

SUSTITUCIÓN DEL PLÁSTICO POR MATERIALES VEGETALES. EL CASO DE LAS VAJILLAS DESECHABLES. UNA REVISIÓN

TRABAJO DE FIN DE GRADO

POR:

MARCOS LEDESMA BARBER

Tutoras: María Milagros Laz Pavón y María Hernández Molina

La Laguna, JULIO de 2020

RESUMEN

En la actualidad, la enorme presencia de residuos plásticos en el mundo supone un grave peligro para la salud y supervivencia de nuestro planeta. Es por ello que existe hoy en día una corriente intensa de investigación académica para la búsqueda de métodos y fórmulas que logren reducir o eliminar la generación y acumulación de residuos plásticos.

Precisamente, este trabajo tiene como objetivo general presentar las metodologías y estrategias empleadas actualmente para tratar de combatir dicho problema asociado a los residuos de plástico.

Más concretamente, el proyecto se enfoca en la recopilación y síntesis de la literatura reciente sobre la sustitución del plástico por materiales y residuos vegetales, profundizando en el caso de las vajillas desechables.

Para ello en la presente investigación se utilizarán, principalmente, fuentes bibliográficas basadas en artículos referentes al tema en estudio. Se realizará un análisis de cada estudio o proyecto individualmente, presentando tanto sus objetivos como los métodos aplicados. Además, se llevará a cabo interpretaciones y valoraciones de los resultados obtenidos en cada caso.

Metodología desarrollada: revisión bibliográfica.

Palabras clave: plástico, residuo, sustitución, biodegradable, materiales vegetales, vajillas desechables.

ABSTRACT

Currently, the enormous presence of plastic waste in the world seriously endangers the health and survival of our planet. That is the reason why today there is an intense stream of academic research to look for methods in order to reduce or eliminate the generation and accumulation of plastic waste.

Therefore, the general objective of this work is to present the methodologies and strategies currently used to deal with the problem of plastic waste.

More specifically, the project is focused on the compilation and synthesis of recent literature in relation to the substitution of plastic for vegetal materials and waste, delving into the case of disposable tableware.

For this purpose, the present investigation will mainly use bibliographic sources based on articles referring to the subject under study. An analysis of each study or project will be carried out individually, presenting its objectives and the methods applied. In addition, it will be held interpretations and evaluations of the results obtained in each case.

Developed methodology: bibliographic review.

Key words: plastic, waste, substitution, biodegradable, vegetal materials, disposable tableware.

ÍNDICE GENERAL

0. Hoja de identificación	10
1. Introducción.....	11
2. Objetivos	15
3. Glosario	16
4. Contextualización	22
5. Métodos para la reducción y/o eliminación de la generación y acumulación de residuos de plástico.....	30
5.1. Educación ambiental.....	31
5.2. Iniciativas legislativas.....	33
5.3. Métodos de actuación <i>ex post</i>	35
5.4. Métodos de actuación <i>ex ante</i>	37
6. Revisión y síntesis de la literatura reciente acerca de los sustitutos vegetales del plástico en vajillas desechables	44
6.1. Una introducción	45
6.2. Los bioplásticos	49
6.3. Sustitutos vegetales del plástico en aplicaciones varias.....	52
6.3.1. En fase de comercialización	53
6.3.2. En fase de estudio o artículos académicos	57
6.4. Sustitutos vegetales del plástico en vajillas desechables	67
6.4.1. En fase de comercialización	68
6.4.2. En fase de estudio o artículos académicos	73
6.5. Reflexiones y propuesta.....	83
7. A. Conclusiones	94
7. B. Conclusions	95

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Historia del plástico: línea temporal [I].....	24
Figura 2. Evolución anual de la generación de residuos plásticos en España [II].....	25
Figura 3. Tiempo de permanencia de algunos objetos de plástico en la naturaleza [III].....	26
Figura 4. “Plastic Soup”. Manta intenta filtrar el alimento en medio de la sopa de plástico que flota cerca de la superficie [IV].....	27
Figura 5. “Trash”. Limpieza submarina en el Bósforo [V]	27
Figura 6. Cigüeña atrapada en una bolsa en un vertedero de España [VI].....	28
Figura 7. Hienas en un vertedero en Etiopía [VII].....	28
Figura 8. Microplásticos entran en nuestro cuerpo cuando respiramos [VIII].....	29
Figura 9. DKV: Diez consejos para reducir tu consumo de plástico [IX].....	32
Figura 10. The Interceptor de The Ocean Cleanup [X].....	36
Figura 11. Mr Trash Wheel, The Inner Harbor Water Wheel [XI].....	36
Figura 12. Evento organizado por la ONG Canarias Libre de Plásticos en la playa de Benijo [XII].....	36
Figura 13. Actividad en el interior de una planta de reciclaje mecánico de plásticos [XIII]	38
Figura 14. Exterior de una planta de reciclaje mecánico de plásticos en la provincia de Almería [XIV]	38
Figura 15. Actividad en el interior de una planta de reciclaje químico de plásticos [XV].....	39
Figura 16. Prototipo de la planta de reciclaje químico de plásticos en Somersby (en la Costa Central de Nueva Gales del Sur, Australia). [XVI]	39
Figura 17. Actividad en el interior de una planta de valorización energética de residuos plásticos [XVII]	40

Figura 18. Exterior de una planta de valorización energética de residuos plásticos [XVIII]	40
Figura 19. Portada de la revista de National Geographic “Un Mar de Plástico”, distribuida sin envoltorio de plástico [XIX]	41
Figura 20. Bolsa biocompostable del supermercado Lidl, para la sección de frutas y verduras [XX].....	42
Figura 21. Angelina Arora muestra el material elaborado a partir de cáscara de gambas para la fabricación de bolsas desechables [XXI].....	47
Figura 22. Objeto macroscópicos de forma persistente moldeados a partir de un hidrogel. Fuente: Wang et al (2010) [XXII]	48
Figura 23. Clasificación de los bioplásticos (incluyendo además los plásticos convencionales) según su base y su grado de biodegradabilidad. Fuente: Zhao et al (2020) [XXIII].....	49
Figura 24. Jabones naturales de la compañía Holy Lama Naturals, presentados en estuches biodegradables hechos de hojas de la palma areca [XXIV]	53
Figura 25. Envase hecho de micelio, de la empresa Ecovative Design [XXV]	54
Figura 26. Paquete de 6 anillos para latas de cerveza, de la compañía E6PR [XXVI].....	55
Figura 27. Envase/Cápsula Ooho, de la empresa NOTPLA [XXVII].....	56
Figura 28. Vajilla de usar y tirar en la playa [XXIX].....	67
Figura 29. Proceso circular de los productos ofrecidos por la empresa Klimer [XXX]	68
Figura 30. Platos germinables de la empresa Lifepack [XXXI].....	69
Figura 31. Disposición de las capas de hojas de vid y lámina de papel de los platos de Leaf Republic [XXXII]	70
Figura 32. Plato de la empresa Leaf Republic, obtenido directamente de la hoja de una vid silvestre [XXXIII]	70
Figura 33. Plato de la empresa Leaf Republic [XXXIV]	70
Figura 34. Esquema del ciclo de producción de la empresa Tapari [XXXV].....	72

