



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE INGENIERÍA

“Aplicación del Eco-diseño para disminuir el impacto ecológico del envasado y empaquetado de una lombricomposta sólida y líquida”

T E S I S

Para obtener el título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Presenta:

Eduardo Reyes Blancas

Director externo:

Dr. José Cinco Patrón Ibarra

Asesora interna:

Mtra. María de los Dolores Ramírez Álvarez

Puebla, Puebla

Enero, 2021



BUAP

Oficio No. SAC/1221/2021

C. EDUARDO REYES BLANCAS
PASANTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA
INDUSTRIAL
Presente.

En atención al Tema de Tesis que puso Usted a consideración de la Coordinación de Área y de esta Secretaría Académica en coordinación con la Dirección de ésta Facultad de Ingeniería, dentro del marco de Titulación por Examen Profesional en línea, como medio de Titulación se dio revisión y se ha autorizado el tema denominado:

“APLICACIÓN DEL ECO-DISEÑO PARA DISMINUIR EL IMPACTO ECOLÓGICO DEL ENVASADO Y EMPAQUETADO DE UNA LOMBRICOMPOSTA SÓLIDA Y LÍQUIDA.”

Por lo anterior hago de su conocimiento que se asigna como Asesor de tema al Dr. José Cinco Patrón Ibarra y como co-asesora a la Mtra. María de los Dolores Ramírez Álvarez.

Sin más por el momento, le envío la seguridad de mi consideración más distinguida.

Atentamente

“Pensar bien, para vivir mejor.”

H. Puebla de Z. a 22 de junio de 2021

M. I. Angel Cecilio Guerrero Zamora
Director



M'ACGZ /barv
C.c.p. Interesado
C.c.p. Archivo

Facultad
de Ingeniería

Bldv. Valsequillo y Av. San Claudio
s/n, edif. ING 4, Col. San Manuel,
Ciudad Universitaria,
Puebla, Pue. C.P. 72570
222 229 55 00 Ext. 7610



M. I. Ángel Cecilio Guerrero Zamora
Director de la Facultad de Ingeniería
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
P r e s e n t e

El que suscribe: Dr. José Cinco Patrón Ibarra, asesor del tema de tesis:

“APLICACIÓN DEL ECO-DISEÑO PARA DISMINUIR EL IMPACTO ECOLÓGICO DEL ENVASADO Y EMPAQUETADO DE UNA LOMBRICOMPOSTA SÓLIDA Y LÍQUIDA”.

Presentada por el C. Eduardo Reyes Blancas, pasante del Colegio de Ingeniería Industrial, y en atención al oficio No. SAC/1221/2021 con fecha de emisión 22 de junio de 2021, me permito informar a Usted que después de haber revisado cuidadosamente el contenido temático, metodología, redacción y ortografía de la tesis correspondiente, no tengo inconveniente en autorizar la impresión del mismo.

Sin otro particular, le reitero la seguridad de mi más atenta y distinguida consideración.

A t e n t a m e n t e
“Pensar bien, para vivir mejor”
H. Puebla de Z. a 30 de junio de 2021


Dr. José Cinco Patrón Ibarra
Asesor de tema de tesis

C.c.p. Archivo

Agradecimientos

Agradezco a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y al Colegio de Ingeniería Industrial por brindarme las herramientas necesarias para cumplir con mi formación académica.

Al proyecto VermiBUAP por permitirme aprender de todos sus procesos, los cuales me inspiran a generar conciencia sobre el cuidado medio ambiental.

A mi director de tesis el doctor José Cinco Patrón Ibarra, por su ayuda, paciencia, consejos y enseñanzas.

A mi asesora la Maestra María de los Dolores Ramírez Álvarez por sus aportes y observaciones en el presente trabajo de investigación y a la M.A.E Karina Martínez Morales por sus correcciones finales.

Dedicatoria

A mi abuelo Jorge, que siempre tenía una broma para hacerme reír.

A mi abuela Gloria, por esa hermosa voz que ilumino siempre el camino de toda familia.

A mi abuela Francisca, que con sus manos elaboró el futuro de toda una familia.

A Laura, por tanto, cariño incondicional que siempre me ha brindado.

A Hugo, que me enseñó que todo puede solucionarse de diferentes maneras.

A Sebastián, por todas las aventuras vividas y las que quedan por vivir.

A Jesús Carlos mi padre, por enseñarme que hay bondad y amor en la vida. Gracias por todo.

A Elsa mi madre, porque nunca se dio por vencida para entregarme lo mejor, por dejarme realizar mis sueños por más locos que fueran. Gracias por creer en mí.

“No solo no hubiera sido nada sin ustedes, si no con toda la gente que estuvo alrededor desde el comienzo, algunos siguen hasta hoy... GRACIAS TOTALES”.

-Gustavo Cerati-

Índice general

	Página
Agradecimientos.....	I
Dedicatoria.....	II
Índice de figuras	VII
Indice de tablas.	IX
Resumen	XI
Abstract.....	XII
1. Introducción.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	3
1.2. Justificación.....	4
1.3. Objetivos	5
1.3.1. Objetivo general.....	5
1.3.2. Objetivos específicos.....	5
1.4. Hipótesis.....	6
1.5. Revisión de literatura.....	7
1.5.1. Antecedentes del diseño industrial.....	7
1.5.2. Diseño en la prehistoria.....	7
1.5.3. Edad de bronce.....	8
1.5.4. Evolución al diseño de maquinaria en la edad media	8
1.5.5. Importancia del diseño de la máquina de vapor para la revolución industrial	9
1.5.6. Origen del diseño industrial en México	9
1.5.7. Finalidades del diseño industrial.....	10
1.5.8. El diseño en la industria.....	10
1.5.9. Funciones y requisitos del diseño de un producto.....	11
1.5.10. Leyes fundamentales del diseño en la industria	12
1.5.11. Especificaciones para el desarrollo de un producto	13
1.2. Eco-diseño.....	13

	Página
1.2.1. Antecedentes del eco-diseño	14
1.2.2. Eco-diseño en la industria.....	15
1.2.3. Evolución de la metodología de diseño del producto para el medio ambiente. ..	15
1.2.4. Principios conceptuales del eco-diseño	16
1.2.5. Elementos del eco-diseño	17
1.2.6. Enfoque del ciclo de vida en el Eco-diseño	19
1.2.7. Enfoques para un óptimo rendimiento medio ambiental.....	20
1.2.8. Variables de medición del rendimiento medio ambiental	21
1.2.9. Métodos para evaluar y mejorar el rendimiento medio ambiental.....	22
1.3. Residuos sólidos.....	23
1.3.1. Clasificación de los residuos sólidos.....	23
1.3.1. Manejo de los residuos sólidos	25
1.3.2. Residuos sólidos en la industria.....	26
1.3.3. Normativa del Manejo de Residuos Sólidos en México.....	27
1.3.4. Ley general Para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR)	28
1.3.5. Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos	28
1.3.6. Normas Oficiales Mexicanas (NOM)	31
1.3.7. Normas Mexicanas (NMX)	31
1.3.8. Generación de residuos sólidos en México	33
1.3.9. Residuos sólidos en el estado de Puebla.....	35
1.3.10. Ley para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial para el Estado de Puebla.....	36
1.3.11. Reciclaje de residuos sólidos urbanos en México	40
1.4. Plásticos.....	41
1.4.1. Clasificación de los plásticos más usados en la vida cotidiana	43
1.4.2. Los plásticos y su problemática ambiental	46
1.4.3. Acciones para el control desmedido de los plásticos	49
1.4.4. Nuevos productos para la sustitución de los plásticos en el mercado.....	60
2. Materiales y métodos.....	68

2.1. Área de estudio.....	68
2.2. Caracterización de una lombricomposta líquida y sólida para la utilización de	69
2.2.1. Características físicas, químicas de una lombricomposta sólida.....	69
2.2.2. Identificación del pH de una composta líquida.	71
2.3. Características físicas y químicas del bio-plástico PLA (ácido poliláctico)	72
2.4. Eco-diseño de una propuesta de envase y empaque elaborados con PLA (ácido poliláctico) del producto “EcovioTS2341” para películas composteables y “Ecovio IS1335” para moldeo por inyección	72
2.4.1. Variables para la medición de la eco-eficiencia	73
2.4.2. Prácticas de diseño eco-eficientes	73
2.4.3. Métodos de análisis para la eco-eficiencia	73
2.4.4. Parámetros de cumplimiento para una economía circular.....	73
2.5. Comparación de las características técnicas de empaques y envases de PLA (ácido poliláctico) para una lombricomposta líquida y sólida basados en el eco-diseño.....	73
2.6. Realización de un análisis FODA para una propuesta de envases y empaques de lombricomposta.....	73
2.7. Comparación entre el manejo actual de los envases y empaques para una lombricomposta líquida y sólida en balance con una propuesta apoyada en el eco-diseño y una economía circular	74
2.8. Evaluación de costos para nuevos envases y empaques de una lombricomposta líquida y sólida basados en el eco-diseño.....	74
2.9. Encuesta realizada a grupo focal.....	74
3. Resultados y discusión	75
3.1. Caracterización física y química de una lombricomposta sólida y líquida.....	75
3.1.1. Humedad en una lombricomposta sólida.....	75
3.1.2. pH de una composta sólida.....	77
3.1.3. pH de una composta líquida	77

	Página
3.2. Características físicas y químicas del bio-plástico PLA (ácido poliláctico)	77
3.2.1. Cristalinidad del PLA.....	78
3.2.2. Estabilidad térmica	78
3.2.3. Características físicas y químicas del producto “ecovio FT2341” para películas compostables y “ecovioIS1335” para moldeo por inyección	78
3.3. Parámetros para el cumplimiento de un eco-diseño en las propuestas de envases y empaques realizados con PLA (ácido poliláctico) para una composta líquida y sólida elaborada en el proyecto VermiBUAP.....	82
3.3.1. Variables para la medición de la ecoeficiencia de las propuestas de envases y empaques elaboradas con “ecovio FT2341” para películas composteables y “ecovio FT2341” para moldeo por inyección.....	82
3.3.2. Prácticas de diseño eco-eficientes al sustituir el PE y HDPE por PLA para nuevos envases y empaques.....	83
3.3.3. Análisis de eco-eficiencia de una la propuesta de envases y empaques elaborados con PLA (ácido poliláctico) en sustitución de envases y empaques realizados con PE (polietileno) y HDPE (polietileno de alta densidad)	84
3.3.4. Parámetros de cumplimiento para una economía circular de una propuesta de envases y empaques elaborados con PLA (ácido poliláctico)	85
3.4. Características técnicas de empaques y envases de PLA (ácido poliláctico) en comparativa con plásticos no biodegradables	85
3.4.1. Degradabilidad del PLA (Ácido poliláctico)	89
3.5. Análisis FODA de una propuesta de envases y empaques elaborados con bioplástico PLA (ácido poliláctico) “ecovioIS1335” y “EcovioTS2341”.....	93
3.6. Manejo actual de envases y empaques del proyecto VermiBUAP	98
3.7. Evaluación de costos de una propuesta de envases y empaques realizados con PLA..	101
3.8. Análisis de grupo focal para un producto elaborado con ecodiseño	103
4. Conclusiones.....	106
5. Bibliografía.....	108

Índice de figuras

	Página
Figura 1. Suma anual en millones de toneladas de Residuos sólidos urbanos en México del 2006-2012, SEMARNAT (2014).	33
Figura 2. Incremento anual de generación de residuos urbanos en México per cápita (SEMARNAT, 2014).	34
Figura 3. Porcentaje de residuos sólidos por tipo de residuo en México en el 2014 (SEMARNAT, 2014).	35
Figura 4. Porcentaje de residuos sólidos generados en el estado de Puebla en el 2012 (SEMARNAT, 2012).	36
Figura 5. Reciclaje de residuos sólidos urbanos en México del año 2012 (SEMARNAT, 2012).	40
Figura 6. Códigos de identificación de los plásticos más usados en la vida cotidiana (Garavito, 2008).	44
Figura 7. Gráfica de pastel con los porcentajes de la basura encontrada en 126 cuadrantes analizados para 10 ciudades costeras del país (Rivas,2018).	47
Figura 8. Porcentaje de presencia de contaminantes correspondientes por marca. (Rivas, 2018).	48
Figura 9. Distribución de residuos por marca y estado (Rivas, 2018)	48
Figura 10. Tasa de eliminación de embalajes plásticos identificados como problemáticos en el 2018 (The New Plastics Economy Global Commitment, 2018).	50
Figura 11. Familia estadounidense en 1955, foto de la revista Life. (National Geographic España 2019).	60
Figura 12. Segmentos de mercado de los Bioplásticos del 2019 (Nova Institute, 2020)	63
Figura 13 Capacidad anual de producción global de materiales bioplásticos del año 2019 (Nova Institute, 2020).	65
Figura 14. Ubicación geográfica del proyecto VermiBUAP en la ciudad de Puebla..	68
Figura 15. Determinación de humedad por método gravimétrico de una lombricomposta sólida.	70
Figura 16. Etiqueta del producto VermiBUAP abono orgánico.	71

Figura 17. Etiqueta del producto VermiBUAP líquido.....	72
Figura 18. Empaque vacío de PE.	87
Figura 19. Empaque de PE lleno de lombricomposta.	87
Figura 20. Envase de polietileno para una composta	88
Figura 21. Envase de polietileno polietileno para una composta líquida.	89
Figura 22. Institutos certificadores de compostabilidad y biodegradabilidad del producto “ecovioIS1335”.	92
Figura 23. Institutos certificadores de compostabilidad y biodegradabilidad del producto “ecovioFT2341”.	92
Figura 24. Análisis FODA de una propuesta de envases y empaques elaborados con bioplástico PLA (ácido poliláctico) “ecovioIS1335” y “EcovioTS2341”, enlistado de fortalezas, oportunidades, debilidades, amenazas.	93
Figura 25. Ciclo de vida del Ácido poliláctico.....	98
Figura 26. Ciclo de vida de los plásticos de origen fósil (Balboa, 2014).....	99
Figura 27. Proceso de utilización de envases y empaques del proyecto VermiBUAP, las líneas naranjas identifican las fases finales de destinación de los envases y empaques	100

Indice de tablas.

	Páginas.
Tabla 1. Clasificación general de los residuos sólidos de acuerdo a su naturaleza. (Avendaño, 2015).....	25
Tabla 2. Clasificación de los residuos sólidos industriales (Seoanez, 1998).....	26
Tabla 3. Códigos, propiedades y uso de los plásticos (Garavito,2008).....	44
Tabla 4. Síntesis de progreso reportado por compañías dentro del Top 10 de FMCG por ingresos (<i>The New Plastics Economy Global Commitment</i> , 2018).....	53
Tabla 5. Empresas productoras de bienes de consumo de rápido movimiento, empaques de plástico y minoristas que forman parte del acuerdo mundial de la nueva economía de plásticos (<i>The New Plastics Economy Global Commitment</i> , 2018).	54
Tabla 6. Instituciones y gobiernos que forman parte del acuerdo mundial de la nueva economía de plásticos (<i>The New Plastics Economy Global Commitment</i> , 2018).....	55
Tabla 7. Instituciones y centro de investigación que más reconocidos que forman parte del nuevo acuerdo mundial de la nueva economía de plásticos (<i>The New Plastics Economy Global Commitment</i> , 2018).	57
Tabla 8. Estados de la República Mexicana con normativas y sanciones del uso de bolsas plásticas (Prohibición de plásticos en México, 2019).	58
Tabla 9. Plásticos Biodegradables con presencia en el mercado mexicano durante el 2020 (Elaboración propia).	64
Tabla 10. Pruebas estandarizadas para plásticos biodegradables (Beltrán <i>et al.</i> , 2014).....	66
Tabla 11. Propiedades básicas del producto "ecovioFT2341".	79
Tabla 12. Propiedades de una película soplada "ecovioFT2341" de 2525µm (micrómetros).	79
Tabla 13. Propiedades físicas y químicas de “ecovioFT234” (elaboración propia).....	80
Tabla 14. Propiedades básicas del producto “ecovioIS1335” a 23°C (Elaboración propia).	81
Tabla 15. Propiedades básicas del producto “ecovioIS1335” (Elaboración propia).	81
Tabla 16. Propiedades de diferentes polímeros utilizados como materiales de empaque. 86	
Tabla 17. Comparativa de propiedades de plásticos de origen bacteriano.	86

Tabla 18. Microorganismos necesarios para degradar bioplásticos de origen bacteriano...	90
Tabla 19. Certificación de compostabilidad y biodegradabilidad de “ecovioIS1335”.....	91
Tabla 20. Certificación de compostabilidad y biodegradabilidad de “ecovioFT2341”.....	92
Tabla 21. Matriz FODA, de una propuesta de envases y empaques elaborados con bioplástico PLA (ácido poliláctico) “ecovioIS1335” y “EcovioTS2341”.....	97
Tabla 22. Costos y utilidades mensuales de la venta de lombricomposta sólida del proyecto VermiBUAP.	101
Tabla 23. Costos y utilidades mensuales de la venta de lombricomposta sólida del proyecto VermiBUAP.	102
Tabla 24. Costo por unidad de envases y empaques del proyecto VermiBUAP.....	102
Tabla 25. Análisis de encuestas del grupo focal para un producto elaborado con ecodiseñ.....	104

Resumen

Actualmente las empresas se preocupan más del cuidado ambiental, es por ello que buscan disminuir el impacto negativo que generan algunos procesos productivos. Este trabajo formó parte de una propuesta de mejora a los procesos productivos del proyecto activo llamado VermiBUAP, el cual transforma desechos sólidos orgánicos comunes en lombricomposta y extractos líquidos, mediante el uso de lombrices para acelerar el proceso de transformación. El propósito fundamental fue la disminución de la generación de desechos plásticos en los procesos productivos del proyecto VermiBUAP. La herramienta metodológica utilizada fue el ecodiseño, el cual se basa en una economía circular para diseñar productos menos contaminantes. Siguiendo las recomendaciones del ecodiseño se realizó la búsqueda de un material biodegradable, que pudiera reintegrarse a un esquema circular de reaprovechamiento de materiales. Después de realizar una comparativa de los actuales biomateriales existentes en el mercado, el ácido poliláctico (PLA) fue elegido como el más adecuado para sustituir los actuales envases y empaques utilizados en el empaquetado y envasado de la lombricomposta. Este material tiene características similares al polietileno (PE) y el polietileno de alta densidad (HDPE); el PLA es un material biodegradable y por lo tanto es menos contaminante que los plásticos de uso común. Actualmente el PLA es uno de los bioplásticos con más presencia en el mercado, sin embargo, sus altos costos en comparativa con los plásticos de origen fósil representan una dificultad para su implementación en proyectos pequeños o medianos. Otro elemento identificado para su implementación es que en la mayoría del territorio mexicano no se cuenta con una cultura de separación de residuos, lo que dificulta la reincorporación del PLA a un modelo circular de reaprovechamiento.

Abstract

Currently, companies are more concerned about environmental care, which is why they seek to reduce the negative impact generated by some production processes. This work was part of a proposal to improve the productive processes of the active project called VermiBUAP, which transforms common organic solid waste into worm compost and liquid extracts, using worms to accelerate the transformation process. The fundamental purpose was to reduce the generation of plastic waste in the productive processes of the VermiBUAP project. The methodological tool used was ecodesign, which is based on a circular economy to design less contaminating products. Following the recommendations of the ecodesign, a search for a biodegradable material was carried out, which could be reintegrated into a circular scheme of material reuse. After making a comparison of the current bio-materials on the market, poly-lactic acid (PLA) was chosen as the most suitable to replace the current containers and packaging used in the packaging and packing of the vermicompost. This material has similar characteristics to polyethylene (PE) and high-density polyethylene (HDPE); PLA is a biodegradable material and therefore less polluting than commonly used plastics. Currently PLA is one of the bio-plastics with more presence in the market, however, its high costs in comparison with fossil origin plastics represent a difficulty for its implementation in small or medium projects. Another element identified for its implementation is that in the majority of Mexico there is no culture of waste separation, which makes it difficult to reincorporate PLA into a circular model of reuse.

1. Introducción

Los plásticos juegan un papel fundamental en la industria, ya que su versatilidad permite su incorporación a todo tipo de procesos productivos, desde un artículo muy simple como cepillo de dientes hasta una pieza en la industria automotriz, es por ello que los polímeros de origen fósil juegan un papel sobresaliente en la economía actual Góngora (2014), sin embargo pocas veces se toma en cuenta la contaminación que representa su uso, es por esto que el ecodiseño surge como una herramienta necesaria para una producción más limpia, sostenible y responsable con el medio ambiente Góngora (2014), el presente trabajo tiene como propósito la utilización de esta herramienta para generar una disminución de desechos plásticos originados del envasado y empaquetado de lombricomposta en el proyecto VermiBUAP, para poder desarrollar un producto que fuese menos dañino con el medio ambiente fue necesario el cambio del esquema de una economía lineal (producir, usar y tirar) a una economía circular, donde en vez de desechar los productos como basura al final de su vida útil estos son reaprovechados al 100% para volver a fabricar un material similar o diferente (Giudice *et al.*, 2006).

Para poder hacer frente a los distintos impactos ambientales provocados por la contaminación plástica era necesario conocer las distintas alternativas de materiales biodegradables que se encuentran en el mercado, y que son capaces de mantener el mismo desempeño que los polímeros regulares, en el presente trabajo de investigación se presenta una comparativa en cuanto a las características principales de los diferentes materiales bioplásticos degradables, dicha comparativa aunada a la disponibilidad de materia prima apuntaron al ácido poliláctico (PLA) como el mejor bioplástico para elaborar nuevos envases y empaques, la bibliografía consultada facilitó la elección del PLA sobre los otros bioplásticos, ya que se tenía presente mayor información acerca de su desempeño como polímero utilizado como material de empaque.

El presente trabajo de investigación fue realizado en la preparatoria Benito Juárez García de la BUAP, en donde se lleva a cabo el proyecto VermiBUAP, el cual tiene como fin la elaboración de lombricomposta y extractos líquidos mejoradores de suelos a partir de la transformación de residuos sólidos orgánicos.

Una de las principales complicaciones para poder implementar el ecodiseño en una propuesta de nuevos envases y empaques es la poca educación de separación de desechos sólidos que se tiene actualmente en el estado de Puebla, pues al destinar un material bioclástico a un entierro sanitario se pierde toda posibilidad de poder reintegrar el material al ciclo de vida propuesto por el ecodiseño, paralelamente resulta contraproducente cuando los entierros sanitarios no cuentan con un sistema de aprovechamiento de gases, pues algunos autores como Santos *et al.* (2012) mencionan que los biomateriales mal dispuestos generan aún más metano que los plásticos regulares.

A través del desarrollo de la presente investigación se logró profundizar en las propiedades de los diferentes materiales bioplásticos que se ocupan como materiales de empaque en la actualidad, así mismo, la aplicación del eco-diseño disminuye el impacto ecológico del envasado y empaquetado de una lombricomposta sólida y líquida en el proyecto VermiBUAP.

1.1. Planteamiento del problema

El efecto de los productos plásticos en una economía es fundamental: un consumidor promedio usa diversos productos plásticos de manera cotidiana, ya sea para consumo personal (ropa, muebles, artículos de oficina, utensilios de cocina, entre otros) o a través de otras actividades productivas, como la construcción, las comunicaciones, el transporte, el almacenamiento. La versatilidad del plástico permite su incorporación a cualquier proceso productivo o producto final, razón por la cual es innegable que en la actualidad el mercado de los productos plásticos tiene un lugar sobresaliente en el conjunto de la economía (Góngora, 2014).

Sin embargo, el uso desmedido de los productos plásticos ha provocado un incremento alarmante de la contaminación plástica, según los datos de Greenpeace España 8 millones de toneladas de basura plástica llega al mar anualmente, lo que equivale al peso de la torre Eiffel o para cubrir la isla de Manhattan 34 veces. El 80% de la contaminación plástica es derivada de los malos procesos al final de su vida útil, pues la mayoría de los plásticos no cuenta con un proceso de reciclado o reutilización y van a parar a un vertedero o son incinerados lo cual genera gases que provocan el denominado efecto invernadero.

La contaminación plástica también es generada por la durabilidad de los polímeros, ya que el tiempo de degradación depende de la luz solar, oxígeno y agentes mecánicos. Ante esta situación han surgido nuevas tendencias y tecnologías como el eco-diseño que busca minimizar el impacto ambiental negativo generado por la utilización desmedida de materiales finitos como los de origen fósil a través de una economía circular que propone la reincorporación de los materiales anteriormente considerados como desechos para su reaprovechamiento en cualquier parte de la cadena productiva.

Por lo anteriormente mencionado la presente investigación pretende responder a la siguiente pregunta: ¿la aplicación de la herramienta metodológica ecodiseño disminuirá el impacto ecológico del proceso de envasado y empaquetado de una lombricomposta sólida y líquida?

1.2. Justificación

Actualmente las regulaciones ambientales sobre los productos ofrecidos en el mercado mundial son una necesidad, es por ello que se requiere un cambio en la forma tradicional que se emplea el diseño industrial. Es así como en el presente trabajo se incorpora el Eco-diseño como una herramienta metodológica, que incorpora la variable del cuidado ambiental dentro de los procesos de diseño de un producto industrial.

Las utilidades de conceptos, tablas comparativas y diagramas relacionados con el Eco-diseño planteadas a lo largo de este trabajo de investigación serán enfocadas a los procesos de la empresa VermiBUAP el cual generará una interacción proveedor-cliente sustentable para el medio ambiente.

Esta investigación plantea mediante la aplicación del eco-diseño la búsqueda de un modelo de vida cíclico de los materiales, en el cual las materias primas utilizadas en el proceso de envasado y empaquetado de humus líquido y sólido sean correctamente aprovechadas, con lo cual en la fase final del proceso productivo realizado por el proyecto VermiBUAP se realicen mejoras a los envases y empaques utilizados para la venta del humus líquido y sólido, mediante una correcta disposición, recolección, y reutilización de materiales de embazado y empaquetado para disminuir el impacto ecológico.

Los proyectos que se basan en el ecodiseño contribuyen en la búsqueda de una coexistencia armónica con el medio ambiente, en la cual el hombre se pueda seguir desarrollando, utilizando recursos naturales que son esenciales para la industria, pero a su vez retribuyendo al cuidado y preservación de los ecosistemas.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Aplicar el Eco-diseño para disminuir el impacto ecológico del proceso de envasado y empaquetado de una lombricomposta líquida y sólida.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Analizar aspectos técnicos para la viabilidad de utilizar el eco-diseño en el uso de nuevos materiales en el proceso de envasado de una lombricomposta líquida y sólida.
2. Realizar una comparativa basada en el eco-diseño entre los posibles plásticos biodegradables a utilizar en los nuevos empaques y envases de una lombricomposta líquida y sólida.
3. Efectuar una comparación entre el manejo actual de los envases y empaques con una propuesta apoyada en el eco-diseño.
4. Evaluar el precio de nuevos envases y empaques basados en el eco-diseño, que puedan ser utilizados en el empaquetado y envasado de una lombricomposta líquida y sólida.

1.4. Hipótesis

La realización de una propuesta basada en el eco-diseño beneficia a la preservación del medio ambiente mediante la reducción de contaminantes sólidos al sustituir a los polímeros de origen fósil que son utilizados actualmente en el proceso de envasado y empaquetado de humus líquido y sólido del proyecto VermiBUAP.

Es factible sustituir los polímeros actuales de los envases y empaques por materiales biodegradables que se encuentren actualmente en el mercado.

Los materiales biodegradables mantendrán el mismo desempeño que tienen los polímeros de origen fósil al contener y almacenar el humus líquido y sólido.

1.5. Revisión de literatura

1.5.1. Antecedentes del diseño industrial

1.5.2. Diseño en la prehistoria

Con el afán de conocer el origen de la humanidad los investigadores han encontrado pruebas que la evolución del hombre ha estado ligado siempre al desarrollo de nuevos objetos. El humano al encontrarse en todo momento en desventaja física ante otros seres de la naturaleza y por su afán de dominar su entorno, desarrolló como parte de su evolución la habilidad de elaborar nuevas formas, a partir del uso de la imaginación y de un proceso conceptual basado en el lenguaje. Esto dio como resultado la elaboración de objetos o artefactos con el fin de cumplir necesidades humanas primordiales para sobrevivir en el medio que los rodeaba. Hebert Read explica en su libro *Orígenes en de la forma en el arte* citado en Flores (2012) ha dividido la especialización de los primeros utensilios en tres tipos de acuerdo con su secuencia cronológica:

- Implementos horadantes y cortantes en los que el motivo conductor era la agudeza.
- Implementos para martillar y golpear, cuya finalidad es el volumen y el poder concentrados.
- Vasijas escavadas para poder utilizar como recipientes de alimentos.

Flores (2012) menciona que, de hallar y recoger cosas útiles conformadas así por la propia naturaleza, el hombre pasa gradualmente a fabricar sus utensilios hasta alcanzar en ellos una eficiencia y un posterior refinamiento difícil de superar, como en el caso del hacha o el martillo que son similares a los de las épocas remotas.

A su vez la utilización de estos utensilios marca pauta para el cambio del antiguo humano nómada a una vida sedentaria, basada en la agricultura y el aprovechamiento de los recursos naturales.

