

# Potencial para producir plásticos biodegradables en República Dominicana

Proyecto Programa de innovación y re-manufactura en los sectores del plástico y construcción (ATN/ME-16600-DR)

Diciembre2021



Los hallazgos de esta investigación fueron  
creados por Despradel & Asociados, SRL



## INDICE

Potencial para producir plásticos biodegradables en República Dominicana.....	1
Justificación .....	5
Glosario de Términos .....	7
Escribir el título del capítulo (nivel 3) .....	3
<b>Introducción y Marco teórico .....</b>	<b>9</b>
<b>Plásticos biodegradables a partir de recursos renovables .....</b>	<b>15</b>
<b>Producción de empaques de origen biológico o bioempaques .....</b>	<b>24</b>
Estimación de residuos agroindustriales .....	33
Características y composición de los residuos seleccionados.....	37
<b>Incidencia de los residuos plásticos sintéticos no biodegradables en el cambio climático .....</b>	<b>43</b>
<b>Retos y oportunidades .....</b>	<b>47</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>49</b>

# Justificación

El presente trabajo de investigación ha sido motivado por el interés de parte de la Asociación de Industrias de la República Dominicana, Inc. (AIRD), la cual ha celebrado un Convenio con el Banco Interamericano de Desarrollo, en su calidad de Administrador del Fondo Multilateral de Inversiones, FOMIN (hoy BID-LAB), para implementar el “Programa de innovación y re-manufactura en los sectores del plástico y construcción (ATN/ME-16600-DR)”, denominado como Proyecto de Economía Circular. En este sentido, la AIRD ha planteado un modelo de intervención que genere un cambio de conducta en un grupo de empresas en torno a la reducción y aprovechamiento de los residuos generados en los procesos de transformación y post-consumo.

En los últimos tres años, las actividades relacionadas con la manufactura local y la construcción vienen creciendo en República Dominicana de manera sostenible, representando por lo menos un 10% del producto interno bruto (PIB) cada una. En particular la producción de plástico, creció por la demanda de la industria de alimentos y la fabricación de productos de la refinación de petróleo, entre otros. Esto ha potenciado la producción de materias primas y bienes intermedios, al mismo tiempo que los desechos y/o residuos generados están llevando al límite la capacidad de los vertederos y rellenos sanitarios, estimándose que el plástico representa el segundo residuo más abundante, luego de los orgánicos, en estos sitios de disposición final. Aunque se prevé que un 25% del mismo es reciclable, en el país sólo se aprovecha comercialmente el 1%. (AIRD, 2021).

Asimismo, el proyecto busca satisfacer las exigencias que figuran en la Ley General 225-20 sobre Gestión Integral y Co-procesamiento de Residuos Sólidos de la República Dominicana”, la cual expone nuevos principios rectores para la gestión de residuos, entre ellos la responsabilidad extendida del productor, que significa un reto al sector industrial de la República Dominicana para la recuperación y valorización de los residuos post-industriales y post-consumo.

En el capítulo de Responsabilidad Extendida del Productor, importador y comercializador, se establece que habrá un Plan Nacional de responsabilidad extendida del productor y también se establece que se realizará un plan específico para cada residuo sometido al régimen de responsabilidad extendida, en los que se determinarán los indicadores y metas de gestión integral de cada uno de los residuos prioritarios. De manera más específica, la razón principal por la que se realiza este estudio gira en torno al interés de incrementar la conciencia sobre la producción y uso de plásticos

biodegradables en el área de empaques, conocer cuáles son sus ventajas y los desafíos que presentan. También busca describir la posición actual que tiene el sector de bioplásticos a nivel nacional, la disponibilidad de sus materias primas para su producción, así como el análisis de factibilidad de uso de ciertos residuos en la producción de plásticos biodegradables con la finalidad de ser utilizados en el sector de envases y embalajes.

En definitiva, la presente investigación promete marcar un punto de referencia que ha sido demandado justamente con el objetivo de cuidar los intereses nacionales en este mercado.

# Glosario de términos

Con la finalidad de aprovechar en su plenitud el presente trabajo de investigación, se anticipa la definición de una serie de conceptos que resultan ser clave al momento de valorar las conclusiones.

Conforme a la norma UNE-EN 13193:2000, se tiene la explicación de los siguientes términos:

## **Biodegradación**

Degradación causada por una actividad biológica, en particular por una acción enzimática que produce un cambio significativo de la estructura química de un material.

## **Compostaje**

Enmienda orgánica del suelo obtenida mediante biodegradación de una mezcla compuesta principalmente por diversos residuos vegetales, mezclados a veces con otras materias orgánicas y con un contenido mineral limitado.

## **Compostabilidad**

Potencial de un material a ser biodegradado dentro de un proceso de compostaje.

## **Ácido láctico**

Líquido viscoso, incoloro y no volátil y muy versátil utilizado en industrias química, farmacéutica, de alimentos y del plástico (Tejeda et al., 2007).

## **Ácido poliláctico (PLA)**

Es un poliéster alifático biodegradable producido a partir de recursos naturales renovables. Es un biopolímero termoplástico biodegradable que ha encontrado numerosas aplicaciones, ya que presenta un amplio rango de propiedades, desde el estado amorfo hasta el estado cristalino; propiedades que pueden lograrse manipulando las mezclas entre sus isómeros, los pesos moleculares y la copolimerización (Tejeda et al., 2007).

Es uno de los primeros plásticos en ser conocidos dentro del sector de consumo y es fabricado a partir de dextrosa, que es azúcar del maíz; también, es el bioplástico con mayor madurez en el mercado. Fue introducido por algunas empresas en 2003. Reemplazan a envases de polipropileno, poliestireno (Espinosa, 2015).

## **Almidón**

Es el principal polisacárido de reserva de la mayoría de los vegetales. Las fuentes más importantes del almidón son: el maíz, el trigo, la papa, la yuca, el ñame y otros (Tejeda et al., 2007).

De acuerdo con Iguardia, es un compuesto de almacenamiento que se localiza en raíces, tubérculos, frutas y semillas de las plantas (2013).

### **Biodegradable**

Dicho de una sustancia que puede ser degradada por acción biológica.

### **Bioplástico**

El bioplástico es un plástico proveniente de fuentes naturales y renovables. Pueden ser compostables o solamente biodegradables al fin de su vida útil (Compostadores, s. f.).

### **Compostable**

Facultad de un material de servir para hacer compost o abono orgánico, o bien, para ser degradado biológicamente a la misma velocidad que el resto de materia orgánica que se está compostando con el mismo. Este término ha sido denotado bajo las exigencias impuestas por el hombre en términos de condiciones necesarias para que el producto sea degradado en un tiempo predeterminado (Compostadores, S. f.).

### **Fermentación**

Proceso natural realizado por bacterias lácticas amilolíticas en condiciones donde el oxígeno está ausente (Tejeda et al., 2007).

### **Oxo-degradación**

Proceso mediante el cual la materia, inducida por la oxidación, se fragmenta en partículas diminutas no visibles, y que no pueden ser asimiladas por las plantas. (Compostadores, s. f.). A diferencia de la biodegradación, en la oxo-degradación aún persisten partículas residuales pequeñas que no son degradadas por acción biológica.

### **Polihidroxialcanoato**

**(PHA)**

Plásticos biodegradables de origen microbiano, similares a los derivados del petróleo, pero producidos a partir de fuentes de carbono renovables, y que tienen un gran potencial de uso en aplicaciones que van desde la manufactura de productos desechables de uso común, hasta la de productos biomédicos y farmacéuticos de alto valor agregado (González et al., 2012).

### **Polimerización**

Proceso mediante el cual las moléculas simples, iguales o diferentes, reaccionan entre sí por adición o condensación y forman otras moléculas de peso doble, triple, etc.

### **Reciclable**

Facultad de un material para ser reciclado.

### **Recurso**

**renovable**

Es la materia o energía que puede ser regenerada o reemplazada a medida que se consume. (Compostadores, S. f.)

# Introducción y Marco Teórico

Hoy en día, el cuidado del medio ambiente con un enfoque en las acciones de mitigación y adaptación frente al cambio climático, la contaminación atmosférica, de los suelos y de los cuerpos de agua, forma parte de los temas con mayor tendencia, y que se ha venido observando y atendiendo para ralentizar sus inminentes efectos adversos, o bien, garantizar la coordinación de capacidades y esfuerzos para que los impactos no sean sentidos de manera significativa.

Uno de los factores determinantes de la contaminación ambiental que se percibe recae sobre el uso indiscriminado de plásticos derivados de materia petroquímica, siendo los mismos incapaces de biodegradarse, característica que los convierte en elementos que condenan la salud del medio que acoge a los seres humanos (Pluas-Mora, R.J, Martinez-Aguiere II & Zambrano 2020). A pesar de ello, el plástico ocupa la tercera posición a nivel mundial dentro del renglón de aplicaciones de petróleo más usadas, estimándose que anualmente se consume alrededor de 300 millones de toneladas.

Aparte de los inconvenientes por disponibilidad de espacio útil y contaminación relacionada a la producción y disposición descontroladas de plásticos de origen petroquímico, otra cuestión que se debe de contemplar es el precio y la disponibilidad, no siempre garantizada, del petróleo. Según González et al. (2012), para el mes de noviembre del año 2011, se utilizaba un 5 % del petróleo disponible mundialmente para fabricar 200 millones de toneladas de plásticos por año. Estima que para el año 2100 la demanda de productos plásticos será de 2,000 millones toneladas por año, para lo cual será requerido usar el 50% del petróleo disponible en ese momento. Tal situación tendría un impacto en el precio de los plásticos.

Además, el plástico de origen fósil representa el segundo residuo con mayor frecuencia de aparición en los vertederos, luego de los residuos orgánicos. Mas del 90% de los plásticos se producen a partir de combustibles fósiles. La producción mundial supera las 380mm de toneladas (2020), ocupando actualmente el 8% del petróleo disponible a nivel mundial.

Anualmente 8mm de toneladas de desperdicios de plásticos acaba en los océanos. Se estima que solo el 9% de los desperdicios de plásticos generados son reciclados.

Otro factor importante es el tiempo de descomposición de los plásticos de origen fósil en el ambiente se estima que es de cientos de años. Algunos actores, sugieren que para el caso de las botellas plásticas se estima un tiempo de descomposición de 450 años. Este escenario ha impulsado al hombre a sopesar una serie de alternativas que permitan brindar la solución a dos problemáticas: **la renovación casi nula de materias primas de alta demanda, como el petróleo, así como la acumulación prácticamente descontrolada de los residuos sólidos producto de la naturaleza no biodegradable de algunos.** En este último caso, se destaca la perdurabilidad de los plásticos en el

medio, que, a su vez, significa la ocupación de los mismos en espacios aprovechables y potables para el desarrollo de la vida y de actividades del ser humano. Los plásticos convencionales, esto es, que no proceden de fuentes renovables ni tampoco se biodegradan, encabezan el listado de residuos sólidos acumulables.

La mayoría de los residuos plásticos se deben a plásticos utilizados en empaques y plásticos de un solo uso. Si bien, en muchos casos, la falta de un sistema adecuado de gestión de residuos es parte del problema, la reducción de la acumulación de residuos plásticos requiere de medidas a todo lo largo de la cadena de valor, empezando por la decisión del proceso del diseño del producto.

Entre las opciones discutidas por la comunidad científica para la reducción de residuos plásticos incluyen líneas de acción claves basadas en la etapa de diseño del producto. Por un lado el diseño del producto plástico que permita su reciclabilidad una vez su vida útil termine, es decir, el diseño orientado al reciclaje, elemento fundamental de la economía circular; y por otro lado, la fabricación de nuevos productos que sean amigables con el entorno ambiental, en términos de reducción del factor de perdurabilidad en el medio, y que, además, se ajuste a un tiempo de regeneración más inmediato (Tejeda, 2007).

En este último caso, se considera la producción de biopolímeros, o polímeros naturales, los cuales son la fórmula de la nueva generación de plásticos cuya dependencia no reside en el petróleo sino en materias primas renovables, además de que pueden llegar a ofrecer la ventaja de biodegradarse.

Conforme a Pluas-Mora et al., a diferencia de otros materiales procesados de manera convencional, los biopolímeros ofrecen una serie de ventajas, tales como el bajo consumo de energía en su producción, la característica de provenir de recursos renovables, así como el potencial para valorizar los subproductos y residuos industriales que son, mayormente, masivos (2020).