Figura 35. Envases resultados del proceso final de modelo de corazón y vasija pequeña [XXXVI]	75
Figura 36. Ciclo de vida de una vajilla fabricada a partir del salvado de los cereales: cereal, molido, salvado, producción, vajilla, y biodegradación [XXXVIII]	80
Figura 37. Hojas de platanera empleadas para la fabricación de los platos (Fuente: propia)	88
Figura 38. Muestras de badana empleadas para la fabricación de los platos (Fuente: propia)	88
Figura 39. Preparación del adhesivo a base de almidón del trabajo de Leydi Ramona Pérez Hernández (TFG en proceso, 2019)	89
Figura 40. Adhesivo a base de almidón del trabajo de Leydi Ramona Pérez Hernández (TFG en proceso, 2019)	89
Figura 41. Fabricación de los materiales compuestos mediante moldes y la aplicación de presión en el trabajo de Leydi Ramona Pérez Hernández (TFG en proceso, 2019)	89
Figura 42. Probetas hechas de hojas y badana de platanera, y adhesivo a base de almidón [XXXIX]	90
Figura 43. Unión de varios fragmentos de hoja de platanera para alcanzar el tamaño requerido por el molde [XXXIX].....	90
Figura 44. Molde de PLA empleado para el conformado de los “Ecoplatos” [XXXIX].....	91
Figura 45. Modelo de plato conformado con hojas de platanera [XXXIX].....	91
Figura 46. Modelo de plato conformado con badana de platanera [XXXIX].....	91
Figura 47. Tapas del molde metálico para la fabricación de los platos en el trabajo de Leydi Ramona Pérez Hernández (TFG en proceso, 2019)	92
Figura 48. Plato fabricado a partir de hojas de platanera en el trabajo de Leydi Ramona Pérez Hernández (TFG en proceso, 2019)	92
Figura 49. Vista de planta de un plato fabricado a partir de hojas de platanera en el trabajo de Leydi Ramona Pérez Hernández (TFG en proceso, 2019)	92

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Grado de biodegradabilidad del PLA en diferentes condiciones ambientales. Fuente: Elaboración propia, basada en Zhao et al (2020) [XXIII]	50
Tabla 2. Rendimiento térmico de los materiales desarrollados a partir de las diferentes especies de micelio. Fuente: Elaboración propia, basada en Xing et al (2017) [XXVIII]	62
Tabla 3. Especificación de los procesos de la elaboración de la masa a partir de los granos de arroz para la fabricación de platos. Fuente: Elaboración propia basada en Cotrina et al (2016) [XXXVI].....	74
Tabla 4. Comparación esquemática entre el método de Bolio et al (2016) y el método modificado desarrollado en la Universidad Iberoamericana de Puebla, para elaborar el material a partir de la corona de la piña. Fuente: Elaboración propia, basada en Kroefly Contreras et al (2018) [XXXVII].....	76

0. HOJA DE IDENTIFICACIÓN

PROYECTO
TÍTULO: Sustitución del plástico por materiales vegetales. El caso de las vajillas desechables. Una revisión.
PETICIONARIO
NOMBRE: Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología de la Universidad de La Laguna DIRECCIÓN: Avenida Astrofísico Francisco Sánchez, s/n. San Cristóbal de La Laguna, Tenerife
AUTOR
NOMBRE: Marcos Ledesma Barber DNI: 54115303Y TELÉFONO: 722109281 CORREO ELECTRÓNICO: alu0100955309@ull.edu.es

1. INTRODUCCIÓN

Desde su nacimiento, la especie humana ha interactuado siempre con el medio y esta relación ha ocasionado modificaciones en el mismo. Es por ello por lo que los problemas ambientales derivados de la acción humana han existido desde tiempo atrás. Sin embargo, lo que hace que la situación actual sea tan alarmante es el carácter masivo de dichas modificaciones y la universalidad de sus consecuencias. Los problemas ambientales han dejado de ser independientes y han comenzado a relacionarse entre ellos para provocar efectos más graves que la simple acumulación de los mismos. Por esta razón, a lo que nos enfrentamos actualmente es a una preocupante crisis ambiental de carácter global, que hace que resulte necesaria la innovación y la exhaustiva búsqueda de nuevas ideas y estrategias que combatan la degradación del planeta. [1].

Uno de los aspectos más graves dentro de la contaminación ambiental es la presencia y acumulación de inmensas cantidades de plástico. Éste término, “plástico”, en el presente trabajo, se refiere concretamente a los polímeros plásticos que, teniendo una vida útil no demasiado larga o provechosa, suponen un grave problema de contaminación y deterioro del planeta. En este sentido no aludimos, por tanto, a materiales plásticos realmente valiosos o incluso necesarios; como puede ser el caso, por ejemplo, del empleo del polímero PEEK con fines biomédicos.

Tras haber aclarado el concepto de “plástico” con el que tratamos, estamos ya en disposición de afirmar que la amplia producción y el extendido uso de este material hacen que exista un riesgo real de que cada rincón de La Tierra sea contaminado. Todo esto amenaza seriamente a la salud de los diferentes ecosistemas y a la supervivencia de las especies que los habitan; especialmente en mares y océanos, quienes reciben cada año hasta 12 millones de toneladas de residuos plásticos [2]. Y es que, según informaba en el año 2018 National Geographic [3], en todo el planeta hay unas 5.700 millones de toneladas de residuos plásticos que no pasan por una planta de reciclaje.

El problema se agrava considerablemente, debido a diferentes razones. En primer lugar, a causa del lento proceso de degradación de los plásticos: en general, empiezan a biodegradarse a partir de los 450 años [3]. A modo de ejemplo Greenpeace [2] estima que una botella de plástico tarda unos 500 años en descomponerse.

En segundo lugar otro aspecto que agrava aún más la situación expuesta es el modo de empleo de los objetos de plástico que fabricamos. Muchos de estos

productos son envases u otros elementos de un solo uso. De hecho, más de un 40% de todo el plástico que producimos cada año es desechable [3]. En concreto, España es el quinto mayor productor de plásticos de “usar y tirar” de la Unión Europea [2]. A consecuencia de ello, cada vez en más lugares del planeta, se está decidiendo prohibir la producción de objetos de plástico de “usar y tirar”. Por ejemplo, en las Islas Canarias, existe un proyecto por el cual se suprimirá estos elementos a partir del 1 de enero de 2021 [4].

Para tratar de combatir todos los problemas ambientales y en concreto los de generación y acumulación de residuos plásticos expuestos anteriormente, han surgido alrededor del mundo estrategias y métodos que actúan en diferentes puntos del proceso.

En primer lugar, antes de comenzar a trabajar con otras metodologías, se debe tener en cuenta que uno de los objetivos considerados más importantes es lograr potenciar y desarrollar la educación ambiental, de forma mucho más intensa que lo que se está llevando a cabo en la actualidad. Como bien señalaba ya en 1980 el ex Director General de la UNESCO Amadou-Mahtar M'Bow, “no basta, en efecto, para que la educación ambiental alcance sus objetivos, hacer de ella un complemento de los programas educativos. Es necesario encarar las preocupaciones relativas al medio como una dimensión y función permanentes de la educación escolar y extraescolar, en su sentido más amplio” [5]. Además, otras acciones a destacar son las normativas y legislaciones establecidas que regulan aspectos en torno al plástico a distintos niveles, desde la fabricación hasta el tratamiento de los residuos generados. Un ejemplo es la “Ley 11/1997 de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases”, que tiene como objetivo principal “prevenir y reducir el impacto sobre el medio ambiente de los envases y la gestión de los residuos de envases a lo largo de todo su ciclo de vida” [6].

Aparte de estas primeras ideas generales, existen distintas actuaciones para combatir los efectos del plástico. Por ejemplo, comenzando por el final del proceso, cuando los residuos plásticos se encuentran ya acumulados y contaminando el medioambiente, existen numerosos proyectos de empresas y organizaciones destinados a la recogida de desechos y limpieza de ecosistemas alrededor del mundo. Es el caso, por ejemplo, de 4ocean [7], empresa sin fines de lucro fundada en 2017 en Florida. Se trata de una organización que vende pulseras y algunos otros productos fabricados principalmente a partir materiales reciclados; y que destina las ganancias a la limpieza del océano y de las costas en distintos lugares del planeta (Bali, Haití y Florida). Un caso más cercano es el de la ONG “Canarias Libre de Plásticos”, quien organiza numerosos eventos orientados a la recogida de macroplásticos en los paisajes costeros del archipiélago canario [8].

