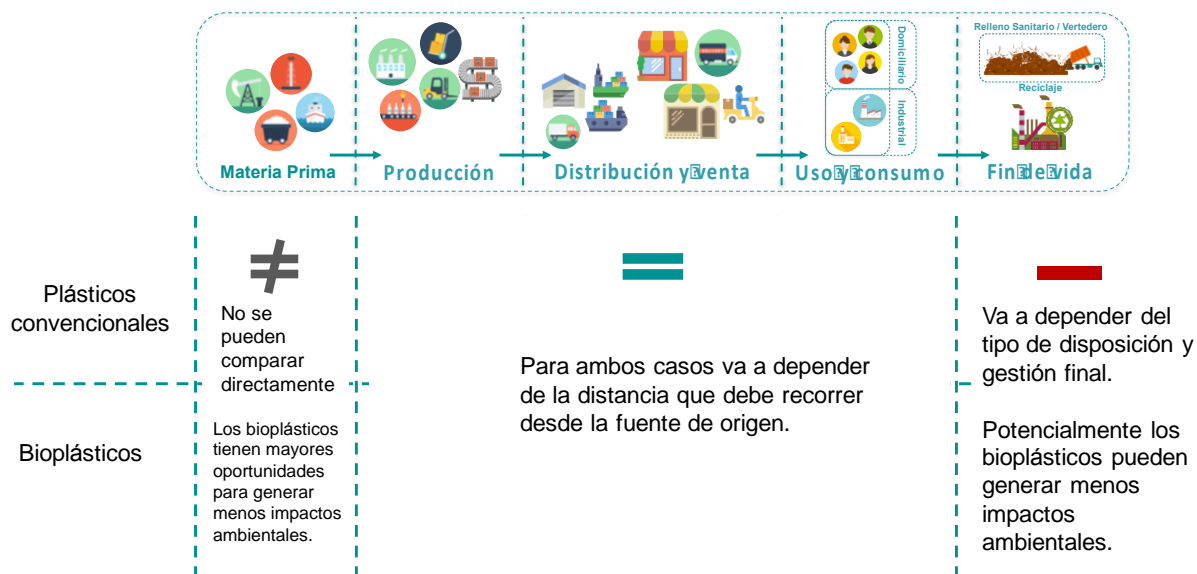


Figura 17: Oportunidades de mejora de desempeño ambiental de bioplástico. Elaboración propia.

Los conceptos que permiten entender las oportunidades que se pueden generar al hacer una transición hacia el uso de bioplásticos en productos de un solo uso son los descritos en la Figura 18.

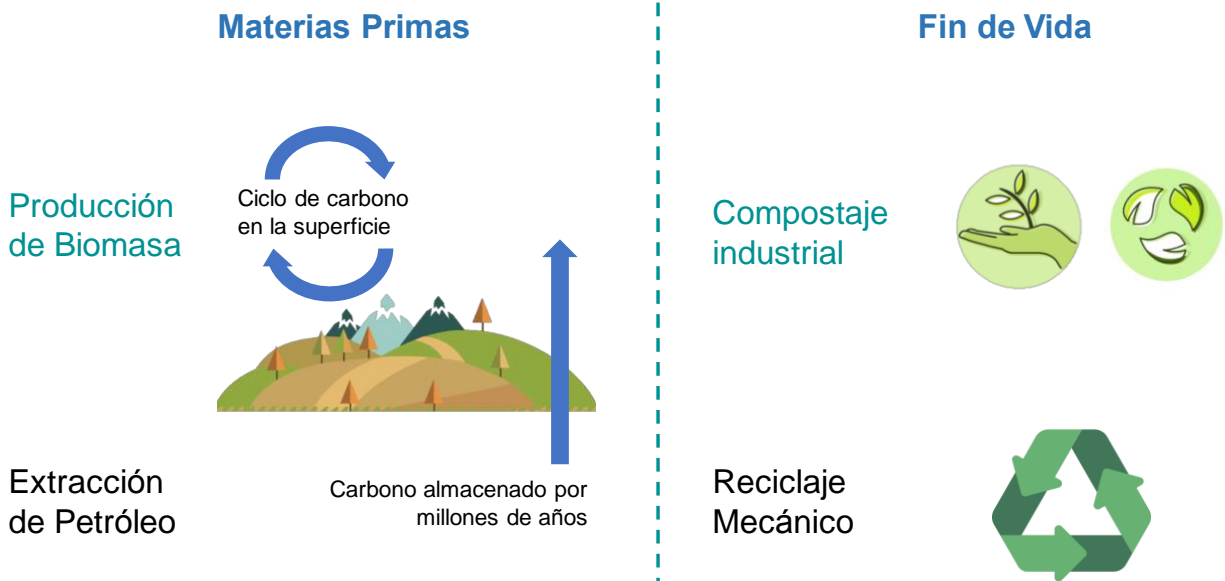


Figura 18: Conceptos del uso de recursos renovables para bioplásticos. *Elaboración propia.*

El calentamiento global es causado por la retención de temperatura que produce la absorción de la radiación solar que entra al planeta en todo momento, y que paulatinamente va aumentando la temperatura global, causando la desestabilización del clima. A esto último es lo que se conoce como el fenómeno del cambio climático.

La retención de la temperatura a causa de la radiación solar se da porque dentro de la composición de la atmosfera se encuentran varios gases que tiene la capacidad de absorber esta radiación y luego emitirla como calor. A estos gases se les conoce como “gases de efecto invernadero” (GEI), porque crean el mismo efecto que sucede en los invernaderos (aumentar la temperatura, entre otras cosas). El gas de efecto invernadero más abundante es el dióxido de carbono, el cual se compone de dos átomos de oxígeno y un átomo de carbono, dos de los elementos más abundantes en el planeta, y que forman parte vital de un ciclo mayor de balance dinámico entre la tierra y su atmosfera.

Al extraer combustibles fósiles desde reservas que se encuentran bajo suelo, se está extrayendo una gran cantidad de carbono que se encontraba almacenado y que no forma parte del total de carbono que ha existido en la atmosfera durante miles de años. No es coincidencia que sea en estos periodos, en los que ha existido una estabilidad climática, se ha desarrollado la civilización humana. Por lo tanto, al continuar con una alta dependencia del uso de combustibles fósiles para sostener y promover el desarrollo humano, estamos creando un cambio radical en el equilibrio de los sistemas planetarios vitales para que se mantengan las condiciones que sostienen la vida actualmente. Esto pone en riesgo la propia existencia de la civilización humana y al resto de seres vivos que son parte fundamental de los ecosistemas en los que habitamos y que nos ofrecen servicios como aire, agua, alimentos, turismo, desarrollo económico, entre otros.

Al buscar materias primas que sean renovables, todo material de origen orgánico o proveniente de procesos en donde participan organismos vivos tiene en su composición la presencia de carbono. Por lo tanto, utilizar materiales en base a biomasa (material orgánico) permite que en determinado momento este material pueda volver a ser absorbido por otros organismos que lo usan como insumo para generar nuevas fuentes de material orgánico, siendo esto descrito como un ciclo de carbono que sucede en la superficie de la Tierra. Los materiales renovables abren la

posibilidad de mantener el carbono ya existente circulando entre la superficie y la atmosfera, y operar la vida humana dentro de un espacio libre que permita el desarrollo sostenible en el largo plazo.

Una transición hacia el uso de bioplásticos en productos de un solo uso no solo hace sentido para prevenir los problemas de contaminación por desechos en los ecosistemas acuáticos y terrestres, sino también porque permite mantener un balance en la cantidad de carbono que hay en la atmósfera, siendo una forma de prevenir y mitigar parte de los impactos negativos que se generan por el cambio climático.

Un factor determinante para poder aprovechar la capacidad de los ciclos biológicos que estabilizan el ciclo de carbono, es asegurar sistemas y métodos para recuperar y reabsorber el material orgánico para que se transforme en nutrientes que permitan el crecimiento de nueva biomasa.

La biodegradabilidad no siempre sucede de manera acelerada en condiciones naturales, requiere de gestión y disposición controlados. El compostaje es un proceso de biodegradación que ocurre bajo determinadas condiciones y permite catalizar y acelerar procesos de biodegradabilidad.

Al hacer productos de biomasa se requiere asegurar que estos puedan ser compostados para transformarlos, al final de su vida, en alimento para el proceso de cultivo de nueva biomasa.

Al asegurar sistemas de gestión para compostaje industrial se puede asegurar el retorno de la materia orgánica. Al mismo tiempo, para el caso de bioplásticos se abre la oportunidad de poder gestionarlos de manera más fácil al disponerlos todos en un solo contenedor de compostaje orgánico. Esto genera menos confusión para los consumidores y permite aumentar las tasas de recuperación.

En contraste con el reciclaje mecánico tradicional, la transición hacia materiales biodegradables y compostables permite recuperar todo el material orgánico y el número de veces que sea necesario. El reciclaje mecánico sólo permite recuperar los materiales una cantidad finita de veces, ya que se van perdiendo propiedades de los materiales hasta finalmente no poder recuperarlos más, disminuyendo su eficiencia en el tiempo.

Como conclusión final, los bioplásticos presentan oportunidades para generar menores impactos ambientales teniendo presente las siguientes consideraciones:

- La fuente de materia prima de biomasa sea renovable y manejada de manera responsable, evitando que signifique la destrucción de ecosistemas. (Uso de agua, sobre carga de nutrientes).
- Los bioplásticos que permiten generar los menores impactos ambientales son aquellos que se pueden compostar y que por lo tanto se pueden gestionar para volver a nutrir el proceso de cultivo de materia prima.
- Debe existir una gestión adecuada en el fin de vida de los bioplásticos asegurando que puedan biodegradarse en condiciones óptimas. Esto significa que deben terminar en sistemas de compostaje industrial.

5.4. Síntesis de conceptos y conclusiones

- Los bioplásticos se presentan como una parte de las soluciones para mutar hacia productos de un solo uso que tengan un menor impacto ambiental, particularmente en el *littering* (abandono de residuos).
- Se denominan bioplásticos si consisten en una proporción sustancial o exclusivamente de materias primas renovables a partir de biomasa, es decir que provengan de fuentes como aceites, plantas, maderas entre otras.
- Los bioplásticos no son necesariamente biodegradables, existiendo ejemplos de unos y otros materiales. Los plásticos biodegradables no necesariamente tienen que provenir de recursos renovables, existiendo un grupo producido íntegramente de derivados del petróleo y completamente biodegradables.
- Que los bioplásticos sean biodegradables no significa que su absorción en sistemas naturales suceda instantáneamente, aún falta comprender mejor cómo los cambios de condiciones del entorno condicionan los tiempos de biodegradación. A su vez, dentro del grupo de bioplásticos que se biodegradan existen los que son compostables, es decir que bajo determinadas condiciones controladas se pueden biodegradar de manera más fácil, como lo puede ser en sistemas de compostaje industrial.
- En una escala comercial los bioplásticos aún tienen un desafío por crecer en producción. Actualmente representan menos del 1% de la producción total de plásticos a nivel global, al mismo tiempo los precios de comercialización aún son elevados, generando barreras de acceso en comparación con sus versiones convencionales.
- Todavía hay margen de mejora en lo que se refiere a la implementación y/o integración de los bioplásticos, por lo que el desarrollo de estos es constante. Donde sea que se necesiten plásticos convencionales, su reemplazo por alguna de las alternativas aquí planteadas puede ser una herramienta importante para reducir los impactos ambientales asociados, dentro de una estrategia de economía circular más amplia.
- El desarrollo de los bioplásticos como alternativa en escala comercial de reemplazo puede generar beneficios en términos ambientales, tales como reducción en la emisión de gases de efecto invernadero, menor demanda de recursos no renovables y reducción en la contaminación ambiental por plásticos.
- Los bioplásticos presentan otros desafíos, tales como los impactos ambientales de los sistemas agrícolas que dan origen a las materias primas, y la necesidad de generar sistemas de gestión efectivos para aprovechar los potenciales de biodegradabilidad para que sean compostables y así reincorporar estos materiales a la economía.
- Sin duda, el uso de la gran diversidad de materiales plásticos biodegradables facilitará su gestión y valorización posterior ya que, en efecto, son compostables y, en último término, pueden ser empleados como sustratos en diversos procesos biológicos y termoquímicos para la valorización de residuos.