Los biopolímeros o bioplásticos suponen una solución desde el origen, desde el diseño del producto. Estos bioplásticos pueden llegar a tener las mismas características que los plásticos convencionales y procesarse mediante las mismas tecnologías que los materiales termoplásticos, tales como extrusión, inyección o soplado.

Ahora bien, el universo de bioplásticos incluye los plásticos que se fabrican a partir de la biomasa como recurso renovable, y los plásticos biodegradables. Ambos tipos suelen confundirse en su concepto.

Los plásticos de biomasa, se definen en el origen por el tipo de materia prima de la que están hechos. Estos plásticos hechos de recursos renovables, por lo que pretenden reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y presentan una solución a la escasez de recursos fósiles.

El concepto general de los plásticos biodegradables es que serán degradados, después de su uso, por microorganismos y se descomponen por completo en agua y dióxido de carbono.

Una definición de polímero biodegradable de acuerdo a la norma la norma CEN/TR 15932:2010 establece que aquellos polímeros en los cuales la degradación resulta en la disminución del peso molecular por medio del rompimiento de la cadena principal y en su terminación tiene como resultado la producción de compuestos de bajo peso molecular y biomasa (mineralización y bioasimilación). El rompimiento de cadena debe ser producido por las enzimas secretadas por células de origen animal, humano, fúngico, etc. (2022, Rodriguez).

Existen ciertos requerimientos para que esta biodegradación pueda darse, como son:

- La presencia de los microorganismos adecuados.
- Una fuente de energía tal como desechos orgánicos que ayuden a las células a vivir y reproducirse,
- Una fuente de carbono,
- Aceptores de electrones tales como O<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-</sup> y CO<sub>2</sub>,
- Nutrientes como nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio, hierro y otros micronutrientes,
- Condiciones ambientales aceptables (temperatura, humedad, pH, nivel de salinidad)

Otro término que es frecuentemente confundido o mal empleado es el concepto de compostable.

Tanto el término «biodegradable» como el concepto de «compostable», que significa «capacidad que tiene un material de convertirse en fertilizante orgánico», se diferencian en las condiciones de descomposición de los materiales en tiempos diferentes mientras que el término «biobasado» hace alusión, básicamente, a la naturaleza de la procedencia de los materiales. Sin embargo, la materia «biobasada» no siempre es biodegradable ni siempre es compostable (Plasbel, s. f.).

Por esta razón, la variedad de términos relativos a este tema ha originado la necesidad de asignar una clasificación a los mismos, tomando también en cuenta que es necesario especificar la particularidad de cada uno de ellos.

En el caso que compete al presente estudio sobre los plásticos, un polímero «biobasado» tiene sus orígenes en la materia prima natural que es renovable, como son: la caña de azúcar, el maíz, el plátano, y otros. Ahora bien, la facultad de biodegradabilidad y

compostabilidad de los plásticos biobasados, de origen vegetal, siempre estará sujeta a la asimilación por microorganismos en función de la temperatura, humedad y otros factores aplicables (Plasbel, s. f.).

Un plástico biodegradable es aquel tendente a convertirse en nutrientes o biomasa en un proceso propio de la naturaleza, el cual demanda un plazo de transformación más extendido. Sin embargo, no todos los plásticos biodegradables son compostables, ya que estos últimos se rigen bajo unos parámetros definidos que se recogen en la normativa europea EN 13432 relativa al compost en la casa y el compost a nivel industrial. Los plásticos compostables se biodegradan en función de condiciones impuestas por el hombre para acelerar el proceso de descomposición. Para dicho proceso, principalmente se controlan la temperatura, la humedad, además de que los microorganismos empleados son manipulables, haciendo que los resultados deseados se obtengan de manera más rápida (Plasbel, s. f.).

Desambiguación del término «biopolímero» en la industria de la medicina estética y plásticos de origen biológico.

Algunos autores como Espinosa sugieren la necesidad de destacar que los biopolímeros han sido frecuentemente malinterpretados por la prensa diciendo que los mismos, en palabras bien sencillas, son cauchos, denotando que con ellos se construyen acrílicos, sillas, recipientes, entre otros. Sostiene que, en el lenguaje popular, se afirma que los biopolímeros «son productos derivados de los hidrocarburos – petróleo – que se utilizan, infortunadamente en estética» (2015). Espinosa explica que dicha creencia es errada y por ello, las personas pueden atribuirles una connotación negativa a los biopolímeros. Al contrario, según Espinosa, el término «biopolímeros» hace referencia a los polímeros que no son sintéticos, puesto que son encontrados en la naturaleza, tales como: el almidón, la celulosa, los péptidos, las proteínas, el cabello humano, la lignina, entre otros. Enfatiza que «bio» hace alusión a la vida (2015) y descarta que «biopolímero» sea porque se implanta en el cuerpo humano.

Los plásticos biodegradables se definen generalmente como plásticos que mantienen las mismas propiedades y funciones que los plásticos convencionales cuando se utilizan, pero que son biodegradados después de su uso por los microorganismos y otros agentes del mundo natural, y que finalmente se descomponen por completo en agua y dióxido de carbono.

En términos generales, los biopolímeros han surgido para reemplazar parcial y paulatinamente a los plásticos que provienen de fuentes no renovables que han sido utilizados por mucho tiempo por su versatilidad, lo que da a entender que los plásticos convencionales efectivamente han resuelto por mucho tiempo un sin número de contratiempos porque poseen bondades significativas, que, a pesar de todas las consecuencias negativas que se pueden tener producto de la gestión deficiente de los mismos, siguen ejerciendo la funciones básicas y prácticas de contener, preservar y proteger los alimentos de ciertos contaminantes y patógenos. Es por ello que los

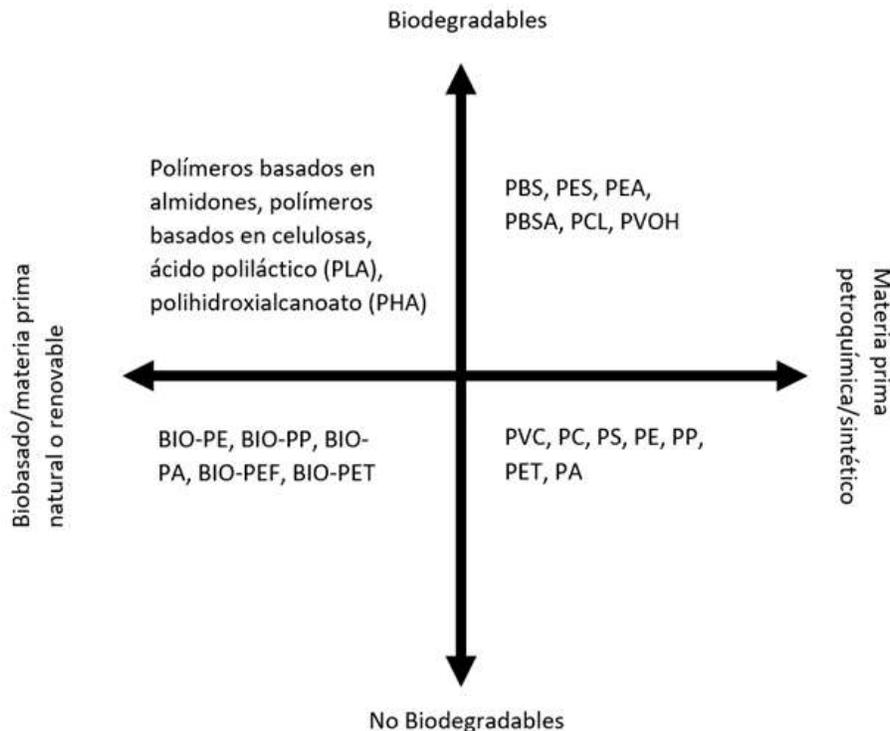
biopolímeros desempeñarían varios roles importantes de manera simultánea, y que su descubrimiento, desde el año 1970, ha supuesto un logro sustancial. Asimismo, como sugiere Ubaque, los compuestos con almidón podría prolongar la vida útil de ciertos alimentos, logrando así la conservación deseada y el cuidado medioambiental al sacar del proceso el uso de plásticos no biodegradables (2018).

Los biopolímeros biodegradables pueden provenir de cuatro fuentes principales animal (colágeno/ gelatina), de origen marino (quitina/quitosán), de origen agrícola (proteínas y polisacáridos, como el almidón y la celulosa) y de origen microbiano, tales como el ácido poliláctico (PLA) y los polihidroxialcanoatos (PHA).

En lo que compete a este estudio, se estará analizando las fuentes relacionadas a los biopolímeros de origen agrícola y microbiano, en vista de que la República Dominicana es un país con un alto potencial agrícola.

De manera más puntual, este trabajo solo contemplará los polímeros que tienen su origen en fuentes renovables y que son biodegradables completamente (cuadrante II de la Figura No.1), quedando sin considerarse otros bioplásticos y plásticos que se presentan en la Figura No.1.

**Figura No.1.** Correlación de los materiales en función de su biodegradabilidad y su tipo de fuente.



Fuente: Elaboración propia a partir de Campuzano et al. (2018)

El siguiente listado describe las siglas empleadas para identificar los polímeros biodegradables de origen petroquímico:

**PBS:** Polybutylene succinate (succinato de polibutileno)

**PES:** Polyethylene succinate (succinato de polietileno)

**PEA:** Polyethylene adipate (adipato de polietileno)

**PBSA:** Polybutylene succinate (succinato de polibutileno)

**PCL:** Polycaprolactone (policaprolactona)

**PVOH:** Polyvinyl alcohol (alcohol polivinílico)

El siguiente listado describe las siglas empleadas para identificar los polímeros de origen petroquímico que no son biodegradables:

**PVC:** Polyvinyl chloride (cloruro de polivinilo)

**PC:** Polycarbonate (policarbonato)

**PS:** Polystyrene (poliestireno)

**PE:** Polyethylene (polietileno)

**PP:** Polypropylene (polipropileno)

**PET:** Polyethylene therephtalate (tereftalato de polietileno)

**PA:** Polyamide (poliamida)

Por otro lado, ha sido posible obtener otros productos a partir de fuentes renovables, pero que aún así no son biodegradables, tales como:

**BIO-PE:** Bio-Polietileno. Es producido a partir de biomasa renovable (recursos vegetales), pero no son biodegradables ni compostables. Son químicamente idénticos a la contraparte petroquímica. Comparte las características de procesamiento que el polietileno procedente de materia petroquímica, por lo que se puede tratar con el mismo equipamiento.

Además, puede ser reciclado y procesado en nuevos productos de bio-PE con la ayuda de tecnologías convencionales sin necesariamente recurrir en inversiones adicionales (Biorrefinería).

Así, el BIO-PP (Bio-Polipropileno), el BIO-PA (Bio-Poliamida) y el BIO-PET (Bio-Tereftalato de Polietileno) cumplen análogamente con el criterio desarrollado para el caso de BIO-PE.

# Plásticos biodegradables a partir de recursos renovables

En función de los objetivos que persigue esta investigación, únicamente se desarrollan de manera más específica aquellos biopolímeros que además de provenir de recursos renovables son también biodegradables, a saber:

## Ácido poliláctico (PLA)

Una de las fuentes alternativas para la producción de plásticos biodegradables es el ácido poliláctico, el cual es un polímero derivado del ácido láctico obtenido a partir de la fermentación del almidón, principalmente de maíz o de caña de azúcar. Algunas investigaciones realizadas a principios del año 2000 buscan optimizar el proceso de obtención del ácido poliláctico a partir de diversas fuentes vegetales como el maíz y la yuca con el propósito de hacer su precio competitivo frente a los plásticos tradicionales. Por tanto, la disponibilidad de los vegetales representa un factor determinante al momento de proyectar buenos resultados cuando a la generación de plásticos biodegradables se refiere.

Además, tal como lo menciona TWI Global, a pesar de las diferencias de materiales, el PLA puede ser generado empleando prácticamente las mismas maquinarias usadas para la producción de plásticos petroquímicos, lo que se traduce en procesos de manufactura relativamente rentables. Adicionalmente, se puede asumir que, por las razones previamente mencionadas, se ha considerado al PLA como el segundo bioplástico más producido, luego del almidón termoplástico (TPS), y que, a pesar de ser biodegradable, cuenta con características similares al polipropileno (PP), polietileno (PE) o (Poliestireno) que son plásticos originados a partir de recursos no renovables.