Seguidamente, encontramos estrategias de tratamiento de los residuos plásticos, antes de ser emitidos y acumulados en los distintos ecosistemas. En este punto, podemos destacar tres tipos de procesos principales que serán tratados con mayor profundidad más adelante en el presente trabajo: el reciclaje mecánico, el reciclaje químico y el aprovechamiento energético [9].

A continuación, debemos mencionar también la existencia de fórmulas de gran relevancia e impacto que tienen lugar en la etapa de producción y distribución de productos de diversa naturaleza que emplean el plástico, como elemento complementario, en forma de envase o embalaje. Por una parte, numerosas empresas están tomando medidas de forma individual para reducir la generación de plástico asociada a sus productos. Por ejemplo, la propia National Geographic, ha decidido eliminar la envoltura de las revistas con las que comercializan [3]. Por otro lado, han surgido también diversos proyectos y pactos entre organizaciones e instituciones con estos mismos objetivos. Es el caso de The New Plastics Economy (2017), plan de acción impulsado la reunión del Foro Económico Mundial en Davos, que proporciona a la industria global de plásticos una estrategia para mejorar el diseño de los envases y conseguir unas mejores tasas de reciclaje. Este proyecto cuenta con el apoyo explícito de más de 40 líderes de instituciones y grandes empresas entre las que destacan Unilever, Danone, Carrefour, Coca-Cola, Suez y Dow Chemical [10].

Finalmente, encontramos la sustitución del plástico por materiales biodegradables. Cada vez surgen más proyectos y empresas que fabrican productos de diversa naturaleza mediante sustitutos ecológicos, que compiten directamente con los productores de plástico. Este es quizá uno de los puntos más importantes ya que, potenciándolo, se podría incluso lograr acabar con la producción del plástico en sus distintos usos. Algunas compañías, con el objetivo de producir bienes siendo responsables y ambientalmente sostenibles, ofrecen una serie de artículos 100% amigables con el medioambiente. Un caso ilustrativo es el de la empresa Leaf Republic (Alemania), que se basa en una técnica milenaria de la India para fabricar platos verdes a partir de hojas de una vid silvestre [11]. Asimismo, nos encontramos con que hoy en día existen numerosos experimentos e iniciativas que se encuentran en fase de estudio y desarrollo. Un buen ejemplo puede ser el proyecto liderado por Jesper Gustafsson (Suecia, 2019) consistente en la fabricación de objetos 3D a partir de la pulpa de la manzana, con posibles aplicaciones en vajillas desechables o envases de alimentos [12].

Motivado por todo lo introducido anteriormente, el Trabajo de Fin de Grado está orientado a presentar las estrategias existentes que combaten el problema del plástico y, más concretamente, a recopilar y sintetizar la información más reciente en base a las investigaciones precedentes sobre los sustitutos

biodegradables al plástico en sus distintos usos, haciendo especial hincapié en los productos de plástico desechables (principalmente, vajillas de un solo uso).

El resto del Trabajo de Fin de Grado se organiza de la siguiente manera. En la sección 2 se expone de forma detallada los objetivos del proyecto. En la sección 3, se encuentra la normativa en la que se basan distintos puntos del trabajo. En la sección 4, a modo de apoyo, se aporta un glosario de términos. En la sección 5, de contextualización, se describe brevemente la historia del plástico desde su origen hasta el día de hoy, y se aportan datos que describen la situación actual en relación a dicho material. En la sección 6, se presenta fórmulas y métodos que la humanidad ha encontrado para la reducción o eliminación de la generación de residuos de plástico. En la sección 7, tiene lugar la revisión y síntesis de la literatura reciente acerca de los sustitutos vegetales al plástico en la fabricación de vajillas de un solo uso. Y por último, en la sección 8, se exponen las conclusiones finales del trabajo.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo académico.

El objetivo académico del presente Trabajo de Fin de Grado es la obtención del título universitario de Grado en Ingeniería Mecánica en la Universidad de La Laguna, el cual habilita para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico Industrial.

2.2. Objetivos generales.

El objetivo más general del presente Trabajo de Fin de Grado consiste en colaborar con las crecientes corrientes de investigación académica en relación a la protección del medioambiente y las especies que lo habitan, tratando de ayudar a futuros proyectos en el ámbito de la lucha contra el plástico, mediante la recopilación de la información y los descubrimientos más recientes.

Por otro lado, consideramos también como objeto general del trabajo describir las metodologías y fórmulas que existen para reducir o tratar de eliminar la producción y acumulación de residuos de plástico. En concreto, nos referimos a las todas las actuaciones empleadas para combatir a este material en los distintos puntos del proceso, desde la concienciación y educación ambiental de los consumidores, hasta las medidas tomadas en la fase inicial de producción.

2.3. Objetivos específicos.

Los objetivos específicos del presente Trabajo de Fin de Grado son los siguientes:

1. Recolectar, clasificar y elaborar un diagnóstico en base a las investigaciones precedentes sobre los sustitutos biodegradables al plástico en sus distintos usos.
2. Recopilar y hacer una síntesis de la literatura reciente sobre la sustitución del plástico por materiales y residuos vegetales en vajillas desechables.
3. Describir las propiedades y características de los productos fabricados a partir de los sustitutos vegetales.

3. GLOSARIO DE TÉRMINOS

Achicoria

Planta herbácea, robusta y perenne, que puede alcanzar hasta un metro de altura. Su raíz es gruesa y profunda, su tallo ramificado, y sus hojas basales espatuladas y semicarnosas. Procede de Europa, Asia y África, donde aparece de forma silvestre en prados y campos de barbecho, entre otros.

Almidón.

Hidrato de carbono que constituye la principal reserva energética de casi todos los vegetales, y que está presente en una gran cantidad de aplicaciones alimentarias y no alimentarias. Por una parte, se trata del hidrato de carbono de mayor relevancia en la dieta humana. Por otro lado, por el hecho de ser un recurso renovable y biodegradable, se emplea como materia prima para la fabricación de productos alternativos a los de plástico de origen fósil. Desde el punto de vista químico, el almidón consiste en la unión de moléculas de glucosa formando largas cadenas.

Badana de la platanera.

En Canarias, se denomina badana a cada una de las capas concéntricas del rolo de la platanera, una vez seca.

Biodegradable.

Se dice de un material o sustancia que puede descomponerse en los elementos químicos que lo conforman, debido a la acción de agentes biológicos en condiciones ambientales naturales. Es decir, que puede ser degradado por la acción de plantas, animales, microorganismos u hongos.

Bioplástico.

Se denomina bioplásticos a los plásticos que, a diferencia de los sintéticos convencionales, están hechos de plantas u otros materiales biológicos en lugar

de petróleo. A menudo se les conoce como plásticos de origen biológico. Algunos ejemplos son el PLA, PHA, PBS y el almidón termoplástico.

Colágeno.

Sustancia proteínica que se encuentra en el tejido conjuntivo, óseo y cartilaginoso, y que por la acción del calor se convierte en gelatina.

Colodión.

Derivado de la celulosa que se emplea como aglutinante y, especialmente, en la preparación de placas fotográficas.

Compostable.

Se dice de un material o sustancia desechado que puede convertirse en compost (abono orgánico) a través de la acción del hombre. Así, un material compostable no es lo mismo que un material biodegradable, ya que el proceso de degradación no se da en la naturaleza, sino que requiere la intervención del hombre.

Corona de la piña.

Mechón de hojas cortas ubicado en la parte superior de la piña.

Economía circular.

Concepto económico ligado a la sostenibilidad, cuyo objetivo es que los recursos y productos mantengan su valor en la economía el mayor tiempo posible, y que se reduzca al mínimo la generación de residuos. Un principio importante de la economía circular es el aprovechamiento y revalorización de los desechos.

Esferificación,

Técnica que consiste en la encapsulación de líquidos en esferas de textura gelatinosa. Con la esferificación se desea imitar una forma y textura muy similar

a las huevas de pescado. Este método se emplea desde los años 90, en la alta cocina, para la encapsulación de vinos, zumos de frutas o verduras, etc.