- La mayor parte de los estudios de ACV muestran que los bioplásticos representan ventajas en términos de emisiones de gases de efecto invernadero y uso de energías no renovables en el ciclo de vida de productos, en comparación con los plásticos convencionales de origen petroquímico. Sin embargo, esto no siempre se cumple, ya que depende de los materiales, las cadenas de valor, los sistemas de gestión y los supuestos utilizados para los cálculos.
- Al sustituir un material por otro, existe un desplazamiento de cargas ambientales que es necesario evaluar caso a caso. Dado su origen agrícola, los bioplásticos suelen presentar impactos mayores en categorías de impacto ambiental como eutrofización y uso de suelos. El origen de los materiales biodegradables debe ser evaluado cuidadosamente.
- Si bien hay evidencia de que se biodegradan más rápido en el medio ambiente que los plásticos convencionales, los productos hechos de bioplásticos también pueden generar impactos negativos en ambientes naturales.
- En general, los materiales biodegradables estudiados tienden a biodegradarse de manera efectiva en situaciones de compostaje y en la superficie del suelo, pero no así enterrados o en ambientes acuáticos.
- Existe una brecha importante en la investigación y normativa respecto a la biodegradación de bioplásticos en ambientes marinos y otros ambientes naturales. Lo que significa que no necesariamente evitan los impactos de contaminación y daño a especies que ingieren plásticos pensando que son alimentos.
- También se requiere mayor investigación sobre el comportamiento de los diferentes bioplásticos en plantas de compostaje industrial, digestión anaeróbica y plantas de incineración, para poder desarrollar sistemas de gestión de residuos adecuados.
- Aunque parezca evidente, es importante recalcar que en ningún caso el “*littering*” es una forma aceptable de disposición final de residuos, pues, aunque los materiales sean biodegradables pueden generar impactos negativos al ser emitidos al medio ambiente. Es importante evitar el “efecto rebote” que podría producirse si se difunde la percepción que arrojar materiales biodegradables a la naturaleza es inocuo.

6. Tendencias y casos internacionales sobre políticas acerca de los plásticos de un solo uso.

Esta sección tiene como objetivo dar luces sobre los principales sucesos y tendencias en el escenario internacional con el fin de entender el posible escenario futuro en cuanto a regulaciones nacionales. En este sentido, Chile al pertenecer a la OCDE ha asumido una serie de compromisos ambientales que lo han llevado a seguir las tendencias de los países desarrollados.

6.1. Tendencias e hitos recientes

La preocupación sobre los efectos ambientales de los plásticos ha aumentado considerablemente. Sus efectos visuales relacionados al *abandono de residuos en el ambiente*, como impactos en la flora y fauna, impactos derivados de su producción y, más recientemente, los impactos relacionados a los plásticos en los océanos, han sido enfatizados por los medios de comunicación, políticos, sociedad civil y la academia (UNEP, 2018). De los impactos mencionados, el que ha dado más que hablar y ha tenido un mayor impacto mediático y político ha sido el de los plásticos en los océanos. Existen un sinnúmero de iniciativas internacionales y nacionales que buscan actuar y concientizar a la ciudadanía, instituciones que están comenzando a realizar estudios al respecto y campañas mediáticas, entre otros (UNEP, 2018). Los informes de *Ocean Conservancy* – institución sin fines de lucro que fomenta soluciones basadas en la ciencia para los problemas marinos y la protección del océano – que han alertado sobre el nivel de plásticos en los océanos y han puesto posibles soluciones sobre la mesa, han sido identificados como documentos altamente influyentes sobre el tema⁴⁸.

Ya en 2017, eventos importantes a nivel de las altas esferas políticas internacionales comenzaban a suceder. En ese entonces, la Fundación Ellen MacArthur – que ya en 2016 instalaba el concepto de “La Nueva Economía de los Plásticos” sobre la mesa – presentaría su nuevo reporte en el Foro Económico Mundial en Davos⁴⁹. En enero de 2018, uno de los hechos más relevantes ocurre, y esta vez viene desde Asia: China – que desde hace años recibía gran parte de los residuos plásticos de muchos países desarrollados – tomó la determinación de dejar de hacerlo. Esta decisión, que entró en vigor el 1 de enero de 2018, puso una enorme e inesperada presión sobre los sistemas de gestión de residuos de muchos países desarrollados que venden el plástico reciclado a China⁵⁰. Durante enero de ese mismo año, en la cumbre del G7 en Canadá, 5 de los 7 miembros adoptaron un estatuto no vinculante llamada “Carta por los Plásticos” (“*Plastic Charter*”, en inglés) en que se comprometen a tomar acción sobre los plásticos en los océanos. Los países que no adhirieron fueron Estados Unidos y Japón. El Primer Ministro

⁴⁸ Información disponible en: <http://chile.corresponsables.com/actualidad/paradoja-plastico-ejemplo-chile> y <https://oceanconservancy.org/trash-free-seas/plastics-in-the-ocean/>. [Fecha de consulta: 23/08/2018]

⁴⁹ Información disponible en: <https://newplasticseconomy.org/publications/report-2016>. [Fecha de consulta: 23/08/2018]

⁵⁰ Información disponible en: http://www.wri.org/blog/2018/08/banning-straws-and-bags-wont-solve-our-plastic-problem?utm_source=linkedin&utm_medium=world%20resources%20institute&utm_campaign=socialmedia [Fecha de consulta: 20/08/2018]

Canadiense, Justin Trudeau, y la Primer Ministro Británica, Theresa May, estuvieron particularmente activos en la promoción de la iniciativa⁵¹⁵².

Sumado a lo anterior, el tema del Día Mundial del Medio Ambiente 2018 – instancia establecida por la ONU – fue “Un planeta sin Contaminación por plásticos” y el slogan de la campaña global “Rechaza lo que no puedes reusar”⁵³. Además, PNUD - la división de medio ambiente de ONU - lanzó su informe “Plásticos de un solo uso” (UNEP, 2018), donde hace un completo análisis de la situación actual. La preocupación por los plásticos se ha traducido hoy en que la mayor cantidad de regulaciones a nivel mundial apuntan a las bolsas plásticas – principalmente debido al impacto visual que provoca su incorrecta disposición – con foco en los materiales plásticos polietileno, poliestireno y polipropileno.

En el ámbito nacional, la “Encuesta Nacional del Medio Ambiente 2018” revela que el segundo problema ambiental más importante para la ciudadanía, después de la “contaminación del aire”, es la “basura”⁵⁴. En este sentido, la prohibición de las bolsas tiende a tener un amplio respaldo ciudadano⁵⁵ y, recientemente, político. Así hemos visto como distintas comunas del país, comenzando por Pucón en 2013, crearon ordenanzas municipales para regular el uso de las bolsas plásticas. Esto decantó en que hoy exista una ley nacional de bolsas plásticas que prohíbe su entrega en el comercio. Sin duda que seguirán apareciendo hitos a nivel internacional que, de un modo u otro, impactarán e irán dando forma al contexto nacional. Los resultados, sin embargo, surgen de la interacción de las tendencias externas con aquellas internas, y es precisamente allí donde este informe intenta dar luces concretas.

6.2. Casos Internacionales y nacionales

Existen diversas iniciativas a nivel internacional, desde ONGs, gobiernos y empresas, que presentan múltiples casos en donde están implementando normativas y políticas que transparenten cada vez más la gestión actual que se realiza con los productos hechos con plástico de un solo uso. Muchas de estas implementaciones están asociadas a incentivos positivos o negativos, la más común ha sido prohibir determinados productos desechables que en la actualidad se han transformado en una gran fuente de generación de residuos.

a) Fundación Ellen MacArthur y la Nueva Economía de los Plásticos

La Fundación Ellen MacArthur fue creada el 2010 con el objetivo último de acelerar la transición hacia una economía circular. Bajo esa visión, se ha dedicado a promover e investigar sobre economía circular, como también a articular alianzas entre el sector público y privado, logrando establecer el concepto en agendas de empresas y gobiernos, posicionándose como un actor

⁵¹ Información disponible en: <http://www.plasticsnews.com/article/20180609/NEWS/180609900/five-g7-nations-adopt-plastics-charter-on-ocean-pollution> [Fecha de consulta: 21/08/2018].

⁵² “Plastic Charter” disponible en: <https://g7.gc.ca/wp-content/uploads/2018/06/OceanPlasticsCharter.pdf>. [Fecha de consulta: 21/08/2018].

⁵³ Información disponible en: <http://www.unenvironment.org/es/news-and-stories/comunicado-de-prensa/america-latina-y-el-caribe-lucha-contra-el-plastico-en-el-dia> [Fecha de consulta: 21/08/2018].

⁵⁴ Informe disponible en: <http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/03/Informe-Final-Encuesta-Nacional-de-Medio-Ambiente-2018.pdf>. [Fecha de consulta: 23/08/2018]

⁵⁵ Información disponible en: <http://chaobolsasplasticas.cl/>. [Fecha de consulta: 23/08/2018]

clave a la hora de hablar de economía circular⁵⁶. La fundación trabaja en una serie de programas que se establecieron bajo 5 pilares: 1) empresas, 2) gobiernos, 3) ideas y análisis, 4) aprendizaje y 5) iniciativas sistémicas.

Es bajo este último pilar que se aloja el programa “Nueva Economía de los Plásticos”⁵⁷ (“*New Plastics Economy*”, en inglés). A través de la aplicación de los principios de la economía circular, la iniciativa de 3 años busca crear *momentum* para avanzar hacia un sistema donde se re-piense y re-diseñe los plásticos y su sistema de gestión y producción, comenzando con los envases y embalajes (*packaging*, en inglés). En ello participa un grupo amplio de actores de todos los sectores de la sociedad. A la fecha se han publicado dos reportes principales (2016 y 2017). Los principales hallazgos de estos reportes son:

1. La mayoría de los envases y embalajes son utilizados sólo una vez.
2. Hacia el año 2050, y con el crecimiento esperado en el consumo, los océanos contendrán más plástico que peces.
3. La industria de los plásticos a nivel global consume 20% del petróleo y usa el 15% del “presupuesto de carbono”⁵⁸.
4. Sin un rediseño e innovación fundamental, cerca del 30% de los envases y embalajes plásticos no serán reutilizados o reciclados jamás.
5. Para al menos el 20% de los envases y embalajes plásticos la reutilización es una alternativa económicamente atractiva.
6. Si se realizan esfuerzos de rediseño de los envases y embalajes plásticos y de los sistemas de manejo post uso, el reciclaje es una alternativa económicamente atractiva para el remanente 50% restante de ellos.

En este contexto, se lanza en 2016 el “Pacto por el Plástico” (“*Plastic Pact*”, en inglés). Este consiste en una red nacional y regional de implementación de iniciativas, en donde organizaciones nacionales cumplen el rol de articular autoridades locales, empresas, ONGs, sociedad civil e innovadores, bajo los principios de la economía circular aplicados al plástico. Todos los actores involucrados en el pacto tienen ciertas metas en común:

- a) eliminar los plásticos de un solo uso innecesarios y problemáticos a través de rediseño e innovación,
- b) asegurarse que todos los envases y embalajes son reutilizables, reciclables o compostables,
- c) incrementar la reutilización, recolección y reciclaje de envases y embalajes plásticos e
- d) incrementar el contenido reciclado en los envases y embalajes plásticos.

El “Pacto por el Plástico” de Reino Unido y el de Chile destacan como los primeros dos pactos nacionales. Este último está siendo liderado por la empresa nacional ligada a gestión de residuos Triciclos⁵⁹.

⁵⁶ Información disponible en: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/about> [Fecha de consulta: 21/08/2018]

⁵⁷ Información disponible en: <https://newplasticseconomy.org/> [Fecha de consulta: 21/08/2018]

⁵⁸ El presupuesto de carbono o *carbon budget* es la cantidad de carbono que puede ser emitida a la atmósfera en un período de tiempo determinado que permite que se siga con altas probabilidades de cumplir la meta de mantener el aumento de la temperatura global en un límite de 2º grados por sobre los niveles pre industriales. Más información en: <http://www.wri.org/ipcc-infographics>.

⁵⁹ Información disponible en: <http://www.triciclos.cl/noticias/red-de-puntos-limpios-triciclos-sodimac/#inicio> [Fecha de consulta: 21/08/2018]

b) La Carta de los Plásticos

El documento fue presentado durante la cumbre del grupo de países G7 que tuvo lugar en Canadá a inicios del 2018. Mediante éste, los líderes de Canadá, Francia, Alemania, Italia, Reino Unido y la Unión Europea, se comprometieron a seguir una gestión más eficiente en el uso de recursos, con un enfoque de ciclo de vida sobre la gestión de los plásticos en tierra y el océano⁶⁰. Las acciones planteadas se estructuran bajo los siguientes pilares:

1. Mercados de diseño sustentable, producción y post-uso.
2. Recolección, manejo y otros sistemas e infraestructura.
3. Estilos de vida sustentables y educación.
4. Investigación, innovación y nuevas tecnologías.
5. Acción en la costa y orilla.

El documento no fue firmado por Estados Unidos ni por Japón.

Entre el 18 y 21 de septiembre de 2018, tuvo lugar en Halifax (Nueva Escocia), Canadá, la reunión de los ministros de medio ambiente, energía y océanos a raíz de la “Carta de los Plásticos” (“*Plastic Charter*”, en inglés) que 5 de los 7 líderes del G7 firmaron⁶¹. Entre los elementos a destacar, está el deseo de Catherine McKenna – ministra del Medio Ambiente de Canadá – de incluir los países del G20 como parte del trabajo conjunto a realizar⁶². En este contexto, recientemente Volvo – el productor de automóviles sueco y única empresa de ese mercado invitada a la reunión– ha decidido apoyar la “Carta de los Plásticos” y presentar su programa de sustentabilidad detallado donde se incluirá el aumentar la proporción de plásticos reciclados en sus nuevos automóviles⁶³.