1.5.3. Edad de bronce

Salinas (2012) menciona que la sociedad neolítica comienza a dar muestras de las primeras formas de civilización cerca de los ríos orientales, esta época está marcada por el descubrimiento y el uso de los primeros metales que fueron el cobre y el bronce, así el ser humano creó las primeras herramientas metálicas las cuales fueron empleadas para fabricar nuevas cosas con una mayor facilidad, efectividad y detalle. El uso de las primeras herramientas metalizadas como el cuchillo, cincel o sierra transformaron el trabajo con la madera, haciendo posible la carpintería articulada y la albañearía, así mismo la construcción de las primeras máquinas, y la utilización de la primera rueda hidráulica fueron factibles gracias al metal.

1.5.4. Evolución al diseño de maquinaria en la edad media

Gracias a su situación geográfica, tradición y los éxitos militares Italia se alza como el intermediario del medio oriente y occidente, aunado al desplazamiento de las ciencias y las artes a Europa, lo que le permitió consagrarse en la cima de la agricultura, la industria textil y el comercio (Salinas, 2012).

Parra (2008) menciona que un gran número de máquinas y herramientas fueron desarrolladas a lo largo de la época medieval, fabricadas con metales, madera, vidrio o fibras vegetales, lo que generó una aceleración dentro de la industria. La rueda hidráulica, y los molinos estuvieron sujetas a la evolución de antiguas técnicas como por ejemplo la forja del hierro, o el progreso en la carpintería, muchas maquinas se modificaron hasta alcanzar una eficiencia mecánica que no fue posible superar hasta entrada la edad industrial.

El torno de madera, el torno alfarero con rueda de pie y el telar de pedales también aparecieron en la edad media, con el fin de perfeccionar objetos de uso doméstico en los diferentes feudos de esta época. El transporte marítimo presentó un gran avance entre los siglos XII y XV gracias a innovaciones como la brújula o el timón, que permitieron una mejor navegación y exploración de nuevos territorios lejos de las costas conocidas (Bernatene, 2015).

Flores (2012) menciona que “Las nuevas invenciones, en medida que empezaron a ser utilizadas, echaron a andar una revolución en las técnicas, que, a su vez, contribuyeron al

derrumbe de la organización feudal, a través del incremento de la productividad y del comercio”.

El empleo de mejores medios para la producción agrícola se tradujo en el aumento de excedentes para el intercambio mercantil (Salinas, 2012).

A partir de este momento se entra en una transición del feudalismo al capitalismo, resultante del comercio de los excedentes producidos por la maquinaria empleada en la producción (Flores, 2012).

1.5.5. Importancia del diseño de la máquina de vapor para la revolución industrial

Después del cambio del feudalismo al capitalismo el desarrollo industrial tuvo su auge en Inglaterra entre los siglos XVIII y XIX, cuando capitalistas ingleses transformaron campos cultivables en extensiones de pastizales para explotar la industria lanera (Palacios, 2004).

Pero fue hasta la implementación de la adaptación de la máquina de vapor de James Watt en 1785 para mover telares que se logró la unificación de dos ramas, la industria ligera y la industria pesada, creando así el moderno modelo industrial propagado ahora por todo el mundo (Palacios, 2004).

1.5.6. Origen del diseño industrial en México

En 1957 se funda el Consejo Internacional de Sociedades de Diseño Industrial, el cual como parte de sus tareas se han reunido y elaborado una serie de definiciones utilizadas en la profesión, siendo la más aceptada y utilizada hasta ahora la de Maldonado utilizada a partir de 1969 (Flores, 2012).

Flores (2012) define el diseño industrial como “una actividad proyectual que consiste en determinar las propiedades formales de los objetos producidos industrialmente. Por propiedades formales no hay que entender tan solo las características exteriores, sino, sobre todo, las relaciones funcionales y estructurales que hacen que un objeto tenga una unidad coherente desde el punto de vista tanto del productor como del usuario... las propiedades formales de un objeto son siempre el resultado de la integración de factores diversos, tanto si son del tipo funcional, cultural tecnológico o económico”.

En México el concepto de diseño industrial se importó a partir de teorías europeas como la Bauhaus y la HfG alrededor de los años 40, así mismo derivado de los despegues económicos

se derivaron los primeros profesionales interesados en aplicar y promover la disciplina del diseño industrial en México. En 1961 se fundan en la escuela Universidad Iberoamericana los primeros cursos de diseño industrial y en 1963 en la Universidad Autónoma de México, posteriormente de la promoción del diseño en México. A partir de los años 90 existen 19 escuelas con la carrera de diseño industrial en el territorio mexicano lo que genera una sobre demanda de profesionistas.

1.5.7. Finalidades del diseño industrial

Según Sanz *et al.* (2002) las finalidades del diseño industrial se pueden enumerar de la siguiente manera:

- Mejorar las características del uso de productos.
- Mejorar la calidad ambiental del entorno de los productos (en la fabricación, vida útil, y reciclaje).
- Satisfacer las necesidades humanas mediante objetos útiles.
- Un instrumento para el incremento de la productividad.
- Una actividad innovadora en el ámbito de otras disciplinas tecnológicas.
- Una actividad coordinadora en el desarrollo y planificación de los productos.
- Un procedimiento para incrementar el número de las exportaciones.
- Un instrumento para incrementar el volumen de ventas y el beneficio de las empresas.

1.5.8. El diseño en la industria

Según lo explicado por Sanz *et al.* (2002) el éxito de un producto depende, en última instancia, de la decisión del cliente por comprarlo o no. Por lo tanto, los factores que influyen en esta decisión son de especial importancia para la innovación. Una empresa necesita conocer todo acerca de sus clientes. La necesidad que un cliente experimenta debe de ser dividida y estructurada en determinados requerimientos y, además, debe analizarse qué características del producto completan y satisfacen estos requerimientos. Para los directivos de una empresa, el proceso de diseño tiene un valor cuando está involucrado en la toma de decisiones, las cuales lleven la creación de productos más competitivos.

Dentro de la relación y el diseño en la industria se busca responder tres preguntas fundamentales las cuales se plantean a continuación.

¿Qué significa diseñar productos?

Es la proyección de objetos que proporcionan al usuario un valor extra y a la empresa un valor diferenciado dentro del mercado, lo cual se consigue conjugando aspectos como: material, función, forma y presencia, buscando la colaboración entre fabricante y diseñador y la búsqueda de la suma de la calidad funcional con la calidad estética (Giudice *et al.*, 2006).

¿Qué aporta el diseño a los comerciantes?

- Nuevos productos con tendencias actuales.
- Un mayor ciclo de vida del producto.
- Evitar productos poco estudiados.
- Mayor prestigio al presentar un producto mejor diseñado.
- Generar nuevos clientes.
- El alto valor de uso del nuevo producto justifica el precio adecuado en creíble.

¿Qué aporta el diseño a los productos de la empresa?

- La base sobre la que debe diseñar la empresa.
- Los factores para la estrategia de empresa y política de mercado.
- Un catálogo de criterios para el desarrollo de productos existentes.
- Un catálogo de criterios para la toma de decisiones en el desarrollo de nuevos productos.

1.5.9. Funciones y requisitos del diseño de un producto.

Según Sanz *et al.* (2002) mencionan que se denominan funciones a las operaciones que debe poder realizar un producto para conseguir los objetivos que impulsaron su diseño y posterior fabricación (acciones motoras, de corrección o de control).

Entonces se clasifican las funciones para el diseño de un producto de la siguiente manera Giudice *et al.* (2006):

- Funciones de uso: que determinan la utilidad del producto.
- Funciones de manipulación: que determinan la funcionalidad del producto u objeto basados en su operación.
- Funciones comunicativas: las que persiguen aspectos simbólicos y estéticos formales.

Así mismo, Sanz *et al.* (2002) clasifican a los requisitos de la siguiente manera “se denominan requisitos a los condicionantes que debe cumplir el producto para que éste realice adecuadamente las funciones para las que fue creado”.

Los requisitos surgen después de diferentes restricciones, Sanz *et al.* (2002) clasifican los diferentes tipos de requisitos como:

- Requisitos técnicos: los cuales se denominan así ya que están relacionados con las exigencias de su condición estructural.
- Requisitos ergonómicos: que son los que se relacionan con la manipulación de los usuarios.
- Requisitos estéticos: los que se relacionan con lo estético-formal del producto.
- Requisitos de uso: se relacionan con el mantenimiento del producto durante su vida útil.
- Requisitos medio ambientales: se derivan del impacto del producto sobre el medio ambiente, durante su vida útil y al final de la misma.

1.5.10. Leyes fundamentales del diseño en la industria

Existen 5 leyes fundamentales para el diseño de un producto dentro de la industria, las cuales ayudan a determinar los requerimientos que debe cumplir cualquier producto a diseñar.

Sanz *et al.* (2002) desarrollaron las 5 leyes de la siguiente manera:

- **Primera ley.** Puesto que las funciones de los productos vienen condicionadas por otros requisitos que éstos deben cumplir, al iniciar el proceso de diseño deberán identificarse todos los requisitos posibles.
- **Segunda ley.** Algunas características del producto se determinan por la relación existente entre los valores de los diferentes requisitos considerados.
- **Tercera ley.** El diseñador decide el grado de importancia relativa que han de tener los diferentes requisitos.

- **Cuarta ley.** Cualquier proceso de diseño debe de emprenderse con pleno conocimiento de los materiales, las herramientas y las técnicas existentes que pueden emplearse, haciéndolo de forma más económica posible.
- **Quinta ley.** Dado que un producto puede provocar tanto costos como beneficios durante su vida útil, estos deberán determinarse durante el desarrollo del producto, puesto que afectan a la importancia relativa de todos los requisitos del diseño.

1.5.11. Especificaciones para el desarrollo de un producto

Esta etapa está definida como especificaciones para el desarrollo del producto (EDP), en ella se definen los elementos, factores, y limitaciones del producto a diseñar. Por lo tanto, en esta etapa se desarrollan las siguientes especificaciones:

- **Funcionalidad:** es la etapa en donde se los ingenieros se dedican a conseguir las formas que permiten un correcto funcionamiento.
- **Entorno (medioambiente):** se definen los riesgos a los que pueden enfrentarse el usuario o el entorno, estos riesgos pueden presentarse en diferentes etapas como la fabricación, almacenaje, embalaje, transporte, etc.
- **Vida útil del producto:** es el periodo en donde el producto se mantiene en condiciones adecuadas, puede ser a corto o largo plazo.
- **Mantenimiento:** se decide si el producto requiere de un mantenimiento periódico, si el mercado hacia dónde va dirigido el producto también demanda este mantenimiento.
- **Coste del producto:** en este apartado se busca hallar cual es el coste real del producto, sus costos de producción y si este es compatible con la competencia.

1.2. Eco-diseño

Giudice *et al.* (2006) plantean la definición actual del Eco-diseño, comúnmente conocido como diseño para el medio ambiente *Design For the Environment* (DFE) como “la metodología direccionada para la sistemática reducción o eliminación de los impactos ambientales implicados en todo el ciclo de vida de un producto, desde la extracción de la materia prima hasta su disposición final. Esta metodología está basada en la evaluación de los potenciales impactos de principio a fin durante todo el desarrollo del proceso de diseño.

1.2.1. Antecedentes del eco-diseño

El primer uso del término eco-diseño fue como título de la publicación desarrollada por la Asociación de Diseño Ecológico (EDA) en Inglaterra en 1989, en donde la referencia hacia el concepto “ecológico” reflejaba un mayor entendimiento de la relación entre el diseño y la ecología al incluir algunas nociones de la ecología profunda. La EDA comentó que esta vertiente del diseño de dirigía a diseñar materiales, productos, proyectos, sistemas en armonía con respeto a las especies vivientes y a la ecología del planeta.

A principios de la década de 1990 aumentaron las prácticas del eco-diseño bajo el mismo enfoque que planteaba la EDA, sobre todo en países europeos y, de manera significativa en Australia, donde se generaron una serie de importantes propuestas e investigaciones dedicadas a la sustentabilidad ecológica y a los objetivos a largo y a corto plazo para la redefinición del diseño, a lo que Chis Ryan del centro de diseño Instituto tecnológico Real de Melbourne, Australia (RMIT) se refirió al “Eco-diseño” como el enverdecimiento inmediato de los productos.

El reconocimiento de la práctica del Eco-diseño se reflejó en los diferentes grupos de trabajo e investigaciones compartidas llevadas a cabo sobre todo en países como Países Bajos y Reino Unido o las Naciones Unidas, bajo el patrocinio de iniciativas del gobierno, industrias e instituciones académicas.

Anteriormente el Eco-diseño era conocido como *Green Design* (diseño verde) cuya proliferación fue avanzando gracias a conferencias y eventos como la exhibición de *The Green Designer* (el diseñador verde) de 1986 dirigida por el Consejo de Diseño del Reino Unido.

Sin embargo, el objetivo del *Green Design* no se contraponía a la industria, al contrario, esta práctica continuaba una línea a favor de la productividad y de los objetivos comerciales para lograr un “enverdecimiento de la industria”.

Las primeras observaciones acerca del factor consumo, o la identificación de una tendencia generalizada y creciente hacia el consumismo, propiciaron tensiones en diversas direcciones. En primer lugar, se hizo pública la necesidad de reducir el consumo y cambiar los estilos de vida, lo cual afectaba directamente a los intereses industriales y comerciales. Pero la siguiente tensión resultaba cuando el diseño en respuesta de lo anterior, brindaba entonces la opción

de adquirir productos ambientalmente benignos, lo cual traía como consecuencia de nuevo el incremento de consumo.

A este aspecto, Roberson (2005) indica que “los esfuerzos para propiciar el consumo de bienes ambientales benignos resultarán simplemente del fortalecimiento del creciente consumismo”.

1.2.2. Eco-diseño en la industria

La Universidad Tecnológica de Delf en los Países Bajos estudió a fondo sistemas de productos en los cuales el uso de energía fuera más eficiente, así mismo dicha universidad desarrolló un grupo de trabajo con diversas empresas para establecer metodologías del Eco-diseño que pudieran implementarse dentro de la industria. Derivado de este esfuerzo se creó un manual denominado “Desarrollo de productos que consideran al medio ambiente como estrategia de innovación”, (conocido como *PROMISE*).

El objetivo de dichas cooperaciones fue realizar un análisis serio acerca de las metodologías y los principios del Eco-diseño de manera formal y el establecimiento de conceptos más puntuales, de modo que esta práctica adoptó una dirección enfocada particularmente a producto individuales o sistemas de producción, dentro de la industria.

El resultado fue la obtención de diversas metodologías, técnicas y diagramas que permiten analizar de una manera sistemática el desempeño de productos en términos de impacto ambiental. Ejemplo de lo anterior es la metodología “análisis de Ciclo de Vida” (LCA), *Materials Energy and Toxic Emissions*, (MET) y otras herramientas permiten medir de forma gráfica el flujo de energía, de materiales y de emisiones tóxicas involucrados en la fabricación de producto o de un servicio.

Los objetivos de esta práctica se enfocan a reducir el consumo de materias primas, energía y a disminuir los residuos para permitir que la biosfera pueda remplazarlos o asimilarlos.

1.2.3. Evolución de la metodología de diseño del producto para el medio ambiente.

El complejo proceso de diseño de un producto limita la libertad para escoger que materiales serán usados para el producto, y las maneras en que estos materiales puedan ser procesados y montados para obtener las necesidades requeridas. Esta condición complica la intervención del diseñador, cuyo objetivo es balancear varios aspectos como el funcionamiento, costo y

las metas deseadas para el desempeño del producto. Es por ello que en los años recientes el proceso de diseño de un producto tiene la necesidad de generar cambios en el mismo, para poder reducir recursos empleados en el proceso de diseño, producción y distribución del producto.

Por ello explican Giudice *et al.* (2006) en ese contexto que una de las consideraciones más importantes es la necesidad de extender la visión de los problemas para tomar en cuenta en su totalidad al diseño del producto y el proceso de desarrollo. Esto envuelve un cambio del enfoque convencional limitado a considerar solo la venta del producto como el paso final del análisis, hacia un innovador enfoque donde la fase del uso del producto sea también considerada hasta el fin de vida del producto y su disposición.

Estas nuevas necesidades y el incremento de la dificultad para diseñar un producto, han revelado lo inadecuado que resulta el antiguo esquema secuencial de diseño y desarrollo de proceso, que está limitado por dos tipos de desventajas:

- Tiempos de desarrollo prolongados debido a la naturaleza secuencial de las diferentes funciones.
- La limitada capacidad de mejora del producto debido a la pobre comunicación entre las varias funciones y el fragmentado flujo de información.

Estas estructuras secuenciales de diseño son rígidas por lo que fueron cambiadas por nuevos contextos metodológicos, los cuales proveen al diseño de análisis y síntesis simultáneos y con cercana interacción, en relación con todas las fases del desarrollo del producto.

1.2.4. Principios conceptuales del eco-diseño

Para poder comprender la metodología del eco-diseño es necesario tener claro ciertos conceptos que vinculan a esta con la industria, uno de los más importantes es la eco-eficiencia la cual tiene como sentido empresarial la eliminación de los residuos y la utilización de recursos de la manera más adecuada para el proceso, una compañía que consigue ser eco-eficiente reduce gastos, por lo cual se torna en una empresa más competitiva.

Según la *Business Council on Sustainable Development* (BCSD) una empresa que tiene como objetivo alcanzar la eco-eficiencia necesitará de 3 distintos enfoques.

- **Procesos más limpios:** con ayuda de la tecnología y los procesos productivos se busca reducir los residuos que contaminan al medio ambiente.

- **Productos más limpios:** mediante la modificación del diseño y de la composición de los materiales que se utilizan en el producto de manera que estos tengan un menor impacto en el medio ambiente a lo largo de su ciclo de vida.
- **Utilización sostenible de los recursos:** mediante la modificación completa de los sistemas productivos, así como las relaciones con los proveedores y clientes, con el objetivo de reducir el consumo de recursos energéticos y materiales.

1.2.5. Elementos del eco-diseño

Para que el eco-diseño se desarrolle de manera adecuada en la elaboración de un nuevo producto que contamine menos, utilice menos recursos energéticos y a su vez satisfaga los objetivos de los costos y el rendimiento requiere del apoyo de ciertos elementos clave, los cuales son: variables de medición para la eco-eficiencia, prácticas de diseño eco-eficientes, métodos de análisis para la eco-eficiencia (Fiksel, 1997).

VARIABLES DE MEDICIÓN PARA LA ECO-EFICIENCIA. Las cuales están basadas en las necesidades de la compañía y del cliente para satisfacer las metas del rendimiento medio ambiental, como ejemplo de las variables de medición se tienen:

- Las medidas de utilización de productos tóxicos.
- Medidas de utilización de recursos durante el ciclo de vida del producto.
- Medidas de las emisiones medioambientales (gases de efecto invernadero o sustancias que afectan la capa de ozono).
- Las medidas de minimización de residuos (porcentaje de materiales del producto que se recuperan al final de su vida útil).

Prácticas de diseño eco-eficientes, que están basadas en el conocimiento de las tecnologías respaldadas por la ingeniería, y que consideran más allá de la forma en que el producto interactúa con el medio físico, tomando en cuenta la cadena entera de valores añadidos, Fiksel (1997) menciona que algunos ejemplos de estas prácticas del eco-diseño son:

- La sustitución de los materiales constituyentes por otros más eficientes en términos de reciclaje o gasto energético, la reducción de residuos de origen.

- La reducción en la utilización de sustancias indeseables o tóxicas que son incorporadas al producto.
- Reducción de consumo de energía que es requerida para producir, transportar, almacenar, mantener, usar, reciclar, o desechar.
- Prolongación de la vida útil del producto y de sus componentes.
- Diseño para la separación y desembalaje, simplificando estos procesos para una adecuada recuperación de materiales.
- Diseño para el reciclaje, que asegure un máximo de material reaprovechado.
- Diseño para el desecho, que asegura los materiales que no serán reutilizados puedan ser desechados de manera adecuada, segura y eficiente.
- Diseño para la reutilización, que permite que muchos de los componentes sean recuperados, renovados y reutilizados.
- Diseño para la remanufactura, que permite la recuperación de residuos para su reciclaje como materia prima en la manufactura de nuevos productos.
- Diseño para la recuperación de energía, basado aprovechamiento de materiales residuales como por ejemplo la incineración.

Métodos de análisis para la eco-eficiencia. Los cuales son necesarios para evaluar el grado de mejora del nuevo diseño respecto a las variables de medición de la eco-eficiencia, estos métodos de análisis según Soanez (1998) generalmente se utilizan en cuatro formas diferentes:

- **Métodos de cribado:** que son utilizados para reducir el número de propuestas a elegir, para ello se establecen ciertos parámetros, como las propiedades químicas o la biodegradabilidad.
- **Métodos de evaluación:** los cuales son utilizados en función de predecir el rendimiento esperado respecto a los objetivos particulares del eco-diseño, estos métodos de evaluación pueden ir desde simples índices cuantitativos hasta sofisticados modelos de simulación para predecir las consecuencias medio ambientales.
- **Métodos de comparación de alternativas:** los cuales comparan el rendimiento de una o varias alternativas con respecto a uno o varios atributos de interés.

- **Métodos para la toma de decisiones:** utilizados para ayudar al grupo de diseño a seleccionar entre varias alternativas cuando las comparaciones de las mismas son muy complejas, pueden ser por ejemplo las técnicas de jerarquía analítica.

1.2.6. Enfoque del ciclo de vida en el Eco-diseño

Giudice *et al.* (2006) explican la aplicación de la teoría de ciclo de vida en el desarrollo de productos industriales se ha convertido en un factor clave para el manejo de la innovación tecnológica, donde es reconocida como un instrumento efectivo de análisis y útil para la toma de decisiones.

Según Parra (2008) podemos definir el concepto de ciclo de vida como el conjunto de etapas por las que atraviesa un producto o servicio de principio a fin...consiste en una serie de fases por las que atraviesa el producto, tales como: diseño, extracción, adquisición de recursos y materiales, producción, transporte y distribución, uso, recuperación, re-utilización, reciclaje y desecho.

La teoría el ciclo de vida se basa en la metáfora del fenómeno de crecimiento de los organismos típico de la evolución biológica, el cual tiene dos características:

- La progresión del evento es lineal e irreversible (en la cual la fase intermediaria es necesariamente la precursora de la fase siguiente).
- La fuerza generadora consiste en un programa predefinido, inherente en la identidad que involucra, está regulada por el medio ambiente en la cual la entidad fue concebida y desarrollada (la naturaleza en caso de sistemas biológicos; sociedad, el mercado e instituciones en caso de organizaciones manufactureras).

Siguiendo la primera característica (progresión del evento) la teoría del ciclo de vida asume que la progresión de eventos de cambio en un modelo de ciclo de vida es “una unidad de secuencia la cual es acumulativa y conjuntiva, donde las características adquiridas en fases anteriores son retenidas hasta las fases finales”.

De acuerdo con lo expresado anteriormente, cada fase del ciclo contribuye al desarrollo del producto final y debe de ser realizada siguiendo el orden preestablecido, ya que su aportación es necesaria para la realización de las fases sucesivas.

La segunda característica (fuerza generadora), se encarga de definir el mecanismo generador y guía el cambio, además deja en claro la relación que existe entre el factor de evolución de las entidades internas y el medio ambiente que las envuelve.

Es así como con estas premisas, la teoría de ciclo de vida puede, en principio, ser aplicada a cualquier sistema que sufra una serie de cambios durante el ciclo de su existencia.

La vida de un sistema toma por nombre “ciclo de vida”, donde las variadas fases del proceso de evolución son llamadas “fases del ciclo de vida” o “etapas”.

1.2.7. Enfoques para un óptimo rendimiento medio ambiental.

El concepto de reducción de impacto medio ambiental no está limitado a la simple cuantificación y minimización de impactos directos en el ecosistema. También en este contexto tiene que ser entendido en términos más amplios, como la optimización del rendimiento medio ambiental que incluye un rango de aspectos más articulados como los que menciona Seoanez (1998):

- **Reducción de desechos y desperdicios.** Permitiendo un mejor uso eficiente de los recursos y una reducción de los volúmenes de basura, y en términos más generales una reducción del impacto asociado con el manejo de materiales desechados.
- **Óptimo manejo de materiales,** consiste en el correcto uso de materiales en la base del rendimiento requerido, en su recuperación en la fase final de la vida del producto y en la reducción de materiales tóxicos o contaminantes.
- **Optimización del proceso productivo,** consiste en el planeamiento de un proceso que es energéticamente eficiente, consiguiendo limitadas emisiones.
- **Revisión del producto,** con especial atención al comportamiento durante la fase de uso, para reducir el consumo de recursos o la necesidad adicional de recursos durante esta operación.

Con estas premisas queda claro como el Eco-diseño conocido en el ambiente internacional como DFE también se convierte en un puente que conecta dos funciones tradicionalmente separadas las cuales son: el desarrollo de producción y la gestión medioambiental, el objetivo del Eco-diseño es, por lo tanto, mantener estas dos funciones en contacto cercano y dar importancia a estos problemas del ciclo de vida de los productos, que normalmente son ignorados.

1.2.8. Variables de medición del rendimiento medio ambiental

Según Fiksel (1997) las variables de medición del rendimiento medio ambiental son parámetros utilizados para medir las mejoras del diseño con respecto a las metas medioambiental. Debido a su papel fundamental en el proceso de desarrollo, las variables de medición de calidad son esenciales para el éxito en la práctica del DFE.

Así mismo Fiksel (1997) menciona que se toma como ejemplo de variables de medición de calidad ambientales los siguientes puntos:

- **Variables de medición de utilización de energía:** total de la energía consumida durante el ciclo de vida de un producto.
- **Variables de medición de utilización de agua:** consumo de agua durante la fabricación del producto y durante el uso final del mismo.
- **Variables de medición de la carga de materiales:** materiales tóxicos o peligrosos utilizados en la producción, cantidad de residuos industriales generados durante la producción, emisiones atmosféricas, gases y sustancias nocivas para la capa de ozono liberadas a lo largo del ciclo de vida.
- **Variables de medición de recuperación y reutilización:** tiempo de desembalaje y recuperación del producto, porcentaje de materiales reciclables disponibles al final de la vida útil, porcentaje de producto recuperado y reutilizado, pureza de los materiales reciclables recuperados, porcentaje de materiales reciclados utilizados para fabricar el producto.
- **Variables de medición de volumen en origen:** masa del producto, vida operativa útil, porcentaje del producto desechado o incinerado, fracción de embalajes o envases reciclados.
- **Variables de medición económicas:** coste medio del ciclo de vida en el que incurre el fabricante, costos de compra y operación en los que incurre el cliente, ahorro de costos asociado con las mejoras del diseño.

Estas variables representan el rendimiento global de una industria que se dedica a la manufactura de algún producto y normalmente son determinadas por la necesidad del cliente.

1.2.9. Métodos para evaluar y mejorar el rendimiento medio ambiental

De acuerdo con Giudice *et al.* (2006) para poder diseñar de manera adecuada un producto que pueda ser llamado eco-eficiente es necesario tomar en cuenta todas las fases de su ciclo de vida, desde la extracción de la materia hasta su uso final o reciclaje, los equipos de desarrollo de producto tienen que estar al tanto de aquellos aspectos que son relevantes para las necesidades del cliente, así como de las limitaciones técnicas o financieras.

Existen varios métodos para poder evaluar el rendimiento medio ambiental de un producto, dentro de los cuales destacan los siguientes:

- Métodos cualitativos.
- Métodos de evaluación de ciclos de vida.
- Métodos de análisis de impactos.

Seoanez (1998) describe cada uno de estos métodos con sus respectivas variables.

Métodos cualitativos: para muchas empresas estos métodos son el primer paso lógico en la implantación del Eco-diseño, ya que aportan información valiosa sin requerir de grandes empleos de recursos, estos métodos tienen numerosas variaciones, pero las más comunes son; listas de comprobación y matrices.

- **Listas de comprobación:** se trata de una lista de criterios en forma de preguntas o puntos a considerar, las cuales sirven como punto de partida a las empresas para comenzar a pensar en temas medioambientales y sus respectivas acciones positivas.
- **Matrices:** son una técnica útil para el análisis de selección de alternativas en las decisiones del diseño.

Métodos de evaluación de ciclo de vida: Parra (2008) menciona que para la *Society for the Environmental Chemistry and Toxicology* (SETAC) esta metodología puede definirse como un proceso objetivo para:

- Desarrollar un inventario de las cargas medioambientales asociadas a un producto, proceso o actividad, identificando y cuantificando la energía y materiales usados, además de los residuos emitidos al medio ambiente.
- Evaluar el impacto ambiental de los usos y emisiones de energía y materiales.

- Evaluar y llevar a la práctica las oportunidades para hacer efectiva las mejoras ambientales.

Métodos de análisis de impactos: estos métodos evalúan el impacto que tienen las descargas al medio ambiente producidas durante la fabricación, transporte, uso y desecho de los productos, pueden incluir impactos sobre la salud y la seguridad de una población (Parra, 2008).

1.3. Residuos sólidos

Avendaño (2015) define los residuos sólidos como “los materiales en de un proceso, normalmente industrial o domiciliario, que después de haberse sido sometidos al uso por necesidades mercantiles o de supervivencia, han quedado como sobrantes del ciclo particular pero que son susceptibles a la reintroducción, por aprovechamiento o disposición final inocua, al ciclo general de producción o al ciclo ecosistémico”.