Fibroína.

Tipo de proteína de carácter fibroso, generada por algunos artrópodos (como el gusano de seda o la araña durante la segregación del hilo).

Fundición en cinta.

Técnica de fabricación de hojas delgadas generalmente de cerámica, con amplias áreas de superficie, empleadas principalmente en la industria de la electrónica como sustratos y capacitores multicapa.

Galalita.

Se conoce como galalita, caseína-formaldehído, marfil artificial o hueso artificial al material plástico duro, que se obtiene de la caseína proveniente de la leche y el formol.

Micelio.

Talo de los hongos, formado comúnmente de filamentos muy ramificados y que constituye el aparato de nutrición de estos seres vivos.

Nafta.

Fracción ligera del petróleo natural, obtenida en la destilación de la gasolina como una parte de esta, cuyas variedades se usan como materia prima en la petroquímica, y algunas como disolventes.

Nervadura.

Distribución de los nervios que componen el tejido vascular de la hoja de una planta, ubicados en el estrato esponjoso del mesófilo de la hoja. A través de estos nervios circula la savia.

Pennada.

Se dice de las hojas o folíolos dispuestos a ambos lados de un pecíolo común, como las barbas de una pluma.

Nitrocelulosa.

Derivado nitrado de la celulosa, utilizado en la producción de algodón pólvora y de colodión.

Piroxilina.

Pólvora de algodón, sustancia explosiva obtenida impregnando algodón en ácidos nítrico y sulfúrico.

Plástico.

Término habitual empleado para describir una amplia gama de materiales sintéticos que se utilizan para una inmensa cantidad de aplicaciones. En el presente trabajo, con el término “plástico” nos referimos al material polimérico sintético no biodegradable y contaminante fabricado a base de petróleo.

Poliestireno (PS).

Polimero termoplástico obtenido a través de la polimerización del monómero de estireno. Se emplea principalmente en la fabricación de lentes plásticas y aislantes térmicos y eléctricos.

Poliestireno expandido (EPS).

Material plástico celular y rígido derivado del poliestireno, que presenta una estructura celular cerrada y rellena de aire. Se trata de un polímero empleado en una gran cantidad de aplicaciones, entre las que se puede destacar las relacionadas con el aislamiento térmico y la resistencia mecánica.

Polieteretercetona (PEEK).

Polímero orgánico termoplástico incoloro que presenta buenas propiedades mecánicas, resistencia a la temperatura y excelente resistencia química. Es empleado en diversas industrias como la aeroespacial, la automotriz, la electrónica... Además, debido a su excelente bio-compatibilidad con tejidos animales y humanos, es frecuentemente utilizado en el ámbito biomédico para la fabricación de implantes.

Polietileno (PE).

Se conoce como polietileno o polimetileno al más simple de los polímeros desde un punto de vista químico. Se obtiene de la polimerización del etileno, y se trata de uno de los plásticos más comunes gracias a sus buenas propiedades y a su simple y económica fabricación.

Politetrafluoroetileno (PTFE).

Más conocido como “teflón”, es un material plástico muy resistente al calor y a la corrosión, empleado generalmente para la fabricación de revestimientos.

Polivinilo (PVC).

Material sintético, resina termoplástica, que se obtiene de la polimerización del vinilo y que se emplea en la fabricación de tejidos y como revestimiento en cables, tubos o mangueras.

Quitina.

Hidrato de carbono nitrogenado, de color blanco, insoluble en el agua y en los líquidos orgánicos. Se encuentra en el dermoesqueleto de los artrópodos, al cual da su dureza especial, en la piel de los nematelmintos y en las membranas celulares de muchos hongos y bacterias.

Rafia.

Se denomina rafia a un hilo de fibra (sintética o natural) que se obtiene mediante la extrusión de poliolefinas (polietileno y polipropileno). En la actualidad se le conoce como un material tenaz y grueso.

Temperatura de transición vítrea.

Es la temperatura a la que se da una pseudotransición termodinámica en materiales vítreos como los vidrios, polímeros y otros materiales inorgánicos amorfos. Es la temperatura a la que el polímero disminuye su densidad, rigidez y dureza. En otras palabras, se entiende que es un punto intermedio de temperatura entre el estado fundido y el estado rígido del material.

Tronco o rolo de la platanera.

Tallo herbáceo de la platanera, al cual rodean las vainas de las hojas que quedan sobrepuestas unas en otras, como si fueran tejas o escamas. De este modo, el rolo/tronco aumenta considerablemente su diámetro y da a la planta el aspecto de “árbol”.

4. CONTEXTUALIZACIÓN

Desde su nacimiento, la especie humana ha dedicado gran parte de su esfuerzo a la búsqueda de materiales que, en diversos campos de aplicación, ofrecen ventajas con respecto a elementos que se podían obtener directamente del medio. Podemos considerar que la historia del plástico tiene su origen en el empleo de materia prima natural que contaba intrínsecamente con propiedades plásticas. Es el caso, por ejemplo, de la laca o la goma de mascar naturales (resinas provenientes de la savia de plantas como el árbol de la laca y del árbol chicozapote, respectivamente) [13] [14] [15].

El paso siguiente en la evolución del plástico tiene lugar cuando se comienza a modificar de forma química los materiales naturales tales como el caucho, la nitrocelulosa, el colágeno y la galalita, con el fin de obtener características más beneficiosas [13]. Un evento de gran relevancia en la historia es la invención de la vulcanización del caucho en 1839 por el químico e ingeniero Charles Goodyear. Consiguió variar las propiedades mecánicas de dicho material mezclándolo con azufre y calentándolo. De esta manera logró producir un caucho seco (no pegajoso), flexible en frío y resistente al ataque químico [16].

Los materiales plásticos tal y como los conocemos hoy en día se considera que surgieron en el año 1860 en Nueva York, Estados Unidos. Aunque pueda resultar sorprendente, su nacimiento tuvo lugar a raíz de intereses lúdicos. El marfil era un componente fundamental para la elaboración de las bolas de billar, y su escasez llevó a que la empresa Phelan & Collander (importante en este sector) convocara un concurso con el objetivo de encontrar un sustituto válido. Fue el inventor John Wesley Hyatt quien presentó un proyecto en el que se detallaba la preparación de un compuesto denominado celuloide (considerado el primer plástico industrial) constituido por nitrato de celulosa, y que fue empleado para la fabricación de diferentes objetos [17].

Sin embargo, si queremos ser estrictamente rigurosos, el primer plástico sintético en existir fue la parkesina, ideada y patentada por el metalúrgico británico Alexander Parkes en el año 1866. Este nuevo material estaba elaborado a partir de celulosa, ácido nítrico y disolvente, y se trataba de una sustancia dura, elástica y resistente al agua. A pesar de lo prometedor que parecía este polímero, no llegó a tener éxito y Parkes tuvo que cerrar su empresa unos años después [18].

A partir de estos primeros revolucionarios avances, comenzaron a surgir cada vez más experimentos y estudios en este ámbito. De esta manera, fue en el año 1909 cuando apareció la baquelita, que se convirtió en el primer plástico totalmente sintético de la historia [17]. Dicha sustancia es, tal y como lo describía el autor (Leo Baeckeland) en su artículo, un “compuesto líquido de

fenol y formaldehído que en la solidificación se asemeja en apariencia al ámbar y cuando se usa en combinación con madera, papel, asbesto, grafito y otras sustancias se produce un material aislante sólido no resistente y no inflamable que promete tener muchas aplicaciones en diversas industrias” [19]. A partir de este momento, debido al gran éxito de la baquelita y del anterior celuloide, las principales empresas químicas comenzaron a invertir intensamente en la investigación y desarrollo de nuevos polímeros [20].

Una aportación fundamental al desarrollo de los materiales plásticos tuvo lugar en la década de los años 20, cuando el químico Hermann Staudinger establece la estructura molecular de los polímeros. En mayo de 1922 publicó un artículo donde presentó por primera vez el término macromolécula y sentó las bases de la polimerización [21]. Su trabajo durante estos años y sus posteriores investigaciones le llevaron a ganar el Premio Nobel de Química en 1953.