Países y regiones

Se estima que entre el año 1950 y el 2015 se han producido 8.300 millones de toneladas de plásticos a nivel mundial. De aquello, solo el 7.2% ha sido reciclado y 9.6% incinerado. Esto quiere decir que alrededor de 6.900 millones de toneladas han sido acumuladas en rellenos sanitarios o se halla en el medio ambiente, ya sea marino o terrestre.

En el año 2015, se produjeron 407 millones de toneladas de plástico primario, siendo el 35,9% utilizado para envases y embalajes. Este tipo de plásticos tiene una vida útil particularmente baja, muchas veces siendo plásticos de un solo uso. Esto ha llevado a diferentes países y regiones a actuar implementando regulaciones⁶⁴.

⁶⁰ Información y documento disponible en: <https://g7.gc.ca/en/official-documents/charlevoix-blueprint-healthy-oceans-seas-resilient-coastal-communities/#a1>. [Fecha de consulta: 23/08/2018].

⁶¹ Información disponible en: <http://sdg.iisd.org/events/g7-environment-and-energy-ministers/>. [Fecha de consulta: 03/10/2018].

⁶² Información disponible en: <https://www.cbc.ca/news/canada/nova-scotia/halifax-g7-meeting-plastics-1.4827886>. [Fecha de consulta: 03/10/2018].

⁶³ Información disponible en: <https://www.automotiveworld.com/news-releases/volvo-cars-endorses-g7-ocean-plastic-charter-supporting-its-industry-leading-commitment-to-reducing-plastics-pollution/>. [Fecha de consulta: 03/10/2018].

⁶⁴ Geyer et al. (2017).

Según UNEP (2018), más de 60 países han introducido prohibiciones e impuestos en plásticos de un solo uso. La Figura 19, muestra el número de regulaciones por tipo, en cada continente. Los 4 tipos de políticas nacionales que se mencionan son:

- Prohibición parcial o total: la autoridad prohíbe la entrega, producción o comercialización de plásticos de un solo uso bajo ciertas condiciones (p.ej. la Ley de Bolsas Plásticas chilena es una de ellas).
- Instrumentos económicos: políticas que usan instrumentos de mercado para generar incentivos económicos para la reducción de los plásticos de un solo uso (p.ej. cobro por bolsas).
- Combinación: combinación de los instrumentos anteriores.
- Acuerdos públicos-privados: acuerdos voluntarios en que las partes convienen una estrategia para la reducción de los plásticos de un solo uso.

Como se aprecia en la Figura 19, en Europa y África existe la mayor cantidad de políticas sobre bolsas plásticas. En Europa priman los instrumentos económicos mientras que en África predominan las prohibiciones.

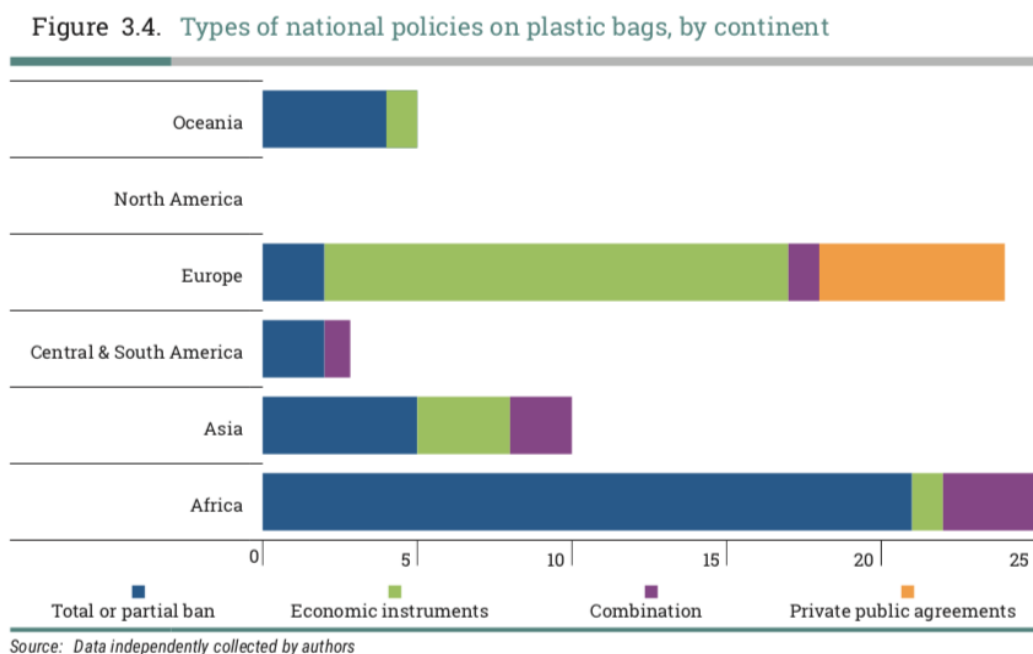


Figura 19: Tipos de políticas nacionales sobre bolsas plásticas por continente.
Fuente: UNEP (2018)

A pesar del creciente número de países que están regulando de algún modo la producción de plásticos, no siempre hay coherencia entre aquellos que más generan residuos y los que están implementando regulaciones. A nivel de contaminación oceánica, la mayoría de los residuos plásticos provienen de países de Asia del este y África. En particular, se estima que 10 ríos en el mundo, dos en África y ocho en Asia, descargan el 90% de los plásticos que llegan al océano. En términos de países, los cinco que se estima que más residuos descargan al año (en orden decreciente) son China, Indonesia, Filipinas, Vietnam, Sri Lanka, todos ellos asiáticos. En contraste con la descarga de residuos al océano, vemos que, si bien África es el continente que

más políticas ha implementado, Asia, siendo el continente que más descarga, presenta un importante rezago⁶⁵.

Los países y regiones que se describen a continuación han tenido o tienen iniciativas importantes y/o avances significativos sobre plásticos de un solo uso, y destacan en los documentos revisados y en las noticias de los dos últimos años.

a) Unión Europea

Teniendo como foco la contaminación en los océanos, el 28 de mayo de 2018 la Comisión Europea propuso una normativa que pone en la mira los 10 productos de un sólo uso más utilizados y los artículos de pesca (p.ej. redes) que, en conjunto, constituyen el 70% de todos los artículos contaminantes en el área marina. Se sigue una lógica en que se diferencian los requerimientos por tipos de producto, en donde para los que tengan un sustituto directo se prohibirán a nivel de Unión Europea, mientras que para los que no tengan un sustituto directo se buscará disminuir el consumo a través de metas nacionales. El diseño, etiquetado y manejo de residuos o limpieza pasan a ser obligatorios para los productores.

La propuesta pasará al Parlamento Europeo mientras que la Comisión Europea pone una nota de urgencia y espera tener resultados tangibles antes de las elecciones de mayo de 2019. En la Tabla 1 se muestran los productos prioritarios y su tratamiento en la propuesta⁶⁶.

Artículo	Tratamiento
Bastoncillos de algodón hechos con plástico (o cotonitos para los oídos)	Prohibición y reemplazo por alternativas más sustentables
Cubiertos, platos, bombillas y agitadores de plástico	Prohibición y reemplazo por alternativas más sustentables
Globos y sus bastones de plástico	Prohibición y reemplazo por alternativas más sustentables para bastones. Obligación de concientización, limpieza, recolección, tratamiento y nuevo etiquetado sobre impacto y opciones de reciclaje para los productores en el caso de los globos.
Contenedores de comida	Metas de reducción significativas a nivel nacional y obligación para productores de contribuir con concientización, limpieza, recolección y tratamiento.
Vasos plásticos para líquidos	Metas de reducción significativas a nivel nacional y obligación para productores de contribuir con concientización, limpieza, recolección y tratamiento.

⁶⁵ Información disponible en: <https://www.economist.com/international/2018/03/03/the-known-unknowns-of-plastic-pollution>. Fecha de consulta: 07/12/2018]

⁶⁶ Información disponible en: https://ec.europa.eu/commission/news/single-use-plastics-2018-may-28_en [Fecha de consulta: 11/08/2018]

Botellas plásticas	Obligación para productores de contribuir con concientización, limpieza, recolección y tratamiento para las botellas con una meta de recolección del 90%. Requisito de diseño en que la tapa debe estar unida a la botella.
Colillas de cigarrillos	Obligación para productores de contribuir con concientización, limpieza, recolección y tratamiento para colillas de cigarrillos y otros filtros plásticos para productos del tabaco.
Bolsas plásticas	Obligación para productores de contribuir con concientización, limpieza, recolección y tratamiento adicionales a aquellas de la directiva sobre bolsas plásticas.
Envoltorios de dulces	Obligación para productores de contribuir con concientización, limpieza, recolección y tratamiento.
Toallitas húmedas y artículos sanitarios	Nuevos requisitos de etiquetado para toallas sanitarias y toallitas húmedas para informar a los consumidores sobre el impacto ambiental del producto y cómo deshacerse de él de manera adecuada. Obligación para productores de contribuir con concientización, limpieza, recolección y tratamiento.
Artículos de pesca	Los productores de artículos de pesca que contengan plásticos deberán cubrir los costos de la recolección de desechos desde las instalaciones de recepción portuarias, su transporte y tratamiento. También cubrirán los costos de las medidas de concientización.

Tabla 8: Productos prioritarios de la propuesta de la Comisión Europea Fuente: *European Commission*. 2018. *A European Strategy for Plastics in a Circular Economy Factsheet*.

b) India

En un contexto de serios problemas de gestión de los residuos, pero también una creciente industria del reciclaje es que algunas ciudades y regiones han prohibido las bolsas plásticas “ultradelgadas”. Más aún, recientemente el gobierno se ha propuesto eliminar los plásticos de un solo uso para el año 2022, según anunció el Primer Ministro el 5 de junio de 2018. La meta es una de las más ambiciosas a nivel mundial, pudiendo generar un impacto enorme en las “reglas del juego” debido a la gran población del país asiático y todo lo que ello conlleva en términos de

consumo y generación de residuos. Erik Solheim, director de ONU Medio Ambiente, destacó la medida y el mensaje inspirador que envía al mundo para iniciar un cambio real⁶⁷.

c) Costa Rica

Recientemente, Costa Rica anunció que para el año 2022 quiere ser el primer país en el mundo con una estrategia nacional integral para eliminar los plásticos de un solo uso. El plástico convencional será reemplazado por “alternativas renovables y solubles en agua”, “que puedan degradarse en menos de 6 meses”. Los productos incluidos son las bolsas plásticas, bombillas, agitadores, contenedores y vajilla. Se han propuesto 5 acciones estratégicas necesarias para generar el cambio: 1) incentivos municipales; 2) políticas y guías institucionales para proveedores; 3) reemplazo de los productos plásticos de un solo uso; 4) investigación y desarrollo; 5) inversión en incentivos estratégicos. Finalmente, se destaca que los objetivos planteados pueden ser logrados sólo con el compromiso de todos los sectores, público y privado⁶⁸.

d) Reino Unido

En Reino Unido destaca la adhesión al “Pacto por los plásticos”, parte de la Nueva Economía de los Plásticos. El pacto se aloja bajo el “Programa de Acción sobre Residuos y Recursos” (*Waste and Resources Action Programme*, WRAP, en inglés), fundado en 2010, con el objetivo de promover una gestión sustentable de los residuos⁶⁹. Tal como fue explicado anteriormente, el pacto busca crear una economía circular para los plásticos y, en este caso particular, tiene 4 metas principales para el año 2025:

1. 100% de los envases y embalajes plásticos deben ser reutilizables, reciclables o compostables.
2. 70% de los envases y embalajes plásticos deben ser efectivamente reciclados o compostados.
3. Tomar acción para eliminar los plásticos de un solo uso innecesarios y problemáticos a través de rediseño e innovación o modelos alternativos.
4. Media de 30% de contenido reciclados en envases y embalajes plásticos.

Más de 90 miembros a nivel nacional han firmado el pacto. Destacan empresas tales como Coca Cola European Partners, Danone, Lidl, Nestlé, Procter & Gamble, Pepsico, Tesco y Unilever.

En Reino Unido destaca, además, el compromiso voluntario que adoptó la Primer Ministro, Theresa May, durante la última cumbre de los países del G7 en enero de 2018 (ver sección 2.1.2).

⁶⁷ Información disponible en: <https://www.theguardian.com/environment/2018/jun/05/india-will-abolish-all-single-use-plastic-by-2022-vows-narendra-modi> y <https://www.forbes.com/sites/uhenergy/2018/03/12/plastics-recycling-could-the-future-be-in-india/#59be00dc42e1> [Fecha de consulta: 11/08/18].

⁶⁸ Información disponible en: <http://www.undp.org/content/undp/en/home/blog/2017/7/14/Costa-Rica-abre-el-camino-hacia-el-fin-de-los-plasticos-de-un-solo-uso.html> [Fecha de consulta: 20/08/2018].