Anteriormente el termino residuos sólidos era entendido como “basura” en general, sin embargo, en la actualidad el término “basura” puede entenderse como los desechos en su fase final que no tendrán la opción de ser recuperados, reciclados o reutilizados, los cuales tendrán que tener una disposición final adecuada para minimizar su impacto ambiental.

Según los datos de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales En México se generan diariamente 102,895.00 toneladas de residuos, de los cuales se recolectan 83.93% y 78.54% llegan a sitios de disposición final, reciclando únicamente el 9.63% de los residuos generados.

1.3.1. Clasificación de los residuos sólidos

Según Avendaño (2015) se puede decir que los residuos son todos aquellos que en su estado sólido pueden clasificarse de acuerdo a su naturaliza y su peligrosidad, de esta manera clasifica a los mismos de la siguiente forma:

Residuos peligrosos: son aquellos residuos producidos con algunas características como: infecciosas, combustibles, inflamables, explosivas, reactivas, radioactivas, volátiles, corrosivas y/o toxicas, que pueden causar daños a la salud humana y/o al medio ambiente,

Así mismo se consideran peligrosos los envases, empaques y embalajes que hayan estado en contacto con ellos.

Residuos no peligrosos: son aquellos producidos en cualquier lugar y en el desarrollo de una actividad que no presenta ningún riesgo para la salud humana y/o el medio ambiente; se consideran de este grupo los residuos biodegradables, reciclables, inertes y ordinarios comunes.

Residuos orgánicos: son aquellos que pueden descomponerse naturalmente y que tienen en su estructura básicamente carbono, nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, estos pueden ser: papel, cascaras de verduras, residuos de alimentos, frutos, bebidas, residuos de cosechas, algas, hojas de árboles, etc.

Residuos inorgánicos: son los que por sus características químicas sufren una descomposición natural muy lenta. Muchos de ellos son de origen natural pero no son biodegradables, por ejemplo, envases de plástico. Generalmente se reciclan a través de métodos artificiales y mecánicos, como latas, vidrios, pilas entre otros.

De acuerdo a esta clasificación es posible identificar a los residuos sólidos según su naturaleza en aprovechables y no aprovechables (orgánicos e inorgánicos), de acuerdo a su peligrosidad como residuos sólidos ordinarios y residuos sólidos peligrosos

Sin embargo, otros autores clasifican de manera más detallada a los residuos sólidos como se observa en la **tabla 1**.

Tabla 1. Clasificación general de los residuos sólidos de acuerdo a su naturaleza. (Avendaño, 2015).

Fuente	Peligrosidad	Poder calorífico	Características biológicas	Composición química	Peligrosidad
-Domésticos	-Ordinarios	-Bajo	-Inertes	-Inorgánicos	-Inflamables
-Comerciales	-Peligrosos	poder	-Patógenos	-Patógenos	y no
-Agrícolas		calorífico			inflamables
-Municipales o urbanos		-Alto			-Volátiles y
-Industriales		poder			no volátiles
-Institucionales		calorífico			-Tóxicos y
-Hospitalarios					no tóxicos
-Aprovechables					-Corrosivos
-No aprovechables					y no
					corrosivos
					-Reactivos y
					no reactivos
					-Explosivos
					y no
					explosivos

1.3.1. Manejo de los residuos sólidos

Para Avendaño (2015) se puede definir que el manejo de los residuos sólidos como “una simple secuencia que involucra el proceso de recolección, transporte y disposición final del material.”

Sin embargo, puede que esta definición sea ambigua y poco amplia para un panorama actual en donde se pretende un mayor cuidado del medio ambiente, es por eso que distintos autores manejan el término “gestión integral de residuos” como el más adecuado ya que considera aspecto técnicos y logísticos como estrategias para la reducir la producción de basura.

Iza y Aguilar (2009) definen la gestión integral de residuos citado por Avendaño (2015) como “aquel conjunto de acciones normativa, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión, y evaluación para el manejo

de residuos, desde la generación, hasta la disposición final (ciclo de vida del residuo), a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica en su manejo y aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad o región”.

1.3.2. Residuos sólidos en la industria

Seoanez (1998) define a los residuos sólidos industriales (RSI) como “las materias sólidas generadas en la industria, y en parte en el consumo de productos industriales, que no han alcanzado valor económico en el contexto en que son producidas”. Los residuos RSI o desechos pueden ser producidos en la consecución de materias primas (industrias extractivas, etc.), en los procesos de fabricación, en el uso y desgaste de materiales propios de la actividad industrial, y como desechos de productos industriales viejos.

Se puede observar la clasificación de RSI en la **tabla 2**.

Tabla 2. Clasificación de los residuos sólidos industriales (Seoanez, 1998).

Sector industrial	Sector industrial	Tipo de residuos
Industriales extractivas	-Extracción	Grandes huecos
	-Minería	-Recubrimientos, estériles minados.
	-Concentración de minerales	-Restos de instalaciones viejas
Industriales de alimentación	-General	-Restos de proceso de embalaje
	-Industria de conserva	-Restos de proceso
	-Industrias oleícolas	-Restos de vegetales
	-Industrias lácteas	-Derivados lácteos
	-Industrias vinícolas	-Restos vegetales
Industriales farmacéuticas		-Productos químicos
		-Microorganismos
		-Compuestos orgánicos
Industria textil		-Restos textiles
Industrias de la madera y papel	-Según especialidad	-Residuos celulósicos
		-Papel y pulpas
Industria química	-Refinerías, petroquímicas	-Restos diversos
		-Lejías negras
		-Restos de productos químicos
		-Envases y embalajes

Continúa tabla 2 ...

		-Pulpas
Industrias del petróleo del caucho y de los plásticos		-Restos de productos derivados del petróleo
Industrias del cemento y cerámicas	-Cementeras, cerámicas Azulejeras	-Restos de materias primas
Metalurgia y siderurgia	-Plantas siderúrgicas, acerías metálicas	-Estériles y materias primas
Trasformados metálicos	-Metalmecánicas	
Fabricación de bienes de equipo		-Restos de productos -Recortes -Embalajes
Industrias diversas	-Desguaces industriales	-Restos de materias primas -Recortes -Embalajes -Escombros

1.3.3. Normativa del Manejo de Residuos Sólidos en México

En México la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) clasifica a los residuos en dos tipos:

Residuos sólidos urbanos: que son generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta Ley como residuos de otra índole.

Residuos de manejo especial: son aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos.

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (2017) establece su artículo 10 que la disposición de los residuos sólidos urbanos es responsabilidad de las autoridades municipales, lo cual consiste en su recolección, traslado, tratamiento, y su

disposición final. A su vez el artículo 9 de la misma ley establece que es facultad de las entidades federativas la disposición de residuos de manejo especial.

1.3.4. Ley general Para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR)

Esta ley publicada en el año 2003 tiene como objetivo garantizar el derecho de toda persona al medio ambiente adecuado y propiciar el desarrollo sustentable a través de la prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de los residuos peligrosos, de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial; prevenir la contaminación de sitios con estos residuos y llevar a cabo su remediación.

Así mismo esta ley establece las bases para los siguientes puntos:

- Aplicar los principios de valorización, responsabilidad compartida y manejo integral de residuos, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social.
- Determinar los criterios que deberán de ser considerados en la generación y gestión integral de los residuos, para prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente y la protección de la salud humana.
- Formular una clasificación básica y general de los residuos que permita uniformar sus inventarios, así como orientar y fomentar la prevención de su generación.
- Regular la generación y manejo integral de residuos peligrosos, así como establecer las disposiciones que serán consideradas por los gobiernos locales.
- Definir las responsabilidades de los productores, importadores, exportadores, comerciantes, consumidores.
- Fomentarla valorización de residuos, así como el desarrollo de mercados de subproductos, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica y económica.
- Prevenir la contaminación de sitios por el manejo de materiales y residuos.
- Regular la importación y exportación de residuos.

1.3.5. Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos

Este reglamento tiene por objeto reglamentar la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos rige en todo el territorio nacional y las zonas donde la Nación

Mexicana ejerce su jurisdicción y su aplicación corresponde al Ejecutivo Federal, por conducto de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Dentro de este reglamento se destacan ciertos artículos cuya consulta resulta importante para la presente investigación como lo son:

Artículo 6. Para impulsar la participación de productores, generadores, importadores y demás sectores sociales en la minimización de la generación de residuos peligrosos, se promoverá:

- I. La sustitución de los materiales que se empleen como insumos en los procesos que generen residuos peligrosos, por otros materiales que al procesarse no generen dicho tipo de residuos;
- II. El empleo de tecnologías que generen menos residuos peligrosos, o que no los generen, y
- III. El establecimiento de programas de minimización, en los que las grandes empresas proporcionen asesoría a las pequeñas y medianas que sean sus proveedoras, o bien, éstas cuenten con el apoyo de instituciones académicas, asociaciones profesionales, cámaras y asociaciones industriales, así como otras organizaciones afines.

Artículo 52. Los microgeneradores podrán organizarse entre sí para implementar los sistemas de recolección y transporte cuando se trate de residuos que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad o de los que la norma oficial mexicana correspondiente clasifique como tales.

En este caso, los microgeneradores presentarán ante la Secretaría una solicitud de autorización para el manejo de los residuos referidos, en el formato que expida la dependencia, dicha solicitud deberá contener:

- I. Nombre y domicilio del responsable de la operación de los sistemas de recolección y transporte;
- II. Descripción de los métodos de tratamiento que se emplearán para neutralizar los residuos peligrosos y sitio donde se propone su disposición final, y
- III. Tipo de vehículo empleado para el transporte.

Artículo 57. En tanto no se expidan las Normas Oficiales Mexicanas que regulen tecnologías o procesos de reciclaje, tratamiento, incineración, gasificación, plasma, termólisis u otros, la Secretaría podrá solicitar al prestador de servicio el proyecto ejecutivo y desarrollo de un protocolo de pruebas, siempre que:

- I. La tecnología o el proceso sea innovador y no exista experiencia al respecto;
- II. Existan antecedentes de que la citada tecnología o proceso no es eficaz para los residuos peligrosos que se pretenden manejar;
- III. Se pretenda realizar incineración de residuos, o
- IV. Se pretenda manejar compuestos halogenados u orgánicos persistentes.

Artículo 87. Los envases que hayan estado en contacto con materiales o residuos peligrosos podrán ser reutilizados para contener el mismo tipo de materiales o residuos peligrosos u otros compatibles con los envasados originalmente, siempre y cuando dichos envases no permitan la liberación de los materiales o residuos peligrosos contenidos en ellos.

Los envases vacíos que contuvieron agroquímicos o plaguicidas o sus residuos se sujetarán a los criterios establecidos en los planes de manejo, en la norma oficial mexicana correspondiente u otras disposiciones legales aplicables.

Artículo 95. La ubicación de confinamientos controlados deberá cumplir con las siguientes disposiciones:

- I. Se debe localizar fuera de sitios donde se presenten condiciones de inestabilidad mecánica o geológica que puedan afectar la integridad del confinamiento;
- II. Se debe ubicar fuera de las áreas naturales protegidas, salvo lo que establezcan las declaratorias de dichas áreas, y
- III. Se debe localizar fuera de zonas de inundación calculadas a partir de periodos de retorno de cien años o mayores.

Artículo 96. El diseño de un confinamiento controlado considerará al menos los siguientes aspectos:

- I. Pueden ser superficiales o estar por debajo del nivel natural del suelo;
- II. Franjas de amortiguamiento de al menos quince metros perimetrales;

- III. Muros de contención, en caso de que sean necesarios;
- IV. Drenaje perimetral para aguas pluviales, el cual debe estar calculado para un periodo de retorno de cien años o mayores;
- V. Sistema de monitoreo comparativo de la calidad del agua subterránea aguas abajo del confinamiento;
- VI. Sistema de protección inferior que garantice la integridad del suelo, subsuelo y cuerpos de agua.

Artículo 140. Los estudios de riesgo ambiental tienen por objeto definir si la contaminación existente en un sitio representa un riesgo tanto para el medio ambiente como para la salud humana, así como los niveles de remediación específicos del sitio en función del riesgo aceptable.

1.3.6. Normas Oficiales Mexicanas (NOM)

Existen normas oficiales para el cuidado y disposición final de los residuos sólidos en territorio mexicano las cuales son:

NOM-083-SEMARNAT: Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

NOM-098-SEMARNAT: Protección ambiental-Incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes.

1.3.7. Normas Mexicanas (NMX)

De modo similar existen Normas Mexicanas las cuales regulan la protección del medio ambiente y la contaminación de suelos, estas son presentadas a continuación:

NMX-AA-015-198. Protección al ambiente - Contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales - Muestreo - Método de cuarteo.

NMX-AA-016-1984. Protección al ambiente - Contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales - Determinación de humedad.

NMX-AA-018-1984. Protección al ambiente - Contaminación de suelo - Residuos sólidos municipales - Determinación de cenizas.

NMX-AA-019-1985. Protección al ambiente - Contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales - Peso volumétrico “*in situ*”.

NMX-AA-021-1985. Protección al ambiente - Contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales - Determinación de materia orgánica.

NMX-AA-022-1985. Protección al ambiente - Contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales - Selección y cuantificación de subproductos.

NMX-AA-024-1984. Protección al ambiente - Contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales - Determinación de nitrógeno total.

NMX-AA-025-1984. Protección al ambiente - Contaminación del suelo - Residuos sólidos - Determinación del pH - Método potenciométrico.

NMX-AA-031-1976. Determinación de azufre en desechos sólidos.

NMX-AA-032-1976. Determinación de fósforo total en desechos sólidos (método del fosfavanadomolibdato).

NMX-AA-033-1985. Protección al ambiente - Contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales - Determinación de poder calorífico superior.

NMX-AA-052-1985. Protección al ambiente - Contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales - Preparación de muestras en el laboratorio para su análisis.

NMX-AA-061-1985. Protección al ambiente - Contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales - Determinación de la generación.

NMX-AA-067-1985. Protección al ambiente - contaminación del suelo -Residuos sólidos municipales - Determinación de la relación carbono / nitrógeno.

NMX-AA-068-1986. Protección al ambiente - Contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales - Determinación de hidrogeno a partir de materia orgánica.

NMX-AA-080-1986. Contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales - Determinación del porcentaje de oxígeno en materia orgánica.

NMX-AA-091-1987. Calidad del suelo – Terminología.

NMX-AA-092-1984. Protección al ambiente - Contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales - Determinación de azufre.

NMX-AA-094-1985. Protección al ambiente - Contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales - Determinación de fósforo total.

También existen las normas **NMX-FF-109-SCFI-2008** y **NOM-182-SSAI-2010** las cuales hablan de los experimentos para determinar el pH y la humedad de una composta, así como las características de los nutrientes vegetales comercializados en territorio mexicano.

1.3.8. Generación de residuos sólidos en México

Según lo presentado por la SEMARNAT (2012) las cifras sobre la generación de residuos sólidos urbanos presentan limitaciones, ya que son manejadas como estimaciones.

Conforme a los datos recuperados por la Secretaria de Desarrollo Social (SEDESOL) la generación de residuos sólidos urbanos presenta un incremento del 43.8% entre los años 1997 al 2012 con un cambio de 29.3 millones a 42.1 millones de toneladas derivado del crecimiento urbano, de la industria y los patrones de consumo, así mismo se expone un incremento del volumen diario generado por habitante con un cambio de 300 a 990 gramos en promedio. En términos anuales se registró un incremento con una media de 3.3 kilogramos.

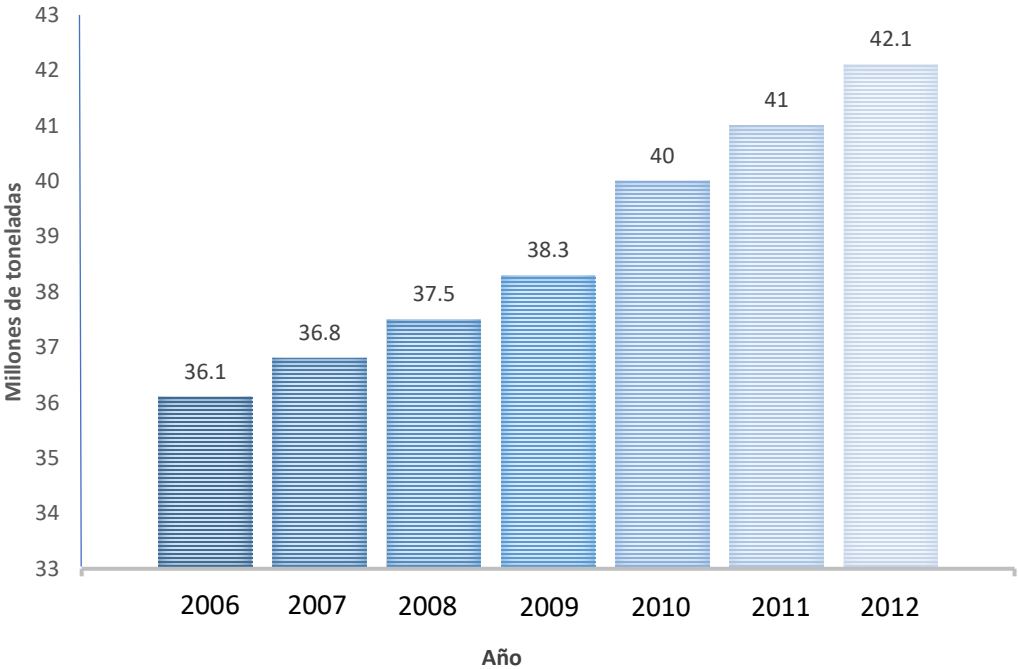


Figura 1. Suma anual en millones de toneladas de Residuos sólidos urbanos en México del 2006-2012, SEMARNAT (2014).

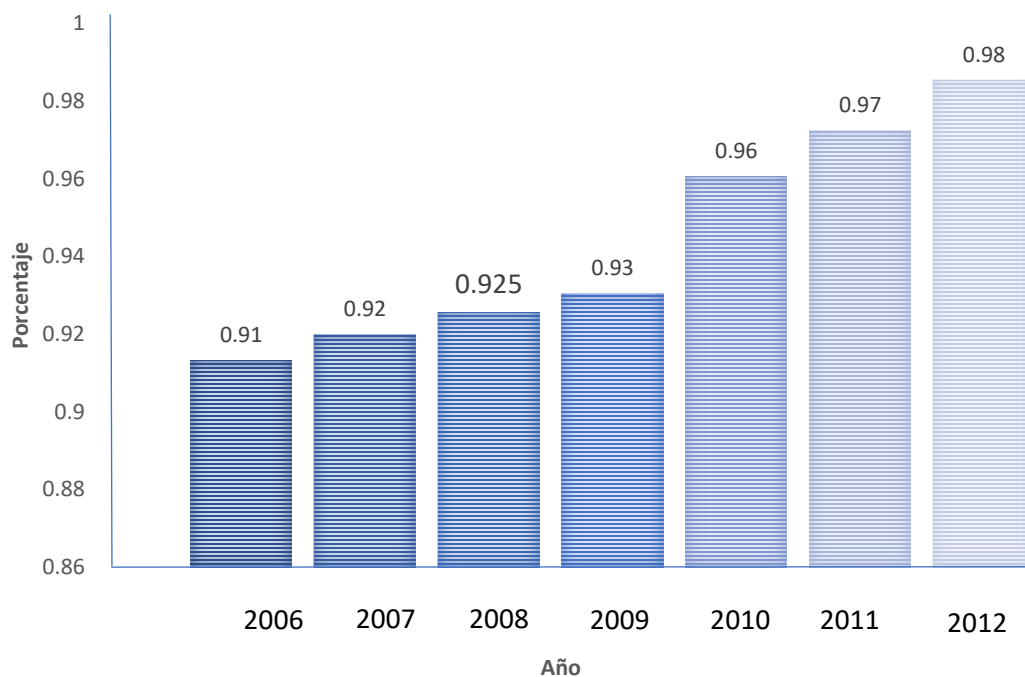


Figura 2. Incremento anual de generación de residuos urbanos en *México per cápita* (SEMARNAT, 2014).

De acuerdo con SEMARNAT (2012) “Las entidades federativas que generaron los mayores volúmenes de RSU en 2012 fueron el estado de México (16% del total nacional, 6.789 millones de toneladas), Distrito Federal (12%, 4.949 millones de toneladas), Jalisco (7%, 3.051 millones de toneladas), Veracruz y Nuevo León (5%, 2.301 y 2.153 millones de toneladas), mientras que las que registraron los menores volúmenes fueron Nayarit y Tlaxcala (cada una con 0.8%, 346 mil toneladas y 339 mil toneladas), Baja California Sur y Campeche (cada una con 0.6%, 259 mil y 271 mil toneladas) y Colima (0.5%, 228 mil toneladas).

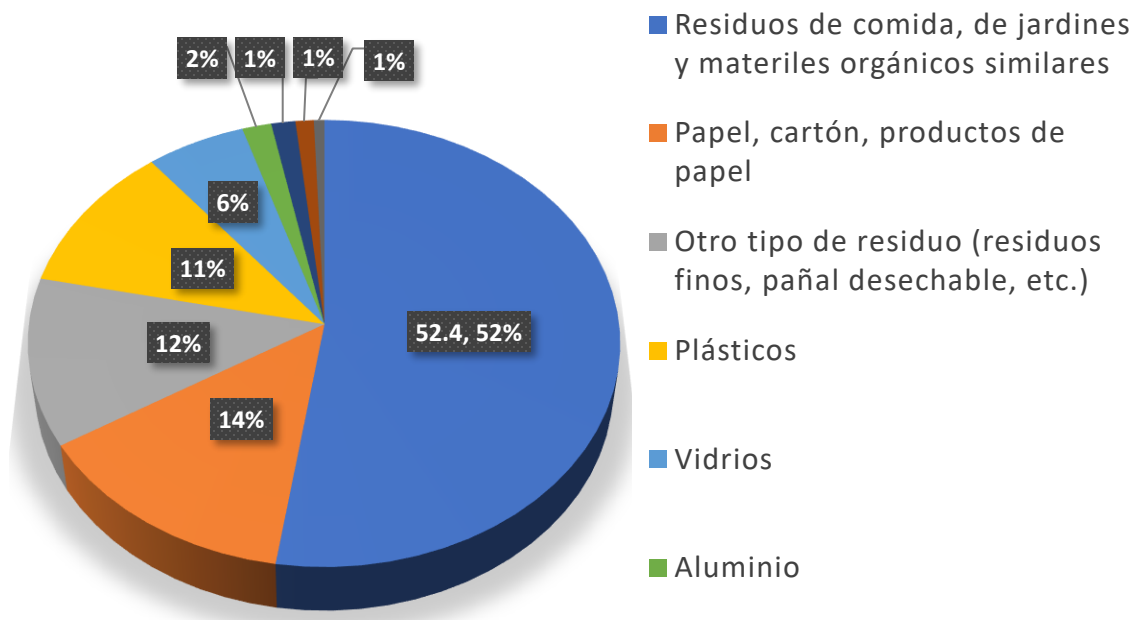


Figura 3. Porcentaje de residuos sólidos por tipo de residuo en México en el 2014 (SEMARNAT, 2014).

1.3.9. Residuos sólidos en el estado de Puebla

Según los datos recolectados por la secretaria de energía, el banco mundial se estima que en el estado de Puebla genera 348 kilogramos de residuos *per cápita* con una producción total de 5 millones de toneladas, la mitad de los residuos sólidos municipales son de origen orgánico, un 13% de papel, 5% de cristal, 9% de cartón, 1% metales, 16% plástico, conjuntamente se generan 405 de toneladas de residuos peligrosos los cuales requieren de un manejo especial determinado por el reglamento de la ley general para la prevención y gestión integral de los residuos en conjunto con las normas mexicanas y las normas oficiales mexicanas, la **figura 4** muestra cómo se distribuyen los porcentajes de residuos sólidos en el estado de Puebla.

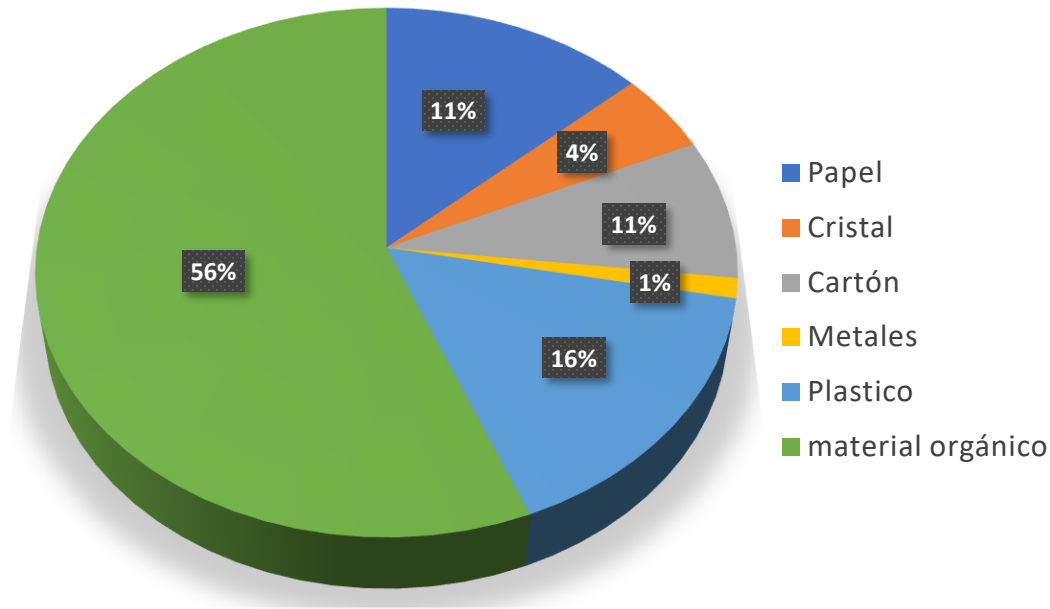


Figura 4. Porcentaje de residuos sólidos generados en el estado de Puebla en el 2012 (SEMARMAT, 2012).

1.3.10. Ley para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial para el Estado de Puebla

El objetivo principal de esta ley es la gestión general de los residuos sólidos del estado, paralelamente se hace énfasis otros objetivos complementarios de esta ley, los cuales se presentan a continuación:

- I. Garantizar el derecho de toda persona de contar con un medio ambiente adecuado y propiciar el desarrollo sustentable a través de la prevención y regulación de la generación, caracterización, la valorización y la gestión integral de residuos de competencia estatal y municipal;
- II. Prevenir la contaminación de sitios por residuos sólidos urbanos y de manejo especial, así como llevar a cabo la remediación en su caso;
- III. Diseñar instrumentos, programas y planes de política ambiental para la gestión de residuos sólidos urbanos y de manejo especial, en los que se apliquen los principios de caracterización, valorización, responsabilidad compartida y manejo integral de residuos, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social;

- IV. Determinar los criterios que deberán de ser considerados en la generación y gestión integral de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, para prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente y la protección de la salud pública;
- V. Formular la clasificación básica y general de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial que permita unificar sus inventarios;
- VI. Fomentar la prevención de la generación, caracterización, valorización y el desarrollo de sistemas de gestión, así como de manejo integral de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial;
- VII. Definir las responsabilidades en la gestión y manejo integral de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial de los generadores, comerciantes, consumidores, población en general, así como de las Autoridades Estatales y Municipales;
- VIII. Promover la participación corresponsable de los diversos sectores sociales, así como las personas físicas o morales dedicadas a la empresa de acopio y reciclaje, siempre que cumplan con las normas de funcionamiento previstas en la presente Ley; en las acciones tendientes a lograr una gestión integral de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial ambientalmente adecuada, así como, aplicar la tecnología más viable, para lograr los objetivos de las disposiciones contenidas en la presente Ley;
- IX. Prevenir la contaminación provocada por la inadecuada disposición final de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial;
- X. Promover y fortalecer la investigación y desarrollo científico para el manejo integral de residuos sólidos urbanos y de manejo especial, con la finalidad de reducir la generación de los mismos y diseñar alternativas para el tratamiento y remediación de los sitios contaminados y afectados, orientados a la implementación de procesos productivos limpios;
- XI. Fomentar la valorización de residuos, así como el desarrollo de mercados de subproductos, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica y económica, así como esquemas de financiamiento adecuados;

Así mismo esta ley se desarrolla por títulos los cuales a su vez están subdivididos en capítulos donde los artículos son presentados, para resumir la presente ley daremos una pequeña síntesis de lo que se ilustra en cada apartado.

Título primero. Disposiciones generales

Presenta los objetivos generales de la ley y las definiciones pertinentes para su entendimiento.

Título segundo. De la competencia y coordinación de las autoridades.

Indica que las autoridades competentes para la aplicación de dicha ley son el ejecutivo del estado a través de la secretaría y los ayuntamientos, así mismo se da a conocer sus obligaciones y atribuciones correspondientes.

Título tercero. Clasificación de los residuos.

Agrupar y sub-clasifica las categorías de los residuos sólidos y de manejo especial para la facilitación del manejo de los mismos.