Los siguientes grandes avances a destacar comienzan a ocurrir durante la década de los años 30 del pasado siglo. En primer lugar, los químicos británicos Eric William Fawcett y Reginald Oswald Gibson prepararon un nuevo material termoplástico al que denominaron polietileno (PE) [22]. Seguidamente, el inventor estadounidense Waldo Lonsbury Semon, reemplazando en el etileno un átomo de hidrógeno por otro de cloro, produjo el polivinilo (PVC), un plástico duro y resistente al agua y al fuego [23]. De forma análoga, fueron apareciendo el teflón (PTFE), el poliestireno (PS), el poliestireno expandido (EPS), y el nailon [17].

Posteriormente, ya en los años 50, tiene lugar un nuevo y decisivo descubrimiento: los catalizadores Ziegler-Natta. El químico alemán Karl Ziegler (del Instituto Max Planck) y el químico italiano Giulio Natta (del Instituto Politécnico de Milán), basándose en anteriores trabajos del segundo, estudiaron el proceso de polimerización a baja presión, hasta alcanzar como resultado los dichos excelentes catalizadores organometálicos [24]. A partir de este momento, el número de polímeros plásticos convencionales diferentes comenzó a crecer exponencialmente, hasta llegar a la actualidad, donde la mayoría de los objetos y materiales fabricados por los seres humanos están constituidos parcial o íntegramente por plásticos de distinta naturaleza [17].

En la Figura 1 vemos representada esquemáticamente la línea temporal descrita anteriormente, resaltando algunos de los eventos más importantes de la historia del plástico.

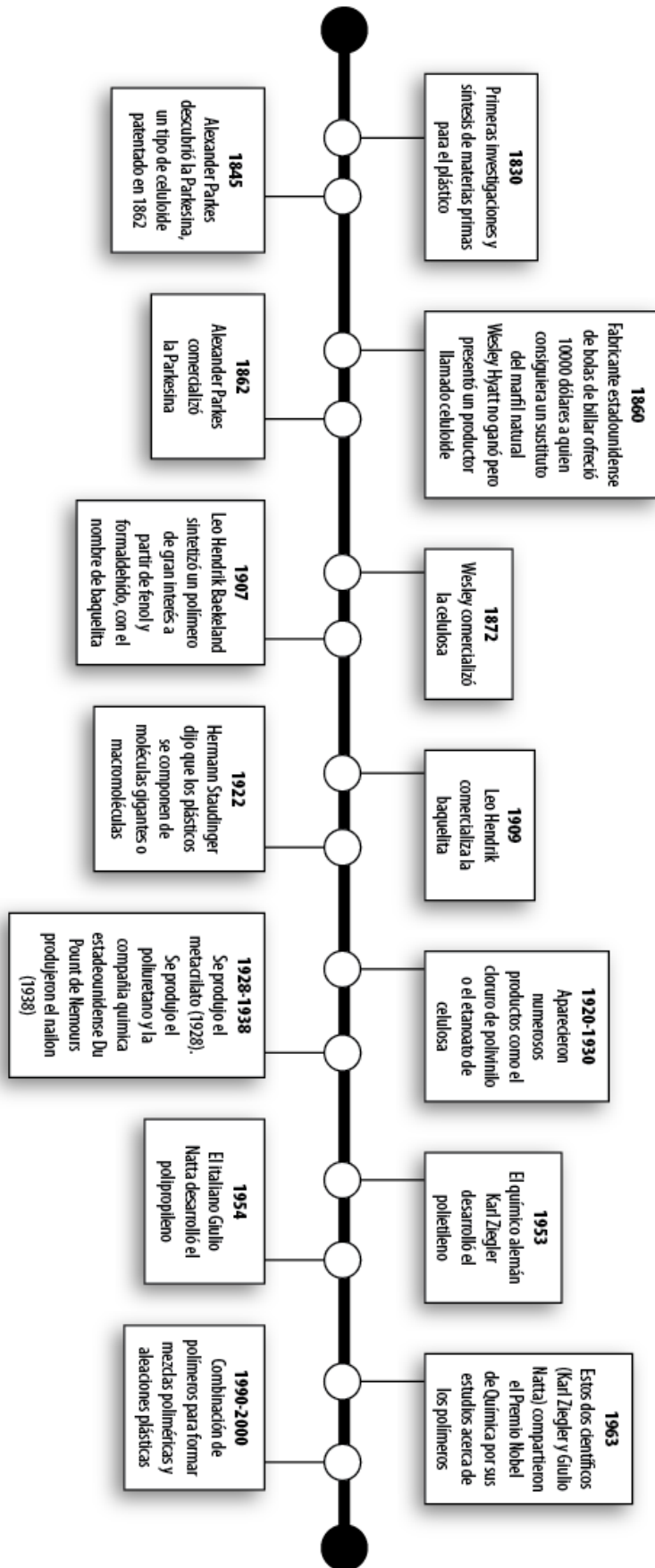


Figura 1. Historia del plástico: línea temporal [1]

El crecimiento en la producción de plásticos fue extraordinario, superando a prácticamente todos los demás materiales artificiales. Una de las principales causas de esto fue el acelerado desarrollo del mercado del empaque, motivado por un cambio global fundamental: se pasó de envases y contenedores reutilizables, a paquetes y recipientes de un solo uso. Como resultado, la proporción de plásticos en los residuos sólidos municipales (en masa) en países de ingresos medios y altos, ya en 2005 significaban un 10%, cuando en 1960 no alcanzaba el 1%. Además, se debe tener en cuenta que, en las últimas cinco décadas, también ha tenido lugar un constante crecimiento de la generación global de desechos sólidos [25]. Además, los datos que reflejan el aumento exponencial de la producción global de plástico resultan alarmantes. Siguiendo a Christopher J. Rhodes (2018), en el año 1967, la producción primaria mundial ascendió hasta unas 23 millones de toneladas (Mt), mientras que en 2015 la cifra ya había alcanzado las 407 Mt. Dicho autor calcula que esto supone una tasa de crecimiento anual de alrededor del 8% [26]. En un estudio realizado en 2017 (Geyer et al) se estimó que en la actualidad se están empleando unas 2500 Mt de plástico, lo cual corresponde al 30% de todos los plásticos jamás producidos. Un 60% de la totalidad de plásticos fabricados en toda la historia, alrededor de 4900 Mt, ha sido desechado y se acumula en vertederos o en el medio ambiente natural [25]. Por su parte, en Europa, según la propia industria del plástico, la producción alcanzó en 2018 los 61,8 Mt [27]. Mientras tanto, la generación de residuos plásticos en España, tras la crisis de 2008, ha aumentado hasta superar la cifra 2,5 Mt en 2017 [28].