⁶⁹ Información disponible en: <http://www.wrap.org.uk/content/the-uk-plastics-pact>. [Fecha de consulta: 20/08/2018].

e) Canadá

Se espera que el gobierno canadiense tome cartas en el asunto de la contaminación por plásticos, especialmente en los Océanos. Canadá fue uno de los 5 países que en enero de 2018 se comprometieron a actuar a través de la “Carta de los Plásticos”⁷⁰. Algunas empresas y gobiernos locales se han adelantado a las medidas que se esperan. Entre los gobiernos locales destaca la ciudad de Vancouver, quienes eliminaron las bombillas plásticas y harán lo mismo con otros contenedores de alimentos de un solo uso. Otros casos similares han sido los de Victoria y Montreal⁷¹.

f) Australia

La prohibición de importación de residuos plásticos de China, que entró en vigor a inicios del 2018, ha puesto a prueba el sistema de residuos australiano, dejando ver sus falencias en muchas de las ciudades, especialmente los sistemas de reciclaje domiciliarios (*Kerbside Recycling Systems*, en inglés). Se estima que la mitad de estos residuos reciclables eran exportados a China antes de que la medida fuera adoptada⁷².

A raíz de esta situación, el Senado encargó un estudio que ha recomendado la prohibición de los plásticos de un solo uso para el año 2023. Otras recomendaciones interesantes que están presentes en el reporte son:

1. Establecer un centro de investigación cooperativo sobre plásticos donde los esfuerzos sean puestos en la reducción de los residuos plásticos, limpiar los océanos, y buscar mercados finales para los plásticos recuperados.
2. Poner énfasis en la implementación de medidas para la reducción de los plásticos en los océanos.
3. Apoyar a los actores de la cadena del reciclaje desde el gobierno central hacia los gobiernos locales.
4. Apoyar programas de compras sustentables del Estado, asegurándose que existan mercados para material reciclado, como también fijar metas de material reciclado en las compras directas o indirectas.
5. Apoyo del gobierno central a los gobiernos locales para realizar programas de educación en relación con el mejor modo de reciclar.
6. Apoyo desde el gobierno central a gobiernos locales para que el uso de los impuestos a los rellenos sanitarios vaya en directo beneficio de políticas y programas de fomento al reciclaje (Senate of Australia, 2018).
7. El reporte además establece un anteproyecto para la creación de una economía circular⁷³.

⁷⁰ “Plastic Charter” disponible en: <https://g7.gc.ca/wp-content/uploads/2018/06/OceanPlasticsCharter.pdf>. [Fecha de consulta: 21/08/2018].

⁷¹ Información disponible en: https://www.huffingtonpost.ca/2018/06/11/single-use-plastics-canada_a_23456208/?guccounter=1. [Fecha de consulta: 21/08/2018].

⁷² Información disponible en: <https://www.theguardian.com/environment/2018/mar/14/australias-kerbside-recycling-system-in-crisis-following-china-ban> [Fecha de consulta: 20/08/2018].

⁷³ Información disponible en: <https://www.theguardian.com/environment/2018/jun/26/recycling-senate-inquiry-recommends-all-single-use-plastics-be-banned> [Fecha de consulta: 20/08/2018]

g) China

El año pasado, China decidió que a partir del 1 de enero de 2018 no importaría más desechos plásticos no industriales de forma permanente, como había venido haciendo por años (este es solo uno de los tipos de desechos que prohibió o reguló). Según Brooks et al. (2018), el objetivo de la medida sería incrementar la calidad de los residuos plásticos que entran al país y reducir su contrabando y comercio ilegal. China ya había hecho un intento de regular los tipos de plásticos importados en el año 2013; sin embargo, la medida fue retirada al poco tiempo.

En el año 2016, los principales exportadores de residuos plásticos hacia China y Hong Kong (quien posteriormente exportaba a China), eran Alemania, Estados Unidos, México, Japón y Reino Unido. Sin embargo, la medida seguramente causará repercusiones en los sistemas de residuos de más países. En algunas entrevistas, se han mencionado Indonesia, India, Vietnam y Malasia como potenciales destinos de los residuos que antes eran enviados a China⁷⁴

Empresas

No solo regiones, gobiernos nacionales y locales han comenzado a actuar, sino que también algunas empresas se han mostrado activas. La siguiente lista no busca ser un recuento exhaustivo de aquellas empresas sino dar ejemplos relevantes de lo que, en general, están haciendo⁷⁵.

- **United Airlines, American Airlines y Alaska Airlines:** prohibieron las bombillas plásticas y mondadientes para alimentos en sus vuelos. Están evaluando alternativas de bambú.
- **Carlsberg:** eliminará los anillos plásticos para los paquetes de latas.
- **Walt Disney Company:** eliminará las bombillas plásticas en sus parques, hoteles y resorts.
- **Starbucks:** eliminará las bombillas plásticas para el año 2020.
- **McDonald's:** tiene planes para eliminar las bombillas plásticas en Reino Unido e Irlanda.

Hay varios casos de empresas pioneras que buscan adelantarse a las legislaciones que probablemente se aplicarán en los países en donde operan. Ellas, en general, se han enfocado en las bombillas plásticas durante los últimos años. Anteriormente, las empresas comenzaron a realizar cambios a nivel de sus bolsas plásticas dada la contingencia de entonces. Además, mediante campañas mediáticas, en donde comunican sus acciones sobre los plásticos de un solo uso, buscan posicionarse como empresas responsables con el medioambiente, apelando a la sensibilidad de los consumidores más afines. Ciertas estrategias pueden dar resultados beneficiosos a nivel ambiental como también a nivel económico de cada empresa

⁷⁴ Información disponible en: <https://qz.com/1310240/chinas-ban-on-plastic-recycling-imports-means-the-world-will-have-111-million-metric-tons-of-extra-plastic-to-deal-with-by-2030/> [Fecha de consulta: 20/08/2018]

⁷⁵ Información disponible en: <https://www.nationalgeographic.com/environment/2018/07/ocean-plastic-pollution-solutions> [Fecha de consulta: 20/08/2018]

Chile

a) Aprobación de la Ley de Bolsas Plásticas

El 3 de agosto de 2018 se publicó en el diario oficial la ley que prohíbe la entrega, a cualquier título, de bolsas plásticas en el comercio en todo el país, iniciativa que se presenta en el sitio <http://chaobolsasplasticas.cl/> del Ministerio del Medio Ambiente como una “empujada por todos los sectores políticos”.

Específicamente, el Artículo 3 de la Ley prohíbe a “...los establecimientos de comercio la entrega, a cualquier título, de bolsas plásticas de comercio”⁷⁶. De esta prohibición son excluidas “las bolsas que constituyan el envase primario de alimentos, que sea necesario por razones higiénicas o porque su uso ayude a prevenir el desperdicio de alimentos”.

La responsabilidad de fiscalización recae sobre los Municipios, con multas de hasta 5 UTM por cada bolsa entregada. Para las grandes empresas, la ley entra en vigor 6 meses después de la publicación en el diario oficial, mientras que para pequeños comercios el plazo es de 2 años. Entre la fecha de publicación y los plazos mencionados, los comercios podrán entregar un máximo de 2 bolsas por cada compra realizada⁷⁷.

En relación con las bolsas biodegradables, la ley no dice explícitamente que están prohibidas. Sin embargo, el Ministerio del Medio Ambiente dice que: “En nuestro país no existe un esquema normalizado que acredite esa condición. Las bolsas plásticas actuales conocidas como ‘biodegradables’, requieren de procesos de compostaje, en plantas de compostaje municipales o industriales, por lo que, sin las condiciones adecuadas, una bolsa plástica “biodegradable” podría producir los mismos impactos que una bolsa no “biodegradable” en el medio ambiente”⁷⁸. En base a esto, puede inferirse que, al menos desde el punto de vista del Ministerio, actualmente las bolsas biodegradables no son deseables debido a brechas en su potencial gestión. Sin embargo, la ley no las prohíbe.

En términos prácticos, todas aquellas bolsas que estén fabricadas “fundamentalmente” con compuestos derivados del petróleo estarán prohibidas. Mediante consultas realizadas al Ministerio del Medio Ambiente, se entiende como “fundamental” la existencia, en cualquier porcentaje, de un derivado del petróleo (entre 0 y 100% del producto). En el caso de las bolsas biodegradables, existen aquellas que son fabricadas 100% de biomasa, y aquellas que son fabricadas de biomasa con fracciones de compuestos derivados del petróleo (es decir, una parte de biomasa y una parte de derivados del petróleo), aun así, siendo biodegradables. Esto genera la incertidumbre de no poder distinguir cuando una bolsa biodegradable cumple con la condición de no tener ningún porcentaje derivado del petróleo.

Otro elemento que podría requerir una mejora de la ley incluye aquellos materiales provenientes 100% de biomasa, pero que no son biodegradables como el BioPET y HPDE de bioetanol. En ambos casos, las bolsas fabricadas de estos materiales estarían dentro de la Ley y, sin embargo, producirían los mismos impactos que sus homólogos tradicionales derivados del petróleo.

⁷⁶ Bolsa plástica de comercio: Bolsa plástica que es entregada por un establecimiento de comercio para el transporte de mercaderías o, en el caso de compras realizadas por medios electrónicos, bolsa para el transporte de mercaderías que es entregada al consumidor final.

⁷⁷ Información sobre la Ley de Bolsas Plásticas disponible en: <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1121380&buscar=21100>. [Fecha de consulta: 20/08/2018]

⁷⁸ Declaración disponible en: <http://chaobolsasplasticas.cl/>. [Fecha de consulta: 20/08/2018]

b) Iniciativa del Ministerio del Medio Ambiente sobre las bombillas plásticas

El 25 de julio de 2018, la entonces ministra del Medio Ambiente, Marcela Cubillos, formalizó un convenio de colaboración radical con uno de los embajadores de la ONU, para impulsar en Chile la campaña #ChaoBombillas, con el objetivo de concientizar sobre las consecuencias del plástico de un solo uso en todo el país. La campaña se ha publicado mediante redes sociales y existe un sitio web dedicado (<http://www.chaobombillas.cl/>) en donde se explican las razones, impactos y los compromisos voluntarios que se espera adopten personas y empresas⁷⁹.

c) Chile como parte de la Nueva Economía de los Plásticos y el Pacto por los Plásticos

El “Pacto por lo plásticos”, como es llamado en Chile, es la forma tangible en que se aterrizan en el territorio nacional todas las estrategias planteadas por “La Nueva Economía de los Plásticos”. Chile es el segundo país de mundo en adherir después de que Reino Unido lo hiciera en abril.

El Pacto busca generar acuerdos entre todas las partes interesadas de la cadena de valor del plástico: empresas, gobierno, ciudadanía y academia. Esto para que puedan realizar una serie de acciones medibles y trazables, para transitar desde una economía lineal a una economía circular de los plásticos. Esta es una iniciativa reciente y que a la fecha se encuentra en desarrollo.

d) Implementación de la Ley de Responsabilidad Extendida del Productor

La Ley N° 20.920 Marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje (REP), fue promulgada en mayo del 2016 y tiene por objeto “disminuir la generación de residuos y fomentar su reutilización, reciclaje y otro tipo de valorización, a través de la instauración de la responsabilidad extendida del productor y otros instrumentos de gestión de residuos, con el fin de proteger la salud de las personas y el medio ambiente”.

La ley da prioridad a la prevención de la generación de los residuos responde al concepto de economía circular, fomentando una visión desde la cuna a la tumba de los productos. Dentro de los productos prioritarios de la Ley están los envases y embalajes, que es la categoría a la que pertenecen muchos de los plásticos de un sólo uso identificados como los principales causantes de los daños ambientales (UNEP, 2018). Esto hace que los plásticos de un solo uso puedan regularse bajo el esquema REP, sin embargo, la Ley no se refiere explícitamente a ellos. Esto quiere decir que todos los plásticos son tratados del mismo modo bajo la ley.

⁷⁹ Información disponible en: <http://portal.mma.gob.cl/pequeno-cambio-gran-impacto-ministerio-de-medio-ambiente-se-suma-a-lonely-whale-para-terminar-con-uso-indiscriminado-de-bombillas-de-plastico/>.
[Fecha de consulta: 20/08/2018]

6.3. Síntesis de conceptos y conclusiones

- Existe una fuerte preocupación internacional sobre los efectos de los plásticos de un solo uso en el ambiente, particularmente en el océano. Ante ello, instituciones internacionales, empresas, ONGs, gobiernos y la sociedad civil están desarrollando diferentes estrategias.
- Existen diferentes enfoques para aplicar políticas y regulaciones sobre los plásticos de un solo uso, desde prohibición total o parcial, instrumentos económicos, combinación de ambas estrategias hasta acuerdos público-privado.
- La mayoría de las políticas para regular los plásticos de un solo uso se concentran en África (mayormente prohibición) y Europa (mayormente instrumentos económicos).
- Los plásticos de un sólo uso más regulados son las bolsas plásticas y los productos de polietileno, poliestireno y polipropileno.
- Chile ha seguido las tendencias internacionales sobre los plásticos de un solo uso. Las iniciativas más relevantes al respecto son la Ley de Bolsas Plásticas, la campaña contra las bombillas plásticas, la adhesión a la “Nueva Economía de los Plásticos” y la firma del “Pacto por los Plásticos”. La Ley REP, si bien es anterior y su foco principal no son los plásticos de un solo uso, probablemente afectará su futuro ya que la mayoría de dichos plásticos son parte de la categoría “envases y embalajes”.