Título cuarto. Instrumentos de la política de prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

Determina que la secretaria deberá formular los programas necesarios para el manejo de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial conforme a la ley, hace mención de la aplicación de los instrumentos económicos, de la educación ambiental y del involucramiento de la sociedad para minimizar la generación de residuos.

Título quinto. Criterios y acciones para el establecimiento de planes de manejo.

Establece que los propios generadores de residuos tendrán que establecer planes de manejo para la prevención en generación de residuos,

Título sexto. De la prevención integral de los residuos.

Señala que el estado y los ayuntamientos tendrán que instrumentar y capacitar los procesos de separación y transporte además de integrar a los sectores social y privado para trabajar juntos en la prevención y disminución de residuos.

De la misma manera hace énfasis en las prohibiciones para la disposición final de los residuos sólidos como su abandono en tiraderos, o incineración.

Es de suma importancia para esta investigación resaltar el artículo 40 BIS incluido en el título actual el cual expone textualmente lo siguiente:

Diario oficial de la federación. (2014) “Promover la reducción de las bolsas que se entreguen a título gratuito, de manera onerosa o con motivo de cualquier acto comercial, para transportación, carga o traslado del consumidor final y éstas deberán ser elaboradas con materiales preferentemente biodegradables, para su pronta biodegradación en los destinos finales. En el caso de las bolsas que cuenten con un aditivo que sea incompatible con el reciclaje, éstas deberán garantizar su pronta degradación”.

Título séptimo. Del manejo integral de residuos.

Constituye las características específicas del manejo integral de los residuos para las actividades de caracterización, acopio, recolección, transferencia, almacenamiento, y transporte de residuos.

Paralelamente indica los parámetros que establecen la ley para la reutilización, el reciclado, aprovechamiento y disposición final.

Enlista las peculiaridades necesarias acorde con la ley para la realización de las respectivas actividades de acopio transferencia y almacenamiento de los residuos para su reutilización, reciclado o tratamiento.

Título octavo. De la inspección y vigilancia, medidas de seguridad, infracciones y sanciones.

Acuerda que la autoridad podrá realizar visitas programadas para hacer constar el cumplimiento de las disposiciones contenidas en la ley, aunado a las medidas de seguridad y sanciones que serán tomadas en caso de presentarse una violación a dicho estatuto.

Título noveno. De la denuncia popular.

Menciona que los modos de proceder para realizar una denuncia de los actos que produzca o pueda producir un desequilibrio ecológico o daños al medio ambiente, la cual podrá ser dirigida a la secretaria y/o ayuntamientos competentes.

1.3.11. Reciclaje de residuos sólidos urbanos en México

De acuerdo al informe de la situación del medio ambiente en México presentado en el 2015 el reciclaje comprende la transformación de algunos de los materiales que componen los residuos en materiales reusables para los procesos productivos, el reciclaje beneficia la reducción de volúmenes de materiales que requieren de una recolección, transporte y disposición adecuada, lo que paralelamente disminuye el consumo de materias primas, electricidad, y agua, los cuales son necesarios para la extracción y procesamiento de nuevos materiales.

De acuerdo con 33 y Bhada-Tata (2012) citados por la SEMARNAT obtener aluminio a partir de aluminio reciclado requiere 95% menos de energía que producirlo de materiales puros.

Según los datos recolectados por la SEMARNAT (2012) “del volumen total de RSU recolectados susceptibles de ser valorizados en 2012, el mayor porcentaje correspondió a papel y cartón (32%), seguido por el PET (15.8%), vidrio (13.8%), plástico (9.2%), metales (7.6% en total, de los cuales: fierro, lámina y acero, 4.9%; aluminio, 1.4%; y cobre, bronce y plomo, 1.3%) y los electrónicos y electrodomésticos (5.1%)”.

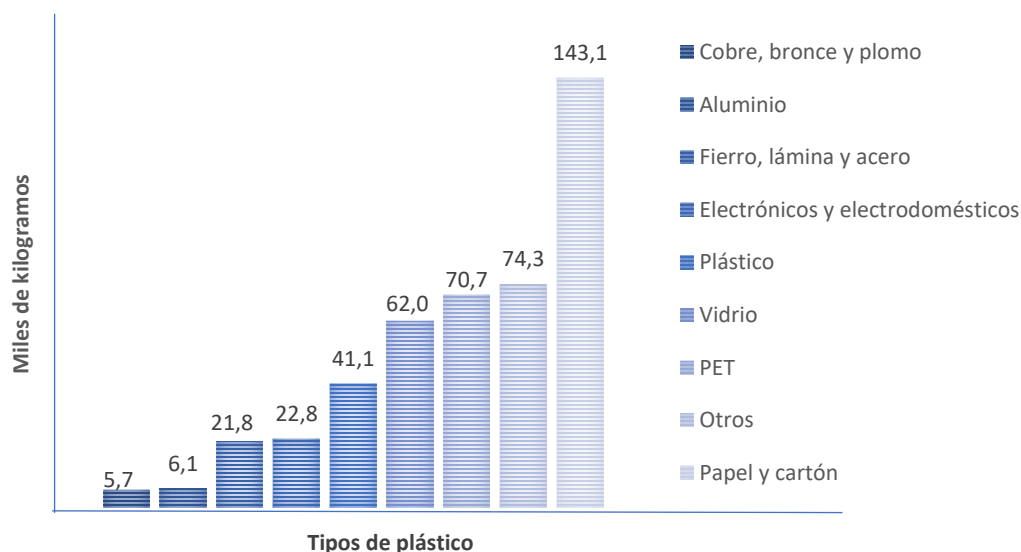


Figura 5. Reciclaje de residuos sólidos urbanos en México del año 2012 (SEMARNAT, 2012).

Conforme a los datos recolectados por el instituto nacional de ecología y cambio climático en el 2012 en México se recicló cerca del 9.6% del volumen de los residuos generados, esta cifra resulta baja en comparación con otros países que reciclan arriba del 50% de sus residuos como lo son Alemania y Corea del sur con un reciclaje de 47% y 58% respectivamente.

1.4. Plásticos

Para poder hablar del término plásticos tenemos que definir primeramente lo que son los polímeros.

Carrasquero (2014) define a los polímeros como: “En la naturaleza existen moléculas enormes llamadas macromoléculas. Estas moléculas están formadas por cientos de miles de átomos por lo que sus pesos moleculares son muy elevados. Los polímeros son un tipo particular de macromolécula, que se caracteriza por tener una unidad que se repite a lo largo de la molécula”.

Además de los polímeros llamados naturales, con el paso del tiempo y el crecimiento de nuevas tecnologías se han desarrollado polímeros sintéticos los cuales son indispensables para la vida moderna, estos polímeros sintéticos se pueden clasificar en tres grandes grupos, los elastómeros, las fibras, y los plásticos.

Elastómeros: se pueden definir como los polímeros con la capacidad de estirarse, sirven para elaborar caucho, gomas, mangueras y neumáticos.

Fibras: estos materiales tienen la capacidad de orientarse además de crear filamentos largos y delgados, poseen una gran resistencia, algunos de los ejemplos conocidos de este material son el algodón, la seda o la lana, estas fibras tienen su principal aplicación en la industria textil.

Plásticos: son los polímeros que pueden ser moldeados por presión y capaces de tomar diferentes formas, también usados como pinturas y recubrimientos superficiales.

The American Society for Testing Materials & Society of the Plastics Industry (2014) definen a los plásticos como “un material que contiene como ingrediente esencial una sustancia orgánica de un peso molecular largo, es vendido en su estado terminado, y en algún punto de su manufactura es procesado a artículos terminados”.

A su vez los plásticos pueden ser clasificados en 3 grandes grupos determinados por su uso, los cuales son:

Los plásticos de uso general también conocidos como “*comodities*”, los cuales son producidos en grandes cantidades y tienen un bajo costo, se usan en la vida diaria en una amplia gama, ejemplos de ellos son las bolsas de plástico, recipientes, juguetes.

Plásticos de ingeniería los cuales tienen una producción mucho menor debido a su alto costo de producción, poseen propiedades particulares para aplicaciones en específico, estos materiales compiten directamente con materiales metálicos o cerámicos, pero tienen la ventaja de un proceso de fabricación más fácil. Son normalmente usados en la industria automotriz.

Plásticos avanzados son clasificados de esta manera ya que su constitución molecular es diseñada y definida para satisfacer ciertas necesidades, las propiedades más relevantes de estos materiales son la biocompatibilidad y la formación de fases de cristal líquido estos últimos con un gran uso en la tecnología, principalmente en las pantallas y/o monitores.

Algunos de los plásticos más usados en la industria son:

Poliétileno (PE) las variedades más conocidas de este polímero son el polietileno de baja densidad (LDPE) y el de alta densidad (HDPE), sus usos más comunes en el mercado son las bolsas de plástico, las tuberías, el recubrimiento para cables, recipientes domésticos.

Polipropileno (PP) se obtiene mediante la polimerización del propileno, sus propiedades son similares al polietileno de alta densidad, y se emplea comúnmente en la elaboración de tubos, cuerdas, textiles, y empaques de alimentos.

Poliestireno (PS) el poliestireno comercial se puede dividir en 3 grupos; poliestireno de alto impacto, poliestireno cristal y poliestireno expandible, los usos más comunes son la elaboración de vasos plásticos desechables, fabricación de recipientes y empaques.

Polimetilmetacrilato (PMMA) se puede clasificar como un polímero vinílico, es un material amorfo con una excelente transparencia, con lo cual sus principales aplicaciones son como sustituto del vidrio.

Policloruro de vinilo (PVC) es uno de los plásticos más versátiles en conjunto del polietileno, es usado en construcción de casas, en la industria textil, tuberías o dispositivos médicos.

Politetrafluoroetileno (Teflón) su principal característica es su resistencia química y su resistencia térmica, sus principales usos son en aplicaciones técnicas como los sellantes, aislantes eléctricos, recubrimientos inertes.

Poliamidas y poliésteres. Tienen su principal aplicación en la industria textil, a su vez son usados en la fabricación de piezas de plásticos, ejemplos de estos son el Nylon -6,6 el cual se usa en la fabricación de componentes en la industria automotriz, y el Polietilén Tereftalato (PET) el cual es normalmente usado en la elaboración de botellas para refresco y películas/envoltorios.

Plásticos termoestables su principal aplicación es la fabricación de piezas para la industria eléctrica.

1.4.1. Clasificación de los plásticos más usados en la vida cotidiana

Los plásticos comúnmente usados en la vida cotidiana son denominados como *commodities*, es una palabra en inglés que se utiliza para denominar a productos indiferenciados cuyos precios se fijan internacionalmente y que no necesitan de una tecnología muy avanzada para su fabricación.

En el año 1988 la SPI (sociedad de la industria de plásticos) por sus siglas en inglés, desarrolló unos códigos de identificación para las resinas de plástico, el cual sigue siendo utilizado hoy en día de manera internacional por su facilidad de entendimiento y para facilitar el reciclaje de los materiales por el consumidor, los principales objetivos de este código son:

- Brindar un sistema amable con el consumidor para facilitar el reciclado de los plásticos.
- Ofrecer un medio para identificar contenido de resina en botellas y recipientes que se encuentran normalmente en residuos residenciales.
- Ofrecer una codificación para los seis tipos de resinas más comunes, y una séptima categoría para todos los otros tipos que no estén dentro de los códigos 1 al 6.






Figura 6. Códigos de identificación de los plásticos más usados en la vida cotidiana (Garavito, 2008).

La **tabla 3** presenta los códigos, algunas propiedades y usos más comunes de los plásticos más usados.

Tabla 3. Códigos, propiedades y uso de los plásticos (Garavito,2008).

Símbolo	Tipo de plástico	Propiedades	Usos comunes
	PET Polietileno de tereftalato (<i>Polyethylene Terephthalate</i>)	Contacto alimenticio, resistencia física, propiedades térmicas, ligereza y resistencia química.	Bebidas, refrescos, envases para alimentos.
	HDPE Polietileno de alta densidad (<i>High Density Polyethylene</i>)	Poco flexible, resistente a los químicos, opaco, fácil de manejar. Se suaviza a los 75°C.	Bolsas de supermercado, bolsas para congelar, envases de leche, helados, jugos shampoo, químicos y detergentes.
	PVC Policloruro de vinilo (<i>Plasticised Polyvinyl Chloride (PCV-P)</i>)	Dureza, resistencia, puede utilizarse con solventes, se suaviza a los 80°C, flexible, claro elástico.	Plomería, tuberías, mangueras, suelas para zapatos, cables, correas para reloj.

Continúa tabla 3...

Símbolo	Tipo de plástico	Propiedades	Usos comunes
	LDPE Polietileno de baja densidad (<i>Low Density polyethylene</i>)	Suave, flexible, traslucido, se suaviza a los 70°C, se raya fácilmente.	Película para empaque, bolsas para basura, envases de laboratorio.
	PP Polipropileno (<i>Polypropylene</i>)	Difícil pero aun flexible, se suaviza a los 140°C, traslucido, soporta solventes, versátil.	Bolsas para frituras, popotes, equipo de jardinería, cajas para alimentos, cintas para empacar, envases de uso veterinario y farmacéutico.
	PS Poliestireno (<i>Polystyrene</i>)	Claro rígido, opaco, se rompe con facilidad, se suaviza a los 95°C, afectado por grasas y solventes.	Cajas para discos compactos, cubiertos de plástico, imitaciones de cristal, juguetes, envases cosméticos.
	PS-E Poliestireno expandido (<i>Expanded Polystyrene</i>)	En su versión expandida es esponjoso y mantiene temperaturas.	Para el expandido: tazas para bebidas calientes, charolas para comida, mercancía frágil.
	Otros (SAN, ABS, PC, Nylon)	Muchas otras resinas y materiales, sus propiedades dependen de la combinación de los plásticos.	Auto partes, bebidas calientes, hieleras, electrónicos, piezas de empaque.

1.4.2. Los plásticos y su problemática ambiental

Según Parker (2019) en su artículo “*ahogados en un mar de plástico*” menciona que cada año 8 millones de toneladas de plástico llegan al mar, de los cuales 6.300 millones se han convertido en residuos y 5.700 millones nunca pasaron por un proceso de reciclado.

Las especies más afectadas por el uso desmedido de los plásticos son las marinas, se estima que afecta directamente a 700 especies, muchos de estos daños resultan visibles, como las muertes de especies marinas por estrangulamiento, pero en muchos de los casos estos daños no son tan fáciles de percibir, este es el caso de algunos seres vivos y diversas especies como los anfípodos de la especie *Orchestia gammarellus* (minúsculos crustáceos) pueden deshacer bolsas de plástico hasta en 1,75 millones de fragmentos microscópicos.

Los microplásticos representan un problema global, ya que se han encontrado en todos los océanos donde se han buscado, los aditivos químicos que llevan los plásticos para garantizar propiedades específicas constituyen un problema para la salud de las especies.

Uno de los indicadores que está relacionado con la problemática ambiental es que 40% de 407 millones de toneladas que se producen al año es desechable, es decir tienen una vida útil muy corta, como las bolsas de plástico, que tienen un promedio de vida útil de 15 minutos

La problemática de los plásticos se deriva en gran parte al poco tiempo de vida útil que tienen los mismos, según los datos de la revista National Geographic España cerca de un 40% de los 407 millones de toneladas que se producen anualmente son desechables.

Otra de las problemáticas que existe en materia de reciclado y gestión de productos son las grandes potencias asiáticas, Jambeck (2015) que entre 4.8 y 12.7 millones de toneladas de plástico desechable procedentes solamente de las regiones costeras terminan en el mar, así mismo en el Jambeck (2010) estimó que los países China, Indonesia, Filipinas, Vietnam y Sri Lanka generaron la mitad de la basura plástica mal gestionada en todo el planeta.

En el 2018 individuos y organizaciones en el mundo se asociaron al movimiento *Break Free From Plastic*, en donde se tomaron medidas locales para responsabilizar a las organizaciones causantes de la contaminación plástica, en México se realizaron 2 dos ejercicios para conocer los índices de contaminación y las marcas responsables de ello, el primero fue un ejercicio donde se muestrearon 42 sitios de 10 ciudades , 4 zonas de la costa del océano pacífico, 3 en la zona del caribe mexicano y 3 en la costa del Golfo de México, el objetivo era ubicar la cantidad de plástico de un solo uso presente en la basura de las playas.

En el segundo se realizaron auditorías de marca en 16 estados de la república mexicana, con el objetivo de identificar las marcas responsables de la contaminación plástica.

En total se obtuvieron 827 fragmentos de basura en 126 cuadrantes analizados, de los cuales 396 fragmentos correspondieron a material plástico, lo que es un equivalente al 47% del total de la muestra, en segundo lugar se encuentran las colillas de cigarro con un total de 136 residuos equivalentes al 16% del total de la muestra.

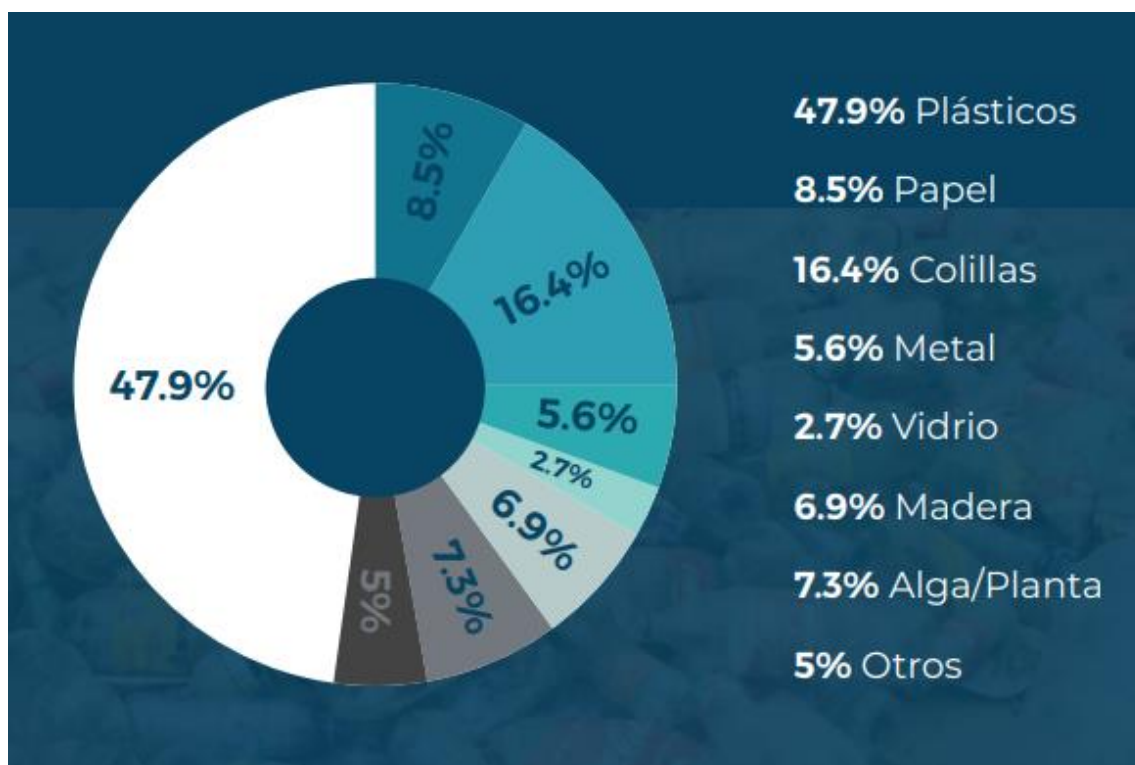


Figura 7. Gráfica de pastel con los porcentajes de la basura encontrada en 126 cuadrantes analizados para 10 ciudades costeras del país (Rivas,2018).

De la misma manera, el movimiento realizado en el 2018 *Break Free From Plastic* efectuó auditorías a las marcas responsables de la crisis de contaminación plástica, durante las 239 limpiezas y auditorías de marca realizadas en 42 países y 6 continentes se confirmó que las empresas que más contaminan son Coca-Cola, PepsiCo y Nestlé.

En México los resultados arrojados fueron los siguientes de 19, 779 piezas plásticas 4,507 son de Coca Cola representando el 22.77% del total de la contaminación; Por su parte,

PepsiCo tuvo 2 mil 298 siendo el 12.11% y Nestlé 747 piezas siendo el 3.77% del total de la contaminación.

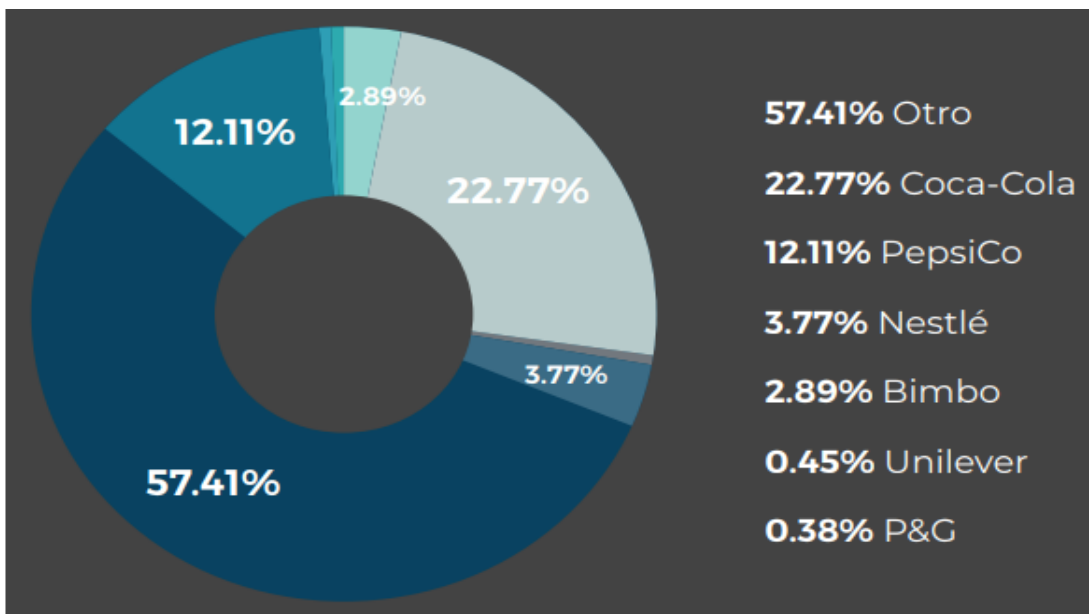


Figura 8. Porcentaje de presencia de contaminantes correspondientes por marca. (Rivas, 2018).

En estados como Baja California Sur, Chihuahua, Estado de México y Quintana Roo, el 56% de los plásticos son provenientes de la marca Coca Cola.

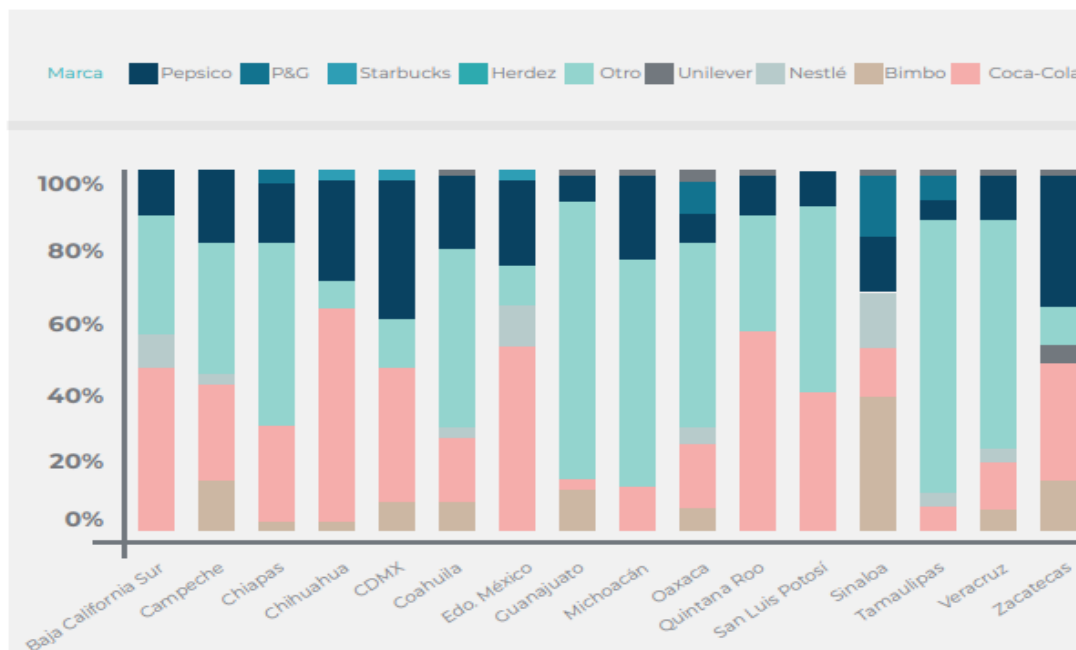


Figura 9. Distribución de residuos por marca y estado (Rivas, 2018).

1.4.3. Acciones para el control desmedido de los plásticos

La ONU con ayuda de la fundación Ellen MacArthur *Foundation*, y su programa Unidos por el medio ambiente, además de otras organizaciones y empresas de nivel mundial se unieron para crear el “*New Plastics Economy Global Commitment*” (compromiso global para una nueva economía de los plásticos), que tiene como objetivo el cambio en la manera del uso desmedido de los plásticos, para poder revertir la situación por la contaminación provocada por este producto.

Todas estas organizaciones tienen una visión en común la cual es establecer una economía circular, en la cual el plástico nunca se convierta en basura., las organizaciones y empresas que están comprometidas en dicho acuerdo trabajan hoy en día con metas para el 2025 como:

- Eliminar artículos de plástico innecesarios.
- Innovar los plásticos para que estos sean reusados, reciclados o composteados.
- Circular todo lo que utilizamos para mantener una economía y que se mantenga fuera del medio ambiente.

La economía circular propuesta por este compromiso global esta resumida en 6 acciones

- La eliminación de embalajes plástico problemático o innecesario a través del rediseño y la innovación.
- Reducción de los embalajes de un solo uso.
- Por diseño todos los embalajes deberán de ser 100% reusables, reciclables, o compostados.
- En la práctica todos los embalajes deberán de ser reusados, reciclados o compostados.
- El uso de los plásticos es totalmente disociado del consumo de fuentes finitas.
- El uso de químicos peligrosos en embalajes, manufactura y proceso de reciclados serán eliminados.

La eliminación de embalajes de plástico innecesarios comienza a progresar, ya en el 2018 aproximadamente el 60% de las marcas, minoristas y productores de embalajes plásticos que están involucrados en el compromiso, han usado PS, ePS o PVDC, pero ahora han eliminado o tienen planes para eliminar esos productos de su línea de producción.

La **tabla 10** muestra algunos de los otros productos plásticos que se han ido reduciendo en el año 2018.

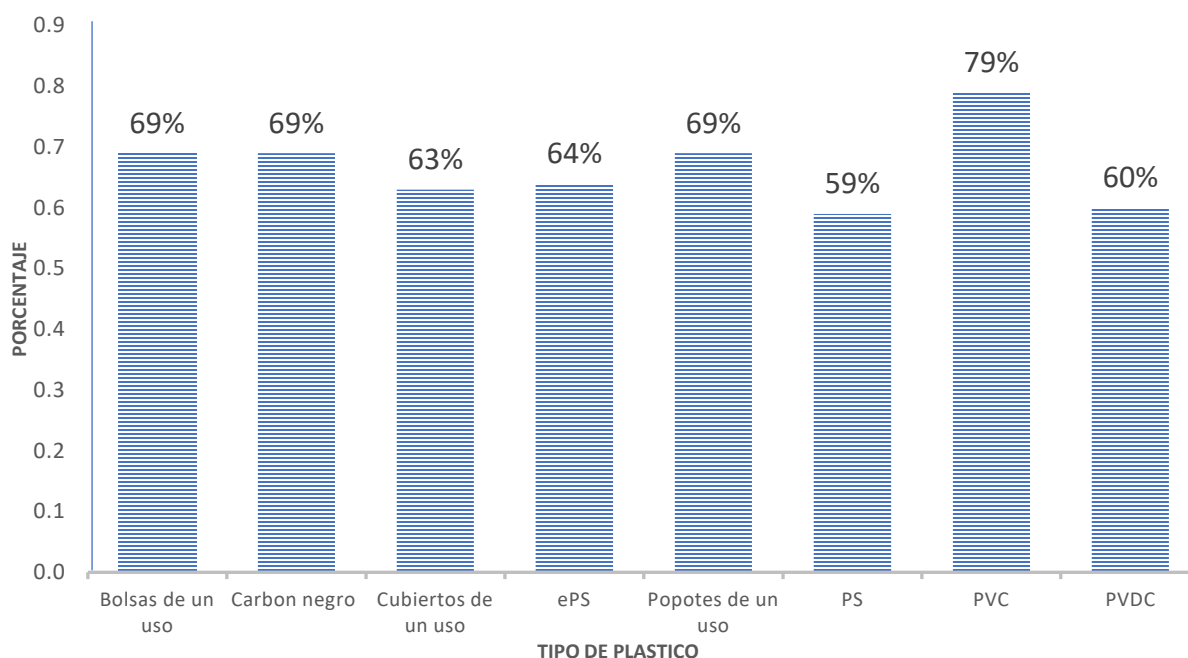


Figura 10. Tasa de eliminación de embalajes plásticos identificados como problemáticos en el 2018 (The New Plastics Economy Global Commitment, 2018).