Aunque el **PLA** se sintetizó por **primera vez a principios del siglo XIX**, el desarrollo del PLA ha tardado mucho en alcanzar la viabilidad de producción. En las primeras etapas de comercialización, el **PLA** producido se **limitó** a su uso en dispositivos **biomédicos**, porque el **costo de síntesis era caro** y **no se producía en masa**.

En la **década de 1990**, el **mercado de PLA comenzó a expandirse**, con la primera planta piloto que **Cargill** estableció en **1992**, utilizando la polimerización indirecta de

monómero de lactida para un mayor rendimiento de producción de PLA. En **1997**, la empresa conjunta **Cargill y Dow Chemical** fundaron la empresa **NatureWorks** con sus productos comerciales preliminares que salieron al mercado bajo el nombre de Ingeo. Se construyó una planta en Blair, Estados Unidos, que costó 300 millones de dólares en **2002**. Posteriormente, en **2007**, **Dow Chemical** vendió su participación del 50% en NatureWorks a la japonesa **Teijin**. Durante la reciente recesión económica, **Teijin** se sometió a una **reestructuración** y transfirió su participación del 50% a Cargill. **Teijin** ahora se está enfocando en el **desarrollo de su producto PLA BIOFRONT**, un tipo de plástico **PLA resistente al calor para la sustitución del PET**. BIOFRONT tiene una temperatura de fusión 40 °C más alta que el ácido poli-L-láctico existente. El BIOFRONT de Teijin se ha producido en colaboración con Mazda, para desarrollar un tejido de asiento de coche hecho 100% de fibras biológicas.

**Purac**, en 2009 fue el **mayor productor de ácido láctico del mundo**, opera una **planta** de ácido láctico en Tailandia con una capacidad de producción anual de 200,000 TM anuales. Actualmente, **Purac** suministra más del **60% del ácido láctico** a nivel mundial desde sus instalaciones operativas ubicadas en los Países Bajos, España, Brasil y EE. UU. Purac ha estado fabricando PLA y copolímeros de PLA para aplicaciones biomédicas.

### **Incidencia ambiental del ácido poliláctico**

El ácido poliláctico se ha considerado como un sustituto adecuado de los polímeros petroquímicos existentes en la fabricación de vasos, envases y embalajes. Se sabe que el PLA se degrada bien cuando se elimina junto con los desechos municipales, por lo que es una carga menor para el medio ambiente. A diferencia de los polímeros petroquímicos como PE, PP, PET, PC y PS, que requieren 100 años para descomponerse en sustancias inofensivas, el PLA es totalmente compostable y se acepta como un producto ecológico, especialmente en Japón, Estados Unidos y países de la UE.

El PLA existe desde hace décadas, pero solo en años más recientes el crecimiento de sus aplicaciones se ha expandido rápidamente. Es un polímero biodegradable que posee el potencial de sustituir los polímeros básicos existentes a base de petróleo, para ayudar a superar la acumulación de desechos plásticos en los vertederos. El PLA se ve favorecido porque puede producirse en masa a partir de fuentes agrícolas, que son renovables, lo que permite a la sociedad reducir su dependencia de los petroquímicos. La investigación y el desarrollo continuos han permitido reducir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con el proceso de producción. En conclusión, el PLA tiene un gran potencial y comerciabilidad como polímero biodegradable para un futuro sostenible.

### **Aplicaciones del ácido poliláctico**

Se sabe que el PLA es adecuado para fabricar botellas. No obstante, las mismas tienden a deformarse a partir de los 50 °C. Las botellas de PLA tienen excelente brillo, transparencia y claridad igual al polietileno tereftalato (PET). El PLA también tiene un

sabor excepcional y propiedades de barrera aromática. La sustitución de 100,000 botellas de jugos de 32 onzas puede ahorrar el uso de combustibles fósiles, teniendo una equivalencia a 1,160 galones de gases de efecto invernadero o un viaje de 23,800 millas en un vehículo.

Asimismo, una de las aplicaciones más importantes del PLA está en la fabricación de vasos y utensilios de servicio de alimentos. Ejemplo de esto son los vasos utilizados por Avianca para servir a los pasajes en pleno vuelo aéreo, así como para bebidas refrescantes. Esto también ha servido para reducir el volumen de utensilios desechables no degradables, como vasos y platos o cubertería, que son destinados sin discriminación ni tratamiento alguno a los vertederos.

PLA es una buena alternativa, ya que tiene excelente brillo, claridad, imprimibilidad y rigidez. Tiene buenas propiedades de barrera contra la grasa, aceite y humedad, y tiene la flexibilidad para adaptarse a altas tecnologías de producción de plástico, como el moldeo por inyección y termoformado. PLA también es adecuado para recubrir o forrar vasos de papel. Las características respetuosas con el medio ambiente del PLA significan que puede ayudar a ahorrar 5,950 gal de gases de efecto invernadero por cada millón de vasos, tenedores, cucharas o cuchillos al momento de sustituir los polímeros petroquímicos.

PLA es adecuado para ser utilizado para alimentos ligeros y transparentes envases de embalaje. Es muy brillante y puede ser fácilmente impreso igual a los materiales existentes, como el poliestireno, polietileno y tereftalato de polietileno. Tapa de contenedor hecho de PLA es compostable y renovable; tapa típica las aplicaciones incluyen potes de yogur, envases de sándwich y productos frescos bandejas de comida para frutas, pastas, quesos y otras delicias

### **Productos.**

Los envases de PLA disponibles comercialmente pueden proporcionar mejores propiedades mecánicas que el poliestireno y tener propiedades más o menos comparables a las del PET. Los estudios de mercado muestran que el PLA es un material económicamente viable para el envasado. Con su consumo actual, es en la actualidad el mercado más importante en volumen para envases biodegradables. Debido a su alto costo, el uso inicial de PLA como material de envasado ha sido en películas de alto valor, termoformados rígidos, envases de alimentos y bebidas y papeles revestidos. Una de las primeras empresas en utilizar PLA como material de envasado fue Danone (Francia) en vasos de yogur para el mercado alemán a finales de la década de 1990. Pero la producción de estos envases se detuvo rápidamente. En 2011, Danone lanzó nuevos vasos de yogur para el mercado alemán, 100% compostables, con mayor éxito. Durante la última década, el uso de PLA como material de envasado se ha incrementado en toda Europa, Japón y Estados Unidos, principalmente en el área de productos frescos, donde el PLA se utiliza como envasado de alimentos para productos de corta vida útil, como frutas y verduras.

Las aplicaciones de los paquetes incluyen recipientes, vasos para beber, vasos para helados y ensaladas, envoltorios para dulces, películas de laminación, envases tipo blíster y botellas de agua. Actualmente, el PLA se utiliza en bolsas de jardín compostables para promover programas de compostaje nacionales o regionales. Además, se persiguen nuevas aplicaciones como revestimientos de cartón o papel, por ejemplo, para el mercado de la comida rápida (vasos, platos y similares). Sin embargo, para atender a un mercado más grande, se deben superar algunos inconvenientes del PLA, como sus propiedades mecánicas y de barrera limitadas y su resistencia al calor, y, para cumplir con las expectativas del mercado, se debe aumentar la producción mundial de PLA. Sin embargo, desde 2009, las últimas tendencias para las aplicaciones de PLA se han producido en los mercados duraderos y de base biológica, como la automoción (asientos, aislamiento, etc.) y aplicaciones de construcción (aislamiento acústico y térmico, etc.). Para estos últimos casos, las principales ventajas del PLA son el alto contenido de base biológica y las buenas condiciones de fibralidad, y las correspondientes propiedades físicas y mecánicas.

### **Polihidroxicanoato (PHA)**

De acuerdo con González et al., los polihidroxicanoatos (PHA) son biopolíesteres obtenidos por ciertos microorganismos de manera intracelular como reserva de carbono y energía que, una vez extraídos de la célula, poseen propiedades físicas similares a plásticos derivados del petróleo. De manera intensiva, han sido estudiados desde la década de los 80 y actualmente continúan considerándose de gran relevancia en el mundo científico, sobre todo como suplentes de los plásticos convencionales, en vista de que los PHA son biodegradables en su totalidad y se producen a partir de recursos renovables. Este producto, además, tiene una aplicación importante como materiales conciliables en el sector farmacéutico y biomédico (2012).

Además, la obtención y empleo de plásticos de origen microbiano podría representar una alternativa más sustentable, ya que, como el PLA, se originan a partir de fuentes renovables y tienen la ventaja de ser biodegradables, o sea, mineralizados por la acción de microorganismos. Combinado a este beneficio ambiental, en la actualidad, el empleo de bioplásticos como materiales en el área médica y farmacéutica es altamente atractivo, por lo que se ha dedicado mucho tiempo y esfuerzo en investigaciones científicas y tecnológicas para aprovecharlos en los distintos escenarios económicos (2012).

### **Reseña histórica de los PHA**

Esta familia de poliésteres y copoliésteres ha interesado a la comunidad de polímeros tanto por sus notables propiedades físicas como por su biodegradabilidad. Se han realizado esfuerzos para mejorar la economía de los procesos biotecnológicos utilizados para preparar estos materiales, de modo que puedan volverse comercialmente competitivos en comparación con los polímeros derivados del petróleo con propiedades similares.

Dado que el tema de los polímeros biodegradables recibió una amplia atención a principios de la década de 1970, los polímeros biodegradables se han sometido a

extensas investigaciones en la academia y la industria y han experimentado varias etapas importantes de desarrollo. Dado que los plásticos representan una parte significativa (~ 21% por volumen en los Estados Unidos) de los desechos municipales, los plásticos degradables o biodegradables inicialmente tenían la intención de abordar el problema de la "crisis de los vertederos", con la anticipación de que se liberaría algo de espacio en los vertederos, si los materiales plásticos de desecho pudieran biodegradarse. Por lo tanto, la primera generación de plásticos degradables no colocó la biodegradabilidad y la huella ambiental como una prioridad, sino que se centró solo en el ahorro de espacio en los vertederos.

### **Producción de los PHA**

Los PHA se producen a partir de una amplia variedad de sustratos, como recursos renovables (sacarosa, almidón, celulosa, triacilglicerol), recursos fósiles (metano, aceite mineral, lignito, hulla), subproductos (melaza, suero, glicerol), productos químicos (ácido propiónico). Ácido 4-hidroxibutírico) y dióxido de carbono. Como el mayor costo en la producción de PHA es el medio, los esfuerzos se centran en encontrar medios baratos.

Los estudios extensos para seleccionar fuentes baratas para la fermentación incluyen medios que contienen melaza, licor de maíz, suero, salvado de trigo y arroz, almidón y aguas residuales con almidón, efluentes de la almazara y de la almazara de palma, lodos activados y desechos porcinos.

Los microorganismos de elección para la producción industrial de PHA varían dependiendo de factores que incluyen la capacidad de la célula para utilizar una fuente de carbono barata, el costo del medio, la tasa de crecimiento, la tasa de síntesis de polímeros, la calidad y cantidad de PHA y el costo de los procesos posteriores.

Aunque más de 300 microorganismos diferentes sintetizan PHA, solo unos pocos, como *Cupriavidus necator* (anteriormente conocido como *Ralstonia eutropha* o *Alcaligenes eutrophus*), *Alcaligenes latus*, *Azotobacter vinelandii*, *Pseudomonas oleovorans*, *Paracoccus denitrificans*, *Protomonas extorquens* y *Escherichia coli* pueden producir suficiente PHA a escalas masivas de producción.

Existen diferentes enfoques y vías para la síntesis de PHA. Zimm y col. [23] distinguió cuatro enfoques biosintéticos para producir PHA:

- In vitro mediante polimerización catalizada por PHA-polimerasa
- In vivo con cultivos discontinuos,
- Discontinuos y
- Continuos (quimiostato).

### **Almidón y Almidón Termoplástico – TPS**

El **almidón**, el polisacárido de almacenamiento de los cereales, legumbres y tubérculos, es una materia prima renovable y ampliamente disponible, siendo el producto final de la fotosíntesis. El almidón se compone de una mezcla de **dos sustancias**, un polisacárido esencialmente lineal, **amilosa**, y un polisacárido altamente ramificado, **amilopectina**.