7. Estado del Arte: Regulaciones y Normativas para plásticos y la sustitución de materiales.

En esta sección se revisarán las normativas existentes que regulan, por una parte, la utilización de materiales para el uso de plásticos en productos de consumo y productos desechables, y los criterios para realizar la sustitución hacia materiales biodegradables y derivados de biomasa. Esto con el fin de comprender mejor cómo se pueden apoyar los procesos de transición hacia materiales compostables que permitan reducir los impactos ambientales de los productos de un solo uso.

7.1. Revisión de las principales normativas técnicas existentes para la regulación y utilización de materiales para envases y embalajes, uso de plásticos en productos de consumo y productos desechables.

En esta sección, primero se analizan las principales normativas que permiten regular características de los bioplásticos y los plásticos biodegradables, enfatizando que no son lo equivalentes todo el tiempo. Posteriormente, se analizan los principales criterios utilizados internacionalmente para la sustitución de materiales y se hace énfasis en el caso sueco.

7.1.1. Normativas que regulan el uso de bioplásticos biodegradables.

Las principales normativas asociadas a la regulación de bioplásticos biodegradables son aquellas que permiten definir con claridad cuándo un producto o material cumple con las condiciones descritas en las secciones anteriores sobre biodegradabilidad y compostabilidad, al mismo tiempo los mecanismos para definir cuándo un material está compuesto por polímeros derivados de biomasa.

1. Biodegradabilidad

En el escenario nacional, la norma NCh 3399 define los requisitos para clasificar si envases y embalajes son valorizables mediante compostaje y biodegradación. Esta es un símil de la normativa ISO 17.088. Dentro de la norma, la biodegradabilidad bajo estándares definidos⁸⁰ es un criterio necesario, pero no suficiente para afirmar si un material es valorizable a través de compostaje. Sin embargo, esta norma no apunta a definir procesos de verificación mediante ensayos entre materiales que son o no biodegradables.

La norma Nch 3508 establece los métodos y procedimientos para realizar una prueba de biodegradabilidad.

Norma	Aplicabilidad	Cobertura
Nch 3508	Chile	Determinación de biodegradabilidad de materiales plásticos en condiciones de compostaje controladas
Nch 3399	Chile	Requisitos de los envases y embalajes valorizables mediante compostaje y biodegradación.

Tabla 9: Normativas nacionales relativas a biodegradabilidad. Fuente: ASIPLA (2017).

A nivel internacional el panorama es similar. Existen variadas normas, mayormente basadas en el referente de la norma ISO 17.088, que apuntan a determinar si el material puede ser valorizable o compostable, pero no si pueden clasificarse como biodegradable. Las principales normativas internacionales se indican a continuación:

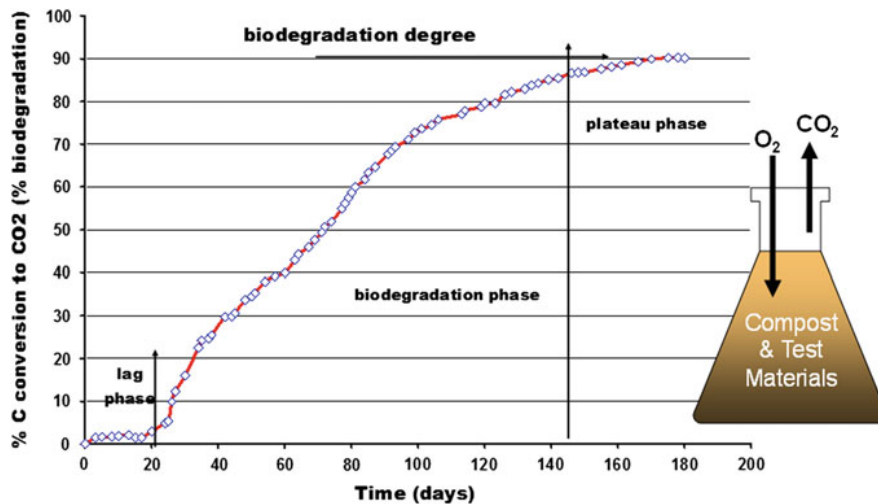
Norma	Aplicabilidad	Cobertura
ASTM D6400	Internacional	Especificación para plásticos compostables.
ASTM D6868	Internacional	Especificación para coberturas plásticas, modificadores de papel y otros sustratos compostables.
ISO 17.088	Internacional	Especificación para plásticos compostables.
EN 13.432	Europa	Especificación para envases y embalajes

⁸⁰ 90% de biodegradación en una fase de bio-degradación de 2 años o menos.

		compostables.
ISO 18.606	Internacional	Envases y embalajes y medioambiente: reciclaje orgánico.
D 7021	Internacional	Especificación para plásticos biodegradables no flotantes en medios marinos.
ASTM (en desarrollo)	Internacional	Especificaciones para medir biodegradabilidad en suelo con referencia de 90% de degradación en un tiempo menor o igual a 2 años.

Tabla 10: Normativas internacionales relativas a biodegradabilidad. Fuente: Malinconico (2017)

En conclusión, y tomando en cuenta el nivel actual de las normativas internacionales, la aseveración de si un material o producto es biodegradable queda finalmente a criterio del consumidor. De acuerdo con los organismos especializados, los productos deben mostrar un gráfico de biodegradabilidad y tiempo como el que se muestra a continuación.



ASTM D5338; ISO 14855; EN 13432

Figura 20: Referencia de curva de biodegradación en el tiempo.

Fuente: Malinconico (2017)

2. Bioplásticos

Al igual que la biodegradabilidad, no existe un criterio específico que permita afirmar si un material es o no un bioplástico. En términos cuantitativos, la normativa ASTM D6866 establece estándares y métodos para determinar el contenido de bioplásticos en un producto o material.

7.1.2. Relación entre bioplásticos, biodegradabilidad y la ley 20.920

La ley 20.920 busca prevenir la generación de residuos y/o aumentar su valorización post-consumo a través de la implementación de la responsabilidad extendida del productor.

En el caso de los plásticos, y en particular los de productos de un solo uso, quedan incorporados en los productos prioritarios de envases y embalajes principalmente. Esto implica que, de existir la presencia de bioplásticos, y en particular los que son biodegradables y compostables, podrían ser perfectamente recolectados y gestionados en sistemas de compostaje industrial.

Para que se cumpla esto se deben considerar los siguientes puntos:

- Que los consumidores puedan distinguir con claridad cuando un producto es denominado bioplástico, definir si es biodegradable o no, si se puede compostar, y qué tipo de valorización se debe aplicar.
- Incorporar en la gestión de recuperación la opción de segregar los materiales biodegradables para ser valorizados a través de compostaje industrial. En el caso de que no sean biodegradables, pero si de derivados de biomasa, indicar que se pueden gestionar como plásticos convencionales para reciclaje mecánico.
- Asegurar que existen sistemas de compostaje industrial capaces de recibir los materiales que sean biodegradables, y al mismo tiempo asegurar que las plantas de reciclaje mecánico pueden recibir bioplásticos no biodegradables.
- Campañas de sensibilización y educación sobre los bioplásticos, sus condiciones de biodegradabilidad y compostabilidad.

En definitiva, los bioplásticos, sean biodegradables o no, se pueden incorporar como un material más de los que se fabrican los envases y embalajes, permitiendo ser incorporados dentro de los alcances de la ley, siempre y cuando se haga la distinción para diferenciarlos con los plásticos convencionales, de manera de asegurar que su recuperación y valorización sea apropiada a los procesos que responden estos materiales en particular. De lo contrario, el riesgo de contaminar los flujos de plásticos convencionales es muy alto, además de generar una confusión en los consumidores y perjudicar la segregación en el origen.

Al mismo tiempo, dada la complejidad que representa el mundo de los envases y embalajes, y como se mencionaba en las secciones anteriores, las normativas que restrinjan la comercialización de productos de un solo uso buscarán disminuir la presencia de elementos que sean difíciles de valorizar a menos que existan alternativas que logren resolver o mejorar las condiciones de recuperación. En este sentido, el uso de bioplásticos es valioso para un esquema REP en la medida que se asegure que los productos sean biodegradables y compostables.

En la siguiente sección se detallan criterios para asegurar una sustitución de materiales que pueda asegurar su incorporación en esquemas de recuperación y valorización como lo establece la REP.

7.2. Tendencias para evaluar alternativas de sustitución

Para asegurar que se pueda hacer una transición a materiales que permita crear productos que mejoren el impacto ambiental para plásticos de un solo uso se pueden tomar como referencia los criterios que se han creado para determinar la sustitución de materiales. Esto es un proceso que se complementa con leyes que promuevan la gestión, como la ley 20.920.

¿Cómo evaluar la calidad de las alternativas de sustitución?

Al considerar la sustitución de productos y materiales, es importante tener en consideración no solo los destinos posibles al final de su ciclo de vida, sino también los probables. La diferencia deviene de evaluar los procesos que hacen una alternativa de otra más probable. Entre estos destacan tres aspectos clave:

a) Mezcla de materiales:

No basta el uso de materiales con ciertas cualidades que le otorgan potencial reciclable o biodegradable si en el uso del material y su posible disposición no se resguarda una separación o destino que asegure el logro del dicho potencial. Por esta razón, los cambios de sustitución deben considerar seriamente las ocasiones de uso de los productos y cómo estos podrían cumplir con llegar a su destino final o su reintegración efectiva.

b) Contaminación:

Si consideramos la posibilidad de rescatar materiales o productos a través de reciclaje, distintos aditivos (p.ej. retardantes de llama, plastificadores, entre otros) serán incorporados en los nuevos productos, lo que podría llevar a problemas de desempeño e incluso riesgos de impacto ambiental y a la salud (Hahladakis et al. 2018). Por esta razón, es fundamental, en caso de considerar el reciclaje como potencial destino de un producto, diseñarlo en consideración de las transformaciones y posibles usos futuros del material.

c) Degradación:

Los materiales también pueden sufrir procesos de degradación derivados de su uso, exposición al medio ambiente y a transformaciones térmicas y físicas propias de los procesos de reciclaje (Vilaplana & Karlsson, 2008). Tener esto en consideración en la selección de sustitutos es importante. Como también si es que pueden ser biodegradados, o inclusive compostables.

¿Evitable o inevitable?

Al evaluar las características de un producto o material, Iacovidou et al. (2018) plantean considerar tres dimensiones:

a) Composicional:

Características inherentes, físicas y aquellas producidas por los procesos químicos, térmicos y mecánicos que ofrecen una combinación particular de propiedades técnicas relevantes para un uso particular que no se puede cambiar.

b) Contextual:

Características diseñadas para mezclar diferentes materiales con la finalidad de crear las propiedades relevantes para un uso particular y para mejorar el rendimiento y la confiabilidad de los materiales, así como atributos adicionales que los hacen atractivos, aceptables, comercializables, entre otros.

c) Dinámico:

Características creadas en función de las condiciones y prácticas ambientales específicas del área, los patrones culturales, la situación geopolítica, económica y la educación.

Dichas dimensiones permiten evaluar qué es evitable o inevitable en el diseño y producción de ciertos materiales, desde distintas perspectivas. En su trabajo, Iacovidou et al. (2018) realiza el ejercicio de evaluar una botella plástica para detectar los aspectos evitables e inevitables. Este tipo de aproximación podría representar un método para evaluar de manera sistemática distintos productos, previo a la definición de alternativas. La siguiente tabla ilustra esto:

	Características		Tipo
	Evitables	Inevitable	
Diseñado	Diseñadas que se consideran necesarias para mejorar los productos, pero que podrían ser evitables con reemplazos económica y técnicamente viables.	Necesarias e inevitables debido a su valor económico y social comparado con alternativas, y por su capacidad para cumplir con regulaciones de seguridad, higiene y protección.	Necesario
	Diseñadas para hacer los productos más atractivos o para cumplir regulaciones, pero que son innecesarias y evitables con cambios regulatorios y especificaciones nuevas.	Corresponde a características necesarias en el sentido de proveer funciones que no son esenciales, pero que otorgan valor agregado al producto.	Innecesario
Creado	Creadas a través de procesos de transformación mecánica-físico que afectan el desgaste de los productos. Los cuales se pueden evitar modificando procesos de manufactura.	Creadas por desgaste mecánicos o físicos y otros eventos naturales que no pueden ser evitados ni controlados.	Inducido físicamente
	Creadas por procesos de transformación térmica o química, que afectan el desgaste y pueden ser evitadas con mejoras en la manipulación y recolección diferenciada de los materiales.	Creadas por procesos de transformación térmica o química, que son inevitables.	Inducido químicamente

Tabla 11: Tabla comparativa de las características, diseño y creado de un producto. Fuente: elaboración propia en base a Iacovidou et al. (2018)

Normativas – REACH

Para asegurar la sustitución de materiales por otros que efectivamente reduzcan riesgos ambientales y a la salud, la Unión Europea creó REACH (*Registration, Evaluation, Authorization, and Restriction of Chemicals*, en inglés) en 2007. Dicha reglamentación busca que antes de aceptar y promover un reemplazo de materiales estos sean evaluados respecto a su inocuidad y supuestas ventajas. La razón de esto es que en el pasado se generaron sustituciones que simplemente cambiaron un impacto químico por otro. Por ejemplo, el reemplazo del tricloroetileno (TCE) por n-hexano, pasando de una sustancia cancerígena a otra neurotóxica (Fantke et al. 2015).