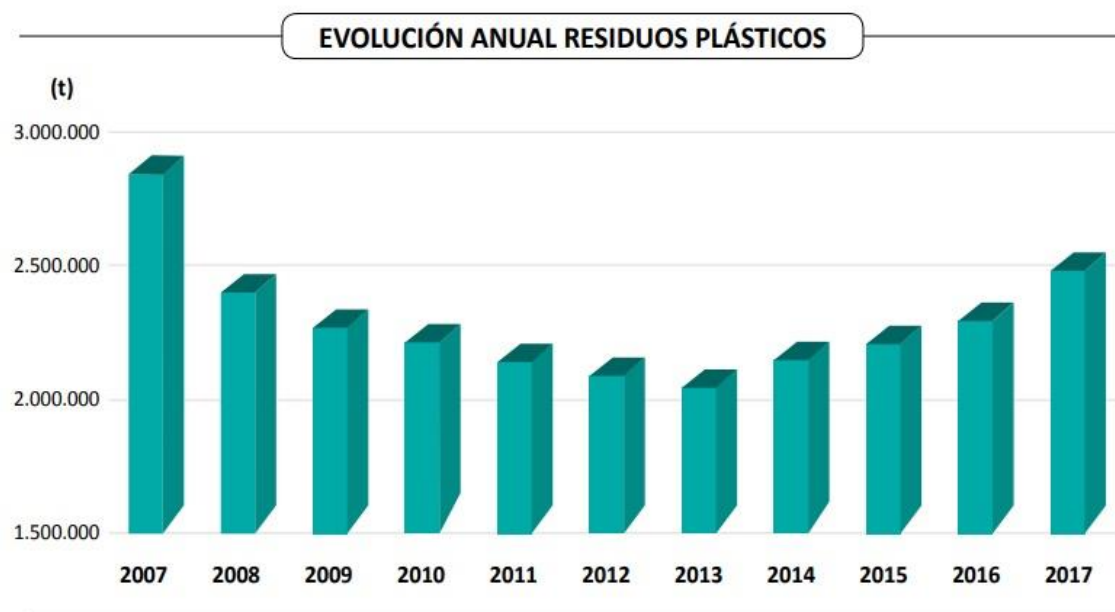


Figura 2. Evolución anual de la generación de residuos plásticos en España [II]

Además de por el masivo consumo y la desmedida generación de residuos expuestos anteriormente, la gravedad del problema de acumulación se explica por la lenta degradación de estos materiales. Se estima que el plástico tarda en torno a 500 años en descomponerse [29]. Como caso ilustrativo, la organización WWF (Fondo Mundial para la Naturaleza) presenta el dato de que una red de pesca puede tardar en degradarse unos 600 años [30]. En la Figura 3 se observa a modo de póster algunos datos de interés en este ámbito.



Figura 3. Tiempo de permanencia de algunos objetos de plástico en la naturaleza. Fuente: WWF [111]

Además, como se ha comentado previamente en el trabajo, resulta difícil comprender las cifras de generación de residuos sin tener en cuenta el modo de empleo que atribuimos a muchos de los objetos de plástico. Es el caso de los productos de un solo uso, los cuales suponen cerca de un 50% del plástico total generado. Los datos referidos a este tipo de objetos son también preocupantes. Por ejemplo, empleamos en el mundo cerca de 5 billones de bolsas de plástico cada año [30]. De hecho, el miembro de la Comisión de Sostenibilidad de PIMEC (patronal que representa las micro, pequeñas y medianas empresas y autónomos de Cataluña), Carlos León, alertaba en 2019 de que en el mundo consumimos cada minuto un millón de botellas y 10 millones de bolsas de plástico [31]. Lo que esto supone, es que productos que tienen una vida útil muy corta se desechan en seguida y, debido a su lenta descomposición, se acumulan en la naturaleza contaminando el planeta. Reflejando esta idea, el Director General de Medio Ambiente de la Comisión Europea, Daniel Calleja, empleaba el siguiente símil expresivo en 2018: “Cinco segundos para fabricar una bolsa de plástico, cinco minutos para utilizarla, y cinco siglos para eliminarla del medioambiente” [32].

La intensiva generación de residuos plásticos expuesta en los anteriores párrafos y la escasez de soluciones que la contrarresten, da lugar a una grave contaminación del planeta y a efectos negativos en la salud de los seres que lo habitan.

En lo que se refiere a los daños medioambientales, se debe hacer referencia a los diferentes paisajes naturales en los que la acumulación de residuos se hace insostenible. Unos de los principales perjudicados son, sin duda, los mares y océanos. De acuerdo con WWF, en los océanos existía ya en 2019 una acumulación de 150 millones de toneladas métricas de plástico, y se continúa agregando 8 millones de toneladas métricas más cada año [33]. De hecho, para 2025, podría llegar a haber en los océanos 250 millones de toneladas de plástico [34]. Este hecho afecta de forma impactante a la vida silvestre de los mares. Se estimaba en el año 2016 que al menos 267 especies han ingerido residuos plásticos o han sufrido enredos en ellos, incluidas aves marinas, tortugas, focas, leones marinos, ballenas y peces. Un ejemplo es el caso de las tortugas marinas: entre el 50% y 80% de las encontradas fallecidas, habían ingerido desechos plásticos [35]. Además, cuando los residuos se desintegran formando partículas microscópicas, conocidas como microplásticos, pueden afectar de manera incluso más extendida a la fauna marina. En este campo, según los resultados de un estudio llevado a cabo en 2014 (Eriksen et al), al menos 5,25 billones de partículas pequeñas de plástico (con un peso aproximado de 268.940 toneladas) se encontraban flotando en el mar [36].



Figura 4. Plastic Soup. Manta intenta filtrar el alimento en medio de la sopa de plástico que flota cerca de la superficie [IV]



Figura 5. Trash. Limpieza submarina en el Bósforo [V]

Asimismo, se debe resaltar también el peligro asociado a la emisión de residuos a ecosistemas terrestres. La grave situación de los mares anteriormente descrita ha captado la atención del público en los últimos años. Sin embargo, como alerta ONU Medio Ambiente, “los efectos de la contaminación por plásticos en los seres vivos que habitamos la superficie terrestre podría ser una amenaza peor de lo que se pensaba” [37]. En este sentido, se ha demostrado que la naturaleza terrestre no está sufriendo

solamente los efectos de la contaminación por acumulación de objetos plásticos, sino también consecuencias asociadas a los microplásticos. Por ejemplo, las superficies de pequeños fragmentos de plástico pueden transportar organismos causantes de enfermedades y actuar como un vector transporte de enfermedades en el medio ambiente. Además, los microplásticos también pueden interactuar directamente con la fauna del suelo, afectando su salud y sus funciones. Es el caso de las lombrices de tierra, quienes sufren las consecuencias a la hora de construir sus madrigueras. Cuando los microplásticos están presentes en el suelo, las actividades de estos animales se ven afectadas, lo cual perjudica a la salud de la lombriz y a la condición del suelo [36].



Figura 6. Cigüeña atrapada en una bolsa en un vertedero de España [VI]



Figura 7. Hienas en un vertedero en Etiopía [VII]

Finalmente, es fundamental mencionar algunos hallazgos científicos respecto a los efectos sobre la salud humana. La reputación de los plásticos ha sufrido aún más gracias a la creciente preocupación por la amenaza potencial que representan para la salud humana. [20]. Recientemente, se ha demostrado que estos desechos afectan a la biota y se están extendiendo gradualmente a través de la cadena alimentaria. Los microplásticos y los nanoplásticos se encuentran actualmente en todas partes. Como ya hemos comentado, aparecen tanto en ambientes marinos como en terrestres, y hasta en el interior de peces, aves, mamíferos... que los ingieren. De hecho, se han detectado tanto microplásticos como nanoplásticos en la base de la red alimentaria: en el zooplancton. Además, de acuerdo una revisión realizada en 2020 (Wang et al), muchos elementos que consumimos en nuestra vida diaria contienen también estas partículas: agua del grifo, agua embotellada, cerveza, sal marina, azúcar, miel, té, etc. De esta manera, tal y como afirman en dicho trabajo, “Tarde o temprano toda la cadena alimentaria se contaminará con plástico” [38]. Asimismo, como se señala en un estudio sobre la contaminación de ambientes de trabajo (Panno et al, 2019), estos microplásticos o nanoplásticos también se

liberan a la atmósfera, convirtiéndose en contaminantes en el aire [39]. De esta forma, como ejemplo de todo esto, los trabajadores de las industrias de textiles sintéticos están potencialmente expuestos a altas concentraciones de microplásticos en el aire durante el trabajo. Estos trabajadores tienen una mayor probabilidad de sufrir enfermedades como el cáncer de pulmón [40] o cánceres de estómago y esófago [41]. Otros efectos descritos en algunos de los anteriores artículos son la alteración del sistema endocrino, la inducción de neurotoxicidad y la producción de disfunción o daños transgeneracionales en el sistema reproductivo [38] [42].