Los polímeros a base de almidón se refieren a mezclas de polímeros de almidón y almidón termoplástico. Empresas como Novamont, S.A., Plantic DuPont y Cereplast mezclan almidón con otros polímeros sintéticos para mejorar la procesabilidad y las propiedades mecánicas del almidón solo. Normalmente, es preferible mezclar almidón con un polímero biodegradable como PCL, PLA y PHB, para asegurar que las mezclas resultantes sean completamente biodegradables.

Los plásticos a base de almidón tienen un precio más alto en comparación con el PLA; esto se puede atribuir al procesamiento tecnológico del almidón, que es notablemente complejo. El almidón debe mezclarse con otros polímeros, como PP y PLA, y, en consecuencia, esto conduce a costos más altos y procesamiento adicional en la mezcla fundida de almidón con PP o PLA. Aunque la celulosa es el plástico biodegradable más producido, su precio sigue siendo más alto debido a su aplicación especializada. La capacidad de la celulosa para moldearse por inyección también es limitada. El tratamiento adicional y la modificación de la celulosa son cruciales para la procesabilidad mediante moldeo por inyección.

El almidón es un polisacárido comestible extremadamente abundante presente en una amplia variedad de tubérculos y cereales. En la mayoría de sus manifestaciones, se compone de dos macromoléculas (amilosa) y (amilopectina), presentes en diferentes proporciones según la especie que lo produzca. La utilización de almidón o sus derivados para la producción de adhesivos, o como aditivos en la fabricación de papel, constituye aplicaciones tradicionales a las que se han agregado recientemente una variedad de materiales novedosos, incluyendo almidón plastificado, mezclas y compuestos, de una ráfaga mundial de productos fundamentales. e investigaciones tecnológicas.

El almidón es tradicionalmente la mayor fuente de carbohidratos en la dieta humana. Al ser un polímero de polisacárido, el almidón se ha estudiado intensamente para procesarlo en un polímero termoplástico con la esperanza de reemplazar parcialmente algunos polímeros petroquímicos.

En su forma natural, el almidón no es fundible y, por lo tanto, no se puede procesar como termoplástico. Sin embargo, los gránulos de almidón pueden termoplastificarse mediante un proceso de gelatinización. En este proceso, los gránulos se rompen y la estructura cristalina ordenada se pierde bajo la influencia de plastificantes (por ejemplo, agua y glicerol), calor y cizallamiento.

El almidón procesable en fusión resultante a menudo se denomina almidón termoplástico (TPS). Desde el advenimiento del TPS, se han realizado numerosos estudios para explorar su uso como polímero termoplástico superando sus inconvenientes inherentes que incluyen baja resistencia, alta sensibilidad a la humedad y fragilidad causada por la retrogradación del almidón y la pérdida gradual de los plastificantes.

Para destruir la estructura cristalina del almidón y permitir la fluidez, se utilizan grandes contenidos de plastificantes en la preparación de TPS. Dependiendo de la cantidad de plastificantes utilizados, los materiales de TPS varían de estado vídrioso a gomoso.

Al ser hidrófilo, el TPS es susceptible al ataque de la humedad durante el almacenamiento o el servicio. Las propiedades dependientes del tiempo del TPS son un resultado combinado de la retrogradación del almidón, la fluctuación del contenido de agua y la difusión del plastificante (por ejemplo, glicerol). Estos factores son difíciles de controlar durante el almacenamiento y la vida útil del TPS. Como resultado, el TPS rara vez se usa solo, pero a menudo se mezcla con polímeros termoplásticos hidrófobos para formar mezclas de polímeros que contienen almidón, de modo que se puedan mejorar el rendimiento mecánico, la resistencia a la humedad y la estabilidad dimensional del TPS. En los primeros años de las mezclas de polímeros que contienen almidón, los gránulos de almidón secos se usaban directamente en las mezclas como relleno. Dado que la mayoría de los polímeros son hidrófobos, el almidón hidrófilo es termodinámicamente inmiscible con estos polímeros y, en consecuencia, da como resultado una unión interfacial débil entre el almidón y la matriz polimérica. Esto a su vez condujo a malas propiedades mecánicas de las mezclas, por ejemplo, baja resistencia a la tracción, bajo alargamiento y fragilidad. En vista de esto, se llevó a cabo la compatibilización entre los gránulos de almidón y la matriz polimérica. El anhídrido maleico (MA) se usa con mayor frecuencia y también es uno de los agentes de acoplamiento más efectivos para las mezclas que contienen almidón.

En comparación con el almidón granular, el TPS ofrece una gran ventaja en la procesabilidad del material y el control de la morfología, ya que el TPS se puede deformar y dispersar a un estado mucho más fino que el almidón nativo seco.

Los polímeros utilizados para mezclar con TPS incluyen LDPE [8], poliestireno (PS) y, con mayor frecuencia, polímeros biodegradables como poli (éter de éster de hidroxilo), poliuretano a base de aceite de ricino (PU), poli (éster amida), PCL y poli (3hidroxibutirato-co-3-hidroxivalerato) (PHBV).

En general, las desventajas típicas del TPS, como la susceptibilidad a la humedad, la fragilidad y la baja resistencia, se han reducido en varios grados mediante la combinación con estos polímeros. Sin embargo, las propiedades mecánicas de estas mezclas todavía disminuyeron a medida que aumentaba el contenido de TPS. Esto limitaba el contenido de TPS en las mezclas si era necesario mantener al máximo la resistencia de la matriz. El TPS también se mezcló primero con polímeros hidrófobos (por ejemplo, PHBV, PCL, PBS, PVA y PLA) y posteriormente se hizo espuma. Además del vapor de agua, el dióxido de carbono también se ha utilizado como agente espumante en las espumas de TPS y PLA.

### **Principales fuentes de almidón**

Varias plantas se utilizan comercialmente para la producción de almidón. La elección de la planta depende principalmente de factores geográficos y climáticos y de las propiedades funcionales deseadas del almidón correspondiente. Siempre es posible

encontrar una planta altamente productiva para producir almidón sea cual sea el clima y las condiciones agrícolas: maíz en zonas templadas y subtropicales, yuca (mandioca o tapioca) y plátano en ambientes tropicales, arroz en áreas inundadas y papa en climas fríos.

También están surgiendo nuevas fuentes de almidón, como el plátano, que produce un almidón de excelente calidad. El desarrollo de nuevos usos del almidón y de los materiales a base de almidón, en el contexto más amplio de la creciente demanda de materiales basados en recursos renovables, sin duda aumentará la demanda de producción de almidón y, por tanto, el desarrollo de nuevas fuentes comerciales de almidón.

### **Uso de almidón en la producción de plástico**

En las décadas de 1960 y 1970, el almidón oxidado se utilizó con éxito en formulaciones de caucho y otros polímeros y se desarrollaron varias tecnologías para optimizar su combinación con cloruro de polivinilo plastificado (PVC). En 1972, Griffin describió el uso de almidón como relleno particulado para polietileno de baja densidad (LDPE) con el objetivo de dar una textura y apariencia similar al papel a las películas de LDPE sopladas por extrusión. La necesidad de almidón muy seco para evitar defectos causados por la volatilización del agua fue una limitación financiera del proceso, ya que requería un almacenamiento apropiado del almidón seco antes de su uso.

En las décadas de 1970 y 1980, la contaminación provocada por los envases de plástico considerados "indestructibles" se había convertido en un problema grave y se iniciaron discusiones sobre posibles soluciones basadas en la búsqueda de materiales que puedan degradarse en los vertederos, por lo que la investigación sobre polímeros biodegradables se convirtió en un tema importante. Las mezclas de LDPE y almidón parecían un enfoque interesante, pero los gránulos de almidón se encapsularon en la matriz de LDPE y, por lo tanto, se volvieron, en principio, inaccesibles a la biodegradación. Estudios posteriores llevados a cabo por Griffin demostraron que incluso cuando se encapsula, el almidón se puede degradar en un entorno apropiado. Otro desarrollo requirió el uso de un prooxidante ( $Fe\ 3\ \beta$ ,  $Mn\ 3\ \beta$ ) en la matriz de LDPE [67]. Otey y col. también describieron las mezclas de almidón con polímeros sintéticos, en las que se utilizó almidón gelatinizado en lugar de gránulos de almidón.

En la década de 1990, las composiciones de almidón procesadas directamente en equipos de fusión, como extrusoras, se describieron como un nuevo material denominado almidón desestructurado o TPS. Este material fue patentado por Warner-Lambert Company y se describió como preparado con almidón que se había calentado a una temperatura lo suficientemente alta y durante el tiempo suficiente para que se derritiera antes de la degradación del almidón.

En este proceso, el almidón procesado en extrusoras contenía entre un 5 y un 40% de agua. También se afirmó que cuando el almidón se calentó en un volumen cerrado en

condiciones apropiadas de humedad y temperatura, se volvió sustancialmente compatible

**Tabla No. 1. Biopolímeros biodegradables**

<b>Materiales</b>	<b>Recursos</b>	<b>Origen/Fin de vida útil</b>	<b>Aplicaciones</b>
Acido Poliláctico (PLA)	Derivado ácido láctico obtenido de la fermentación de almidón, maíz, caña de azúcar.	100% degradable y compostable 100% origen biológico	Excelente brillo, claridad, de fácil impresión y rigidez. Propiedades de barreras. Envases, empaques, cosmética
Almidón	polisacárido formado por una mezcla de amilosa y amilopectina	100% degradable 100% origen biológico	Bolsas, film de acolchados
PHA	Obtenido por microorganismos. Almidón, azúcar, biomasa	100% degradable y compostable 100% origen biológico	Biocomposites, piezas inyectadas, film de envasado.

Actualmente, los bioplásticos están hechos principalmente de plantas ricas en carbohidratos, como el maíz, llamados materia prima de primera generación o cultivos alimentarios.

Los argumentos a favor de la sostenibilidad, la protección del clima y la escasez de reservas de combustibles fósiles, promueven el uso de bioplásticos. Sin embargo, muchos consideran que la producción de estos bioplásticos a partir de cultivos agrícolas pone en peligro la seguridad alimentaria.

En el 2020, de acuerdo a datos publicados por “European Bioplastics” la producción de bioplásticos en el mundo, alcanzó los 2.11 millones de toneladas. Representando solo el 0.005% del total de plásticos producidos en el mundo. Esta capacidad de producción se traduce en aproximadamente 0.70 millones de hectáreas de tierra cultivada, representando un 0.02% de la tierra disponible para cultivo.

Asimismo, se estima un crecimiento del 36% alcanzando una capacidad de producción de 2.87 millones de toneladas en el 2025. Este aumento no incluye la producción a partir del uso de residuos agrícolas, de cultivos no alimentarios (de tercera generación como las algas) y la biomasa de celulosa.

Aunque la tierra dedicada a la producción de cultivos para la fabricación de bioplásticos es ínfima, se considera como alternativas de materia prima, los subproductos agrícolas y los desechos propios del proceso de industrialización del producto agrícola cultivado.

Estos subproductos agrícolas, como el bagazo de la caña de azúcar, la cascara de arroz, entre otros, contienen sustancias útiles para la elaboración de los bioplásticos.

La República Dominicana es un país agrícola, representando el sector el 5.1% del PIB, por lo que se puede aprovechar los desechos agrícolas para la fabricación de estos bioplásticos, contribuyendo a la solución ambiental y sin menoscabar la importancia del sector de plásticos y la seguridad alimentaria del país.

Producción de empaques de origen biológico o bioempaques

Tal como se ha explicado anteriormente, en términos generales, los biopolímeros han surgido para reemplazar parcial y paulatinamente a los plásticos que provienen de fuentes no renovables que han sido utilizados por mucho tiempo por su versatilidad, lo que da a entender que los plásticos convencionales efectivamente han resuelto por mucho tiempo un sinnúmero de contratiempos porque poseen bondades significativas, que, a pesar de todas las consecuencias negativas que se pueden tener producto de la gestión deficiente de los mismos, siguen ejerciendo la funciones básicas y prácticas de contener, preservar y proteger los alimentos de ciertos contaminantes y patógenos. Es por ello que los biopolímeros desempeñarían varios roles importantes de manera simultánea, y que su descubrimiento, desde el año 1970, ha supuesto un logro sustancial. Asimismo, como sugiere Ubaque, los compuestos con almidón podrían prolongar la vida útil de ciertos alimentos, logrando así la conservación deseada y el cuidado medioambiental al sacar del proceso el uso de plásticos no biodegradables (2018).