Algunos aspectos para tomar en consideración son:

- “Asegurarse de que las alternativas seleccionadas no sean sustancias que ya hayan sido clasificadas como peligrosas, ni estén relacionadas estructuralmente con alguna sustancia clasificada como peligrosa” (Sackmann, 2018)
- “La sustitución tiene como objetivo la reducción de sustancias peligrosas en productos y procesos por sustancias más seguras o el logro de una funcionalidad equivalente a través de medidas tecnológicas u organizativas” (Ahrens et al., 2016)

Una sustitución inadecuada de compuestos o materiales puede resultar de varios factores, entre estos:

- elegir la alternativa más económica o de mejor desempeño,
- falta de conocimiento de alternativas, y
- métodos para evaluar potenciales impactos son insuficientes.

Es importante destacar que al hablar de sustitución hay tres posibles alternativas:

Tipo	Descripción	Dificultad	Riesgo de sustitución inadecuada
Sustitución de un compuesto químico	Cambiar un compuesto específico en un producto.	Menor: suele ser la alternativa más económica ya que no requiere transformaciones mayores a sistema de producción.	Alto: dado que se pueden elegir compuestos con estructuras químicas similares que generen similares efectos nocivos.
Sustitución del uso final Cambiar un material completo o proceso de producción.	Cambiar un material completo o proceso de producción.	Medio: requiere cambiar sistema de producción, pero puede mantener gran parte de sistema logístico y modelo de negocio.	Medio: los nuevos materiales podrían estar asociados a otro tipo de impactos ambientales o afecciones a la salud de las personas que entran en contacto con el material.
Sustitución de un servicio (específico)	Cambio que evita la necesidad del producto por completo (p. ej. recibos en papel a digitales).	Alta: demanda repensar sistema completo y cuestionar la necesidad del producto.	Sin riesgo: en esta alternativa se elimina el producto completamente por lo que no habría ocasión de riesgo.

Para tomar en consideración: “Sin embargo, más allá de la evaluación de productos químicos sustitutos y el desarrollo de alternativas más seguras, se debe dar preferencia a la sustitución del uso final y la sustitución de

la función de servicio. Solo cuando esto no sea posible, deben identificarse sustitutos más seguros. Como no siempre hay alternativas "seguras" disponibles, la investigación puede tener que intensificarse para desarrollar químicos que sean benignos por diseño. Tales soluciones innovadoras conducirían a la química sostenible" (Sackmann et al. 2018)

Tabla 12: Alternativas de sustitución, características y potenciales impactos. Fuente: elaboración propia en base a Sackmann et al. (2018)

Un proceso de sustitución adecuado debe considerar tanto el riesgo potencial de la sustancia alternativa, como la exposición que genera y un análisis de su ciclo de vida (Arnold et al. 2017).

Estas distinciones son claves al intentar adelantarnos a cambios normativos o regulatorios, ya que significarán distintas estrategias posibles de transición. En el caso chileno, se ha tendido a la segunda alternativa (ver Tabla 12), donde se plantea la prohibición de ciertos materiales como resultado de su potencial riesgo para la salud e impacto en el medio ambiente. Esta alternativa no es necesariamente la más adecuada en todos los casos, ya que podría implicar mayores esfuerzos para los actores involucrados debido al recambio tecnológico y de sistemas de gestión. Además, no significa necesariamente un mejor resultado, ya que los nuevos materiales podrían traer consigo otros posibles impactos o no resolver adecuadamente aquellos que se buscaba atender con la normativa. Esto es algo fundamental a tener en consideración frente a futuras regulaciones.

7.3. Síntesis de conceptos y conclusiones

- Al considerar la sustitución de productos y materiales se debe tener en cuenta la mezcla de materiales, la contaminación y la degradación de ellos, ya que estos factores afectan la probabilidad de ocurrencia de un fin de vida en relación con otros.
- A la hora de evaluar si la sustitución es evitable o inevitable, Iacovidou et al. (2018) propone realizar una evaluación composicional, contextual y dinámica.
- REACH constituye una experiencia de evaluación de materiales a tener en consideración para el caso chileno.
- Entender la diferencia entre biodegradabilidad y bioplásticos, teniendo en cuenta que no todos los bioplásticos son biodegradables ni viceversa, es fundamental para seguir avanzando en la materia.
- Si bien en el escenario nacional la norma NCh 3399 define los requisitos para que envases y embalajes sean valorizables mediante compostaje y biodegradación, la norma no apunta a diferencias materiales biodegradables de aquellos que no lo son. A nivel de normas internacionales la situación es similar.
- No existe un criterio específico que permita afirmar si un material es o no un bioplástico.
- Los plásticos no son explícitamente regulados mediante la Ley REP y es solo a través de la categoría "envases y embalajes" que estos se verán afectados.

- Los plásticos biodegradables constituyen una alternativa para los productores y gestores de productos prioritarios que se verán afectados por la Ley REP. La biodegradabilidad no es privilegiada en el contexto de la Ley.
- El etiquetado de los productos biodegradables y la estrategia comunicacional de las marcas constituyen factores de concientización necesarios para evitar riesgos de contaminación de materiales.

8. Revisión de alternativas de tecnologías en materiales y potenciales soluciones aplicables en Chile

Las bolsas de plástico tradicional pueden fabricarse por extrusión, por soplado, y las botellas pueden moldearse por soplado en caliente a partir de una probeta del material a emplear. Si bien existen materiales termoestables, su uso como contenedores diversos es bastante limitado dada la gran cantidad de materiales derivados del petróleo disponibles en el mercado (HPODE, LPDE, PP, PS, PVC, PC, entre otros), y una infinidad de copolímeros asociados (ABS, AB, entre otros).

El uso de las tecnologías existentes de moldeo y extrusión para la producción de contenedores y películas de diverso tipo también puede ser usado con diversos tipos de bioplásticos entre los que destaca el PAL por su versatilidad. También podrán emplearse estas tecnologías con HPDE derivado de bioetanol y BioPET, ya que el polímero es esencialmente análogo a aquel producido por derivados del petróleo. Su masificación local dependerá casi exclusivamente de los costos de las resinas vírgenes, que siguen reduciéndose, en el mercado chino, que es principal proveedor de estos materiales.

El reciclaje de materiales plásticos siempre ha estado limitado por el número de ciclos del material y por la calidad con la que puede obtenerse en términos de limpieza. Técnicamente, la adición de plásticos reciclados a nuevos materiales debe realizarse cuidando que se trate de la misma resina (p.ej. HPE con HPDE, PP con PP, PS con PS, etc.), ya que sus diferencias en propiedades fisicoquímicas producen incompatibilidades en los procesos de moldeo y extrusión. La adición de plástico reciclado en la industria de bolsas plásticas no puede superar el 2%, ya que sobre ese valor las pérdidas del producto final son significativas y no resultan convenientes. Este esquema de reciclaje de polímeros derivados del petróleo y, por consiguiente, también de bioplásticos, tendrá siempre esta limitación. Los procesos de despolimerización en desarrollo podrían incrementar la reciclabilidad de estos materiales, sin embargo, su aplicación a bioplásticos es aún emergente.

En términos de las tecnologías de valorización de plásticos y bioplásticos adicionales al reciclaje, la valorización energética en términos de procesos termoquímicos podría permitir un uso de diversos materiales hacia la producción de combustibles en diversas fases; a saber, gases (H₂ y CO₂), líquidos (bio-oil, si se usa bioplástico, mezcla de diversos compuestos orgánicos combustibles); y sólidos (biochar y carbón). Estos procesos se realizan con déficit y ausencia de oxígeno, de modo de evitar que el polímero se combustione perdiendo su poder calorífico. Las técnicas de pirólisis pueden llevar estos materiales a tres fases combustibles; sin embargo, si son llevados preferentemente a fase gas se denomina gasificación y se caracteriza por realizarse a altas temperaturas y presiones cercanas a la atmosférica. Si el proceso de pirólisis se lleva esencialmente hasta combustibles, en fase líquida, se denomina licuefacción, etapa que se realiza a altas presiones y temperaturas moderadas. Este último ciclo representa uno de los polos

de desarrollo más prometedores para la producción de combustibles a partir de plásticos y bioplásticos. Posee diversas variantes y su nivel de desarrollo permite actualmente la adquisición de plantas llave en mano para estos fines, aunque de escalas medianas (véase Alphakat, Alemania, por ejemplo).

En términos locales, se espera que nuevos materiales 100% derivados de biomasa y 100% reciclables comiencen a abarcar el mercado de envases y embalajes. Su biodegradabilidad permitirá gestionarlos con facilidad en mezclas de diversos bioplásticos, y su composición permitirá su utilización en bolsas y recipientes de un solo uso bajo el marco legislativo habitual. El resto de los plásticos derivados del petróleo tradicionales se gestionarán localmente en cantidades moderadas (HPDE, PET), y requerirá la búsqueda de mercados distintos al chino para su recuperación a través de reciclaje.

9. Análisis y discusión final

A modo de síntesis, la Figura 21 contiene las recomendaciones asociadas a las consideraciones que se deben tener para enfrentar potenciales transiciones de materiales y productos entendiendo que el contexto normativo y político está apuntando a buscar maneras de mejorar el desempeño ambiental de los plásticos de un solo uso.

Como se revisó en las secciones anteriores, las alternativas que presentan los bioplásticos pueden generar oportunidades de mejora. Sin embargo, esto no sucede por el cambio de plásticos convencionales a bioplásticos solamente, sino que también deben existir otros elementos que apoyen y resguarden que el cambio efectivamente vaya a generar una mejora, y al mismo tiempo resguarde la factibilidad para que las industrias afectadas puedan pasar de un estado a otro de manera gradual, sin perjudicar negativamente su sostenibilidad en el tiempo.

Los 3 focos que se deben considerar son:

- Cambio de materiales que sean sustitutos con mejor desempeño ambiental.
- Gestión de residuos para asegurar su disposición en instalaciones que puedan valorizar correctamente en la etapa de fin de vida y permita cerrar ciclos.
- Certificación que permita distinguir y reconocer los materiales para orientar la segregación en origen y permitir distinguir entre bioplásticos que cumplan los requerimientos versus los que no lo hacen.

Para implementar soluciones de sustitución es importante considerar los siguientes factores:

Ámbito	Foco en	Consideraciones
1. Cambio de Materiales	Plásticos Tradicionales ↓ Bioplásticos biodegradables	Desarrollo futuro de Reciclaje Químico Foco en origen de producción de biomasa
2. Gestión de residuos	Recolección como residuos compostables Incorporarse a la REP Mejora en instalaciones para realizar compostaje industrial	Simplifica la recolección de residuos plásticos Tecnificación de rellenos sanitarios para recuperación de metano en mono rellenos. (Biodigestión) Aumentar sistemas de compostaje industrial. No se puede mezclar con sistemas de reciclaje tradicional.
3. Certificaciones	Exigencia de validar resinas que se utilizan en Chile a través de un proceso de certificación nacional e internacional.	Difícil de distinguir visualmente los tipos de plásticos Aumento acelerado de oferta de bioplásticos en Chile.

Figura 21: Cuadro resumen de criterios y consideraciones para una correcta transición hacia nuevos materiales en plásticos de un solo uso. Elaboración propia.

Los bioplásticos pueden ser completamente compatibles con los cambios normativos y las nuevas exigencias para mejorar el desempeño ambiental. En términos técnicos, existen diversos tipos de bioplásticos con diferentes propiedades. Hay solo algunos que cumplen todas las condiciones para ser materiales de transición.

El cambio de plásticos derivados del petróleo hacia bioplásticos permite pasar de la obtención de materia prima no renovable (combustibles fósiles) hacia la de recursos renovables (biomasa). Dentro de los bioplásticos, los considerados biodegradables son los que vuelven a ser nutrientes para renovar la biomasa. Por lo tanto, dentro de las consideraciones importantes en este foco de transición se requiere que la forma como se produce la biomasa sea con manejos responsables que no degraden suelos o involucren deforestar para generar más cultivos. Un segundo punto, es que existen ciertos cuestionamientos de cultivar biomasa para productos desechables en contraste de que sean para producción de alimentos. Estos puntos aún son desafíos que se deben abordar en el desarrollo de una emergente industria de bioplásticos.

En una mirada más hacia las constantes innovaciones que se están desarrollando en materiales, los desafíos actuales han reactivado la creación de nuevos tipos de plásticos que tienen la capacidad de poder ser reciclados químicamente. Esto significa que a diferencia del reciclaje mecánico, en donde a través de transformaciones físicas se vuelve a moldear una resina, sacrificando parte de sus propiedades, el reciclaje químico permite realizar la recuperación mediante ciertas reacciones químicas activadas por procesos controlados (ejemplo, exposición a ciertas frecuencias de luz, disolverlos en determinadas sustancias, o concentraciones de humedad) que permiten recuperar los polímeros que forman el plástico sin que estos tengan

algún cambio a cuando fueron formados por primera vez. En el reciclaje mecánico, después de recuperar un par de veces los plásticos, estos no se pueden reutilizar para hacer los mismos productos, sino que eventualmente se deberán valorizar de otra manera. Mientras en el caso del reciclaje químico lo que se busca es poder recuperar los polímeros intactos, permitiendo que se puedan emplear como la primera vez, es decir, se pueden usar indefinidas veces ya que vuelven a un estado de materia prima virgen. Permite crear los mismos productos en los que se usó el material por primera vez.