Figura 8. Microplásticos entran en nuestro cuerpo cuando respiramos [VIII]

En conclusión, podemos afirmar que la situación y problemática actuales asociadas a la generación masiva y acumulación de residuos plásticos, referidas tanto a las consecuencias medioambientales como a los efectos sobre la salud humana, hacen que resulte necesaria y urgente la búsqueda y aplicación de soluciones prácticas. Motivadas precisamente por esto, las siguientes secciones del trabajo están orientadas a la descripción, análisis y valoración de las metodologías y fórmulas actuales que existen para combatir el problema del plástico. Se tratará estrategias en distintos puntos de la vida de estos materiales, y se profundizará en la sustitución del plástico por materiales biodegradables, en sus diferentes aplicaciones (haciendo hincapié en las vajillas de un solo uso).

5. MÉTODOS PARA LA REDUCCIÓN Y/O ELIMINACIÓN DE LA GENERACIÓN Y ACUMULACIÓN DE RESIDUOS DE PLÁSTICO

En esta sección se presenta una síntesis rigurosa de los mecanismos y actuaciones que se vienen promoviendo en el planeta para lograr una reducción y/o eliminación de la generación y acumulación de residuos plásticos. En este sentido, se comienza con una introducción y motivación para continuar describiendo acciones en el ámbito de la educación ambiental (subsección 5.1), en las iniciativas legislativas en torno al plástico (subsección 5.2), y dedicando un espacio principal al tratamiento de acciones específicas centradas en las diversas fases del plástico, desde el destino de los residuos plásticos en la naturaleza hasta su origen, es decir, la producción de los objetos de plástico (subsecciones 5.3 y 5.4). De esta manera, la organización de los contenidos que se exponen en las subsecciones 5.3 y 5.4 se lleva a cabo de manera inversa, es decir, comenzando por la descripción de los métodos que se aplican una vez que el plástico ha sido emitido al medio ambiente, y terminando con los procedimientos que ponen el foco en la producción de estos materiales. La siguiente sección, la sección 6, se reserva para la presentación de un conjunto de técnicas de especial interés, ya que evita la propia generación del plástico, centradas en sustitución del mismo en favor de materiales más sostenibles y medioambientalmente responsables.

“Si lo hacemos bien, si ganamos la batalla contra la contaminación plástica, no solo será una victoria tangible para las personas y el planeta, sino un claro ejemplo de cómo las Naciones Unidas son relevantes para la vida de los ciudadanos de todo el mundo”, expresaba en 2018 María Fernanda Espinosa Garcés, presidenta de la Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas, en la 73ª sesión de la asamblea general de la ONU [43]. Esta cita es un claro reconocimiento de lo prioritaria que resulta en la actualidad, tanto para las Naciones Unidas como para la humanidad, la búsqueda de soluciones al problema de la contaminación plástica.

De esta manera, existen hoy en día diversas estrategias que tienen como fin reducir o eliminar la generación y acumulación de residuos plásticos. Además, la relevancia y urgencia de este asunto, hacen que se desarrolle cada vez más estudios e investigaciones que plantean diferentes actuaciones en distintos puntos o momentos de “la vida de los plásticos”.

5.1. La educación ambiental.

En primer lugar, y como idea general y fundamental, hay que destacar la educación ambiental. A pesar de las discusiones entre académicos acerca del significado de este concepto, podemos tomar como válida su definición como un esfuerzo organizado enfocado en enseñar a la población el funcionamiento del medio ambiente y, concretamente, a mostrar cómo los humanos y otras formas de vida interactúan (o deben interactuar) con los distintos ecosistemas con el objetivo final de vivir de forma sostenible [44]. Así, la principal meta de esta estrategia consiste en transmitir los conocimientos, los valores y las habilidades prácticas para que todas las personas puedan colaborar de forma eficaz en la solución de los alarmantes problemas ambientales actuales [1]. Se trata de una toma de consciencia básica e indispensable para la especie humana, y no basta con aportar los contenidos como complemento de los programas educativos. De hecho, como ya expresaba UNESCO desde 1980, “la educación ambiental forma parte integrante del proceso educativo. Debería girar en torno a problemas concretos y tener un carácter interdisciplinario. Debería tender a reforzar el sentido de los valores, contribuir al bienestar general y preocuparse de la supervivencia del género humano. Debería obtener lo esencial de su fuerza de la iniciativa de los alumnos y de su empeño en la acción, e inspirarse en preocupaciones tanto inmediatas como de futuro” [5].

Para el caso concreto del plástico, la concienciación de las personas y la simple aplicación de medidas básicas individuales pueden jugar un papel fundamental en la lucha contra la contaminación. Por ello se transmiten cada vez más, alrededor del planeta, planes y estrategias de aplicación sencilla e individual. Instituciones, empresas, organizaciones y plataformas como, por ejemplo, ONU [45], Greenpeace [46], WWF [47], National Geographic [48], Ecoembes [49], Ecoinventos [50], BBC [51] o Plastic Pollution Coalition [52] (y casos locales como el del Programa de Educación Ambiental de Canarias, del Gobierno de Canarias [53]), tratan de, además de educar y concienciar a la población, de divulgar métodos que ayuden a reducir el consumo y la generación de residuos plásticos en los hogares. Algunas ideas importantes que plantean y promueven las anteriores entidades son:

- Separar los residuos generados en el hogar según su naturaleza, para reciclar. Son reciclables productos como envases de plástico, latas, envases de papel y cartón, vidrio, pilas y baterías, etc. [45] [49].
- Abandonar el empleo de objetos de plástico de “usar y tirar”, como las vajillas de plástico desechables [45] [47] [48] [50] [51].

- Usar botellas y contenedores de plástico reutilizables y pasar de los *tápers* de plástico a recipientes de vidrio o acero inoxidable. [45] [46] [48] [50] [52].
- Emplear bolsas reutilizables, carros o cestas, en lugar de las bolsas de plástico de un solo uso [46] [50].
- Comprar los alimentos a granel, con el objetivo de reducir el uso de envoltorios de plástico [46] [50] [51].
- Dejar de consumir agua embotellada, y pasar a beber agua del grifo (instalando un filtro en caso de que sea necesario) [46] [50] [51].
- Evitar los juguetes fabricados con plástico. En su lugar, tratar de buscarlos de otros materiales como madera, tela, caucho natura, etc. [46].
- Abandonar las bolsitas de té que estén selladas con plástico. Utilizar té en forma de hojas sueltas y un filtro (por ejemplo de metal) [47].
- Evitar gomas de mascar que contengan plástico [47] [50].
- Suprimir el consumo de cápsulas de café desechables, para emplear otras de reutilizables de acero inoxidable [48].
- Abandonar las pajitas de plástico, que son totalmente prescindibles [50].
- Tratar de comer y beber productos locales, lo cual ayuda también a reducir el consumo de plástico [52].
- Educar y concienciar a las personas que nos rodean, y participar en programas y eventos de educación ambiental [45] [53].

En la Figura 9, con el fin de aportar un ejemplo más visual, se presenta un cartel instructivo de la empresa DKV.



Figura 9. DKV: Diez consejos para reducir tu consumo de plástico [IX]

Al igual que los anteriores, existe una infinidad de consejos y actuaciones que ayudan a las personas a reducir el consumo de plástico en los hogares, y que por tanto permiten llevar a la población una vida más sostenible.

5.2. Iniciativas legislativas.

Una vez descrita la relevancia de la educación ambiental, concienciación de las personas y aplicación de actuaciones básicas en los hogares, se debe destacar el papel de las administraciones públicas y la legislación. Motivadas por la gravedad del problema de la contaminación plástica, existen regulaciones legislativas entorno a la producción, el consumo y la generación de residuos de plástico.