En este estudio se persigue realizar un análisis de factibilidad de uso de residuos agrícolas para la producción de plásticos biodegradables en el área de embalajes y envases, identificando sus características y disponibilidad y su potencial de ser desarrollados, indicando una cadena de suministro de los residuos seleccionados y especificando el mapa de los mismos considerando sus tipos y cantidades, incluyendo su cadena de gestión y sus características.

Por ello, es necesario poner en un contexto específico los términos 'envases' y 'embalajes'. Los envases son recipientes o soportes que contienen, almacenan o guardan un producto, protegen la mercancía, facilitan su transporte, ayudan a distinguirla de otros productos o artículos y presentan el producto para su venta (Logisticabego.wordpress.com, 2017). Pueden ser envolturas, latas, cajas plegadizas, frascos, botellas o cualquier otro material capaz de albergar un producto. Su función más relevante es la de proteger desde el origen natural o envasado al producto contenido, o bien, desde el fabricante hasta el consumidor, de manera que queden exentos de cualquier alteración intencional o externa a la naturaleza del producto.

**Figura 2.** Diferentes tipos de envases.



En cambio, un embalaje es todo lo que es necesario en el proceso de acondicionar los productos para protegerlos y agruparlos de manera temporal tomando en cuenta la manipulación, el transporte y almacenamiento. Esto permitiría garantizar la calidad e integridad de la carga durante todas las operaciones que pueda experimentar en su trayecto desde quien exporta hasta quien recibe. Otra función relevante es que hace más sencillo el proceso de cuantificar, distribuir y transportar la mercancía, tal y como lo describe [Logisticabego.wordpress.com](https://logisticabego.wordpress.com) (2017). El embalaje puede ser cartón, de madera, de papel, o bien, de plástico, siendo este último el objeto de estudio.

**Figura 3.** Diferentes tipos de embalajes.



Con este estudio se pretende conocer la factibilidad y sostenibilidad de producir plásticos biodegradables que puedan servir en el sector de envases y embalajes a partir de mezclas del ácido poliláctico (PLA) proveniente, a su vez, de fuentes agrícolas nativas de la República Dominicana al tiempo de crear una mayor conciencia en la población dominicana sobre las características ventajosas que definen a los biopolímeros. No se valorará el potencial de producción de plásticos oxodegradables porque sus restos, aunque en diminutas porciones, permanecen en el transcurso del tiempo, lo cual no responde al objetivo fundamental de este trabajo.

En la República Dominicana, el nivel de producción nacional, según datos del Ministerio de Agricultura, para los 60 principales productos, excluyendo caña de azúcar, alcanza cerca de 20 millones de toneladas en promedio entre 2015 y 2020. En términos de comercio exterior se importan alrededor de 4 millones de toneladas, mientras que se importan alrededor de 1.4 toneladas. En el 2019, alrededor de 10 cultivos representan más del 60% de la producción agrícola del país, entre los que se encuentran: caña de azúcar, guineo (banana), plátano, arroz, cacao, yuca, piña, coco.

Esta producción agrícola sirve como para las exportaciones de productos primarios como el cacao, y para la producción manufacturera. Sin embargo, existe otra dimensión menos utilizada y con dificultades para su medición y es la utilización de los residuos que generan estos cultivos agrícolas.

Como residuo agrícola entendemos los materiales resultantes que se generan por el consumo directo o procesamiento de un producto primario, sin utilizada posterior a su consumo primario y a quien lo genera.

Con la finalidad de identificar los principales cultivos existentes en el país y su utilización, recaudamos información de la producción del sector agrícola nacional. Asimismo, de indicaron las importaciones y exportaciones de estos productos a fin de determinar el consumo aparente, como base para estimar los residuos en el país.

Una gran parte de la producción agrícola nacional no pasa por ningún proceso industrial y se utiliza para la exportación o para el consumo local fresco. Asimismo, una proporción menor de estos cultivos se utilizan en la industria para crear productos de primera generación y sus residuos no son aprovechables del todo.

Actualmente, en el país no se dispone de datos sobre la cantidad de residuos generados ni la capacidad de transformación de estos, es decir sus características. Tampoco existe una gestión de residuos a nivel agroindustrial ni a nivel doméstico adecuada que permita cuantificar y clasificar estos residuos de productos agrícolas.

Sin embargo, las características físicas que algunos de estos productos poseen lo hacen muy valiosos para diferentes aplicaciones y para la producción de productos de empaques y embalajes con características similares a los plásticos de origen fósil.

La valoración de los residuos agrícolas va relacionada a su uso. En el país, la generación de primaria de productos a partir de residuos agrícolas ha ido orientada más frecuentemente a la obtención de productos de consumo y la producción de energía como el caso de la caña de azúcar.

Bajo este concepto y con el objetivo de incentivar la producción de materiales con características de empaque similares a las de materiales derivados del petróleo se plantea el objetivo de estimar la cantidad de residuos generados por la agroindustria y su potencial utilización.

**Tabla No. 2. Producción y Consumo Aparente.**

Quintales								
P R O D U C T O S	2019			Consumo	2020 *			Consumo
	Producción	Importación	Exportación	Estimado	Producción	Importación	Exportación	Estimado
<b>TOTAL</b>	<b>2,019</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>2,019</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
Maíz	1,098,780	30,172,888	28,099	31,243,569	1,116,811	29,476,522	14,492	30,578,840
Lechosa	25,936,080	-	32,193	25,903,887	28,027,140	-	39,694	27,987,446
Plátano	22,652,061	369	199,274	22,453,156	23,217,588	4	53,867	23,163,725
Guineo	26,659,531	4	8,696,001	17,963,534	27,161,542	-	8,443,996	18,717,547
Arroz	13,175,823	496,008	362,681	13,309,150	13,509,730	813,774	83,809	14,239,696
Aguacate	14,674,966	791	991,634	13,684,123	14,911,320	1,492	1,104,118	13,808,693
Piña	10,163,750	403	149,570	10,014,583	11,076,650	2,791	209,162	10,870,279
Sandía	9,373,350	764	10,527	9,363,587	10,187,925	136	8,656	10,179,405
Coco Seco	9,293,700	14,238	310,941	8,996,997	9,469,776	36,673	267,354	9,239,995
Tomates	5,767,332	7,515	318,144	5,456,703	5,757,325	10,819	351,400	5,416,744
Tayota	5,356,860	-	12,112	5,344,748	5,081,070	-	23,671	5,057,399
Yuca	3,870,904	1	7,715	3,863,189	4,170,722	315	2,830	4,168,207
Naranja Dulce	2,964,300	66,269	13,430	3,017,139	2,839,445	61,593	63,398	2,837,640
Habichuelas (Rojas, Negras y Blancas)	926,345	833,551	11,427	1,748,470	896,304	1,384,033	9,922	2,270,415
Papa	2,073,555	201,004	79,551	2,195,007	2,027,622	232,328	11,472	2,248,478
Zapote	2,151,585	-	1,501	2,150,084	2,191,509	-	564	2,190,945
Cebolla	1,508,516	278,877	4,646	1,782,747	1,522,691	483,000	366	2,005,325
Zanahoria	1,079,514	29,647	142,045	967,115	1,132,715	8,995	23,532	1,118,178
Batata	1,209,330	2,104	226,510	984,925	1,260,957	1,480	173,157	1,089,280
Melón	970,830	21,819	13,758	978,892	1,051,645	19,570	9,602	1,061,613
Repollo	959,448	181	79,332	880,297	1,010,240	-	27,669	982,571
Chinola	959,457	-	4,291	955,166	981,026	-	4,265	976,761
Auyama	909,263	724	10,820	899,166	927,125	717	9,742	918,099
Limón Agrío	833,014	11,982	90,939	754,058	910,578	26,848	36,432	900,994
Yautía	669,268	662	11,118	658,812	728,572	6,417	11,130	723,859
Ñame	712,929	-	8,115	704,814	699,414	-	5,241	694,173
Mango	926,600	1,215	478,159	449,655	1,128,184	914	440,101	688,997
Ajies	1,037,030	5,659	408,168	634,520	1,045,373	1,232	414,349	632,256
Berenjena	613,343	2,162	123,179	492,326	605,461	348	61,711	544,098
Guandul	562,313	145	186	562,272	531,645	1,613	-	533,258
Granadillo	406,875	-	139	406,736	422,415	-	103	422,312
Mandarina	391,731	13,877	238	405,369	392,469	18,990	148	411,311
Tindora	452,292	-	61,403	390,889	443,741	-	109,208	334,533
Ajo	43,020	147,789	38	190,771	50,169	217,128	25	267,272
Pepino	366,509	372	206,924	159,957	382,165	-	142,514	239,651
Remolacha	225,231	36	839	224,429	235,367	22	640	234,749
Maní	163,014	216	307	162,923	169,472	31,527	57	200,942
Guanábana	173,460	-	1,829	171,631	197,732	-	779	196,953
Molondrón	188,427	1	17,668	170,759	189,394	-	11,542	177,852
Lechuga	138,111	3,919	131	141,900	150,707	4,259	29	154,938
Cundeamor	145,440	-	19,942	125,498	148,067	-	3,601	144,466
Cereza	132,507	714	2	133,219	139,246	210	-	139,456
Toronja	139,536	4,012	21	143,527	128,880	3,942	21	132,801
Brócoli y Coliflor	123,607	10,658	360	133,906	120,466	4,031	91	124,406
Bangaña	203,826	15	68,154	135,686	219,677	-	96,263	123,414
Guard beans (Guabin)	104,543	498	78,002	27,039	113,762	-	4,085	109,677
Vainita China	73,698	-	142	73,556	77,678	-	18	77,660
Orégano	81,128	73	9,576	71,625	76,085	-	393	75,692
Guayaba	47,454	-	4,128	43,326	47,526	-	2,125	45,401
Rábano	37,059	162	166	37,055	38,436	268	107	38,597
Mapuey	19,826	-	-	19,826	18,738	-	-	18,738
Musú Chino	43,937	-	43,229	708	52,764	-	34,868	17,896
Bija	12,092	3	330	11,765	10,948	-	-	10,948
Sorgo	15,409	-	-	15,409	10,503	-	-	10,503

**Fuente:** *Ministeria de Agricultura, Trademap y Promdominicana*

Otros cultivos de importancia en el país y que por sus características deben ser considerados son:

**Tabla No. 3. producción y consumo aparente Aguacate, Caña de Azúcar, Cacao**

				Aguacate (en Quintales)
	Produccion (QQ)	Exportacion	Importacion	Consumo Aparente
2016	13,257,348	580,903	482	12,676,927
2017	14,058,468	779,859	1,625	13,280,234
2018	14,210,916	801,796	1,024	13,410,144
2019	14,674,966	991,634	791	13,684,123
2020	14,911,320	1,104,118	1,492	13,808,693

				Cacao
	Produccion (QQ)	Exportacion	Importacion	Consumo Aparente
2016	1,791,146	737,120	40	1,054,066
2017	1,909,162	559,490	20	1,349,692
2018	1,976,982	738,900	1290	1,239,372

				Caña de Azucar
	Produccion (QQ)	Exportacion	Importacion	Consumo Aparente
2016	87,758,159	218	-	87,757,941
2017	120,387,937	225	-	120,387,712
2018	128,072,996	481	0.01	128,072,516
2019	107,934,813	341	-	107,934,472
2020	117,224,601	333	-	117,224,268

Gran parte de estos productos agrícolas son consumidos en su estado natural (fresco) y/o exportados, las principales agroindustrias del país producen:

Tabla No.4 Uso principales insumos.

Caña de azúcar	Azúcar, alcohol y aguardiente. Existe una industria de producción de energía limpia a través de la cana de azúcar.
Guineo/banano	exportación y consumo domestico

Cacao	exportación, chocolates, cocoa y otros subproductos
Coco	Helados, aceites, industria cosmética
Arroz	arroz descascarillado, arroz semiblanqueado o blanqueado
Naranja	jugos, néctar, aceites esenciales
Aguacate	Consumo doméstico, aceites , pure

El procesamiento de estos productos se realizan por empresas calificadas como agroindustrias y están ubicadas en todo el territorio nacional .

En el cuadro debajo relacionamos el consumo aparente con la literatura existente sobre la potencialidades de estos cultivos para la producción de plástico, de acuerdo a su disposición y disponibilidad.