Un segundo foco de acción está en fortalecer la recolección y valorización en el fin de vida. En este caso, como se explicó en secciones anteriores, para asegurar que los bioplásticos biodegradables puedan volver a cerrar el ciclo de carbono estos deben primero ser compostables, es decir que se biodegraden bajo determinadas condiciones que se pueden controlar y adecuar para ser escaladas de manera industrializada como los sistemas de compostaje industrial.

Independiente de que puedan existir materiales que se puedan compostar en condiciones domiciliarias, no exime que se debe realizar una gestión que permita recuperar y asegurar la valorización de los residuos generados. En este caso se incorpora un material que se puede comportar de forma similar a los residuos orgánicos.

Si los residuos orgánicos o materiales compostables llegan a rellenos sanitarios, los impactos ambientales van a ser similares en cuanto a que se generan gases de efecto invernadero por causa de la descomposición anaeróbica (con poco oxígeno). Por ello, independiente de que se promuevan normativas que restrinjan el uso de plásticos convencionales en materiales desechables, no significa que los productos afectados van a desaparecer necesariamente, pero si buscarán maneras de evitar los impactos a los cuales han incentivado el cambio inicial.

En la práctica, el uso de bioplásticos compostables puede ser completamente compatible con las obligaciones de recuperación y valorización que exige la REP, ya que, si se considera como un material más dentro del mundo de los plásticos, esto permite gestionarlos de igual manera que los otros envases y embalajes hechos de otros materiales. Por ejemplo, se podría tener un contenedor especial para bioplásticos compostables que se usen para envases y embalajes y ser valorizados en sistemas de compostaje industrial. Poder clasificar varios plásticos distintos en un solo tipo de contenedor facilita la segregación y disminuye la complejidad actual de la separación de plásticos convencionales.

Sin embargo, hay ciertas barreras asociadas a la gestión de residuos. Por una parte, existe poca infraestructura de compostaje industrial, bajo conocimiento sobre los bioplásticos y la biodegradabilidad, y las tasas de recuperación siguen siendo bajas. Además, es importante mencionar que los bioplásticos biodegradables no se deben mezclar con los bioplásticos no biodegradables o los plásticos convencionales. Por lo tanto, el atributo de biodegradabilidad y compostabilidad es el criterio que prima al momento de generar la segregación en origen de los residuos y posteriormente del sistema de valorización a donde se deben disponer.

Dado que existe una falta de infraestructura para realizar compostaje industrial, una alternativa puede ser que los rellenos sanitarios dentro de la gestión que realizan comiencen a manejar mono-rellenos de solo componentes orgánicos compostables, lo cual puede ser factible de realizar si es que existe una segregación adecuada. En la actualidad, algunos rellenos sanitarios manejan riles y lodos en mono-rellenos especiales para tratar este tipo de residuos.

Finalmente, dado que las nuevas exigencias para plásticos de un solo uso han significado un aumento en la oferta de proveedores que están importando materiales derivados de biomasa y/o que además sean biodegradables, se hace necesario poder tener una certificación que pueda reconocer los materiales que cumplen las condiciones y pueden ser utilizados sin problemas versus los que pueden no cumplir con los requerimientos mencionados a lo largo del estudio. Al igual como sucedió con la ley de bolsas plásticas, sin métodos de verificación de cumplimiento es difícil distinguir visualmente si un plástico es biodegradable o no, si es de origen de biomasa o de petróleo, dado que físicamente son muy similares.

Las regulaciones sobre plásticos de un solo uso van a tender a buscar soluciones que incentiven promover alternativas más sostenibles y que mejoren el desempeño ambiental. Los desafíos medio ambientales son fenómenos complejos que involucran varios factores al mismo tiempo y de manera interdependiente. Esto significa que las soluciones responden al mismo patrón, es decir deben ser un conjunto de acciones que se complementen y refuercen las sinergias. Esto exige que se pueda entender como varias normativas existentes y nuevas apunten a los mismos objetivos, y evitar que se contradigan o generen efectos de “*trade off*” entre alternativas.

10. Conclusiones y recomendaciones

Como conclusión estamos entrando en una época donde la relación con los plásticos está siendo reformulada, a través de una transición amparada por distintas estrategias, y con un futuro basado en la innovación y el desarrollo de nuevos materiales. Para poder compatibilizar esta transición en la sociedad, es importante reconocer que los criterios ambientales y de sostenibilidad que se están exigiendo con mayor fuerza no pueden ser abordados con una sola regulación, normativa o legislación, o por una sola implementación tecnológica o de gestión. Sino que debe ser abordado como un problema de alta complejidad e interdependencia. Lo que significa que las soluciones también deberán ser combinaciones entre diferentes instrumentos y acciones que promuevan tanto los cambios en materiales para determinados productos, la mejora en la gestión y valorización de los materiales, cambios en la forma en que utilizamos ciertos productos, y asegurar que existan métodos para verificar y certificar materiales que cumplan con los requerimientos necesarios. Siendo todas complementarias y conectadas entre sí, vemos que el mejor resultado posible es en base a un balance más que en potenciar cada una por separado.

Teniendo en consideración los puntos antes mencionados, es recomendable para las industrias que van a ser afectadas en estos periodos de transición:

- Aumentar el conocimiento sobre los impactos ambientales de los productos que comercializan, de manera de poder adelantarse a implementar planes de gestión que permitan medir y manejar los puntos críticos más relevantes.
- Promover soluciones mixtas que permitan fomentar el cambio de materiales, mejoras en la gestión de recolección y valorización, cambios en la usabilidad y la certificación de materiales. En este sentido, hay una oportunidad de mejorar y redefinir varios productos que actualmente serán cuestionados en el corto plazo. Ya vemos como las bolsas plásticas y las bombillas son productos que están sufriendo cambios importantes. Esto se

puede extender a otros productos, donde como se menciona en el informe implica una revisión caso a caso para determinar cuál es la mejor estrategia de transición.

- Establecer propuestas de transición para próximos productos que podrán entrar en regímenes similares a lo sucedido con las bolsas y las bombillas. Esto significa buscar mejores alternativas que se puedan defender desde la perspectiva ambiental, y que al mismo tiempo permitan el desarrollo de una industria o potenciar alguna existente. Por ejemplo, en el caso de las botellas plásticas, tanto sean de plástico convencional o si se promueve el plástico biodegradable de fuentes renovables, en ambos casos se requiere de una gestión adecuada del residuo generado post-consumo. Esto implica potenciar la implementación de la ley REP.
- Evaluar el desarrollo de una mejor industria de compostaje industrial, con foco a que, frente al aumento de plásticos biodegradables, se requerirá de una mayor capacidad a la existente en el país.
- Asegurar mediante certificaciones nacionales que los productos hechos en base a bioplásticos deben indicar que son biodegradables, compostables y la mejor manera de valorizarlos post-consumo, para asegurar estándares de calidad mínimos y evitar confusiones que desorienten a los productores, clientes y entidades fiscalizadoras.
- La tendencia internacional apunta a restringir el uso de materiales que no permitan una gestión de residuos eficiente y estén asociados a impactos ambientales negativos.
- Existen bioplásticos que pueden reemplazar la totalidad de plásticos tradicionales. Sin embargo, sólo algunos han alcanzado un precio competitivo. Se requiere potenciar las economías de escala para bioplásticos. Se espera que esto ocurra en los próximos años.
- Los bioplásticos biodegradables generan una oportunidad de mejora en la gestión de residuos, dado que permiten simplificar la recolección de plásticos en un solo contenedor de biodegradables. La gestión mezclada con plásticos no biodegradables también se simplifica con miras a la valorización energética.
- Una transición a bioplásticos biodegradables permite reducir impactos ambientales, siempre y cuando exista un manejo responsable de la producción de biomasa y sus recursos asociados, además de su distancia de los centros de producción y consumo.
- Los plásticos biodegradables pueden disponerse en rellenos sanitarios contribuyendo a la producción de biogás y a la generación eléctrica a partir de él, esquema ya convencional para grandes rellenos sanitarios en Chile. Sin embargo, esta es una alternativa que se debe manejar y reducir en el tiempo. También se abre la oportunidad de que los rellenos sanitarios puedan habilitar mono-rellenos tecnificados que permitan realizar proceso de compostaje industrial como alternativa para tratar residuos orgánicos.
- La industria de los bioplásticos aún representa un bajo porcentaje sobre el total de plásticos producidos a nivel mundial, sin embargo, presenta un potencial de crecimiento significativo, el cual será impulsado por estrategias de sustitución aplicadas a través de políticas públicas y normativas.

11. Bibliografía

- A., S. *Latest Innovations in Flexible Packaging Films. Bioplastic Magazine*. 2008, pp 8–10.
- Abraham, J. D.; Kost, J.; Wiseman, D. M. *Handbook of Biodegradable Polymers*. 2011. Vol. 128.
- Aeschelmann, F.; Carus, M.; Baltus, W.; Carrez, D.; de Guzman, D.; Käß, H.; Philp, J.; Ravenstijn, J. *Bio-Based Building Blocks and Polymers. Global Capacities and Trends 2016 – 2021. Market and Trends Report*. 2016, No. February 2017, 1–24.
- Ahmed, S.; Ikram, S. *Chitosan Based Scaffolds and Their Applications in Wound Healing. Achievements in the Life Science*. 2016, 10 (1), 27–37.
- Ahrens, A., Braun, A., von Gleich, A., Heitmann, K., Lißner, L., 2016. *Hazardous Chemicals in Products and Processes: Substitution as an Innovative Process. Physica-Verlag*.3-7908-1642-6pp. 21–23.
- Anne, B. *Biodegradable Polymers and Composites. Integrated waste Management*. 2011, 1, 341–364 Chapter 18.
- Arnold, S.M., Greggs, B., Goyak, K.O., Landenberger, B.D., Mason, A.M., Howard, B., et al., 2017. *A quantitative screening-level approach to incorporate chemical exposure and risk into alternative assessment evaluations. Integrated Environmental Assessment Management* 13 (6), 1007–1022.
- Asipla, E. De. (2017). Análisis del proyecto de ley que regula el uso de plásticos desechables de un solo uso.
- Asipla, E. Presentación a Comisión de Medio Ambiente y Bienes Nacionales del Senado. 2017.
- Ashter, S. A. *Applications of Biomass-Derived Polymers and Chemicals. Technologies Applications Polymers Derived from Biomass* 2018, 223–248.
- Astete, C. E.; Sabliov, C. M. *Synthesis and Characterization of PLGA Nanoparticles. J. Biomater Science, Polymers Edition*. 2006, 17 (3), 247–289.
- Avérus, L.; Pollet, E. *Environmental Silicate Nano-Biocomposites*; 2012; Vol. 50.
- Babu, A.; Ramesh, R. *Multifaceted Applications of Chitosan in Cancer Drug Delivery and Therapy. Mar. Drugs* 2017, 15 (4), 1–19.
- Bio-Flex A 4100 CL. <https://fkur.com/es/marcas/bio-flex-3/bio-flex-a-4100-cl/> (accessed Aug 31, 2018).
- Barcelona, U. de. Materials <http://www.ub.edu/cmematerials/es/> (accessed Aug 31, 2018).
- Bonten C., Z. P. *New Bioplastics for Multilayer Systems. Bioplastic Magazine*. 2008, pp 3–6.
- Bottle & Packaging. *Green packaging, PLA plastic containers*.
- Brangenberg, S. *Bioplastics Magazine*. 2008, p 45.
- Brockhaus, S.; Petersen, M.; Kersten, W. *A Crossroads for Bioplastics: Exploring Product Developers' Challenges to Move beyond Petroleum-Based Plastics. Journal of Cleaner Production*. 2016, 127, 84–95.
- Brother, George. H. *Casein Plastics Industrial Engineering Chemistry*. 1945, 32 (1), 31–33.
- Caliari, Í. P.; Barbosa, M. H. P.; Ferreira, S. O.; Teófilo, R. F. *Estimation of Cellulose Crystallinity of Sugarcane Biomass Using near Infrared Spectroscopy and Multivariate Analysis Methods. Carbohydr. Polym.* 2017, 158, 20–28.
- Castro-Aguirre, E.; Iñiguez-Franco, F.; Samsudin, H.; Fang, X.; Auras, R. *Poly(Lactic Acid)—Mass Production, Processing, Industrial Applications, and End of Life. Advanced Drug Delivery Reviews*. 2016, 107, 333–366.
- Chandra, R. *Biodegradable Polymers. Progress in Polymer Science* 1998, 23 (7), 1273–1335.