En lo que respecta a la dejar de consumir recursos finitos compañías como PepsiCo, Uniliver, Mars o Incorporated han definido sus metas para la reducción del uso de plástico virgen en embalajes para el año 2025 con los porcentajes siguientes:

- Uniliver 50%
- Mars 50%
- Incorporated 25%
- PepsiCo 20% (en su línea de productos líquidos)

Empresas emparadoras y minoristas que están involucradas se comprometieron con la utilización de un 22% de material reciclado dentro de sus productos para el 2025, lo que constituye un incremento significativo ya que en el año 2018 solo fue de un 5%.

Paralelamente los gobiernos de diferentes países han comenzado a tomar medidas al respecto al uso desmedido de los plásticos, un claro ejemplo es el impuesto a los empaques de plástico que contengan menos del 30% de material reciclado en el Reino Unido, el cual entrará en vigor en el año 2022. Pero los resultados de estas acciones pueden ser observados actualmente ya que entre el año 2017 y 2018 se registró un incremento del 23% del uso de plástico reciclado dentro de las empresas y minoristas ligadas al proyecto, una de las empresas más importantes y con mayor producción de plásticos es Indorama Ventures, que proyecta un cambio de 350,000 toneladas a 750,000 de plástico reciclado, con una inversión cerca de 1.5 billones de dólares para lograr este objetivo.

Estas metas también favorecen otros indicadores de productos que son necesarios para la fabricación de plásticos, por ejemplo siguiendo los datos de *The New Plastics Economy Global Commitment* (2018) por cada 5 millones de toneladas de plástico reusado para el 2025 se estima que 25 millones de barriles de petróleo crudo permanezcan sin extraerse anualmente, a su vez se evitarían 8 millones de toneladas en emisiones de CO₂ cada año.

Otras de las metas que intentaran alcanzar a corto plazo gobiernos y empresas se presentan a continuación:

Empresas

- Carrefour, Systeme U, Veolia y los proveedores de la marca se han asociado para buscar alternativas a los empaques no reciclables de la marca, buscando alternativas para sus galletas, sándwiches triangulares y bolsas de papas fritas, todos estos modelos nuevos previstos para el año 2020.
- Colgate propone más de 200 iniciativas para transformar sus empaques para el 2020, dentro de ellas el cambio de PET opaco a claro, diseño de nuevas películas de multimateriales, y la mejora continua de los sistemas de disposición.
- La multinacional Albéa desarrolló un producto estratégico donde las rutas para cada categoría están definidas desde su desarrollo hasta la disposición final, de la mano de esto lanzó una campaña “Circular Beauty” que reúne a partes interesadas para definir

las nuevas tendencias y reglas de los empajes cosméticos, y así garantizar que los envases sean efectivamente reutilizados y/o reciclados.

Gobiernos

- Reino Unido espera poder hacer que los productores sean completamente responsables de sus residuos, es decir que paguen el 100% del costo neto del manejo en la disposición final de los embalajes, este sistema se espera este implantado para el 2023.
- El ministerio de medio ambiente de Nueva Zelanda espera poder establecer nuevos márgenes que puedan hacer responsables a los productores de las problemáticas específicas que se generan por la producción de sus productos, se espera que sea implementado en 2021.
- Grandes compañías como Nestlé, *The Coca-Cola Company* o PepsiCo se han mostrado su transparencia ante este proceso, mostrando la comparación de sus cifras de reciclaje actuales comparadas con las metas del año 2025.

Se puede observar en la **tabla 4** los avances reportados en el primer reporte anual por empresas que forman parte del Top 10 de *Fast Moving Consumer Goods* (FMCG, bienes de consumo de rápido movimiento).

Tabla 4. Síntesis de progreso reportado por compañías dentro del Top 10 de FMCG por ingresos (*The New Plastics Economy Global Commitment*, 2018).

Compañía	Diseño de empaque	Contenido reciclado		Volumen de empaques de plástico
	%, por peso, plástico reciclado o compostable.	%, por peso, contenido reciclado en el empaque plástico.		Millones de toneladas por año.
		Actualidad 2018	Meta 2025	
Nestlé	65%	2%	15%	1.7
PepsiCo	77%	3%	25%	2.3
Unilever	< 50%	< 1%	25%	0.7
Mars, Incorporated	19%	0%	30%	0.2
The Coca-Cola Company	99%	9%	N/A***	3.0
L'Oréal	N/A***	5%	40%	0.1

N/A*** (no aplica) , para empresas que no han reportado ese número o será reportado para el informe del 2019. < , para empresas que reportaron un aproximado menor a la cifra que se muestra.

Para tener un parámetro de la influencia que tiene el movimiento *The New Plastics Economy Global Commitment* es necesario saber quiénes forman parte de este acuerdo mundial, y que es lo que están haciendo para contrarrestar la contaminación derivada por el uso de los plásticos.

De octubre del 2018 al mes de octubre del 2019 hubo un incremento de las instituciones, marcas, empresas y minoristas que están ligadas al proyecto, pasando de 250 organizaciones a más de 400, estas instituciones representan más del 20% de todo el plástico que se produce mundialmente.

En este acuerdo mundial están involucrados:

- 5 de 15 de los minoristas más importantes a nivel mundial
- 7 de 10 de los productores de empaques de plástico más importantes a nivel mundial
- 2 de las compañías de servicios de cuidado del medio ambiente más grandes a nivel mundial

- 6 de 10 de las empresas más grandes de FMCG a nivel mundial.

La **tabla 5** muestra las empresas, los minoristas, y empaques más importantes a nivel mundial, asimismo cuales forman parte del acuerdo mundial.

Tabla 5. Empresas productoras de bienes de consumo de rápido movimiento, empaques de plástico y minoristas que forman parte del acuerdo mundial de la nueva economía de plásticos (*The New Plastics Economy Global Commitment*, 2018).

FMCG	EMPACADORES DE PLASTICO	MINORISTAS
1 Nestlé *	1 Reynolds	1 WalMart Inc. *
2 Procter & Gamble	2 Amcor *	2 Amazon
3 PepsiCo *	3 Berry Global *	3 CVS Health
4 AB Inbev	4 Sealed Air Corporation *	4 Costco
5 Uniliver *	5 RPC Group **	5 Walgreens Boots Alliance
6 JBS	6 Bemis**	6 The Kroger Co
7 Tyson Foods	7ALPLA Group *	7 Schwarz Group *
8 Mars, Incorporated *	8 Interplast	8 Home Depot
9 The Coca-cola Company*	9 Aptargroup *	9 Tesco Plc
10 L'Oréal *	10 Siligan	10 Aeon
-	-	11 Carrefour *
-	-	12 Ahold Delhaize *
-	-	13 Target *
-	-	15 Lowe's Companies
-	-	15 Seven & I Holdings

*Incorporado a *The New plastics Economy Global Commitment*

**Recientemente incorporado a *The New Plastics Economy Global Commitment*

Las instituciones mencionadas en la **tabla 5** están enumeradas en orden de importancia dentro de su grupo distintivo.

Además de los organismos mencionados existen instituciones gubernamentales a nivel nacional, estatal y local alrededor del mundo que están comprendidos con el acuerdo mundial de la nueva economía de plásticos, siendo estos 14 en el año 2019.

La **tabla 6** muestra una lista detallada de estas instituciones gubernamentales que forman parte del acuerdo mundial de la nueva economía de plásticos:

Tabla 6. Instituciones y gobiernos que forman parte del acuerdo mundial de la nueva economía de plásticos (The New Plastics Economy Global Commitment, 2018).

Gobierno	Instituciones	Año de incorporación al acuerdo mundial
República de Seychelles.	Departamento del medio ambiente. Ministerio del medio ambiente. Energía y cambio climático.	Octubre de 2018.
Gobierno de Chile.		Octubre de 2018.
Gobierno de Granada.		Octubre de 2018.
Gobierno de Ruanda.		Enero de 2019.
Nueva Zelanda.	Ministerio de medio ambiente.	Marzo de 2019.
Portugal.	Ministerio del medio ambiente y energía.	Octubre de 2018.
Perú.	Ministerio del medio ambiente.	Octubre de 2018.
Gobierno del Reino Unido		Octubre de 2018.
Gobierno de Escocia, Reino unido.		Octubre de 2018.
Gobierno de Cataluña, España.		Febrero de 2019.
Bélgica.		Octubre de 2018.
Ciudad de Austin Texas, Estados Unidos.		Octubre de 2018.
Ciudad de Liubliana, Eslovenia.		Febrero de 2019.
Ciudad de São Paulo, Brasil.		Marzo 2019.

Las instituciones presentadas en la **tabla 6** tienen objetivos en común para cumplir con la nueva economía de los plásticos los cuales pueden ser enlistados de la siguiente manera:

- Acciones para la eliminación de empaques innecesarios o problemáticos.
- Impulsar el uso de modelos de reutilización para reducir la necesidad de empaques y/o productos de un solo uso.
- Iniciativas para el uso de empaques plásticos reusables, reciclables, o compostables.
- Aumentar las tasas de recolección, clasificación, reutilización y reciclaje, además de facilitar el establecimiento de la infraestructura necesaria.
- Estimular la demanda de plásticos reciclados.

Estos son objetivos en general, pero cada una de las instituciones enfrenta esta problemática con acciones que se adecuan más a sus necesidades, por ejemplo, el gobierno de Bélgica presento en septiembre del 2019 una nueva política regional que incluye un capítulo el cual habla específicamente de la economía circular de los plásticos. El gobierno de Cataluña lanzo una campaña comunicativa llamada “estamos creando un monstruo”, para concientizar a la población acerca de la problemática que genera el uso de productos sanitarios de un solo uso como lo son las toallitas, productos de higiene femenina, pañales o cotonetes igualmente tratar de evitar arrojar estos mismos por el retrete. El gobierno de São Paulo lanzo una campaña llamada “capacitar para reciclar” la cual es una campaña inclusiva, relacionada directamente con las personas dedicadas a la recolección y separación manual de los desechos sólidos, conocidas comúnmente en México con el sobrenombre de “pepenadores”, la campaña busca capacitar a los recolectores de la ciudad a través de 3 cursos impartidos; 1) entrenamiento básico para recolectores, 2) Principios básicos para el rehúso de muebles hechos de madera, 3) gestión de cooperativas y empresas económicas solidarias. Otros ejemplos de acciones tomadas por las instituciones han sido la destinación de fondos económicos para diversos proyectos como la creación de centros de recolección avanzados en Eslovenia planeados para el año 2021, o en Sudamérica con el desarrollo de un Eco-parque que integra diferentes tecnologías de tratamiento/recuperación de la basura sólida municipal en São Paulo Brasil, de la misma manera se han direccionado inversiones para la creación de proyectos y empleos con base en el reciclado en Europa con la creación de 6 nuevas plantas de reciclado en Bélgica para el año 2021.

Paralelamente centros educativos y de investigación forman parte del compromiso mundial de la nueva economía de plásticos, los cuales hacen aportes sustanciales con nuevos materiales de estudio, publicaciones, programas e ideas.

La **tabla 7** presenta un listado de algunas instituciones y centros de investigación más reconocidos que forman parte del acuerdo:

Tabla 7. Instituciones y centro de investigación que más reconocidos que forman parte del nuevo acuerdo mundial de la nueva economía de plásticos (*The New Plastics Economy Global Commitment*, 2018).

Institución	Año de incorporación al acuerdo mundial
Instituto de ingeniería y economía circular de Afeka, Israel.	2018
Universidad de Bangor, Gales.	2018
Centro de ingeniería verde de la universidad de Berkeley, California.	2018
Universidad de Guelph, Ontario, Canadá.	2018
Centro de innovación de economía circular de la universidad de São Paulo, Brasil.	2018
Colegio de diseño e innovación de la universidad de Tongji, China.	2018
La universidad del estado de Michigan.	2018
Centro de iniciativas para soluciones ambientales del MIT.	2019
Universidad de Edimburgo, Alemania.	2018
Asociación china para el reciclado de plásticos.	2019
Asociación china para el rehuso y reciclado de plásticos.	2018
Confederación de las industrias europeas de reciclado.	2019
ISWA- Asociación internacional de desechos sólidos.	2018
Asociación norteamericana de desechos sólidos.	2018

México inicia el año 2020 como uno de los países que se suman a la búsqueda de la regulación del uso de plásticos en relación al cuidado del medio ambiente, algunos países de América Latina han prohibido total o parcialmente el uso de este material, como lo son Argentina, Colombia, Chile, Costa Rica, Ecuador, o Perú.

En México diversos estados de la república han comenzado a modificar sus regulaciones para disminuir la utilización de materiales plásticos de un solo uso, en específico las bolsas plásticas que representan un problema a nivel mundial, a nivel federal el congreso de la unión aún no ha realizado una ley que limite el empleo de las bolsas plásticas.

La **tabla 8** muestra un listado de los estados de la república mexicana con una nueva normatividad para el uso de bolsas plásticas y sus respectivas multas para el año 2020.

Tabla 8. Estados de la República Mexicana con normativas y sanciones del uso de bolsas plásticas (Prohibición de plásticos en México, 2019).

Entidad federativa	Ámbito	Normatividad	Multa
Aguascalientes	Municipal	Reglamento de Protección al Medio Ambiente y Manejo de Áreas Verdes del Municipio de Aguascalientes (arts. 278, 394, fracción XIX)	100 a 1,000 UMA's (\$8,449 a \$80,490)
Baja California	Estatad	Ley de Protección al Ambiente para el Estado de Baja California (arts. 141 y 187)	200 a 20,000 UMA's (\$16,898 a \$1,689,800)
Chihuahua	Estatad	Ley para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos del Estado de Chihuahua (arts. 21 y 74)	20 a 50,000 UMA's (\$1,689.8 a \$4,224,500)
Coahuila	Estatad	Coahuila de Zaragoza. (arts. 104 Bis, 150 Bis, 156 Bis y 182)	20 a 50,000 UMA's (\$1,689.8 a \$4,224,500)
Durango	Estatad	Ley de Gestión Ambiental Sustentable para el Estado de Durango (arts, 5o., fracciones XXXIX, XL y XLI y 134)	20 a 20,000 UMA's (\$1,689.8 a \$1,689,800)
Jalisco	Estatad	Ley Estatal de Equilibrio Ecológico y la Protección del Medio Ambiente (arts. 6o., 7o., 8o., y 148)	20 a 20,000 UMA's (\$1,689.8 a \$1,689,800)
México	Municipal	Bando Municipal de Tlalnepantla de Baz (arts. 17, fracción XL, 64 y 65)	hasta 50 UMA's (\$4,224.5)

Continúa tabla 8...

México Nuevo León	Municipal Estatal	Bando Municipal de Toluca (art. 107, fracción XXVI y tercer párrafo)	cinco a 100 UMA's (\$422.45 a \$8,449)
Puebla	Estatal	Ley Ambiental del Estado de Nuevo León (arts. 168 Bis y 232) Ley para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial para el Estado de Puebla. (art. 40 BIS 107)	20 a 30,000 UMA's (\$1,689.8 a \$2,534,700) 15 a 500 UMA's (\$267 pesos a \$42,000)
San Luis Potosí	Estatal	Ley Ambiental del Estado de San Luis Potosí (arts. 104, fracción V, inciso c), 107 y 159)	50 a 60,000 UMA's (\$4,224.5 a \$5,069,400)
Sonora	Estatal	Ley de Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente de Sonora (arts. 136, fracciones X y XI, 143 Bis y 196)	20 a 20,000 UMA's (\$1,689.8 a \$1,689,800)
Tamaulipas	Estatal	Código para el Desarrollo Sustentable del Estado de Tamaulipas (arts. 36, numeral 6o., 7o., y 299)	00 a 500 UMA's (\$8,449 a \$42,245)
Veracruz	Estatal	Código para el Desarrollo Sustentable del Estado de Tamaulipas (arts. 36, numeral 6o., 7o., y 299)	1,000 a 80,000 UMA's (\$84,490 a \$6,759,200)
Querétaro	Municipal	Reglamento de Protección Ambiental y Cambio Climático del Municipio de Querétaro (arts. 132 y 180, fracción I)	Dependerá de la superficie del establecimiento que cometa la infracción: hasta 90 mts2: 53 a 79 UMA's (\$4,477.97 a \$6,674.71) 90 a 350 mts2: 317 a 475 UMA's (\$26,783.33 a \$40,132.75) De 350 a 1,000 mts2: 1,847 a 2,771 UMA's (\$156, 053.03 a \$234, 121.79)

*Unidad de Medida y Actualización (UMA): es la referencia económica en pesos para determinar la cuantía del pago de las obligaciones y supuestos previstos en las leyes federales, de las entidades federativas, así como en las disposiciones jurídicas que emanen de todas las anteriores.

1.4.4. Nuevos productos para la sustitución de los plásticos en el mercado

La visión sobre el cuidado del medio ambiente ha venido cambiando a través de los años, en 1955 la revista *life* publicaba frases como “la vida de usar y tirar”, celebrando como la invención de plásticos de un solo uso le había facilitado la vida al ser humano, hoy en día la realidad es otra, pues muchos estos polímeros constituyen una gran parte de los residuos que contaminan el planeta, es por eso que conceptos como “desenvolvimiento sustentable” han surgido al cuestionarnos hasta cuando los recursos naturales no renovables serán suficientes para sustentar a la humanidad y su crecimiento.



Figura 11. Familia estadounidense en 1955, foto de la revista *Life*. (National Geographic España 2019).

El uso de productos plásticos sustituyó los antiguos embalajes hechos a base de papel en la década de los años 70, ya que el plástico presentaba ventajas sustanciales frente a los productos derivados del papel como el costo de transporte, su ligereza, su resistencia, bajo

costo, soporte al calor, transparencia, flexibilidad, y capacidad de soportar mucho más peso, por otro lado también se pueden resaltar sus impactos negativos los cuales comúnmente son: su corta vida útil, su baja biodegradabilidad en el medio ambiente, contaminación visual, bloqueo de los drenajes, interferencia negativa en la alimentación de la vida salvaje y alteración de los ecosistemas.

Amelia *et al.* (2011) menciona que el concepto de “desenvolvimiento sustentable” fue definido en 1987 por la Comisión Mundial del Desarrollo del Medio ambiente como: “atender las necesidades de la generación presente sin comprometer la habilidad de las generaciones futuras de atender sus propias necesidades”, es por eso que el cuidado del medio ambiente se volvió una prioridad para todos los mercados que hacen uso de materiales hechos a base de polímeros.

Los impactos negativos que tiene el uso de sintéticos han llevado a la comunidad científica a la buscar nuevos materiales que sean amables con el medio ambiente, que puedan desarrollarse dentro de un marco de desenvolvimiento sustentable para preservar un equilibrio en los ecosistemas.

Lucia *et al.* (2009) mencionan que la alta demanda de los consumidores por productos con características naturales y larga vida ha determinado el estudio de nuevas técnicas de preservación y, entre ellas el estudio de formulación y desarrollo de películas delgadas comestibles con el fin de ser utilizadas como recubrimiento de alimentos para aumentar su vida útil.

La demanda de los nuevos mercados por tecnologías que estén relacionadas con el cuidado ambiental ha traído alternativas de sustitución para los materiales sintéticos obtenidos a través de polimerización y que en general son derivados del petróleo.

Existen diferentes opiniones sobre si el uso de materiales biodegradables, biopolímeros, y bioplásticos son realmente la solución al problema que enfrenta la sociedad ante el uso desmedido de plásticos, a pesar de todo de manera general se considera que el uso de materiales con una fuente renovable es ambientalmente sustentable y al mismo tiempo si son dispuestos de manera adecuada al final de su vida útil pueden disminuir el impacto ambiental. Las alternativas plásticas que se pueden encontrar en el mercado son:

Bioplásticos: Los bioplásticos están realizados a partir de recursos renovables de origen animal, vegetal o fósiles, pero la principal característica que los diferencia de los polímeros convencionales es su estructura química, la cual hace que los bioplásticos puedan degradarse en condiciones naturales por agentes como microorganismos, hongos, y bacterias. El proceso de biodegradación es integrado por dos categorías: biodegradación primaria y biodegradación secundaria. Durante la biodegradación primaria la molécula original pierde sus propiedades físico-químicas. Durante la biodegradación secundaria la sustancia química es metabolizada por microorganismos como fuente de carbono y energía y se transforma en compuestos inorgánicos. La biodegradación puede darse en condiciones anaerobias o aerobias. De acuerdo con *European Bioplastics* (2016) los bio-plásticos son definidos como los plásticos bio-basados, biodegradables, o que reúnen ambas características.

Según predicciones de la multinacional *SMITHERS* que se encarga de hacer consultorías y desarrollo tecnológico en América, Europa y Asia, la proyección de los bioplásticos prevé un crecimiento del 17% anual entre los años 2017 y 2020 con un valor de mercado de 7.2 billones de dólares.

Hoy en día los bioplásticos pueden ser usados en todos casi todos los segmentos del mercado y aplicaciones, según los datos que reporta el instituto alemán *NOVA-Institut* los segmentos de mercado con un mayor uso de bioplásticos son: el textil con un 22%, automóviles y transporte 15%, empaques rígidos y flexibles con un 13% cada uno.

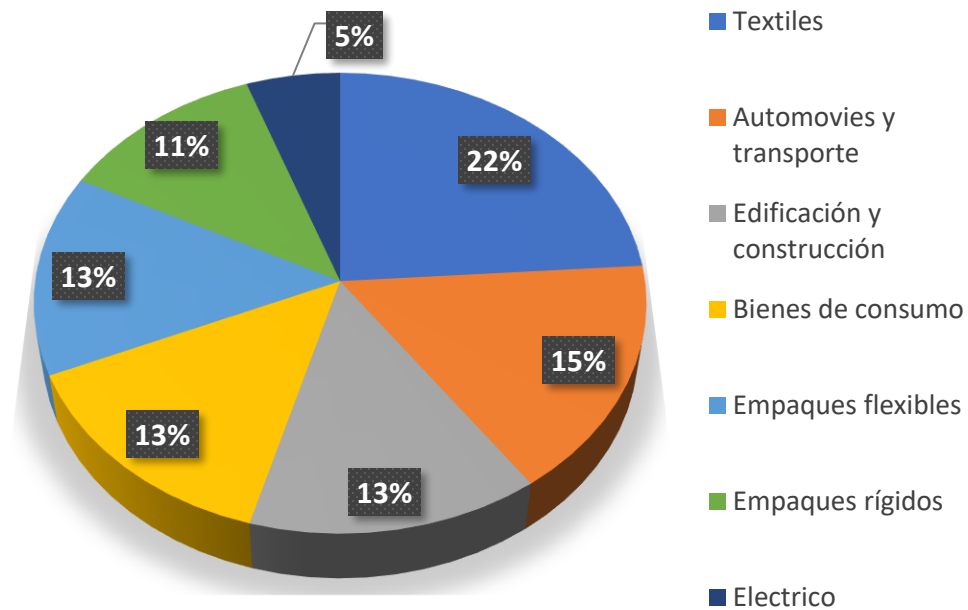


Figura 12. Segmentos de mercado de los Bioplásticos del 2019 (Nova Institute, 2020)

Existen cuatro tipos de plásticos bio-degradables:

- **Fotodegradables:** se degradan gracias a la acción de grupos sensibles a la luz incorporados directamente en el esqueleto del polímero, después de la exposición a la luz ultravioleta la estructura polimérica puede degradarse en partículas más pequeñas.
- **Semi-biodegradables:** tienen azúcares unidos a fragmentos cortos del polietileno, sin embargo, las bacterias son capaces de degradar los azúcares no así el polietileno el cual se queda como material no degradable.
- **Biodegradables sintéticos:** basado en alcohol polivinílico o polietinol con una estructura muy parecida al polietileno, su característica principal es la presencia de grupos de hidroxilo (-OH) lo cual lo vuelve soluble al agua.
- **Plásticos completamente biodegradables naturales:** este grupo está formado por los ácidos poliláctidos, poliésteres alifáticos, polisacáridos, copolímeros derivados de ellos y los polihidroxialcanoatos (PHA) estos últimos son polímeros producidos por bacterias.

Tabla 9. Plásticos Biodegradables con presencia en el mercado mexicano durante el 2020 (Elaboración propia).

Bioplástico	Origen	Usos comerciales	Compostabilidad ó degradación.	Empresas con proveedores en México
Ácido poliláctico (PLA)	Biobasado	Cubiertos, desechables, espumados para empaques, botellas para agua, impresión 3D, películas de empaque.	Compostable industrial	NatureWorks. Toray Resin Company. Purac. Mitsui Chem.
Libutilén Adipato Tereftalato (PBAT)	Petróleo	Agrícola, empaque, textiles, productos sanitarios, vajillas.	Compostable industrial. Compostable en casa.	BASF. Novamont. Symphony Environmental.
Almidón Termoplástico (TPS)	Biobasado	Desechables, película agrícola, capsulas para café, panal artificial, materiales de empaque.	Compostable en industrial. Compostable en casa.	DuPont. Novamont. Resirene.
Polihidroxialcanoatos (PHA)	Biobasado	Material de envasado, industria médica y farmacéutica, riego.	Compostable industrial. Compostable en casa. Biodegradable en agua. Biodegradable en suelo.	Procter & Gamble.
Polibutilén Succianato (PBS)	Biobasado	Bolsas, envases, utensilios para comida.	Compostable industrial. Compostable en casa. Biodegradable en suelo.	Succinity.
Policaprolactona (PCL)	Petróleo	Industria médica y farmacéutica,	**	BASF
Alcohol Polivinílico (PVOH)	Petróleo	Películas solubles al agua “pods”, Píldoras farmacéuticas.	**	Kuraray Co. Sekisul Chemical Company.

** Sin certificaciones

Nota: Estos plásticos generalmente son importados se encuentran solo para venta a gran escala, no se encuentran en centros de distribución pequeños como tiendas o centros comerciales.

El uso de los bioplásticos ha incrementado de manera favorable en los últimos años, de acuerdo con los datos publicados por *European bioplastics* (Instituto Europeo de Bioplásticos) (2020) los bioplásticos representan un 1% de 360 millones de toneladas del plástico producido anualmente, pero su demanda está creciendo y con nuevos polímeros y más aplicaciones para estos el mercado presenta un crecimiento constante, de acuerdo con

los últimos datos proporcionados por *Nova Institute* y *European Bioplastics* (2019) la capacidad de producción actual de los bioplásticos presenta un crecimiento de 2.11 millones de toneladas en 2019 a 2.43 millones de toneladas para el 2024.

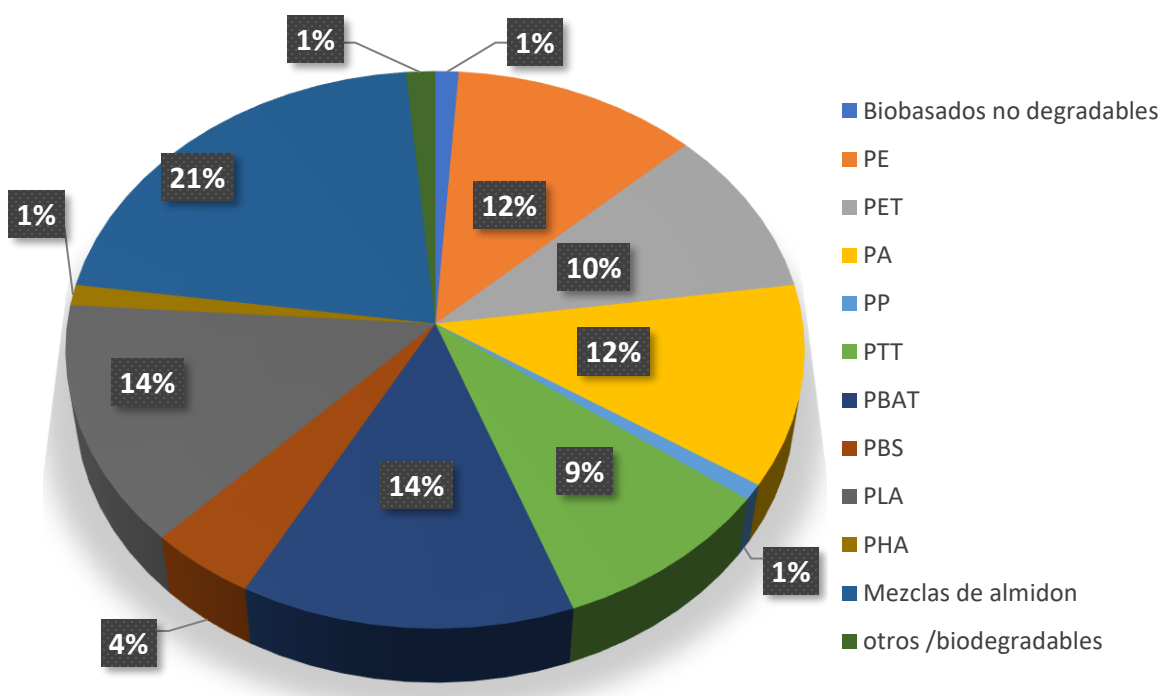


Figura 13 Capacidad anual de producción global de materiales bioplásticos del año 2019 (Nova Institute, 2020).