**Tabla No. 5. Relación cultivos agrícolas potenciales para la producción de bioplásticos**

Cultivo	Parte de interés	Observaciones de acuerdo a investigación existentes
Plátano	La cáscara en estado verde, el raquis, el pseudotallo.	La celulosa se utiliza para producir pellets de plásticos biodegradables. La celulosa con almidón permite mejorar las propiedades mecánicas al aumentar la hidrofobicidad, la permeabilidad de gases y la biodegradabilidad. Los bioplásticos obtenidos se utiliza para juguetes, equipos deportivos, aplicaciones médicas, interiores de autos, decoración y construcción. Son residuos abundantes en República Dominicana. Sin embargo, el plátano se consume a nivel doméstico impidiendo su recolección para uso en subproductos.
	La cáscara de plátano	Es muy utilizada para producir platos hechos a base del almidón. Para el procedimiento de la elaboración de los utensilios de bioplástico a base de la cáscara de plátano se necesita: glicerina, vinagre, maicena, almidón y la cáscara del plátano.
	La cáscara del plátano	Las nanopartículas obtenidas del plátano poseen mejores propiedades mecánicas y de barrera que los polímeros naturales empleados para la elaboración de empaques biodegradables. La principal limitante para desarrollar a gran escala empaques biodegradables es que los polímeros biodegradables no tienen buenas propiedades mecánicas ni de barrera (al agua y a los gases) por naturaleza hidrofílica. Algunos frutos en estado verde (como el plátano macho) llegan a contener hasta 70% de almidón (base seca), por lo que diversos autores han coincidido en que el plátano es una materia prima potencial para la obtención de almidón a nivel industrial..
Caña azúcar	Bagazo	Se mezcla quitosano con fibras naturales de bagazo de caña. Se someten a funcionalización con anhídrido maleico, bajo la irradiación de microondas y libres de disolvente (se disminuye cantidad de reactivos). Se obtuvieron películas muy hidrofóbicas respecto al quitosano debido a la presencia de la fibra, además de comprobar que el material generado tenía un mayor potencial de degradación.
Coco	Fibra de la cáscara	Se muele la fibra de coco previamente cortada, se vierte a una licuadora junto a agua y papel reciclado. Compactar la mezcla para escurrir el exceso de agua. Para colocarle la cubierta selladora al producto compactado, mezclar glicerina (uso alimenticio) con fécula de maíz. Se obtiene un plato biodegradable luego de 12 horas de secado. Tiempo de biodegradación de 35 a 40 días.
Ácido poliláctico (PLA)		"Junto al almidón, es la materia prima para la obtención y comercialización de bioplásticos para empaques y otras aplicaciones industriales".
Naranja	Cáscara	Alto contenido de pectina hace que sea apropiada para obtener bioplásticos.. Se obtuvieron biopelículas flexibles, libres de poros. Según el análisis elemental de la biopelícula, se encontró que está compuesta por carbono, hidrógeno, nitrógeno y azufre, lo cual lo hace un material biodegradable no tóxico y amigable con el medio ambiente.
Arroz	Cáscara	El arroz es uno de los cultivos mas abundantes y aprovechables. En la producción de arroz se obtiene entre un 25%-30% de cascarilla de arroz. La cáscara de arroz, material lignocelulósico, se compone de un 35 % de celulosa; un 25 % de hemicelulosa, heteropolisacárido complejo y ramificado formado por pentosas, hexosas y sus ácidos; un 20 % de lignina, polímero ramificado, amorfo y heterogéneo formado por unidades de fenilpropano; todos estos componentes son favorables para la elaboración de bioplásticos.

# Estimación Residuos Agroindustriales

El proyecto de plásticos biodegradables requiere los datos de la cantidad de desperdicios de los productos agrícolas seleccionados, para así, poder analizar el potencial que tiene el proyecto en la industria de República Dominicana. Sin embargo, los datos de residuos de estos productos en el país no están disponibles. Dado esta situación se estimarán los residuos siguiendo como base la metodología de una investigación similar realizada para Ecuador (Riera, Maldonado, & Palma, 2018).

## Metodología

Con el objetivo de cuantificar los residuos agroindustriales de los productos agrícolas seleccionados se utilizó la fórmula (1) planteada por Araujo et al. (2017). Esta cuenta con las variables Producción Anual Promedio (AAP), la proporción de Procesamiento Industrial (IP), la Proporción de Residuo (RGR) y otros Usos Competitivos (CU).

$$AR = AAP * IP * RGR * (1 - CU) \quad (1)$$

El AAP toma el promedio de la producción anual de los años 2015 al 2020 publicados por el Ministerio de Agricultura (MA)<sup>1</sup>. Dado que solo es de interés la proporción que se destina al procesamiento industrial necesitamos IP, del cual no hay información pública disponible. Para esto se propone otra ecuación (2) con el fin de estimar esta proporción. Donde se toma en cuenta, el consumo local (CL), cantidad importada (CI) y cantidad exportada (CE), todos los datos buscados en el Ministerio de Agricultura y por igual para estos datos se toma el promedio de 2015 a 2020.

$$IP = \frac{(AAP + CI) - (CL + CE)}{(AAP + CI)} \quad (2)$$

Para el RGR no existe información recolectada en el país que se pueda utilizar para las estimaciones. Para esto se utilizará la literatura de diversos autores que han computado esta variable anteriormente en trabajos de campo. Es importante notar que esta variable puede variar según el tipo de clima del país, y la técnica que se utilice en la industria para procesar el producto. Por otra parte, CU se refiere a otros usos que se le puede atribuir a los residuos de los productos seleccionados, siguiendo el mismo esquema metodológico que la investigación “Residuos agroindustriales generados en Ecuador para la elaboración de bioplásticos” (Riera, Maldonado, & Palma, 2018) se asume un 50%.

---

<sup>1</sup> <https://agricultura.gob.do/category/estadisticas-agropecuarias/>

### Información Sector Agroindustrial

El nivel de producción nacional, según datos del Ministerio de Agricultura, para los productos seleccionados alcanza cerca de 190 millones de quintales en promedio entre 2015 y 2020. En términos de comercio exterior se exportan alrededor de 9 millones de quintales, mientras que se importan alrededor de 700 mil quintales.

Tabla 6. Información de productos seleccionados

<b>Productos (en QQ)</b>	<b>Residuo valorizable</b>	<b>Producción</b>	<b>Exportación</b>	<b>Importación</b>
<i>Plátano</i>	<i>Cáscara</i>	21,744,896	173,590	8,264
<i>Guineo</i>	<i>Cáscara</i>	25,839,519	8,089,940	285
<i>Yuca</i>	<i>Harina</i>	3,769,941	5,365	73
<i>Ñame</i>	<i>Corteza</i>	689,244	6,356	22
<i>Coco Seco</i>	<i>Fibra de la Cáscara</i>	8,780,235	346,858	77,706
<i>Zanahoria</i>	<i>Almidón</i>	1,033,015	102,528	12,077
<i>Naranja Dulce</i>	<i>Cáscara</i>	2,993,356	22,256	40,185
<i>Caña de azúcar</i>	<i>Bagazo</i>	110,227,410	318	-
<i>Arroz</i>	<i>Cascarilla</i>	12,929,285	579,471	254,718

Una parte de los cultivos que efectivamente quedan en el país no pasan por ningún tipo de proceso industrial y se consumen frescas. Por esto es importante estimar la cantidad que va a las industrias y qué tanto se desperdicia del residuo específico que se ha seleccionado.

### Estimación de los residuos agrícolas

Para los valores del RGR se tomaron los estudios que estuvieran mejor adaptados para la realidad dominicana mostrados en la tabla 2. El consumo local (CL) requerido para encontrar el IP, se computó utilizando el consumo per cápita de cada producto publicado por el MA multiplicado por la cantidad de habitantes proyectados a 2020 por la Oficina Nacional de Estadística (ONE).

**Tabla 7. Proporción de residuos (RGR) generados**

<i>Producto (en QQ)</i>	<b>Residuo</b>	<b>Proporción de Residuos</b>	<b>Fuente</b>
<b>Plátano</b>	Cáscara	0.25	Wilaipon, 2019
<b>Guineo</b>	Cáscara	0.25	Wilaipon, 2019
<b>Yuca</b>	Harina	0.13	FAO, 2018
<b>Ñame<sup>2</sup></b>	Corteza	0.13	FAO, 2018
<b>Coco Seco</b>	Fibra de la Cáscara	0.47	FAO, 2018
<b>Zanahoria</b>	Almidón	0.12	Bedoic, Cosic, & Duic, 2019
<b>Naranja Dulce</b>	Cáscara	0.20	Balu y otros, 2012
<b>Caña de azúcar</b>	Bagazo	0.26	FAO, 2018
<b>Arroz</b>	Cascarilla	0.25	FAO, 2018

Para el cálculo de los residuos agroindustriales (AR) generados en promedio en los últimos 5 años se utilizan los datos disponibles y previamente mostrados, el CU en 0.5 y las ecuaciones 1 y 2. Según los resultados mostrados en la tabla 3, dentro de los productos seleccionados bajo las premisas establecidas, en promedio, de producen casi 18 millones de quintales potenciales para el proyecto de plásticos biodegradables.

**Tabla 81. Resultados Residuos Agroindustriales**

<i>Producto (en QQ)</i>	<b>Sub-Producto</b>	<b>Residuos Estimados(AR)</b>	<b>Producción Promedio (AAP)</b>	<b>Consumo Industrial (IP)</b>	<b>RGR</b>
<b>Plátano</b>	Cáscara	1,461,429	21,744,896	0.54	0.25
<b>Guineo</b>	Cáscara	1,202,054	25,839,519	0.37	0.25
<b>Yuca</b>	Harina	132,588	3,769,941	0.54	0.13
<b>Ñame</b>	Corteza	24,044	689,244	0.54	0.13
<b>Coco Seco</b>	Fibra de la Cáscara	1,074,448	8,780,235	0.52	0.47
<b>Zanahoria</b>	Almidón	30,337	1,033,015	0.49	0.12
<b>Naranja Dulce</b>	Cáscara	160,783	2,993,356	0.54	0.20

<sup>2</sup> Para el ñame se asume el mismo RGR que la yuca.

<b>Caña de azúcar</b>	Bagazo	13,860,656	110,227,410	0.97	0.26
<b>Arroz</b>	Cascarilla	859,324.35	12,929,285	0.53	0.25

Aunque no existe una cuantificación de los residuos a partir de la estimación se obtiene su valor estimado.

**Tabla No. 9. Uso primario residuo agroindustrial. Productos seleccionados**

<i>Producto (en QQ)</i>	<i>Sub-Producto</i>	<i>Residuos estimados a nivel finca</i>	<i>Uso primario residuo</i>
<b>Plátano</b>	Cáscara	1,461,429	Como biomasa en la producción de energía
<b>Guineo</b>	Cáscara	1,202,054	Como biomasa en la producción de energía
<b>Yuca</b>	Harina	132,588	En la R.D. el principal uso de la yuca para fines industriales es la elaboración de casabe.
<b>Ñame</b>	Corteza	24,044	No disponible
<b>Coco Seco</b>	Fibra de la Cáscara	1,074,448	Como biomasa producción de energía. la convertimos en el sustrato de las plantas de naranja
<b>Zanahoria</b>	Almidón	30,337	No disponible
<b>Naranja Dulce</b>	Cáscara	160,783	No disponible
<b>Caña de azúcar</b>	Bagazo	13,860,656	Se utiliza principalmente como biomasa para la producción de energía y en la producción de etanol
<b>Arroz</b>	Cascara	859,324	Se estima que un 20% se convierte en residuo. Se utiliza para alimentos, energía y como material coadyuvante para la fabricación de materiales biodegradables a través del zargazo

Los residuos agrícolas generados en la Republica Dominicana a partir del procesamiento industrial de cultivos agrícolas pueden ser aprovechables para obtener plásticos biodegradables que compitan con los provenientes del petróleo.

La decisión de cual desecho utilizar o cual combinación de residuos es la más favorable para lograr un mayor rendimiento, dependerá de distintas variables y de su relación con el producto el cual se requiera fabricar. Entre las variables a evaluar se encuentran: a) la disponibilidad del residuo agrícola, en términos de cantidad generada, ubicación geográfica del desecho, estacionalidad del cultivo, valorización del residuo en términos de productos secundarios, y los sistemas de recolección; b) variables de impacto ambiental, como la disminución de descargas en el vertedero, procesos de fabricación,

etc; y c) variables de impacto social y económico como la garantía de recursos de alimentación,

## Composición y características de los residuos seleccionados.

De los nueve productos seleccionados por ser materiales lignocelulosas o con presencia de almidón, los cuales disponen también del alto contenido de azúcares, susceptibles para la fabricación de bioplásticos biodegradables y por su disposición de residuos, se seleccionaron tres de mayor potencialidad, atendiendo al criterio de disponibilidad a nivel de agroindustrias, sistemas de recolección y valorización del residuo, a saber: caña de azúcar, coco y arroz.