- Chanvrier, H.; Valle, G. Della; Lourdin, D. *Mechanical Behaviour of Corn Flour and Starch-Zein Based Materials in the Glassy State: A Matrix-Particle Interpretation*. *Carbohydrate Polymers*. 2006, 65 (3), 346–356.
- Chen, Y.; Zhang, Y.; Xu, C.; Cao, X. *Cellulose Nanocrystals Reinforced Foamed Nitrile Rubber Nanocomposites*. *Carbohydrate Polymers*. 2015, 130, 149–154.
- Chapalain, F. *Packaging Article*. WO2009024812, 2007.
- *European Commission. A European Strategy for Plastics in a Circular Economy Factsheet*. 2018.
- Dmytrów, I.; Szczepanik, G.; Kryza, K.; Mituniewicz-Matek, A.; Lisiecki, S. *Impact of Polylactic Acid Packaging on the Organoleptic and Physicochemical Properties of Tvarog during Storage*. *International Journal of Dairy Technology*. 2011, 64 (4), 569–577.
- Donglu, S. *Synthetic Biodegradable Polymers*. Chapter 12 2006, 187–197.
- Emadian, S. M., Onay, T. T., & Demirel, B. *Biodegradation of bioplastics in natural environments*. *Waste Management*, 2017, 59, 526-536.
- Fantke, P., Weber, R., Scheringer, M., 2015. *From incremental to fundamental substitution in chemical alternatives assessment*. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*. 1, 1–8.
- Fernandez, J. G.; Ingber, D. E. *Bioinspired Chitinous Material Solutions for Environmental Sustainability and Medicine*. *Advanced Functional Materials*. 2013, 23 (36), 4454–4466.
- Fundación Basura. *Declaración Comisión de Medio Ambiente Cámara de Diputados*. 2018.
- Fromme, H., Lahrz, T., Kraft, M., Fembacher, L., Dietrich, S., Sievering, S., et al., 2013. *Phthalates in German daycare centers: occurrence in air and dust and the excretion of their metabolites by children* (LUPE 3). *Environment International*. 61, 64–72.
- Girdhar, A.; Bhatia, M.; Nagpal, S.; Kanampalliwar, A.; Tiwari, A. *Journal of Petroleum & Process Parameters for Influencing Polyhydroxyalkanoate Producing Bacterial Factories : An Overview*. 2013, 4 (5), 8.
- Guo, C.; Zhou, L.; Lv, J. *Poly(Lactic Acid) Properties as a Consequence of Poly (Butylene Adipate-Co-Terephthalate) Blending and Acetyl Tributyl Citrate Plasticization*. *Applied Polymer Science*. 2008, 21 (7), 449–456.
- Guoqiang, C. *The Application and Industrialization of Bio - Based Degradable Materials — Industrialization of PHA Market Prospect of PHA*. *China Plast. Rubber J*. 2010, 1–2.
- Hahladakis, J.N., Velis, C.A., Weber, R., Iacovidou, E., Purnell, P., 2018. *An overview of chemical additives present in plastics: migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling*. *J. Hazard. Mater.* 344, 179–199.
- James M. Pachence, M. P. B. *Biodegradable Polymers*. In *Principles of Tissue Engineering (2007, Academic Press)*; 2007; pp 323–339.
- Keenan, T. W.; Patton, S. *The Structure of Milk: Implications for Sampling and Storage*. *Handbook of Milk Composition*. 1995, 5–50.
- Kulsoom B, Reetika P, Jamal-e-Fatima and Roohi. *New Advancements Of Bioplastics In Medical Applications * Protein Research Laboratory, Department of Bioengineering, Integral University, Lucknow - 226026, Uttar Pradesh, India*. 2018, 9 (2), 402–416.
- Kosior, E.; Bragança, R.; Fowler, P. *Lightweight Compostable Packaging: Literature Review*. *Waste Resour. Action Programme*. 2006, INN003/26 (November 2005), 1–48.
- Iacovidou E., et al., 2018. *Quality of resources: A typology for supporting transitions towards resource efficiency using the single-use plastic bottle as an example*. *Science of the total environment*.
- Lawton, J. W. *Zein: A History of Processing and Use*. *Cereal Chemistry*. 2002, 79 (1), 1–18.
- Lendvai, L.; Apostolov, A.; Karger-Kocsis, J. *Characterization of Layered Silicate-Reinforced Blends of Thermoplastic Starch (TPS) and Poly (Butylene Adipate-Co-Terephthalate)*. *Carbohydr. Polym.* 2017, 173, 566–572.
- Luengo, J. M.; Sandoval, S. *Bioplastics from Microorganisms*. 251–260.
- Madison, L. L., & Huisman, G. W. *Metabolic Engineering of Poly (3-Hydroxyalkanoates): From DNA to Plastic*. *Microbiological Review*. 1999, 63 (1), 21–53.

- Malinconico, M. 2017. *Soil Degradable Bioplastics for a Sustainable Modern Agriculture*. Springer, *Green Chemistry and Sustainable Technology*.
- Malinconico, M. (2017). *Soil Degradable Bioplastics for a Sustainable Modern Agriculture*. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-54130-2>
- Masanobu Ajioka Yasuhiro, Kitahara Kazuhiko Suzuki, Takayuki Watanabe, 泰広 北原正伸 味岡孝行 渡辺和彦 鈴木. *Decomposable Container*. JPH0623828 A, 1992.
- Masanobu Ajioka, Naoto Tani, 岡正伸 味直と谷. *Container with Cutter for Long Film Cylindrically Rolled Up*. JPH101143, 1998.
- Maša Šprajcar, Petra Horvat, A. K. *Biopolymers and Bioplastics Plastics Aligned With Nature*. Natl. Inst. Chem. Ljubljana 2013, No. *Biopolymers And Bioplastics Plastics Aligned With Nature*, 32.
- Meinel, L.; Hofmann, S.; Karageorgiou, V.; Kirker-Head, C.; McCool, J.; Gronowicz, G.; Zichner, L.; Langer, R.; Vunjak-Novakovic, G.; Kaplan, D. L. *The Inflammatory Responses to Silk Films in Vitro and in Vivo*. *Biomaterials* 2005, 26 (2), 147–155.
- Messersmith, P. B.; Giannelis, E. P. *Synthesis and Barrier Properties of Poly(E-caprolactone)-layered Silicate Nanocomposites*. *Journal of Polymer Science. Part A Polymer Chemistry* 1995, 33 (7), 1047–1057.
- Michael, N. *Biopolymers: Applications And Trends*; 2015.
- Mothes, G.; Ackermann, J. U.; Babel, W. Mole Fraction Control of Poly([R]-3-Hydroxybutyrate-Co-3-Hydroxyvalerate) (PHB/HV) Synthesized by *Paracoccus Denitrificans*. *Eng. Life Sci.* 2004, 4 (3), 247–251.
- Mueller, R. *Biological Degradation of Synthetic Polyesters — Enzymes as Potential Catalysts for Polyester Recycling*. 2006, 41, 2124–2128.
- Nair, L. S.; Laurencin, C. T. *Biodegradable Polymers as Biomaterials*. *Progress in Polymer Science*. 2007, 32 (8–9), 762–798.
- Niaounakis, M. *Biopolymers: Processing and Products*; 2014.
- Pachence, J. *Biodegradable Polymers*. 2007, 323–339.
- Pilla, S. *Handbook of Bioplastics and Biocomposites Engineering Applications*. *Handbook. Bioplastics Biocomposites Engineering Applications*. 2011. Portnoy, R. C.; Navarrete, L.; Hermanson, N. *Absorbable Polymers with Engineered Biomedical Properties*. *Medical Plastics Division*. 1998, 167–169.
- *Plastics Europe* (PEMRG); *Conversion Market & Strategy GmbH*. *Plásticos – Situación en 2017*. *Plastic the Facts 2017*. 2017, p 50.
- Popular Magazine Co. *Popular Mechanics Magazine*. *Hearst Magazines*. 64 (4). 1936, p 513.
- Radusch, H. *Unconventional Processing Methods for Poly(Hydroxybutyrate)*. In *Engineering Biopolymers Homopolymers, Blends and Composites* Hanser, 2007; pp 717–722.
- Rudnik, E. *Compostable Polymer Materials*; 2008.
- Sackmann, K. et al., 2018. *Impact of European chemicals regulation on the industrial use of plasticizers and patterns of substitution in Scandinavia*. *Environment International*. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.06.037>
- *Senate of Australia*. *Environment and Communication References Committee, Never waste a crisis: the waste and recycling industry in Australia*. 2018, Commonwealth of Australia.
- Selling, G. W.; Biswas, A.; Patel, A.; Walls, D. J.; Dunlap, C.; Wei, Y. *Impact of Solvent on Electrospinning of Zein and Analysis of Resulting Fibers*. *Macromol. Chemistry and Physics*. 2007, 208 (9), 1002–1010.
- Shahidi, F.; Arachchi, J. K. V.; Jeon, Y. J. *Food Applications of Chitin and Chitosans*. *Trends Food Science Technology*. 1999, 10 (2), 37–51.

- Shi, C.; Zhu, Y.; Ran, X.; Wang, M.; Su, Y.; Cheng, T. *Therapeutic Potential of Chitosan and Its Derivatives in Regenerative Medicine*. *Journal of Surgical Research*. 2006, 133 (2), 185–192.
- Shukla, S. K.; Mishra, A. K.; Arotiba, O. A.; Mamba, B. B. *Chitosan-Based Nanomaterials: A State-of-the-Art Review*. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2013, 59, 46–58.
- Simon, B., Amor, M. B., & Földényi, R. *Life cycle impact assessment of beverage packaging systems: focus on the collection of post-consumer bottles*. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 112, 238–248.
- Sina Ebnesajjad. *Handbook of Biopolymers and Biodegradable Plastics*; 2013.
- Smith, R. *Biodegradable Polymers for Industrial Applications*; Woodhead Publishing Limited, 2005.
- Stagner, J. A.; Alves, V. D.; Narayan, R. *Application and Performance of Maleated Thermoplastic Starch-Poly(Butylene Adipate-Co-Terephthalate) Blends for Films*. *Journal of Applied Polymer Science*. 2012, 126 (SUPPL. 1).
- Suwanmanee, U., Varabuntoonvit, V., Chaiwutthinan, P., Tajan, M., Mungcharoen, T., & Leejarkpai, T. *Life cycle assessment of single use thermoform boxes made from polystyrene (PS), polylactic acid, (PLA), and PLA/starch: cradle to consumer gate*. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 2013, 18, 401–417.
- Tang, X. Z.; Kumar, P.; Alavi, S.; Sandeep, K. P. *Recent Advances in Biopolymers and Biopolymer-Based Nanocomposites for Food Packaging Materials*. *Critical Review in Food and Science and Nutrition*. 2012, 52 (5), 426–442.
- Thielen, M. *Beautiful Plastics Made by Nature*. *Bioplastic Magazine*. 2009, p 13.
- Thielen, M. *Green Solutions for Green People*. *Bioplastic Magazine*. 2014, p 9.
- Toyoshima K. *Applications of Polyvinylalcohol in Adhesives*. 413.
- Unitika L. Terramac films. <https://www.unitika.co.jp/terramac/e/> (accessed Aug 31, 2018).
- Valero-Valdivieso, M. F.; Ortegón, Y.; Uscategui, Y. *Biopolímeros: Avances y Perspectivas*. *Dyna* 2013, 80 (181), 171–180.
- Van der Zee, M., 1997. *Structure-Biodegradability relationships of polymeric material*. *Doctoral thesis, Universiteit Twente, Enschede*.
- Vesanto R., Schaefer H., D. W. *Chem. Abstr.* 83 117430 V. 1975, 57, 399.
- Vilaplana, F., Karlsson, S., 2008. *Quality concepts for the improved use of recycled poly-meric materials: a review*. *Macromolecular Materials and Engineering*. 293, 274–297.
- Vroman, I., & Tighzert, L. (2009). *Biodegradable polymers*. *Materials*, 2(2), 307–344. <https://doi.org/10.3390/ma2020307>
- Witt, U.; Miller, R.; Augustaa, J.; Widdecke, H. *Synthesis, Properties and Biodegradability of Polyesters Based on 1,3-Propanediol*. 1994, 802, 793–802.
- Woodhead Publishing. *Trends in Packaging of Food, Beverages and Other Fast-Moving Consumer Goods (FMCG)*; 2013.
- Woodruff, M. A.; Hutmacher, D. W. *The Return of a Forgotten Polymer - Polycaprolactone in the 21st Century*. *Progress in Polymer Science*. 2010, 35 (10), 1217–1256.
- Yates, M. R., & Barlow, C. Y. *Life cycle assessments of biodegradable, commercial biopolymers—a critical review*. *Resources, Conservation and Recycling*, 2013, 78, 54–66.
- Yeh, J.; Tsou, C.; Huang, C.; Chen, K.; Wu, C. *Compatible and Crystallization Properties of Poly (Lactic Acid)/ Poly (Butylene Adipate- Co -Terephthalate) Blends*. 2009, 680–687.
- Zhao, P.; Liu, W.; Wu, Q.; Ren, J. *Preparation, Mechanical, and Thermal Properties of Biodegradable Polyesters / Poly (Lactic Acid) Blends*. *Journal of Nanomaterials*. 2010, 1–8.