PE polietileno, PET tereftalato de polietileno, PA poliamida, PP polipropileno, PTT tereftalato de trimetileno, PBAT Butilén Adipato-co-Tereftalato, PBS polibutileno succiniato, PLA ácido poliláctico, PHA Polihidroxicanoato.

En cuanto al crecimiento a nivel global por regiones Europa ocupa el primer lugar de investigación y desarrollo, de la misma manera se ubica como el mercado más grande para la industria en todo el mundo, en la actualidad una cuarta parte la producción total de bioplásticos se ubica en Europa con un 25%, América del norte con un 18%, Sudamérica con un 12% y Asia con 45% siendo este el territorio que más produce bioplásticos.

Algunos de estos plásticos presentan la habilidad de poder ser biodegradados en ambientes controlados como el PLA, o algunos de ellos pueden ser degradados en un suelo normal como es el caso del PHA, la **tabla 10** muestra algunas de las pruebas de biodegradabilidad para los bio-plásticos.

Tabla 10. Pruebas estandarizadas para plásticos biodegradables (Beltrán *et al.*, 2014).

ASTM D5338-11	• Método de prueba para la determinación de la biodegradación aerobia de materiales plásticos en condiciones de composteo controlado, incorporando temperaturas termofílicas
ASTM D5511-12	• Método de prueba para la determinación de la biodegradación anaerobia de materiales plásticos en condiciones de digestión anaerobia con alto contenido de sólidos
ASTM D5988-12	• Método de prueba para la determinación de la biodegradación aerobia en suelo
ASTM D7475-11	• Método de prueba para la determinación de la degradación aerobia y anaerobia de materiales plásticos en condiciones de relleno mediante pruebas aceleradas en biorreactor
ASTM D5526-11	• Método de prueba para la determinación de la biodegradación de materiales plásticos en condiciones aceleradas de relleno
ISO 13975:2012	• Determinación de la biodegradación anaerobia total de materiales plásticos en sistemas controlados de digestión de lodos – Método por medición de producción de biogás
ISO 14855-1:2012	• Determinación de la biodegradabilidad aerobia total de materiales plásticos en condiciones de composteo controlado – Método por análisis de la generación de dióxido de carbono – Parte 1: método general
ISO 15985:2004	• Determinación de la biodegradación anaerobia total y desintegración en condiciones de digestión anaerobia con alto contenido de sólidos – Método por análisis del biogás liberado
ISO 17556:2012	• Determinación de la biodegradabilidad aerobia total de materiales plásticos en suelo mediante la medición de la demanda de oxígeno en un respirómetro o la masa generada de dióxido de carbono
ISO 14853:2005	• Determinación de la biodegradación anaerobia total de materiales plásticos en sistemas acuosos – Método por medición de la producción de biogás

Plásticos con aditivo oxobiodegradable:

Los plásticos oxobiodegradables son aquellos que cuentan con aditivos para acelerar su proceso de degradación, estos aditivos en su mayoría son metales de transición como el cobalto (Co), hierro (Fe), Manganeso (Mn) o níquel (Ni), los cuales funcionan como catalizador. Comúnmente estos plásticos son denominados como ambientalmente degradables, pues se degradan por agentes naturales como el agua, radiación ultravioleta y oxígeno.

De acuerdo con la *Oxo-Biodegradable Plastics Association* (2015) la oxobiodegradación está oficialmente definida por CEN (comité europeo de normalización) como: "Degradación resultante de fenómenos oxidativos y mediados por células, ya sea simultánea o sucesivamente".

El plástico oxibiodegradable es utilizado por empresas en todo el mundo y es obligatorio en África, Asia y Medio Oriente, donde los gobiernos están de acuerdo en utilizar plásticos más inteligentes en lugar de prohibirlos, de la misma manera fabricantes y minoristas no tienen permitido exportar a estos países si los productos no cuentan con la tecnología oxobiodegradable.

La degradabilidad y compostabilidad de los plásticos oxo-biodegradables “*Environment by a Combination of Oxidation & Biodegradation*” complementariamente se tiene la norma BS EN ISO 13432:2000 “*Packaging. Requirements for packaging recoverable through composting and biodegradation. Test scheme and evaluation criteria for the final acceptance of packaging*” la cual establece el límite aceptable de contenido de níquel en el compuesto para su disposición final.

La situación en el mercado mexicano para los plásticos con aditivos oxo-degradables es variable, pues centros de distribución pequeños como tiendas y centros comerciales hacen uso de estos plásticos, comúnmente en bolsas para cargar compras, sin embargo en Enero del 2018 *European Bioplastics* que es la asociación encargada de representar los intereses de la industria del bioplástico a lo largo de la cadena de valor europea, recomendó tomar medidas en contra del uso de los plásticos con aditivo Oxo-degradable, ya son plásticos convencionales con aditivos artificiales que no se degradan y se fragmentan posteriormente en microplásticos, permaneciendo en el medio ambiente.

Alguno de los productores de plásticos Oxo-degradables en México:

- Grupo Plastikrom
- Reptor
- Eastman Chemical Company
- Eco-Bom

2. Materiales y métodos

El presente trabajo pretende realizar una propuesta de sustitución de los materiales plásticos utilizados en el proceso de envasado y empaquetado de una lombricomposta líquida y sólida elaborada en el proyecto VermiBUAP, basados en la metodología llamada eco-diseño y apoyados en herramientas que permitan un análisis comparativo como cuadros, tablas e instrumentos como el FODA, donde se evaluarán las alternativas que se adecuen mejor a la nueva tendencia de una economía circular.

2.1. Área de estudio

El proyecto VermiBUAP está ubicado en las instalaciones de la preparatoria Lic. Benito Juárez García la cual es una unidad académica de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, está ubicada en Boulevard 14 Sur S/N Col. Jardines de San Manuel C.P. 72570 Puebla, Puebla.

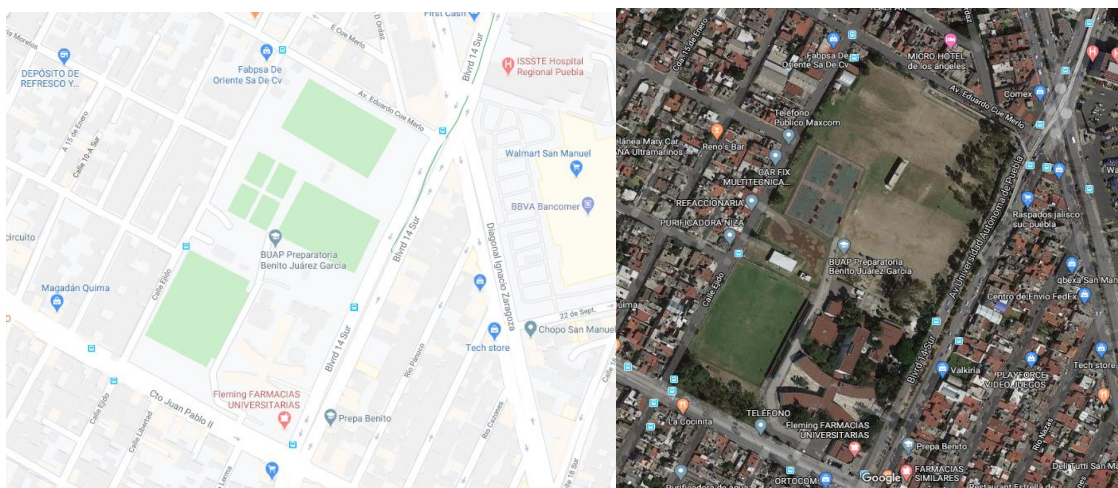


Figura 14. Ubicación geográfica del proyecto VermiBUAP en la ciudad de Puebla.

En esta unidad académica se lleva a cabo la recepción de residuos orgánicos como lo son restos de comida, frutas, carnicos, aceite de cocina, restos de poda como hojas y pasto, posteriormente los residuos orgánicos pasan a ser vertidos a “camas” elaboradas con plástico y bloques de hormigón, en ellas se lleva a cabo el proceso de lombricompostaje con la adición de lombrices rojas californianas (*Eisenia andrei*) al proceso. Una vez elaborada la lombricomposta es sustraída de las camas y expuesta al sol para la eliminación del exceso de humedad (NMX-FF-109-SCFI-2008; NMX-AA-SCFI-2018), durante este paso las

lombrices son retiradas de la lombricomposta y posteriormente pasa al area de sernido, donde se separan los residuos orgánicos que no se han descompuesto por completo, como huesos, cascara de aguacate, coco y fragmentos de cascaron huevo etc. Finalmente la lombricomposta es envasada, empaquetada y etiquetada para su venta.

2.2. Caracterización de una lombricomposta líquida y sólida para la utilización de bioplásticos en su envasado y embolsado basados en la metodología del eco-diseño

Para poder elegir un material adecuado al elaborar una propuesta basada en el eco-diseño para la sustitución de las bolsas y envases de una lombricomposta líquida y sólida será necesario conocer el porcentaje de humedad y el pH de la lombricomposta en sus dos presentaciones.

2.2.1. Características físicas, químicas de una lombricomposta sólida

Se realizarán las determinaciones de humedad y pH de una muestra de lombricomposta sólida conforme a la norma NMX-FF-109-SCFI-2008.

2.2.1.1. Determinación de humedad por método gravimétrico en una muestra de lombricomposta sólida

Según requerimientos de la norma NMX-FF-109-SCFI-2008 el método gravimétrico se basa en la medición o determinación de la cantidad de agua expresada en gramos que contiene una muestra de humus. Esta masa de agua se referencia de la masa del humus de lombriz húmeda de la muestra. La determinación de la masa de agua se realizará por la diferencia en peso entre la masa de humus húmedo y la masa de humus seco. Se considerará como humus de lombriz seco aquél secado a la estufa a $70 \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas, hasta obtener un peso constante.

En la **figura 15** se pueden observar las muestras de composta listas para el proceso de secado dentro en la estufa de circulación forzada de aire y temperatura controlada.



Figura 15. Determinación de humedad por método gravimétrico de una lombricomposta sólida.

2.2.1.2. Identificación del pH de una composta sólida.

El rango de pH de la composta sólida será identificado en las características químicas que se muestran en el etiquetado del producto elaborado de acuerdo a la norma NOM-182-SSAI-2010.

A continuación, se muestra la etiqueta del producto VermiBUAP sólido.

ALTO, LEA LA ETIQUETA ANTES DE USAR EL PRODUCTO

PRECAUCIONES Y ADVERTENCIAS DE USO

- No coma, beba o fume cuando esté utilizando este producto.
- No se transporte ni almacene junto a productos alimenticios.
- Manténgase fuera del alcance de los niños.
- Lávase las manos después de utilizar el producto y antes de consumir alimentos.
- Utilizar guantes de plástico para su manipulación y usar lentes de seguridad para evitar contacto con los ojos.

EN CASO DE PRESENTAR MOLESTIAS POR CONTACTO CON EL PRODUCTO "ACUDA A SU MÉDICO".

PRIMEROS AUXILIOS
En caso directo con los ojos, enjuagar con abundante agua.

MEDIDAS PARA PROTECCIÓN AMBIENTE

- Respete las recomendaciones de uso del producto.
- Respete las buenas prácticas agrícolas.
- Deposite el empaque de envasado en contenedores de basura.

VERMIBUAP[™]
Abono orgánico
Mejorador de Suelos
Composición Garantizada

Composición Física

Densidad aparente	0.542 g/ml
Capacidad y relación de humedad	115 %

Composición Biológica

Ausente de hongos patógenos
Inocuo no posee Salmonella sp., Escherichia coli y huevos de Helicobacter
Ausente de nematodos
Materia orgánica 25.5 %

Composición Química

pH	7.6 - 8.1
Cap. de Intercambio Catiónico	95.5 Cmol Kg ⁻¹
Conductividad Eléctrica	3.1 dS cm
Nitrógeno	0.78 %
Fósforo	0.001 %
Potasio	0.11 - 0.13 %

Reg. No. en trámite
Lote
Contenido neto: 5 Kg
Dirección y contacto
Eco campus Valsequillo BUAP
Km 1.7 Carretera a San Baltazar Télela Puebla, C. P. 72960
San Pedro Zacachimalpa, Puebla, México.
Tel. 52 (222) 2 29 55 00 Ext. 1302
Correo electrónico:
jose.patron@correo.buap.mx

BUAP
INSTRUCCIONES DE USO
BENEFICIOS DE LA LOMBRICOMPOSTA

- Mantienen la fertilidad del suelo.
- Las hojas y tallos se mantienen verdes y vigorosas.
- Contiene antibióticos naturales que previenen enfermedades, principalmente de tipo fungoso.
- Mejora la calidad de los productos obtenidos de las cosechas.
- Aumenta la relación de humedad en sustratos y suelos.

DOSIS DE EMPLEO
En todos los casos utilizar 1 Tonelada por hectárea por ciclo de cultivo para mantener la fertilidad del suelo. Una vez aplicada la lombricomposta mezclarla al suelo y luego regar abundantemente según las necesidades de cada cultivo.

Tipo de cultivo y cantidad.

- Frutales 2 Kg/bol.
- Césped 500 g/m.
- Ornamentales, 150 g/planta.
- Sombreros 30 % en volumen.
- Hortalizas 1 Ton/Hectárea.
- Rosales 1 Kg/planta.
- Plantas en maceta chica mezclar 30 % con suelo.
- Plantas en maceta mediana mezclar 30 % con suelo.
- Plantas en maceta grande mezclar 30 % con suelo.

Frecuencia de aplicación

- Frutales al momento de transplantar.
- Césped poner en la base una capa delgada en caso de césped en rollo.
- Ornamentales cada 3 meses.
- Sombreros mezclar al momento de preparar la mezcla de sustrato.
- Hortalizas cada ciclo de cultivo.
- Rosales cada 3 meses.
- Maceta chica aplicar cada 3 meses 250 g/maceta.
- Maceta mediana aplicar cada 3 meses 1 Kg/maceta.
- Maceta grande aplicar cada 3 meses 2 Kg/maceta.

HECHO EN MEXICO

VERMIBUAP OFICIAL

Figura 16. Etiqueta del producto VermiBUAP abono orgánico.

2.2.2. Identificación del pH de una composta líquida.

El rango de pH de la composta líquida será identificado en las características químicas que se muestran en el etiquetado del producto de acuerdo elaborado de acuerdo a la norma NOM-182-SSAI-2010. La figura 17 muestra la etiqueta del producto VermiBUAP líquido.



Figura 17. Etiqueta del producto VermiBUAP líquido.

2.3. Características físicas y químicas del bio-plástico PLA (ácido poliláctico)

Será realizada una investigación sobre las características físicas y químicas del bio-plástico PLA, basados en revistas, publicaciones científicas, y datos de productores y proveedores.

2.4. Eco-diseño de una propuesta de envase y empaque elaborados con PLA (ácido poliláctico) del producto “EcovioTS2341” para películas composteables y “Ecovio IS1335” para moldeo por inyección

Conforme a la literatura para desarrollar un producto diseñado para el medio ambiente de Giudice (2006) *Product Design for the Environment, A Life Cycle Approach* (Diseño de producto para el medio ambiente, un enfoque de ciclo de vida), serán mencionados en forma de lista los parámetros del eco-diseño con los que cumplen las nuevas propuestas de envase y empaque para una lombricomposta líquida y sólida del proyecto VermiBUAP elaborados con el bioplástico PLA (ácido láctico) “EcovioTS2341” y “EcovioTS2341” de la empresa BASF.

2.4.1. Variables para la medición de la eco-eficiencia

Serán enlistadas las variables para la medición de la eco-eficiencia con las que cumplen las nuevas propuestas de envase y empaque para una lombricomposta líquida y sólida.

2.4.2. Prácticas de diseño eco-eficientes

Serán enlistadas las prácticas de diseño eco-eficientes con las que cumplen las nuevas propuestas de envase y empaque para una lombricomposta líquida y sólida.

2.4.3. Métodos de análisis para la eco-eficiencia

Serán enlistados los métodos de análisis para la eco-eficiencia que fueron utilizados para elegir uno de los bio-plásticos para elaborar una propuesta de sustitución de empaques y envases actuales.

2.4.4. Parámetros de cumplimiento para una economía circular

En forma de lista se enumerarán los parámetros con los que cumplen las nuevas propuestas de envase y empaque para cumplir con una economía circular con forme al nuevo acuerdo mundial de economía de plásticos del año 2019 (*The New Plastics Economy Global Commitment*).

2.5. Comparación de las características técnicas de empaques y envases de PLA (ácido poliláctico) para una lombricomposta líquida y sólida basados en el eco-diseño

Mediante el uso de tablas se hará una comparativa entre las características técnicas de empaques y envases de PLA (ácido poliláctico) y empaques comerciales no biodegradables.

2.6. Realización de un análisis FODA para una propuesta de envases y empaques de lombricomposta

A través de la elaboración de un análisis FODA se analizarán las fortalezas, oportunidades, debilidades, y amenazas de una propuesta de envases y empaques elaborados con “EcovioIS1335” y “EcovioTS2341” de PLA (ácido poliláctico).

2.7. Comparación entre el manejo actual de los envases y empaques para una lombricomposta líquida y sólida en balance con una propuesta apoyada en el eco-diseño y una economía circular

Mediante el enfoque de una economía circular se evaluará el manejo actual de los envases y empaques de una lombricomposta líquida y sólida frente a una propuesta apoyada en el eco-diseño que utilice PLA (ácido poliláctico) para la elaboración de empaques y envases.

2.8. Evaluación de costos para nuevos envases y empaques de una lombricomposta líquida y sólida basados en el eco-diseño

A partir de la obtención de costos del PLA (ácido poliláctico) se realizará una evaluación con relación al costo-beneficio de una propuesta de nuevos envases y empaques para una lombricomposta líquida y sólida elaborada en el proyecto VermiBUAP.

2.9. Encuesta realizada a grupo focal

Serán realizadas encuestas electrónicas a un grupo focal de 137 personas, con el fin de conocer cuál es la aceptación que tiene un producto con empaque biodegradable que tiene como objetivo el cuidado del medio ambiente al no contaminar ni dejar residuos, los datos obtenidos de las encuestas serán analizados en gráficas de pastel.

3. Resultados y discusión

3.1. Caracterización física y química de una lombricomposta sólida y líquida

Resulta importante el conocimiento de las características físicas y químicas de una lombricomposta sólida para la elección de un material bio-plástico adecuado en una propuesta para la sustitución de los envases y empaques actuales de la lombricomposta elaborada en el proyecto VermiBUAP, es por ello que se realizaron los métodos de prueba correspondientes a las normas NMX-FF-109-SCFI-2008 y NMX-AA-SCFI-2018.

3.1.1. Humedad en una lombricomposta sólida

Mina (2014) hace mención de la importancia del control de humedad durante y después del proceso de lombricompostaje, considera un 70% de humedad durante el proceso para obtener las condiciones anaerobias idóneas para la lombriz roja californiana (*Eisenia andrei*) y la producción de lixiviados. El límite de porcentaje de humedad para una lombricomposta comerciable en todos sus grados de calidad está establecido entre un 20% a 40% sobre materia húmeda por la norma NMX-FF-109-SCFI-2008.

La vermicomposta elaborada en el proyecto VermiBUAP fue analizada bajo la prueba por método gravimétrico establecido por la normativa mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008. El producto Ecovio de la empresa multinacional BASF fue el bio-plástico seleccionado para realizar la propuesta de un nuevo empaque y envase para la lombricomposta elaborada en el proyecto VermiBUAP, este polímero es elaborado con ácido poliláctico como base, también conocido como PLA.

Averous (2008) menciona que el PLA (ácido poliláctico) se considera un poliéster semicristalino sintético biodegradable, obtenido comercialmente mediante la polimerización de lactonas por apertura de anillo, o mediante la policondensación de ácidos hidroxycarbonados. El PLA es un material biodegradable con excepcionales propiedades mecánicas y ópticas.

Por medio del método gravimétrico se evaluaron 5 muestras de lombricomposta, arrojando un valor promedio de 39.87% de humedad en la lombricomposta del proyecto VermiBUAP, cifra que cumple con los rangos establecidos por la normativa en cuanto a calidad, y peso

para una lombricomposta terminada, y que no significa un rango de humedad inadecuado para el deterioro de una bolsa elaborada con una película de PLA (ácido poliláctico), Albán *et al.* (2003) el PLA puede ser tan duro como el acrílico o tan blando como el polietileno, rígido como el poliestireno o flexible como un elastómero. Puede además ser formulado para dar una variedad de resistencias.

Södergard (2000) menciona que la barrera al agua y al CO₂ del PLA ha demostrado ser satisfactoria al ser utilizada como película de empaques para productos que presentaban una humedad considerable. De la misma forma Albán *et al.* (2003) mencionan que empaques de PLA han sido utilizados además como "ventanas" en empaques para productos secos como el pan, donde cumplen una función de barrera contra la humedad, y en la elaboración de recipientes de papel recubiertos de PLA para el envasado de bebidas, donde cumple también una función de barrera a la humedad. De acuerdo con Herryman *et al.* (2005) el PLA mezclado con distintos polímeros naturales permite desarrollar materiales con mejores propiedades de resistencia al agua.

Paralelamente la hoja de seguridad proporcionada por la empresa BASF del producto "ecovio FT2341" elaborado con PLA menciona una excelente resistencia a la humedad para bolsas contenedoras de residuos orgánicos, los cuales presentan una humedad considerablemente alta.

3.1.2. pH de una composta sólida

El rango de pH de la composta solida está identificado mediante los métodos de prueba de la norma NMX-FF-109-SCFI-2008 que se basa en la determinación de la actividad del ion H^+ , esta determinación se realiza mediante el uso de una membrana sensible al H^+ , la composta se mide en una suspensión acuosa con relación al humus de lombriz y agua 1:5. Como se muestra en la **figura 14** el pH está identificado en el apartado de composiciones químicas, con un rango que oscila de 7.6 – 8.1, lo cual es un rango que propicia la degradación del PLA, como menciona Arrieta (2014) la velocidad de degradación hidrolítica del PLA y su consiguiente reducción de masa es mayor en condiciones básicas que en medios ácidos. Sin embargo, no se conjugan las 3 cosas esenciales para su degradación que son un pH de 5-8, temperaturas superiores a los 60°C y la presencia de microorganismos enlistados en la **tabla 18**. Como mencionan Albán *et al.* (2003) las condiciones necesarias para que se pueda producir el proceso de biodegradación son: Presencia de microorganismos, oxígeno, humedad, nutrientes minerales, temperaturas superiores a los 60°C y pH entre 5-8. Es por ello el pH que presenta la lombricomposta sólida no degradaría los empaques elaborados con PLA.

3.1.3. pH de una composta líquida

Así como la composta sólida, el rango de pH de la composta líquida está identificado mediante los métodos de prueba de la norma (NMX-FF-109-SCFI-2008) que se basa en la determinación de la actividad del ion H^+ , esta determinación se realiza mediante el uso de una membrana sensible al H^+ . De la misma manera como se determinó en el pH de la composta sólida el rango de 7.6 – 8.1 no impide el uso del PLA como material bioplástico para un envase, ya que no se cumplen con todas las condiciones necesarias para su degradación.

3.2. Características físicas y químicas del bio-plástico PLA (ácido poliláctico)

La obtención del ácido poliláctico se da a través de la fermentación de la glucosa producida directamente del almidón que se sustrae naturalmente del cultivo de maíz, para Arrieta (2014) el ácido láctico se puede obtener con mayor eficiencia para cantidades a gran escala mediante síntesis química pero el costo es sumamente elevado, lo que lo hace este proceso inviable, es

por ello que la mayor obtención de ácido láctico se elabora por fermentación bacteriana, los procesos de fermentación se pueden dividir en dos heterofermentativos y homofermentativos, siendo el segundo el más utilizado a nivel industrial debido a que se produce mayor rendimiento de ácido láctico. Albán *et al.* (2003) hace mención que el PLA tiene propiedades mecánicas en el mismo rango de los polímeros petroquímicos, a excepción de una baja elongación. Sin embargo, esta propiedad puede ser afinada durante la polimerización (por copolimerización) o por modificaciones.

3.2.1. Cristalinidad del PLA

Arrieta (2014) menciona que la cristalinidad influye en muchas propiedades de los polímeros como la dureza, módulo elástico, resistencia a la tracción y rigidez, la temperatura de fusión y el grado de cristalinidad son dependientes de la masa molar y de la pureza del polímero. La capacidad de controlar la estereoquímica permite un control sobre la velocidad de cristalización y finalmente sus propiedades mecánicas.

3.2.2. Estabilidad térmica

Arrieta (2014) también menciona que una de las principales limitaciones del PLA es su inestabilidad térmica para el procesado, durante el proceso de transformación, los enlaces éster de PLA tienden a degradarse y ocurre una disminución de la masa molar ocasionada por la degradación, lo que afecta a las propiedades finales del material, tales como la resistencia mecánica y la velocidad de degradación hidrolítica.

La hoja de seguridad del producto “Ecovio” en el apartado **condiciones de almacenamiento seguro** hace mención de las medidas de precaución que tienen que ser tomadas para el correcto desempeño del polímero, como lo son mantener alejado el producto de agentes oxidantes, humedad, luz solar directa, así como fuentes de calor.

3.2.3. Características físicas y químicas del producto “ecovio FT2341” para películas compostables y “ecovioIS1335” para moldeo por inyección

El producto “ecovio FT2341” de la empresa BASF utilizado como bio-plástico para la propuesta de nuevos empaques de la lombricomposta elaborada en el proyecto VermiBUAP tiene las siguientes propiedades mostradas en la **tabla 11 y 12**.

Tabla 11. Propiedades básicas del producto "ecovioFT2341".

Propiedad	Unidad	Método de prueba	ecovioF2341
Densidad de masa	g/cm ³	ISO 1183	1.36 -1.40
Densidad aparente	Kg/cm ³	DIN EN ISO 60	800
Índice de fluidez en volumen MVR 190°C, 5 kg	ml/10min	ISO 1133	5.0 - 11.0
Puntos de fusión	°C	DSC	110 -120
	°C	DSC	140 - 155

Adaptado de la hoja de seguridad del producto ecovio FT2341 (BASF, 2016).

Tabla 12. Propiedades de una película soplada "ecovioFT2341" de 2525µm (micrómetros).

Propiedad	Unidad	Método de prueba	EcovioFT2341
Módulo de tracción			
MD/TD	MPa	ISO 527	260/30
Resistencia a la tracción	Mpa	ISO 527	25/25
Elongación	%	ISO 527	480/570
Caída de dardos	g	ATSM D 1709-04 Método A	250
Resistencia al desgarro	mN	DIN EN ISO 6383-2	1600/1300

Adaptado de la hoja de seguridad del producto ecovio FT2341 (BASF, 2016)

MPa mega amperes, % porcentaje, *g* gramos, *mN* milinewton.

Jens Hamprecht y Georg Kosak (2011) elaboraron una prueba junto con las autoridades sanitarias del distrito de Bad Dürkheim en Alemania, poniendo a prueba por tres meses una bolsa elaborada con PLA (ácido poliláctico) de la marca EcovioFS de la multinacional BASF, donde los ciudadanos dispusieron de sus residuos sólidos en bolsas de EcovioFS y posteriormente fueron compostados en una planta transformadora de Grünstad, mostrando un desempeño satisfactorio en un 90% de los usuarios en comparación con bolsas

convencionales. Las bolsas elaboradas con EcovioFS cumplieron con los requerimientos para contener líquidos y materia orgánica, y posteriormente fueron composteadas sin comprometer la calidad de la composta, la densidad, el contenido de sales, agua, pH, nutrientes y el porcentaje de materia orgánica se mantuvieron sin cambios aparentes.

La **tabla 13** muestra otras de las propiedades físicas y químicas del producto “ecovioFT2341” contenidas en su hoja de seguridad.

Tabla 13. Propiedades físicas y químicas de “ecovioFT234” (elaboración propia).

Propiedad	Unidad de medida
Intervalo de fusión	100-120 °C
Punto de inflamación	> 280 °C
Inflamabilidad	No es un producto fácilmente inflamable
Autoinflamación	>400 °C
Densidad	Aprox. 0.8 - 1.4 g/cm ³ (20 °C, 1,013 hPa)
Descomposición	>280 °C
Solubilidad en agua	No soluble

Los datos contenidos en la **tabla 13** fueron tomados de la en la hoja de seguridad del año 2018 para el producto “ecovioFT2341”.
hPa (hecto pascales).

El producto “ecovioIS1335” de la empresa BASF utilizado como bio-plástico para la propuesta de nuevos envases para la lombricomposta líquida elaborada en el proyecto VermiBUAP tiene las siguientes propiedades mostradas en la **tabla 14**

Tabla 14. Propiedades básicas del producto “ecovioIS1335” a 23°C (Elaboración propia).

Propiedad	Unidad	Método de prueba	Valores
Temperatura ideal de fusión	°C	-	195
Rango de temperatura de fusión	°C	-	180-205
Temperatura de secado	°C	-	70
Tiempo de secado	h	-	6
Índice de volumen de fusión.	kg/m ³	ISO 1183	1470
	MVR (190°C/2.16 kg)	ISO 1133	9.0 [cm ³ /10min]
Tensión de rotura	MPa	ISO 527-2	3600
	%	ISO 527-2	4

Adaptado de la hoja de seguridad del producto “ecovioIS1335” (BASF 2019).
MVR índice de volumen de fusión, MPa mega amperes.