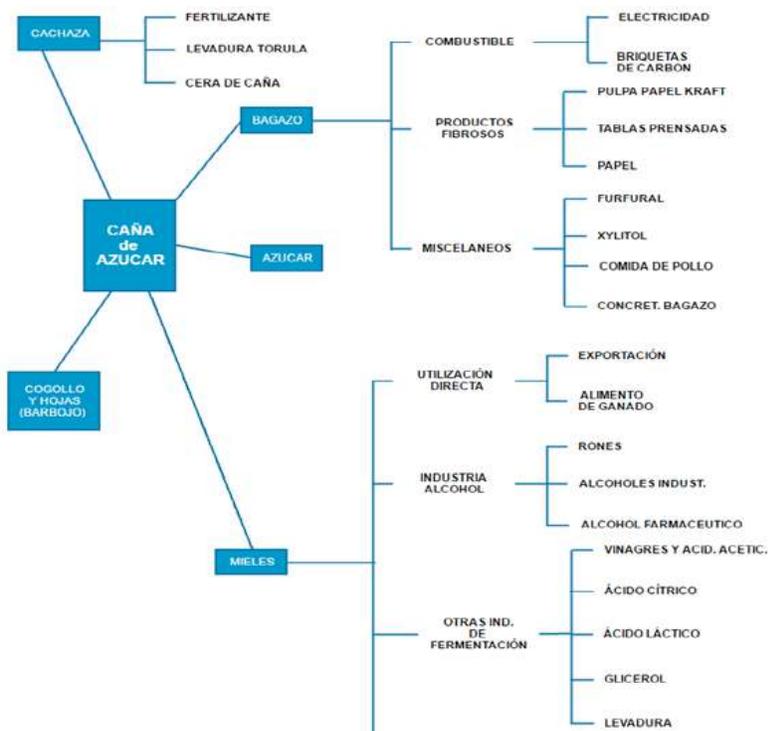
### Caña de Azúcar

La producción de azúcar es una de las principales industrial y fuente de empleo en la República Dominicana.

En el país, 1,824,400 (2017) tareas se dedican al cultivo de caña en el país. 71% de estas tierras es propiedad de 4 ingenios (Central Romana, Cristóbal Colón, Barahona y Porvenir) y el 29% es propiedad de colonos. La producción de caña de azúcar alcanzó las 117,224,601 quintales en el 2020. La estimación de residuos disponible para la conversión a bioplásticos es de aproximadamente 675,000 tn de bagazo.

Existen numerosos productos que pueden ser fabricados a partir de la caña, Sin embargo, el uso del bagazo de caña como combustible para la misma industria azucarera se ha convertido en uno de los principales subproductos.

Figura 4. Productos y Subproductos derivados de la Caña de Azúcar.



Fuente: Calderon Al Guidice, Alexis. Evolución de la Industria Azucarera en Republica Dominicana. [https://: médium.com En](https://medium.com/En)

## Arroz

El arroz genera gran cantidad de residuos, que deja, además de la paja durante su recogida, grandes cantidades de cascarilla tras su procesado en la industria arrocera. El cultivo de arroz ocupa unas 82,185 hectáreas de cultivo, 49% de estas en la zona Noreste del país (Provincia Duarte, Maria Trinidad Sanchez, Sanchez Ramirez principalmente). El arroz se recolecta en el campo, se lleva a las instalaciones industriales, molinos, donde es procesado, descascarillado, secado y blanqueado. El cultivo de arroz en el país es llevado a cabo por más de 30,000 productores y se producen unos 13 millones de quintales al año (promedio últimos 5 años). Se estima de cada 100 kg obtenidos de arroz, unos 20 kg a 25KG de cascarilla son producidos como residuo agro-industrial. En concreto, en RD se generan alrededor de 859,324 quintales de cascarilla de arroz al año (promedio 2015-2020).

La cascarilla de arroz es vendida a la industria avícola para ser utilizada como suelo en las granjas. También, se utiliza como fuente de energía. Sin embargo, existen alrededor de 80 factorías de arroz en el país, los costos y la logística de recolección de la cascarilla representan barreras importantes a la hora de utilización de este residuo agrícola para la producción de bioplásticos.

## COCO

El coco es un cultivo usado principalmente con fines industriales. La demanda de subproductos se encuentra en crecimiento en los mercados globales. El coco se utiliza para la elaboración de productos alimenticios, productos químicos y productos para la salud deportiva.

De igual forma, las cáscaras del coco (jícara) y las fibras (cáscaras), se han utilizado en la producción de carbón activado y como insumo utilizado en la industria textil, horticultura y en la producción de bioplásticos. Sin embargo, la cascara sigue siendo un producto poco utilizado a nivel comercial.

La fibra de coco es un producto orgánico y biodegradable con las siguientes características: Resistencia, durabilidad, acción antibacterial y gran capacidad de aislamiento térmico y acústico.

El Ministerio de Agricultura reportó producción promedio de coco seco de 8,780,235 quintales del 2015-2020. Lo que implica una expansión considerable de la producción en los últimos 10 años. Para el 2017, se reportaron 287 mil toneladas de producción de coco anualmente, con un área de cultivo de 796mil de tareas. Para el 2018 el país presentó un déficit de producción cercano a las 495.000 unidades semanales, que debieron ser importadas desde Guyana. Las principales zonas de producción son Hato Mayor, El Seibo, Sabana de la Mar y Miches. Otras zonas son: La Altagracia, Neyba, Cabral, Barahona y Samaná.

De la producción de 287 toneladas reportadas en el 2017, el 31%, es decir, 90 millones va a la industrialización, se exportaron 30 millones y 22 millones va al mercado haitiano. El resto se considera como consumo local.

A nivel mundial se procesan alrededor de 68 productos derivados. La República Dominicana se ha especializado en la producción de agua de coco, el aceite de coco y

la crema de coco. En este producto, ha llegado a convertirse en el mayor productor del mundo, alcanzando ventas que superan los US\$15 millones al año (JAD)

Sin embargo, se considera que las plantaciones de coco en República Dominicana tienen problemas como: antigüedad de las plantas, la falta de titulación de tierra cultivada, que impide el acceso al crédito; las plagas; el uso de plantas de variedades poco productivas y el alto costo de la tierra en las regiones que tradicionalmente han sembrado el fruto, que hoy en su mayoría son turísticas.

La industria importa coco desde países como Guyana, India, Indonesia, Vietnam y Malasia.

Existen cerca de 22 empresas, que operan bajo el régimen de zona franca, que producen coco, lo exportan y/o comercializan sus subproductos (aceite, agua, crema, leche, dulces, jabones y cáscara molida). Las empresas procesadoras coordinan las cadenas de suministros locales y regionales. Estas empresas suelen trabajar con intermediarios locales para aprovisionarse de la materia prima, y en pocos casos se abastecen directamente de los agricultores. Consolidan su abastecimiento a través de la importación e influyen en el precio. Utilizan cascara como fuente de energía para sus empresas. Estas empresas representan más del 90% de la industrialización del coco.

# Sargazo: Una Oportunidad

Según el Centro de Apoyo a la Tecnología e Innovación (CATI) y OMPI en su informe sobre el Estado de la Técnica de Tecnologías sobre la Recolección del Sargazo (2018), las especies *Sargassum natans* y *Sargassum fluitans* llegaron en cantidades masivas a las costas de la República Dominicana en el año 2011, 2014, 2015 y 2018. En el 2019, llegaron 2,424,800 metros cúbicos de sargazo a 49 playas Dominicanas



Los especialistas del Centro **han determinado que los sargazos no provienen del Mar de los Sargazos sino desde el Atlántico ecuatorial, entre Brasil (Suramérica) y África** donde se conoce han variado los patrones de corrientes, pudiendo haberse generado floraciones, probablemente, por un exceso de nutrientes de los ríos Amazónicos y Orinoco de América del Sur, los cuales se mezclan con corrientes de temperatura más elevada. También, se cree que la disminución de los vientos en la zona pueda tener una incidencia importante. Todo esto se está vinculando al fenómeno del cambio climático global. Por tal razón, se asume dicha situación seguirá en años venideros, y se debe prestar la atención lo más pronto posible.

En vista de esta situación, solo resta ver este desafío desde una óptica de adaptación y creación de oportunidades. En este sentido, se puede aprovechar los alginatos, que son polisacáridos o polímeros glicosídicos presentes en las paredes celulares de las algas marinas pardas, para sintetizar un polímero biodegradable, tal como lo demuestra Loja (2020) en su estudio "Obtención de un polímero biodegradable a partir del alginato de calcio extraído de la biomasa del alga parda (*Sargassum Ecuadorianum*)".

Loja (2020) demostró con una serie de reacciones químicas en serie que es posible obtener un polímero biodegradable semisintético gracias a una mezcla dosificada de 80% de ácido poliláctico, a partir de almidón de papa y 20% de alginato de calcio.



**Figura 1.** Polímero obtenido con diferentes porcentajes de PLA y alginato de calcio:

A) 50% PLA y 50% Alginato

B) 80% PLA y 20% Alginato C) 20% PLA y 80% Alginato

El polímero sintetizado con dosificaciones 80% PLA y 20% alginato calcio posee estabilidad térmica hasta 80 °C y 200 °C. Tiene una menor cantidad de residuos finales, por lo que puede ser utilizado como material para embalaje, botellas, descartables, recipientes u otro tipo de contenedores que no sobrepasen esa temperatura.

En el país, la empresa ALGEANOVA ha iniciado la fabricación de vajillas para comer totalmente biodegradables, utilizando el zargaso y el almidón obtenido de la yuca y/o arroz. Para la elaboración de este producto se utiliza el zargaso recogido en una barrera en el mar, antes de llegar a las costas. Esto facilita el proceso de fabricación de las vajillas, ya que si el zargaso llega a las costas debe ser recogido y lavado antes de las 72 horas de exposición para que pueda ser utilizado en la fabricación de estos productos. La interacción con la arena hace que el zargaso deba ser limpiado antes de su uso por la alta alcalinidad de la arena.

Algeanova a logrado una alianza con la compañía Polaca de materiales biodegradables BIOTREM para la fabricación de estas vajillas. Los productos fabricados a demás de ser biodegradables son compostables y pueden sustituir el material plástico y de Foam, a partir del Sargazo como materia aprovechable

El sargazo se convierte en compost orgánico de alta calidad que reacondiciona los suelos agrícolas y estimula el crecimiento de los cultivos, reemplazando los productos petroquímicos y reduciendo el



CO<sub>2</sub> que se libera a la atmósfera. Asimismo, se fabrican platos desechables y compostables y biogás para utilizar en la producción de energía eléctrica y sustituir a los hidrocarburos.

Para la obtención del ácido poliláctico necesario para la fabricación de estas vajillas se emplea el almidón de la yuca y/o del arroz como sustrato fermentable. materia prima que produzca ciertos beneficios”.

En conclusión, el zargaso es una materia prima eficiente de tercera generación (no alimentaria) que puede ser utilizada con éxito para la fabricación de plásticos biodegradables que además de representar una solución para el fomento del turismo, también representa una oportunidad de valorización para otros

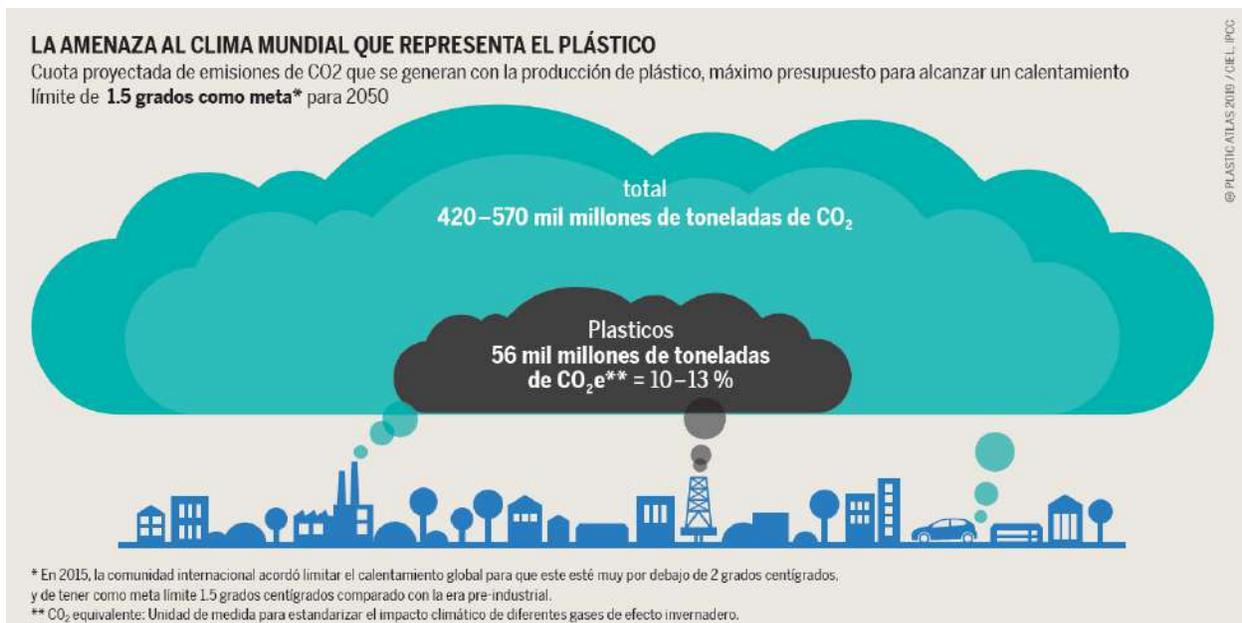
cultivos.

# Incidencia de los residuos plásticos sintéticos no biodegradables en el cambio climático

Este estudio propone la producción y empleo de plásticos biodegradables de origen renovable para ir reduciendo de manera paulatina la dependencia de plásticos de origen petroquímico no biodegradables. Una de las razones más relevantes para promover este cambio de cultura es afirmar cada vez más las bases del desarrollo sostenible, el cual precisa la gran responsabilidad de la generación presente de aprovechar los recursos naturales para satisfacer sus necesidades sin poner en riesgo el mismo derecho que tienen las generaciones futuras de satisfacer las suyas.

En la actualidad, la comunidad científica ha afirmado que la disposición final inadecuada de los residuos plásticos de origen petroquímico y no biodegradables guardan una relación con el calentamiento global. Según la UNEP, investigadores de Hawái aseguran que, durante la descomposición de los plásticos se emiten, sin cesar, gases de efecto invernadero como lo es el metano, el cual contribuye 28 veces más que el dióxido de carbono al calentamiento global (2018). Fruto de la investigación salió a relucir que, especialmente, el polietileno de baja densidad “es el emisor más prolífico de metano” en comparación con materiales compuestos por policarbonato, acrílico, polipropileno, tereftalato de polietileno, poliestireno, polietileno de alta densidad y otros materiales.

**Figura 5.** Contribución de la producción de plásticos al cambio climático.



Fuente: Atlas del Plástico (2019).

Además, Niklas Hagelberg, experto de cambio climático del PNUMA alertó que algunos de los plásticos comercializados contienen aditivos que pueden lixiviar mientras el plástico envejece, como lo es el bisfenol-A, que “se utiliza en la fabricación de muchos productos plásticos”. Esto supone una serie de repercusiones negativas, no solo para el medio ambiente, sino para la salud humana, puesto que los aditivos pueden resultar ser tóxicos. Por otro lado, la descomposición no se limita a alteraciones de las propiedades químicas de los polímeros sintéticos, sino que dicho proceso puede derivar también en la fragmentación de estos materiales en otros más diminutos, lo que puede conllevar a ser consumidos inadvertidamente por los animales, así como de manera indirecta por las personas, resultando en posibles intoxicaciones.

Como lo enuncia la Fundación Aquae, según el informe publicado por el Centro para el Derecho Ambiental Internacional (CIEL, por sus siglas en inglés), se estima que las emisiones actuales propias de la producción, fabricación, transporte, incineración y degradación, del plástico podrían compararse con las emisiones generadas por alrededor de 200 centrales eléctricas en un solo año. Esto ha conllevado a realizar todos los esfuerzos posibles para modificar a nuestro favor el ciclo de vida del plástico sintético ponderando el escenario alternativo de intercambiar la producción de los mismos por la de polímeros biodegradables de origen renovable. Lógicamente, esto supondría un proceso que podría requerir un tiempo importante en tanto que la economía de escala se haga más evidente, tanto en la producción de biopolímeros como en su aplicación en productos empleados en la vida cotidiana.

Tal como lo predica el desarrollo sostenible, el eje “social” juega un papel preponderante en la estabilidad de todos, y, por ende, los instrumentos políticos han sido actores decisivos en los logros de los objetivos trazados de alcance internacional. Uno de los organismos que ejercen presión en este sentido es el CIEL, presidido por Carroll Muffet, quien, de acuerdo a la Fundación Aquae, ha alertado sobre el compromiso colectivo de “reducir las emisiones en un 45% para 2030” de manera que no se sobrepase el *presupuesto de carbono*, el cual “es la cantidad máxima acumulada de emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e) a lo largo de un período definido, para limitar el incremento de la temperatura promedio de la tierra dentro de un cierto rango”, lo cual, a su vez, va de la mano con los límites definidos dentro del marco del Acuerdo de París, sobre mantener el aumento global de la temperatura por debajo de los 2 °C.

En este sentido, las políticas y normativas han impulsado una serie de medidas para reducir el impacto ocasionado por una gestión inadecuada y deficiente de los residuos

sólidos. De todas ellas, las que predominan son, por un lado, la sensibilización de los ciudadanos sobre lo que realmente representa el daño ocasionado por los residuos sólidos tanto en el ambiente como en la salud humana, así como, la concienciación de los ciudadanos sobre sus capacidades y responsabilidad para prevenir y/o mitigar la contaminación causada por la disposición incorrecta de los residuos sólidos. Los gobiernos se han comprometido con la visión “bottom-up”, que promueve a las acciones individuales en procura del bienestar colectivo.

En general, los gobiernos han adoptado los principios de las Tres Erres: reducir, reutilizar/reusar y reciclar para así colocar las propuestas en un plano práctico. La *reducción* invita al ciudadano a limitar sus consumos lo máximo posible, en obediencia a la frase popular “el mejor residuo es el que no se genera. Esta “r” promueve la eliminación y rechazo de productos y operaciones superfluos. Un ejemplo claro puede ser la limitación, de ser necesario, a una sola bolsa, y no dos bolsas al momento de cargar las compras desde el mercado hacia la casa. Inclusive, en caso de ser un solo artículo, pequeño y liviano, se puede optar por llevarlo en las manos o en una mochila, evitando la bolsa plástica.

La segunda “r” motiva al ciudadano a reaprovechar el residuo potencial en otras actividades u operaciones que puedan compartir la misma funcionalidad para la que fue creada originalmente. Un ejemplo es el uso de bolsas, confeccionadas de material resistente, para cargar compras del mercado repetidas veces sin necesidad de usar otra bolsa. Consiste en sacarle el mejor partido a las cosas hasta que tengan que ser sustituidas.

La tercera “r” induce al ciudadano a apoyar el reciclaje de los materiales que sean candidatos. Estos materiales pueden ser plásticos, vidrios, metálicos, papel o cartón. A través de procesos fisicoquímicos pueden ser transformados para otros usos o para el mismo uso para el que fue originalmente diseñado y fabricado. Las autoridades juegan un rol importante en esta última “r” de las Tres Erres. Por ejemplo, las mismas pueden brindar y facilitar los medios necesarios para que los ciudadanos tengan el acceso a sistemas de disposición de estos tipos de residuos en espacios públicos, o bien, promover la recolección separada puerta-a-puerta de los residuos valorizables y residuos no valorizables. Otra medida sería apoyar a las empresas locales de reciclaje para que ellos mismos propongan y operen un modelo práctico de recolección en sus instalaciones. Representa un reto, pero tampoco significa es inalcanzable.

En resumen, se puede concluir que la cantidad sí puede ser un factor determinante en muchas situaciones. Aunque una unidad de plástico sintético no biodegradable puede no representar emisiones significativas de gases efecto invernadero, una cantidad astronómica de plásticos de esta naturaleza puede hacer que este tipo de problemática tenga que ser atendida a la brevedad posible. En contraste, aunque el manejo responsable de residuos sólidos que pueda tener un individuo no parezca ser relevante,

la asunción de dicho comportamiento por toda una población sí puede concebir resultados evidentemente a favor de la sociedad.

# Retos y Oportunidades

La coyuntura actual exige que las empresas de plásticos diversifiquen sus portafolios y flexibilicen su producción con miras a la sostenibilidad y como aporte al cuidado del medioambiente.

La producción de biodegradables constituye una opción para un futuro sostenible, sobre todo en el campo del empaque y envases, donde se ha desarrollado más su utilización.

Estos bioplásticos biodegradables producidos a través de la utilización de residuos agrícolas como opción de residuos renovables, se enfrenta a varios retos, destacándose los principales como el costo de producción y la calidad del producto, a saber:

- La decisión del insumo a utilizar depende de las características intrínsecas del material (propiedades termomecánicas, barrera a gases y vapor de agua), los requerimientos específicos de procesado del alimento (tratamientos térmicos de pasteurización o esterilización), la tipología del producto a envasar o vida útil del alimento; lo que hace necesario la recursos para investigación y desarrollo de nuevos productos de empaques.
- Los procesos de producción y costos de producción en la actualidad están ajustados para la industria de origen fósil, por lo que su adaptabilidad es necesaria para la producción de este tipo de productos.
- La falta de sistemas de acogida y gestión de residuos agroindustriales influye en los costos logísticos de recolección de materia prima y su utilización.
- La inestabilidad en el suministro de materia prima y su valorización en el mercado. Los productores de bioplásticos en el país deben competir con productores de otros subproductos del cultivo agrícola.
- Falta de programas de innovación, conocimiento de tecnologías, centros de investigación y apoyo en el desarrollo de nuevos productos que permitan reducir el costo de estos materiales y lograr incrementar sus propiedades físicas y mecánicas, para que puedan competir con los polímeros convencionales.

- Falta de marco legal que promueva la producción de este tipo de materiales y programas para impulsar emprendimientos en esta área.
- Carencia de sistemas adecuados de recolección de productos post consumo que permitan la adecuada disposición de estos productos y favorezcan condiciones para su degradabilidad y en muchos casos puedan ser utilizados como compost.
- La necesidad de profesionales capacitados para desarrollar productos innovadores adaptados a las necesidades de la industria que puedan reducir el costo de los materiales y lograr incrementar sus propiedades físicas y mecánicas.

El uso de los bioplásticos en diferentes sectores de la industria representa una opción importante para el medioambiente y la sostenibilidad. Los empaques son el campo más grande de aplicación de estos bioplásticos pero también se utilizan en menor proporción para la industria del transporte y la automoción, la construcción y sector eléctrico-electrónico, aunque cada día surgen nuevas aplicaciones derivadas de la innovación en este campo.

La fabricación de bioplásticos no amenaza la seguridad alimentaria, ni la disponibilidad de alimentos en el mundo. No existe competencia entre la materia prima renovable para la producción de alimentos y el uso para la producción de bioplásticos, ya que más del 94% se utiliza para el cultivo de alimentos. Además, la opción de utilizar residuos de productos agrícolas o productos de la industrialización para producción primaria de alimentos, representa un atractivo adicional para desarrollar estos plásticos.

Además, se presenta la alternativa de producción a partir de productos de tercera generación, provenientes de fuentes no alimentarias, pero con características propias para la producción de plásticos biodegradables, como el caso del sargazo.

En el país, la utilización de residuos agroindustriales seleccionados a partir de la producción y el consumo nacional, se caracteriza por ser material con características propias para la producción de plásticos biodegradables por su gran contenido de almidón y azúcares. Estos residuos representan una oportunidad de negocio sustentable que permite su producción y uso con fines comerciales.

Los retos de su utilización se resumen en:

- Necesidad de sistemas de información de uso industrial de cultivos agrícolas

- Mejorar sistemas de recogida de residuos industriales y sistema de valorización de estos insumos.
- Mejorar disposición post consumo y aseguramiento de condiciones para la degradabilidad de estos productos
- Mecanismos de incentivos para la transferencia de conocimiento y fabricación de estos materiales