Tabla 15. Propiedades básicas del producto “ecovioIS1335” (Elaboración propia).

Propiedad	Unidad de medida
Intervalo de fusión	100 - 120 °C
Punto de inflamación	> 280 °C
Inflamabilidad	No es un producto fácilmente inflamable
Autoinflamación	>400 °C
Densidad	Aprox. 0.8 - 1.4 g/cm ³ (20 °C, 1,013 hPa)
Descomposición	> 280 °C
Solubilidad en agua	No soluble

Los datos contenidos en la **tabla 15** fueron tomados de la en la hoja de seguridad del año 2018 para el producto “ecovioIS1335”.
hPa (hecto pascales).

3.3. Parámetros para el cumplimiento de un eco-diseño en las propuestas de envases y empaques realizados con PLA (ácido poliláctico) para una composta líquida y sólida elaborada en el proyecto VermiBUAP

Para poder realizar un producto que este diseñado para no tener un impacto negativo en el medio ambiente existen una serie de parámetros con los que se tiene que cumplir al elaborar una propuesta, estos parámetros están mencionados en Giudice (2006) *Product Design for the Environment, A Life Cycle Approach*. Las propuestas de envases y empaques elaboradas con PLA de la empresa BASF “**ecovio FT2341**” para películas composteables y “**ecovio FT2341**” para moldeo por inyección deben cumplir con estos parámetros para cumplir con un eco-diseño

3.3.1. Variables para la medición de la ecoeficiencia de las propuestas de envases y empaques elaboradas con “ecovio FT2341” para películas composteables y “ecovio FT2341” para moldeo por inyección

- **Utilización de productos tóxicos:** 225 envases de HDPE y 225 empaques de PE serían sustituidos por la misma cantidad de envases y empaques elaborados con PLA, el cual es 100% biodegradable, por lo tanto, no tóxico para el medio ambiente.
- **Utilización de recursos durante el ciclo de vida del producto:** gracias a los envases y empaques de PLA, se dejarían de usar 225 envases de HDPE (polietileno de alta densidad) y 225 empaques de PE (polietileno) los cuales son derivados de recursos fósiles, y se usarían a su vez recursos que se obtienen por síntesis química y fermentación bacteriana.
- **Medidas de emisiones medio ambientales:** se considera una emisión cero de gases de efecto invernadero cuando los materiales biobasados son dispuestos de la manera adecuada, en este caso el PLA es un bioplástico 100% biodegradable.
- **Medidas de minimización de residuos:** Solo se podrá reciclar el 50% de los residuos ya que conforme al manejo actual de las bolsas y envases solo es posible el reciclado de los envases, actualmente se rellenan los 225 envases sin embargo no se tiene un plan de reciclaje para los empaques, pues están diseñados para ser composteados.

3.3.2. Prácticas de diseño eco-eficientes al sustituir el PE y HDPE por PLA para nuevos envases y empaques

Al sustituir el PE (polietileno) de los empaques y el HDPE (polietileno de alta densidad) de los envases se cumple con un listado de prácticas eco-eficientes necesarias para un ecodiseño, lo cual genera un enfoque de “márquetin verde” al producto, el cual genera atracción provocada por la preocupación cuidar del medio ambiente, como menciona Castañeda (2014) como respuesta al aumento de la conciencia mundial frente al deterioro del planeta, surge el *green marketing* o mercadotecnia verde, al que se considera una de las mayores tendencias.

- La sustitución de las bolsas fabricadas con PE y envases fabricados de HDPE por PLA se cumple con la práctica de cambio de materiales más eficientes en términos de reciclaje, gasto energético además de la reducción de residuos de origen.
- Con la sustitución de las bolsas fabricadas con PE y envases fabricados de HDPE por PLA se cumple con la práctica de reducción en la utilización de sustancias indeseadas o tóxicas, los plásticos de origen fósil son las sustancias indeseadas en el producto.
- Al utilizar el PLA en lugar de un plástico común de origen fósil en este caso PE y HDPE se cumple con la práctica de reducción de consumo de energía que es requerida para producir, transportar, almacenar, mantener, reciclar, o desechar.
- Los envases de PLA para el extracto líquido de composta serán reciclados para su continuo uso entre el proveedor de composta VermiBUAP y el cliente, con esto se prolongará su vida útil hasta su disposición final adecuada, con ello se cumple con la práctica de prolongación de vida útil del producto y de sus componentes, con ello también se cumple con el diseño del producto para su reciclaje y así asegurar el máximo de producto reaprovechado.
- El PLA es un material 100% biocompostable, es por ello que la propuesta de nuevos envases y empaques elaborados con este material cumple con un correcto diseño para el desecho, que asegura que los materiales que no serán reutilizados puedan ser desechados de manera adecuada, segura y eficiente.

- El PLA es un material bioplástico 100% biodegradable en condiciones industriales lo cual favorece al medio ambiente, sin embargo, el material puede ser dispuesto como un plástico común en un entierro que cuente con la tecnología necesaria para la recuperación de gases como el metano, con esta característica se cumple con la práctica de diseño para la recuperación de energía basado en el aprovechamiento de materiales residuales.

3.3.3. Análisis de eco-eficiencia de una la propuesta de envases y empaques elaborados con PLA (ácido poliláctico) en sustitución de envases y empaques realizados con PE (polietileno) y HDPE (polietileno de alta densidad)

Para poder elegir un bio-plástico como propuesta para sustituir el PE de los empaques y el HDPE de los envases fue necesario utilizar algunos de los métodos de análisis de eco-eficiencia.

- El método de cribado fue utilizado para reducir el número de propuestas a elegir, para ello se establecieron ciertos parámetros como las propiedades químicas del PLA frente a otros biopolímeros en el mercado como se puede observar en la **tabla 17**, y su biodegradabilidad como se observa en la **tabla 18 y 19** , en este caso el PLA mostraba un desempeño favorable frente a plásticos y bio-plásticos no biodegradables como el PE (polietileno), PET, PA, PT, del mismo modo se buscó un bioplástico que no usara recursos fósiles como es el caso del PCL (policaprolactona), PVOH (alcohol polivinílico) y PBAT (libutilén adipato tereftalato).
- El método de evaluación de alternativas fue utilizado para comparar el rendimiento del PLA, PBS, y PHA , los cuales fueron las opciones de bio-plásticos finales para una alternativa de sustitución de empaques y envases actualmente elaborados con PE y HDPE, el atributo principal a evaluar fueron sus usos comerciales como muestra la **tabla 9** los usos del PLA son más variados como cubiertos, desechables, espumados para empaques, botellas, impresión 3D y películas de empaque, a diferencia del PBS y PHA cuyos usos son más limitados como la industria médica, bolsas o utensilios para comida.

3.3.4. Parámetros de cumplimiento para una economía circular de una propuesta de envases y empaques elaborados con PLA (ácido poliláctico)

La sustitución del PE de los empaques y HDPE de los envases y por PLA cumple con los parámetros establecidos para el cumplimiento de una economía circular elaborada por “*New Plastics Economy Global Commitment*” (Compromiso Global de Una Nueva Economía de Plásticos).

- La utilización del PLA como bioplástico para envases y empaques cumple con el parámetro de eliminación de embalajes de plástico problemático o innecesario a través del rediseño y la innovación.
- La propuesta de un envase elaborado con PLA cumple con el parámetro de reducción de embalajes de un solo uso, ya que serán reutilizados entre el cliente y el productor para incrementar la vida útil del material, las bolsas de PLA no pueden ser vueltas a sellar por el productor por lo cual no pueden ser reutilizadas para empacar composta otra vez.
- Ya que el PLA (ácido poliláctico) es un bioplástico 100% biodegradable su utilización en envases y empaques cumple con el parámetro de diseño de embalajes 100% reusables y compostables.
- Utilizar el PLA como material bioplástico para envases y empaques es totalmente disociado del consumo de fuentes finitas como el petróleo.

3.4. Características técnicas de empaques y envases de PLA (ácido poliláctico) en comparativa con plásticos no biodegradables

Pagès *et al.* (2010) mencionan que en comparación con algunos de los principales termoplásticos comerciales (PS, PP, PET), el PLA posee, en general, propiedades mecánicas superiores y resistencia térmica inferior.

La **tabla 16** muestra alguna de las propiedades del polímero PLA utilizado como material de empaque, en comparativa con otros plásticos normalmente utilizados.

La **tabla 17** muestra la comparativa entre propiedades del polímero PLA en comparación con otros plásticos de origen bacteriano.

Tabla 16. Propiedades de diferentes polímeros utilizados como materiales de empaque.

Polímero	Fuerza de tensión (Mpa)	Módulo de tensión (Gpa)	Temperatura máxima usada (°C)
LDPE	6.2 – 17.2	0.14	65
HDPE	20 – 37.2	-	121
PET	68.9	2.8 – 4.1	204
PS	41.3 – 51.7	3.1	78
PA	62 – 82.7	1.2 – 2.8	-
PP	33 – 37.9	1.1 – 1.5	121
PLA	40 - 60	3 - 4	50 - 60

Albán *et al.* (2003).

Mpa mega amperes, *Gpa* giga Pascal, °C grados Celsius.

LDPE polietileno de baja densidad, HDPE polietileno de alta densidad, PET tereftalato de polietileno, PS poliestireno, PA poliamida, PP polipropileno, PLA ácido poliláctico.

Tabla 17. Comparativa de propiedades de plásticos de origen bacteriano.

Plástico Bacteriano	Método de polimerización	T_m (°C)	T_g (°C)	Módulo de Young's (MPa)	Alargamiento de rotura (%)	Fuerza de Tensión (MPa)
PHA	Biológico	60-177	-50-4	Flexible	2 -1000	17-104
PLA	Químico	175	60	384-481	5.2 - 2.4	49.6-61.6
PBS	Químico	11.8-146.5	-36.6 hasta -33	268.0	175.2	24.8
PE	Químico	136.4	33.4	102	297.7	22-29
PTT	Químico	227.55	42.6	727.881a	159.48	49.24
PPP	Químico	*	173-232	*	*	*

Chen (2010).

MPa mega amperes, T_m punto de fusión, T_g temperatura de transición vítrea, * no determinado.

PHA Polihidroxialcanoato, PLA ácido poliláctico, PBS polibutileno succiniato, PE polietileno, PTT tereftalato de trimetileno, PPP polipropileno.

En comparativa con otros polímeros Arrieta (2014) menciona que el PLA presenta mejores propiedades de barrera al CO₂ que PS pero menores que PET, mejores propiedades de barrera al oxígeno que PS y poli (etileno) de baja densidad (LDPE), pero menores que PET. A su vez menciona las observaciones de Auras *et al.* (2005) donde se menciona que el PLA presenta mejores propiedades de barrera a la luz que LDPE, pero un poco inferiores que el PS, Celofán (CE), y PET.

Las bolsas que se ocupan como material de empaque en el proyecto vermiBUAP están elaboradas de PE polietileno, como se puede observar en las **tablas 16 y 17** el PLA (ácido poliláctico) mantiene propiedades similares e incluso mejores a las del PE polietileno por lo cual es una opción factible para una propuesta de sustitución del empaque.

Las **figuras 18 y 19** muestran la película de empaque utilizada para almacenar y vender la lombricomposta sólida elaborada en el proyecto VermiBUAP



Figura 18. Empaque vacío de PE.



Figura 19.Empaque de PE lleno de lombricomposta.

Los envases que se ocupan para almacenar y transportar la lombricomposta líquida del proyecto vermiBUAP están elaborados con PE polietileno, las figuras 20 y 21 muestran los envases que se utilizan actualmente, como se observa en las tablas 16 y 17 el PLA ácido poliláctico mantiene propiedades similares e incluso mejores a las del PE polietileno, es por ello que se considera como una opción factible para una propuesta de nuevos envases para la lombricomposta líquida.



Figura 20. Envase de polietileno para una composta líquida.



Figura 21 . Envase de polietileno para una composta líquida.

3.4.1. Degradabilidad del PLA (Ácido poliláctico)

Pan (2016) menciona que la tasa de degradación del PLA depende del grado de cristalinidad. Según las investigaciones de Kopinke (1996) mencionadas por Arrieta (2014) acerca de la degradación del PLA, mencionan que es un proceso complicado ya que varias reacciones ocurren simultáneamente, la degradación tiene lugar en temperaturas superiores a 200°C, a su vez los aumentos en los grupos terminales hidroxilo y carboxílicos promueven una descomposición térmica.

Chen (2010) hace mención de la importancia de enzimas y microorganismos como bacterias y hongos que interactúan para la degradación de plásticos de origen natural o sintético, la biodegradación de plásticos de origen bacteriano se da través de diferentes condiciones de suelo de acuerdo a sus diferentes propiedades. La hidrólisis abiótica es la reacción más importante para iniciar una degradación para polímeros sintéticos como el PLA. El PLA es

completamente degradable bajo condiciones de compostaje a gran escala con temperaturas > 60 °C. La **tabla 18** muestra los microorganismos necesarios para degradar diferentes bioplásticos del mercado.

Tabla 18. Microorganismos necesarios para degradar bioplásticos de origen bacteriano.

Plástico de origen bacteriano.	Microorganismos degradantes	Referencias
PHA	<i>Pseudomonas lemoignei</i> ; <i>Alcaligenes faecalis</i> ; <i>Schlegelella</i> ; <i>Thermodepolymerans</i> ; <i>Clostridium botulinum</i> ; <i>Clostridium acetobutylicum</i> .	Jendrossek <i>et al.</i> (1995), Kita <i>et al.</i> (1997), Abou-Zeid <i>et al.</i> (2001), Romen <i>et al.</i> (2004).
PLA	<i>Fusarium moniliforme</i> ; <i>Penicillium roquefort</i> ; <i>Amycolatopsis sp.</i> ; <i>Bacillus brevis</i> ; <i>Rhizopus delemar</i> .	Fukuzaki <i>et al.</i> (1989), Torres <i>et al.</i> (1996), Pranamuda <i>et al.</i> (1997), Pranamuda and Tokiwa (1999), Tomita <i>et al.</i> (1999),
PBS	<i>Alcaligenes faecalis</i> ; <i>Pseudomonas stutzeri</i> ; <i>Comamonas acidovorans</i> .	Kasuya <i>et al.</i> (1999)
PE	<i>Brevibacillus borstelensis</i> ; <i>Rhodococcus rubber</i> ; <i>Penicillium simplicissimum</i> YK.	Gilan <i>et al.</i> (2004), Hadad <i>et al.</i> (2005), Sivan <i>et al.</i> (2006),
PTT	<i>Trichosporum</i> ; <i>Arthrobacter</i> ; <i>Aspergillus niger</i> ; <i>Rhizopus delemar</i>	Huang and Byrne (1980), Witt <i>et al.</i> (1995), Nagata <i>et al.</i> (1997), Müller <i>et al.</i> (2001)

Chen (2010)

PHA Polihidroxialcanoato, PLA ácido poliláctico, PBS polibutileno succinato, PE polietileno, PTT tereftalato de polietileno.

Hamprecht *et al.* (2011) hacen mención del origen del PLA procesado por la multinacional BASF utilizado en su prueba en el distrito de Dürkeim, Alemania, el cual es obtenido en base al almidón de maíz, y en adición mencionan que la llave para la degradación de este material es su estructura molecular, no el origen de la materia prima. Al final en el proceso de compostaje las bolsas utilizadas en el proyecto del distrito de Dürkeim fueron totalmente convertidas por los microorganismos en dióxido de carbón, agua y biomasa.

Los estudios de Ruiz *et al.* (2012) pusieron a prueba la degradación del PLA durante 90 días en un ambiente controlado de lombricomposteo con *Eisenia foetida* a pequeña escala, concluyendo que el PLA no muestra cambios aparentes dentro de este método de transformación de materia orgánica, derivado a la falta de condiciones necesarias para iniciar la hidrólisis que es esencial para disminuir el peso molecular del biopolímero y hacerlo susceptible al ataque microbiológico responsable de su transformación final.

En cuanto a una comparativa de biodegradación con los plásticos normalmente usados como material de empaque como es el caso del PE polietileno, el PLA aventaja a los plásticos no biodegradables, ya que no se tiene bien definido cuanto tiempo tardan en degradarse hasta nivel molecular por la simple acción de microorganismos, Parker (2019) menciona en su publicación para la revista National Geographic una estimación para la degradación de plásticos de origen fósil de más de 450 años. Es por ello que una propuesta de bolsas y envases elaborados con PLA del producto “ecovio FT2341” y “EcovioTS2341” se degradarían más rápido que los utilizados actualmente.

La **tabla 19** y **20** muestran las certificaciones de compostabilidad y biodegradabilidad con las que cuentan los polímeros “**ecovioFT2341**” y “**ecovioIS1335**”.

Tabla 19. Certificación de compostabilidad y biodegradabilidad de “ecovioIS1335”.

Norma	EN 13432		ASTM D 6400
	(EU)		(USA)
Grupo certificador	DIN Certco	TÜV Austria	BPI
Número de certificación	7W0168	017-2588-A	J-00161470

BPI *Biodegradable Products Institute* (Instituto de Productos Biodegradables).

Tomado de la hoja de seguridad del producto “**ecovioIS1335**” (2019).

La **figura 22** muestra los logos de los institutos certificadores mostrados en la **tabla 19**.

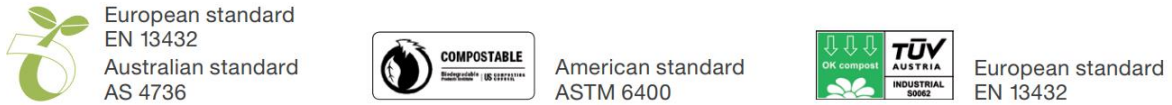


Figura 22. Institutos certificadores de compostabilidad y biodegradabilidad del producto “ecovioIS1335”.

Tabla 20. Certificación de compostabilidad y biodegradabilidad de “ecovioFT2341”.

Organismo certificador	DIN Certco	Vinçotte		BPI
Norma/ Esquema de Certificación.	EN 13432	OK Compost (EN 13432)	OK Home	ASTM D 6400
Número de certificación	7W0188	O12-1010-D	O13-1093-C	J-00114714

BPI *Biodegradable Products Institute* (Instituto de Productos Biodegradables). Tomado de la hoja de seguridad del producto “ecovioFT2341” (2016).

La **figura 23** muestra los logos de los institutos certificadores mostrados en la **tabla 20**.



Figura 23. Institutos certificadores de compostabilidad y biodegradabilidad del producto “ecovioFT2341”.

3.5. Análisis FODA de una propuesta de envases y empaques elaborados con bioplástico PLA (ácido poliláctico) “ecovioIS1335” y “EcovioTS2341”.

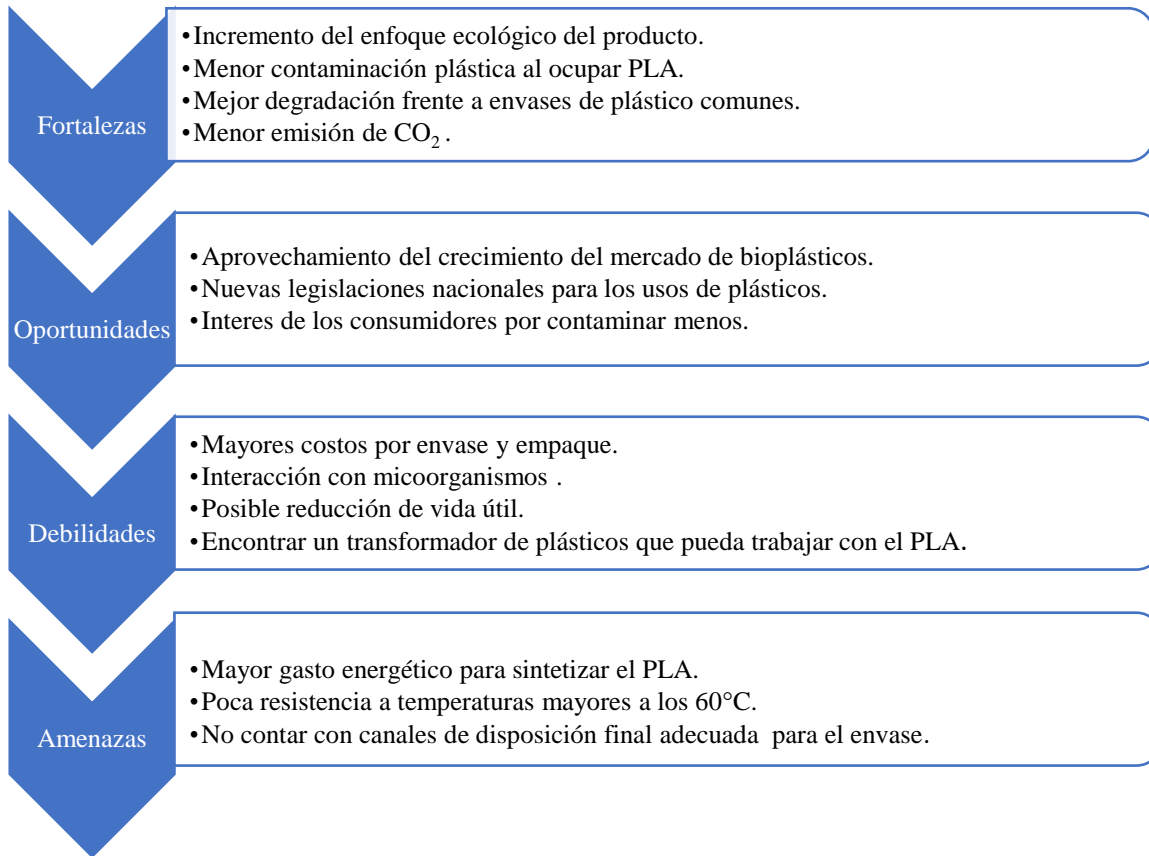


Figura 24. Análisis FODA de una propuesta de envases y empaques elaborados con bioplástico PLA (ácido poliláctico) “ecovioIS1335” y “EcovioTS2341”, enlistado de fortalezas, oportunidades, debilidades, amenazas.

Fortalezas

Existen nuevas tendencias de *marketing* para hacer una empresa o producto “verde” lo que genera un enfoque de los productos hacia el cuidado con el medio ambiente como define Chamorro (2001) el *marketing* ecológico como aquel que aplican las empresas que adoptan un enfoque de *marketing* social para comercializar productos ecológicos.

Ya que el PLA tiene un grado de degradabilidad mayor cuando este es dispuesto de manera adecuada en su fase final de vida genera menos contaminación que los plásticos regulares, Pan *et al.* (2016) menciona que los bioplásticos tienen propiedades similares a los plásticos convencionales, pero se diferencian de ellos ya que se degradarán al reincorporarlos al medio

ambiente por la acción de microorganismos, lo cual disminuirá su impacto al medio ambiente en relación a los plásticos convencionales.

En cuando a la emisión de CO₂ Blengini (2008) menciona que en caso de una biodegradación en condiciones aerobias la emisión de CO₂ por la descomposición de un material bioplástico puede ser considerada como nula.

Oportunidades

De acuerdo a los datos de *European Bioplastics* (2019) la producción anual en el 2019 de materiales bioplásticos fue de un total de 2.11 millones de toneladas, de los cuales la producción del PLA fue un 13.9%, siendo el bioplástico biodegradable más utilizado solo por debajo de las mezclas elaboradas con almidón, esta misma organización europea de bioplásticos prevé un incremento de 1.33 millones de toneladas en la producción total de bioplásticos para el 2024, lo que muestra un claro crecimiento de demanda en el mercado.

Lo cambios que se han presentado a las legislaciones en México en cuanto al uso de plásticos no biodegradables representan una gran oportunidad para que los bioplásticos crezcan en el mercado mexicano. El sol de México (2019) menciona que las reformas a la ley de residuos sólidos en la ciudad de México se prohíben el uso de bolsas, tenedores, cuchillos, cucharas, palillos mezcladores, platos, popotes o pajitas, cotones, globos, vasos y sus tapas, charolas, aplicadores de tampones y cualquier utensilio fabricado con plásticos. Así como otros estados de la República Mexicana han establecido sus propias prohibiciones y multas correspondientes como se puede observar en la **tabla 8**.

El interés de los consumidores hacia el cuidado del medio ambiente ha incrementado constantemente en los últimos años , como menciona Castañeda (2014) en los últimos años, a partir de los cambios en el medio ambiente del planeta propiciados en buena medida por el hombre, se ha desarrollado una mayor concientización , modificación de actitudes y hábitos de consumo en cierta parte de la población que busca proteger el medio ambiente además del uso de bienes y servicios que reduzcan ciertas condiciones negativas para la vida desarrollando prácticas y consumos que se puede llamar “sustentables”.

Debilidades

Una de las principales debilidades del PLA frente al HDPE es el costo, como plantea Castañeda (2014) las compañías que persiguen el *marketing* verde encuentran numerosas dificultades, principalmente la variabilidad de la demanda, la percepción desfavorable del consumidor y el alto costo. El PLA cotizado por la empresa BASF “Ecovio2341” y “EcovioTS2341” fue valorado en 4 dólares por kilo distribuido solamente por toneladas, el HDPE (polietileno de alta densidad) del cual están elaborados los envases de la lombricomposta líquida tiene un precio en el mercado de 0.5 - 1 dólar por kilo, el cambio de valor está sujeto al proveedor y al número de toneladas a comprar. Los costos evaluados en la comparativa son para la presentación de los polímeros en su estado virgen es decir sin transformar y presentados en perlas. La contención de una lombricomposta líquida requiere que el envase interactúe de manera constante con microorganismos ya que estos forman parte de los nutrientes que la composta líquida aporta al suelo una vez que es aplicada,

En cuanto a la vida útil de un material realizado con PLA se puede considerar un riesgo de vida útil menor, ya que la mayoría de los bioplásticos están proyectados para un solo uso y posteriormente ser desechados para su biodegradación, esto puede confundir a los usuarios ya que muchos de los envases dejarían de ser llevados para su reutilización, como mencionan Da Costa *et al.* (2012) los procesos de degradación dependen del tipo de polímero y de las condiciones de descarte, pudiendo hacer este proceso rápido o lento. En el caso del PLA se necesitan temperaturas superiores a los 60 °C y condiciones adecuadas para su descomposición.

El bioplástico “**ecovioIS1335**” y “**EcovioTS2341**” elaborado con PLA puede ser utilizado con en máquinas convencionales de inyección para fabricar plásticos, sin embargo, por el tiempo en que se realizó esta investigación y propuesta resulta difícil encontrar un intermediario para transformar el material, ya que actualmente los envases son comprados de segundo uso para ser reutilizados.

Amenazas

En cuanto al gasto energético existen divergencias en la literatura, pues en cuanto unos autores afirman que el uso de bioplásticos genera un menor impacto al medio ambiente otros como Da Costa *et al.* (2012) mencionan que los plásticos provenientes del petróleo, especialmente los reciclables tienen impactos ambientales menores de acuerdo a análisis de ciclo de vida, esto es atribuido a que la síntesis de insumos químicos a partir de biomasa produce un gasto energético mayor a los métodos convencionales de síntesis a partir del petróleo, este resultado fue concluido a partir del uso energético de la de la síntesis del etileno obtenido a través del etanol de la caña de azúcar .

Algo que diferencia fuertemente al PLA de otros bioplásticos es su poca resistencia a altas temperaturas como se puede observar en la **tabla 16**, Chen (2010) menciona que el punto débil del PLA es que materiales realizados con este polímero cambian su forma al llegar a temperaturas cercanas al 60°C, lo que limita su uso para contener productos que se encuentren siempre a temperaturas menores. Arrieta (2014) menciona que una de las condiciones adecuadas para la biodegradación del PLA es una temperatura superior a los 50°C.

Para poder biodegradar el PLA es necesario un conjunto de condiciones adecuadas, como temperaturas mayores a 60°C, un pH entre 5-8, una humedad del 40% -50% en el suelo, y la presencia de microorganismos como los mencionados en la **tabla 18** , dichos parámetros no se encuentran en los entierros sanitarios donde generalmente va a parar mucha basura, en México al no tener un proceso de separación reglamentado en el país se puede deducir que los canales de destinación final no son los adecuados para que el PLA sea dispuesto a una planta de compostaje industrial y con ello tenga una biodegradación adecuada, Da Costa *et al.* (2012) mencionan que cuando un plástico biodegradable llega a un entierro sanitario donde el proceso de degradación es anaerobio la huella de carbono deja de ser nula, pues se genera mucho más metano (CH₄) que el dióxido de carbono CO. Los plásticos biodegradables son elaborados comúnmente para ser degradados después de un uso, es por ello que son considerados como inapropiados para los procesos actuales de reciclado y disposición fina

Tabla 21. Matriz FODA, de una propuesta de envases y empaques elaborados con bioplástico PLA (ácido poliláctico) “ecovioIS1335” y “EcovioTS2341”.

FODA cruzado		Oportunidades	Amenazas
		<p>O1-Aprovechamiento del crecimiento del mercado de bioplásticos.</p> <p>O2-Nuevas legislaciones nacionales para los usos de plásticos.</p> <p>O3-Interes de los consumidores por contaminar menos.</p>	<p>A1-Mayor gasto energético para sintetizar el PLA.</p> <p>A2-Poca resistencia a temperaturas mayores a los 60°C.</p> <p>A3-No contar con canales de disposición final adecuada para el envase.</p>
Fortalezas	<p>F1-Incremento del enfoque ecológico del producto.</p> <p>F2-Menor contaminación plástica al ocupar PLA.</p> <p>F3-Mejor degradación frente a envases de plástico comunes.</p> <p>F4-Menor emisión de CO₂.</p>	<p>F1-O1 Utilizar un material biodegradable para una propuesta de envases y empaques.</p> <p>F1, F2, F3, F4-O3 Utilizar un enfoque de cuidado y preservación del medio ambiente para generar interés de los actuales y futuros clientes.</p> <p>F3-O2 Aprovechar las nuevas legislaciones nacionales que limitan el uso de materiales plásticos para promover a los materiales biodegradables.</p>	<p>F2-A3 Realizar una investigación para concientizar acerca del uso adecuado de los materiales bioplásticos.</p> <p>F2-A1 Encontrar evidencia teórica que demuestre que el PLA contamina menos que el PE y HDPE.</p> <p>F3-A2 Identificar cual es la manera correcta de degradar el PLA.</p>
	<p>D1-Mayores costos por envase y empaque.</p> <p>D2-Interacción con microorganismos.</p> <p>D3-Posible reducción de vida útil.</p> <p>D4-Encontrar un transformador de plásticos que pueda trabajar con el PLA.</p>	<p>D1-O3 Realizar una evaluación de costos para el uso del PLA.</p> <p>D4-O1 Buscar un productor dispuesto a transformar el PLA en lugar del PE y HDPE, para poder realizar bolsas y empaques.</p> <p>D3-O3 Realizar pruebas a la composta para asegurar el correcto funcionamiento del PLA al contener la composta y el extracto líquido.</p>	<p>D1-A1 Utilizar al máximo la vida útil del PLA, reutilizándolo las veces posibles.</p> <p>D2, D3 - A2 Almacenar de manera adecuada los envases y empaques para asegurar su correcto funcionamiento.</p> <p>D3-A3 Promover una disposición final adecuada al término de su vida útil.</p>

3.6. Manejo actual de envases y empaques del proyecto VermiBUAP

La economía circular plantea las bases para un nuevo diseño inteligente que se basa en cerrar el ciclo de vida de los productos como suele ocurrir en la naturaleza, como menciona Lett (2014) el concepto de economía circular se apoya en los fundamentos de la escuela ecologista, y propone un cambio al paradigma “reducir, reutilizar y reciclar” por una transformación más profunda y duradera, que permita disminuir el impacto causado por las actividades humanas sobre el medio ambiente.

La razón principal de proponer el uso de ácido poliláctico como material de empaque es su biodegradabilidad, al ser un biopolímero 100% biodegradable por la acción de microorganismos, el ciclo biológico de los materiales que componen el producto se completa al ser transformado y retornado al suelo para formar parte de un nuevo ciclo productivo como se puede observar en la **figura 25**.

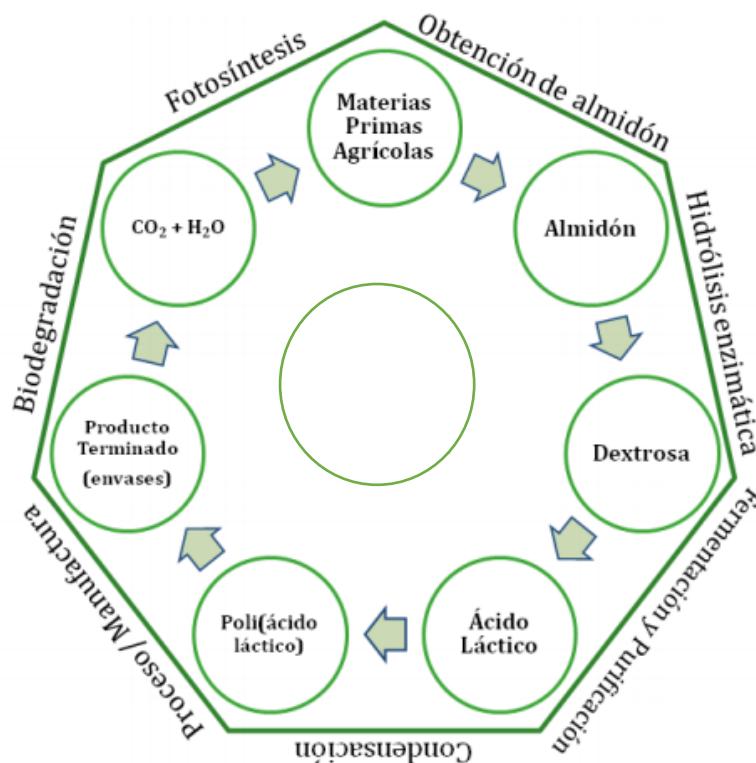


Figura 25. Ciclo de vida del Ácido poliláctico

La diferencia entre el uso de bioplásticos como el PLA y polímeros de origen fósil es que los derivados del petróleo no pueden ser transformados y devueltos al suelo, es por esto que su ciclo de vida útil se ve interrumpido cuando estos son llevados a una disposición final después de haber sido reutilizados varias veces, la **figura 26** muestra el ciclo de vida de los plásticos derivados del petróleo.



Figura 26. Ciclo de vida de los plásticos de origen fósil (Balboa, 2014).

Balboa (2014) menciona que los procesos lineales del tipo “obtener, transformar, desechar” se caracterizaron por la producción actual de bienes, alimentación y energía que han provocado: problemas medioambientales, económicos y sociales, así como el cambio climático, la escasez de recursos y la contaminación. Actualmente el proyecto VermiBUAP elabora composta líquida y sólida, la cual es envasada en garrafas elaboradas de HDPE (polietileno de alta densidad) y empaquetada con bolsas elaboradas de una película de PE (Polietileno), los envases son reutilizados entre el productor y el comprador una vez que los envases son recuperados y evaluados para su relleno cada que se compra el producto, alargando así su vida útil, sin embargo los empaques de PE para composta sólida no pueden ser reutilizados y son dispuestos como residuo sólido después de su primer y único uso como puede observarse en la **figura 27**

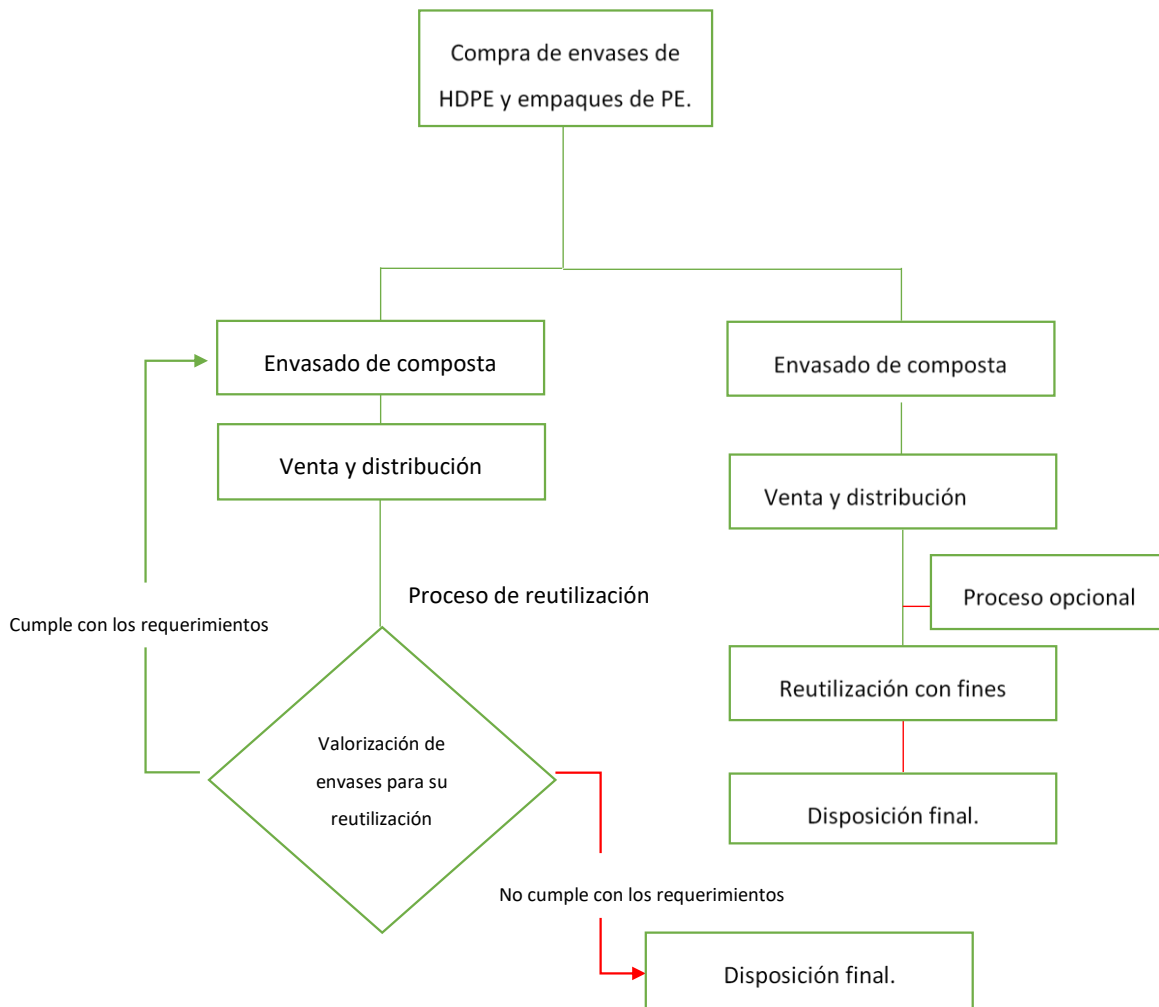


Figura 27. Proceso de utilización de envases y empaques del proyecto VermiBUAP, las líneas naranjas identifican las fases finales de destinación de los envases y empaques

La propuesta de sustitución de los polímeros de origen fósil por ácido poliláctico PLA para nuevos envases y empaques cumple con las pautas de una economía circular basada en el ecodiseño, ya que esta propuesta engloba la necesidad de un material que reduzca el impacto en el medio ambiente, así como la reincorporación de los residuos a una cadena productiva, lo cual genera valor, competitividad, y ahorros tanto económicos como energéticos.

3.7. Evaluación de costos de una propuesta de envases y empaques realizados con PLA

El proyecto VermiBUAP actualmente procesa 8 toneladas de residuos sólidos orgánicos de manera mensual, estos mismos residuos son transformados a través de un proceso de vermicomposteo, parte de esta producción es comercializada en estado sólido y otra en estado líquido (también manejado como extracto líquido mejorador de suelos), para poder comercializar los productos elaborados de la vermicomposta es necesaria la utilización de empaques elaborados con PE (poliestireno) y envases elaborados con HDPE (poliestireno de alta densidad, los costos mensuales de los empaques y envases se muestran en las **tablas 21** y **22**.

Tabla 22. Costos y utilidades mensuales de la venta de lombricomposta sólida del proyecto VermiBUAP.

Empaques de lombricomposta sólida					
Kg por empaque	Promedio de empaques vendidos por mes	Costo por empaques	Costo de producción	Ventas	Beneficio total neto
2 kg	150	\$187.5	\$315	\$4,500	\$3,997.5
5kg	70	\$116.2	\$147	\$4,200	\$3,936.8
-	-	-	-	-	-
Total	220	\$303.7	\$462	\$8,700	\$7,934.3

Tabla 23. Costos y utilidades mensuales de la venta de lombricomposta sólida del proyecto VermiBUAP.

Litros por envase	Promedio de envases vendidos por mes	Costo por envases	Costo de producción	Ventas	Beneficio total neto
1L	100	\$570	\$180	\$3000	\$2,250
5L	50	\$400	\$90	\$7,250	\$6750
20L	60	\$1,800	\$108	\$28,200	\$26292
Total	230	\$2,770	\$378	\$38,450	\$35,302

El proyecto VermiBUAP compra y reutiliza los envases de 5L y 20L, ya que en el mercado los envases de 20L tienen un precio promedio de \$80, por lo tanto, al comprarlos de 2° uso se genera un ahorro del 63% en relación a un bidón nuevo, en el caso de los envases de 5L se genera un ahorro del 60% ya que un envase nuevo tiene un costo de \$20. Los envases de 1 L y los empaques de 2-5 kilos son comprados nuevos ya que su costo es considerablemente bajo y es recuperado fácilmente al vender el producto final. La **tabla 23** muestra los costos unitarios por empaques de PE y envases de HDPE del proyecto VermiBUAP.

Tabla 24. Costo por unidad de envases y empaques del proyecto VermiBUAP.

Envase	Costo por unidad	Empaque	Costo por unidad
1L	\$5.70	2 kg	\$1.25
5L	\$8.00	5 kg	\$1.66
20L	\$30.00	-	-

Los costos de “ecovio FT2341” para películas composteables y “ecovioIS1335” para moldeo por inyección son de \$80 (4 dólares) el kilo a partir de una tonelada, es decir que el costo por una tonelada de perlas para procesar es de \$80,000.00 Si se deseara realizar los empaques y envases a partir de “ecovio FT2341” y “ecovioIS1335” elaborados de PLA sería necesaria la compra de una tonelada de “ecovio FT2341” y otra de “ecovioIS1335” ya que estos materiales solamente son suministrados por la empresa BASF a partir de una tonelada, lo que se transformaría en un gasto de \$160,000 pesos, en adición al costo por transformar el PLA

a empaques y envases, la empresa TSALPXEM SA de S.V. Tasó la elaboración de 200 bidones en \$15,544.83 pesos presentando un precio unitario de \$ 77.72 tomando en cuenta que son aún más bidones de los que el proyecto VermiBUAP requiere de manera mensual, este ejemplo evidencia que los costos de manufactura de nuevos empaques y envases no pueden ser costeados por las utilidades del proyecto.

3.8. Análisis de grupo focal para un producto elaborado con ecodiseño

El grupo focal analizado fue de 137 personas, con un rango de edad de 18-60 años, un nivel socioeconómico medio, y un grado de escolaridad mínimo de nivel medio superior hasta doctorado.

La encuesta fue realizada de manera electrónica y fue distribuida a través de plataformas electrónicas como email y Facebook y cuenta con 6 preguntas para conocer la aceptación que tienen los productos biodegradables.

La **tabla 25** muestra las preguntas realizadas al grupo focal, así como las respuestas de los encuestados.

Tabla 25. Análisis de encuestas del grupo focal para un producto elaborado con ecodiseño.

Pregunta	Si	NO	Me es indiferente
	PORCENTAJE		
¿Conoces el impacto negativo al medio ambiente que provoca el uso de embalajes plásticos?	94.2%	0.8%	*
¿Conoces que son los productos "verdes"?	84.7%	15.3%	*
¿Conoces el nombre de algún polímero biodegradable?	40.9%	59.1%	*
¿Llama tu atención un producto que utiliza un empaque biodegradable?	86.9%	1.4%	11.7%
¿Estarías dispuesto a pagar un poco más por un producto que cuente con un embalaje con menor huella de carbono?	86.1%	13.9%	*
¿Durante tu vida cotidiana tratas de disminuir tu uso de materiales plásticos?	93.4%	6.6%	*

(*) Es para identificar preguntas que no cuentan con opción para respuesta.

Como puede observarse en la **tabla 25** la mayoría de las personas encuestadas conoce el impacto negativo al medio ambiente provocado del uso excesivo de embalajes plásticos, y presentan una notable tendencia al cuidado del medio ambiente mediante la disminución del

uso de plásticos, de la misma manera más del 80% está dispuesto a asumir el costo de un embalaje que no dañe al medio ambiente, sin embargo con un 59.1% más de la mitad de los encuestados desconoce de la existencia de los polímeros biodegradables. Es posible decir que la mayoría de las personas se siente atraída a un producto que utiliza materiales que disminuyen la huella de carbono, sin embargo, con un 11.7% llama la atención que existen personas a las que les es indiferente si el empaque es contaminante o no lo es.

4. Conclusiones

- La herramienta metodológica llamada eco-diseño fue fundamental al elaborar una propuesta de elaboración de nuevos empaques y envases, basando su elaboración en una economía circular donde se aprovechan al máximo los recursos que son utilizados para su elaboración.
- El eco-diseño ayudó a la elección del PLA (ácido poliláctico) como el material adecuado para sustituir al HDPE (polietileno de alta densidad) de los envases y el PE (polietileno) de los empaques regulares, ya que el PLA cumple con los criterios establecidos para un óptimo rendimiento ambiental planteados por el eco-diseño.
- La elección del PLA como propuesta de material de empaques y envases permitió plantear la sustitución el uso de 220 bolsas plásticas de PE y 230 envases de HDPE de forma mensual por el PLA, lo que significa una reducción de contaminantes plásticos gracias a sus propiedades biodegradables.
- La caracterización física y química de la lombricomposta en su estado sólido y líquido no condiciona el desempeño del PLA al contener y almacenar la lombricomposta, ya que aún con un rango de pH entre 7.6 – 8.1 y un porcentaje de humedad del 39.87% en la composta sólida no se cumplen con todas las condiciones necesarias que propician la descomposición temprana del PLA.
- Las características físicas y químicas del PLA demostraron que teóricamente el ácido poliláctico mantiene el mismo desempeño que muchos polímeros de origen fósil utilizados como materiales de empaque para una lombricomposta sólida.
- La biodegradabilidad de los productos de la empresa BASF “**ecovio FT2341**” para películas composteables y “**ecovio IS1335**” para moldeo por inyección; están certificadas por las siguientes normas: *European standard EN 13432*,

Australian standard AS 4736, American standard ASTM 6400 y European standard EN 13432. Una propuesta de envases y empaques elaborados con PLA de la empresa BASF, disminuiría la contaminación plástica provocada por el uso de 220 empaques de PE y 230 envases de HDPE utilizados en el proyecto VermiBUAP de manera mensual.

- El esquema de vida propuesto por el eco-diseño al optar por el PLA como materia prima para la elaboración de una propuesta de envases y empaques biodegradables se ajusta a un modelo de vida cíclico de los materiales, lo que representa un cambio significativo al proceso actual del uso de plásticos del proyecto VermiBUAP.
- Una propuesta basada en el eco-diseño para la sustitución de los envases y empaques por un material biodegradable como el PLA ayuda a preservar el medio ambiente, sin embargo, hay dos factores que impiden su implementación, el primero de ellos son los costos, ya que un kilo de PE y HDPE cuesta en promedio \$1.00 (USD) cada uno, y un kilo de PLA de la empresa BASF cuesta \$4.00 (USD) a partir de una tonelada, lo que significa que los costos se cuadruplicarían; el otro factor son las rutas actuales para la disposición final de desechos sólidos en México, ya que no existe una cultura general de separación y reciclado, los nuevos envases y empaques serían dirigidos a un relleno sanitario en vez de un centro de compostaje lo cual implica que no cumplan con su ciclo de vida propuesto por el eco-diseño.
- En las encuestas realizadas se concluye que un producto que toma en cuenta el cuidado del medio ambiente mejora su imagen, atrayendo la atención de clientes regulares y nuevos prospectos, asimismo las encuestas demuestran que la mayoría de los clientes están a favor de asumir un costo extra por embalajes biodegradables, lo que permitiría al productor poder realizar el cambio de empaques plásticos a materiales biodegradables.

5. Bibliografía

- Albán, A. F., Serna, C. L., Rodríguez, S. A.** (2003) *Ácido Poliláctico (PLA): Propiedades y Aplicaciones*. doi: <https://core.ac.uk/download/pdf/11861467.pdf>
- Arnold, L. K.** (1968). *Introduction to plastics*. Iowa state university, United States of America.
- Arrieta, M. P.** (2014). *Films de PLA y PLA-PHB plastificados para su aplicación en envases de alimentos. Caracterización y análisis de los procesos de degradación*. España. doi: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/39338/Arrieta%20-%20Films%20de%20PLA%20y%20PLA-PHB%20plastificados%20para%20su%20aplicaci%3%b3n%20en%20envases%20de%20alimentos.%20Caract....pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Avendaño, A. E.** (2015). *PANORAMA ACTUAL DE LA SITUACIÓN MUNDIAL, NACIONAL Y DISTRITAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS. Análisis del caso Bogotá D.C. Programa basura cero*. Licenciatura en ingeniería ambiental. Bogotá, Colombia. 19p.
- Avendaño, A. E.** (2015). *PANORAMA ACTUAL DE LA SITUACIÓN MUNDIAL, NACIONAL Y DISTRITAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS. Análisis del caso Bogotá D.C. Programa basura cero*. Licenciatura en ingeniería ambiental. Bogotá, Colombia. 26-28p.
- Averous, L.** (2008). *Monomers, oligomers, polymers and composites from renewable resources*. Elsevier, Amsterdam, 433–450.
- Beltrán, V. M., Espinosa, V. R., Vázquez, M. A., Velasco, M. P.** (2014) *Bioplásticos y plásticos degradables*. México. 7 p.
- Blengini, A.** (2008). *Resources, Conservation and Recycling* doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2008.08.002>
- Carracedo, B. G., Munilla, H. M.** (2005). *Ácido láctico y poliláctico, actualidad y tendencias*. Cuba. doi: <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120659007.pdf>
- Carrasco, F., Gámez, P. J., MasPOCH, M. L., Pagès, P., Santana, O.** (2010). *Procesado del ácido poliláctico (PLA) y de nanocompuestos PLA/montmorillonita en planta piloto: Estudio de sus cambios estructurales y de su estabilidad térmica*. España.

Chaves, P. J. (2004). Desarrollo tecnológico en la Primera Revolución Industrial, España. doi: <file:///C:/Users/Eduardo/Downloads/Dialnet-DesarrolloTecnologicoEnLaPrimeraRevolucionIndustri-1158936.pdf>

Chen, G. (2010). Introduction of Bacterial Plastics PHA, PLA, PBS, PE, PTT, and PPP. China. doi: https://www.proxydgb.buap.mx:2067/content/pdf/10.1007%2F978-3-642-03287-5_1.pdf

Da Costa, B. L., Freire, F. H., Santos, A. S. (2012). Sacolas plásticas: destinações sustentáveis e alternativas de substituição, Brasil. doi: https://www.scielo.br/pdf/po/v22n3/aop_0884.pdf

Del Rosario, B. M. (2015). La historia del diseño industrial reconsiderada doi: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/47968/Documento_completo__.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Diario Oficial de la Federación. (2014). *Ley para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial para el Estado de Puebla.* México.

Diario Oficial de la Federación. (2004). *NORMA Oficial Mexicana NOM-098-SEMARNAT-2002, Protección ambiental-Incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes.* México.

Diario Oficial de la Federación. (2004). *NORMA Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.* México.

Diario Oficial de la Federación. (2014). *REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS.* México.

Ellen MacArthur Foundation. (2019). *The New Plastics Economy Global Commitment 2019 Progress Report.* United States of America. doi: <https://www.newplasticseconomy.org/assets/doc/Global-Commitment-2019-Progress-Report-Summary.pdf>

Escudero, L. (2011). *Determinación de la biodegradabilidad y toxicidad de materiales plásticos.* Colombia. doi: <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/2001/pfc4040.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- European Bioplastics.** (2020). *Bioplastic Market data 2019. Alemania.* Doi: https://docs.european-bioplastics.org/publications/market_data/Report_Bioplastics_Market_Data_2019.pdf
- European Bioplastics.** (2018). *EU takes action against oxo-degradable plastics.* doi: <https://www.european-bioplastics.org/eu-takes-action-against-oxo-degradable-plastics/>
- Farmahini, F. M., Ocampo, H., O'Hearnb, P., Yuanfeng, P., Xiaob, H.** (2016). *An overview of bio-based polymers for packaging materials.* China.
- Fiksel, J.** (1997). *Ingeniería de diseño medio ambiental. DFE.* Madrid; España. Mc Graw Hill. 512p.
- Flores, S. O.** (2012). *História del diseño idustrial.* Ciudad de México, México. Trillas. 311 p.
- Fornillo, B.** (2014). *¿Commodities, bienes comunes o recursos estratégicos? La importancia de un nombre, Nueva sociedad.* doi: <https://nuso.org/articulo/commodities-bienes-comunes-o-recursos-estrategicos-la-importancia-de-un-nombre/#footnote-16>
- Garavito, J.** (2008). *Identificación de plásticos, protocolo curso de materiales.* Colombia. doi: https://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/1960_idplasticosr2.pdf
- García, P. B.** (2008). *Ecodiseño nueva herramienta para la sustentabilidad.* Ciudad de México, México. Designio. p.p. 29-34.
- Giudice, F., La Rosa, G., Risitano, A.** (2006). *Product Design for the Environment, A Life Cycle Approach.* New York. United States of America. Taylor & Francis. 481p.
- Giudice, F., La Rosa, G., Risitano, A.** (2006). *Product Design for the Environment, A Life Cycle Approach.* New York. United States of America. Taylor & Francis. 37-39p.p.
- Góngora, P. J.** (2014). *La industria del plástico en México y el mundo.* México. doi: http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/761/3/la_industria_del_plastico.pdf
- Idc online** (2019). *Prohibicion de plásticos en México.* México. doi: <https://idconline.mx/corporativo/2019/03/12/prohibicion-de-plasticos-en-mexico>.
- Lafargue, I. J., Saez A. F.** (2002). *Diseño Industrial Desarrollo del producto.* Madrid; España. Thompson. 168 p.
- López, C. F.** (2004). *Fundamentos de los polímeros.* Venezuela. doi: <file:///C:/Users/Eduardo/Downloads/FUNDAMENTOSDEPOLMEROS.pdf>

Mina, L. (2014). *Manual de lombricomposta, fundamentos y principios para su manejo*. México.

doi:https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/48270975/manual_de_lombricomposta.pdf?response-content-

[disposition=inline%3B%20filename%3DSan_Cayetano_Mpio._San_Luis_de_la_Paz_Gu.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20200221%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20200221T231832Z&X-Amz-Expires=3600&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Signature=3e1be81f5b1079c487ef646f08665c1d0631685c729c7d5ad05ed849ca868b13](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/48270975/manual_de_lombricomposta.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DSan_Cayetano_Mpio._San_Luis_de_la_Paz_Gu.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20200221%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20200221T231832Z&X-Amz-Expires=3600&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Signature=3e1be81f5b1079c487ef646f08665c1d0631685c729c7d5ad05ed849ca868b13)

[Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20200221%2Fus-east-](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/48270975/manual_de_lombricomposta.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DSan_Cayetano_Mpio._San_Luis_de_la_Paz_Gu.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20200221%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20200221T231832Z&X-Amz-Expires=3600&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Signature=3e1be81f5b1079c487ef646f08665c1d0631685c729c7d5ad05ed849ca868b13)

[1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20200221T231832Z&X-Amz-](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/48270975/manual_de_lombricomposta.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DSan_Cayetano_Mpio._San_Luis_de_la_Paz_Gu.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20200221%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20200221T231832Z&X-Amz-Expires=3600&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Signature=3e1be81f5b1079c487ef646f08665c1d0631685c729c7d5ad05ed849ca868b13)

[Expires=3600&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/48270975/manual_de_lombricomposta.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DSan_Cayetano_Mpio._San_Luis_de_la_Paz_Gu.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20200221%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20200221T231832Z&X-Amz-Expires=3600&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Signature=3e1be81f5b1079c487ef646f08665c1d0631685c729c7d5ad05ed849ca868b13)

[Signature=3e1be81f5b1079c487ef646f08665c1d0631685c729c7d5ad05ed849ca868b13](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/48270975/manual_de_lombricomposta.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DSan_Cayetano_Mpio._San_Luis_de_la_Paz_Gu.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20200221%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20200221T231832Z&X-Amz-Expires=3600&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Signature=3e1be81f5b1079c487ef646f08665c1d0631685c729c7d5ad05ed849ca868b13)

Nova institute. (2020). *The global bio-based polymer market 2019- A revised view on a turbulent and growing market*. Alemania. doi: <http://nova-institute.eu/press/?id=164>

Parker, L. (2019). *Ahogados en un mar de plástico*, National Geographic, recuperado de https://www.nationalgeographic.com.es/naturaleza/grandes-reportajes/ahogados-mar-plastico_12712/4

Rodríguez, A. (2012). *Biodegradabilidad de materiales bioplásticos. Cuba. 2-3 p.*

Secretaría de Energía. (2012). *Evaluación rápida del uso de energía*, Puebla, Puebla, México. doi: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/170900/25__Puebla.pdf

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2015). *Informe de la situación del medio ambiente en México. México*. doi:https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/161446/Cap_CC_completo.pdf

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2003). *Informe de la situación del medio ambiente en México. México*.

doi: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/161446/Cap_CC_completo.pdf

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2013). *Residuos Sólidos Urbanos*, México.

doi: https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_resumen14/07_residuos/7_1_1.html

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2017). *Residuos sólidos y de manejo especial*. Recuperado de <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/residuos-solidos-urbanos-y-de-manejo-especial>.

Seoanez, C. M. (1998). *Ecología industrial: ingeniería medio ambiental aplicada a la industria y a la empresa. Manual para responsables medioambientales*. Madrid; España .Mundi-Prensa.