En el ámbito europeo e internacional, el objetivo de reducir el volumen de los residuos plásticos generados no es nuevo. En concreto, la procedencia de una gran cantidad de estos desechos reside, como ya se ha comentado, en los envases plásticos. Como reacción a esta circunstancia, se publicó en el año 1994 la *Directiva 94/62/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a los envases y residuos de envases* [54]. Con ella, se pretendía armonizar las medidas de cada país miembro de la Unión Europea en el ámbito de la gestión de envases y residuos provenientes de los mismos, “con el fin de evitar o reducir su impacto ambiental” [55]. Se trata de una directiva de gran importancia que ha ido modificándose hasta llegar a la redacción vigente del año 2018, en la que se plantean nuevas ideas y medidas más intensas, principalmente con el fin de reducir la generación y mejorar aún más la gestión de residuos en la Unión Europea [56]. Dentro del propio ámbito europeo, podemos destacar la *Directiva (UE) 2019 del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la reducción del impacto de determinados productos de plástico en el medio ambiente*, en la cual “se fomenta los planteamientos circulares que dan prioridad a los productos reutilizables, sostenibles y no tóxicos y a los sistemas de reutilización” [57].

En relación con estos planteamientos circulares, cabe resaltar también la Plataforma Global de Plásticos de ONU Medio Ambiente, una red creada en conjunto por ONU Medio Ambiente y la Comisión Europea en 2018, que tiene como objetivos principales la reducción de la contaminación plástica y la transición hacia una economía más circular. “La Plataforma Global de Plásticos es exactamente el tipo de iniciativa que necesitamos para unir a los países en la lucha por reducir las millones de toneladas de plástico que terminan en

nuestros océanos cada año”, anunciaba Erik Solheim, Director Ejecutivo de ONU Medioambiente, en un evento en Nueva York celebrado en el marco de la Asamblea General de las Naciones Unidas [58].

En el ámbito español, encontramos también normativa que busca combatir la situación actual relativa al plástico. Muchas de estas regulaciones consisten en la integración y adaptación al marco nacional de medidas establecidas por la Unión Europea. A modo de ejemplo, encontramos el *Real Decreto 293/2018 sobre la reducción del consumo de bolsas de plástico y por el que se crea el Registro de Productores*, incorporación al ordenamiento jurídico español de la *Directiva 2015/720* de la Unión Europea [59]; o la *Ley 11/1997 de Envases y Residuos de Envases*, que incorpora las regulaciones recogidas en la *Directiva 94/62/CE* de la Unión Europea [6].

Finalmente, concretando e introduciéndonos en el ámbito canario, encontramos leyes y estrategias con objetivos análogos a los anteriores. Destaca, por ejemplo, la *Ley 1/1999*, de 29 de enero, de Residuos de Canarias, que regula la producción y gestión de residuos, con el objetivo principal de minimizar y valorizar los desechos [60]. Asimismo, en el año 2018 se publica la *Resolución de 13 de agosto, por la que se dispone la publicación del Acuerdo por el que se fijan directrices y recomendaciones urgentes para la reducción y reciclaje de residuos de plásticos de un solo uso en la Comunidad Autónoma de Canarias* [61]. Finalmente, es relevante mencionar que la Consejería de Transición Ecológica, Lucha contra el Cambio Climático y Planificación Territorial del Gobierno de Canarias presentó el 28 de febrero de 2020 la Estrategia del Plástico en Canarias, con el objetivo de lograr una reducción drástica de los desechos plásticos. Como detalló el propio José Antonio Valbuena, consejero del Área, la Estrategia del Plástico en Canarias “propone actuaciones para promover cambios en el diseño de los productos plásticos, la reducción del consumo y el uso responsable de este tipo de residuos, además de impulsar la recogida separada y la reutilización de los residuos plásticos, la mejora en el reciclado y el impulso de la valorización energética, de cara a minimizar progresivamente el vertido de los residuos plásticos”. De forma paralela, se anunciaba en la misma fecha que se encuentra en fase de desarrollo una nueva normativa por la cual se prohibirán los plásticos desechables en la Comunidad Autónoma de Canarias a partir del 1 de enero de 2021 [4]. Lo que esto supone es que las islas se convertirán en el primer territorio del país en dar el importante paso hacia la eliminación de los plásticos de un solo uso [62].

5.3. Métodos de actuación ex post.

Para continuar con el desarrollo de la presente sección, se procederá a tratar de forma específica las metodologías y actuaciones que buscan combatir al plástico en distintos momentos, comenzando por el final del proceso (residuos plásticos en la naturaleza), y avanzando hacia el origen de los productos (producción de los objetos de plástico).

En primer lugar, por lo tanto, encontramos empresas, organizaciones y proyectos que tienen como meta la limpieza de los paisajes naturales afectados por la acumulación de plástico. En este trabajo se propone denominar estas actuaciones como métodos *ex post*, ya que tienen lugar una vez que el plástico se encuentra acumulado y contaminando el entorno natural. De esta manera nacen constantemente alrededor del planeta nuevas respuestas al problema de la contaminación plástica. Es el caso de “The Interceptor”, la reacción de la fundación The Ocean Cleanup a la fuerte presencia de desechos plásticos en ríos de todo el mundo. Se trata de un barco alimentado 100% por energía solar que extrae el plástico del agua antes de que alcancen el mar. “The Interceptor” consiste en barreras flotantes unidas a una planta de procesamiento. El barco permanece anclado en el lecho del río, de manera que las barreras, aprovechando la corriente, canalizan los desechos hacia una cinta transportadora que los separa del agua y los introduce en contenedores [63]. Un ejemplo parecido es “The Inner Harbor Water Wheel”, conocido comúnmente como “Mr. Trash Wheel”, ubicado en la boca del río Jones Falls, Estados Unidos. Se trata de un interceptor de gran tamaño que extrae los residuos plásticos del río utilizando la luz solar y la propia corriente del agua como fuentes de energía. Empleando unas barreras de contención, la basura del río es canalizada hacia la boca de “Mr. Trash Wheel”. A continuación, los residuos son levantados por un rastrillo de gran tamaño y transportados a través de una cinta hasta un gran contenedor [64]. Otro ejemplo similar es el “V5 Seabin”, de la organización Seabin Project, Australia. Se trata de un dispositivo que actúa como contenedor de basura flotante del mar. Mediante una bomba de agua sumergible, succiona el agua desde la superficie y la hace pasar a través de una bolsa de captura. Seguidamente, el agua es de nuevo expulsada, logrando dejar los desechos plásticos atrapados en la bolsa de captura. Hasta hoy, se han fabricado 860 de estos dispositivos que, de acuerdo con datos del propio proyecto, han recogido en total cerca de 820 toneladas de residuos [65].



Figura 10. The Interceptor de The Ocean Cleanup [X]



Figura 11. Mr Trash Wheel, The Inner Harbor Water Wheel [XI]

De la misma manera, en el ámbito nacional aparecen también iniciativas que tratan de colaborar con la eliminación de los residuos plásticos de nuestro entorno. Un evento destacable en España es “1m² por la naturaleza”, que forma parte del proyecto LIBERA, de SEO BirdLife y Ecoembes. Éste consiste en un encuentro anual orientado a la recogida colaborativa de basura, especialmente plásticos, en montes, bosques, playas u otros paisajes naturales [66]. Por último, cabe resaltar dentro del territorio canario, la existencia de movimientos como el desarrollado por la ONG Canarias Libre de Plásticos. Se trata de una organización que lucha contra el abuso de los plásticos mediante la celebración de diversos eventos solidarios. Entre sus actuaciones, destacan las labores colaborativas de recogida de residuos plásticos y limpieza de los diferentes ecosistemas de las islas. La mayoría de estas actividades se han llevado a cabo en paisajes costeros del archipiélago, como en la Playa de Hermigua (La Gomera), Playa del Porís (Tenerife), Playa de Almáciga (Tenerife), Playa Pozo Izquierdo (Gran Canaria), Playa Famara (Lanzarote), etc. [8].



Figura 12. Evento organizado por la ONG Canarias Libre de Plásticos en la playa de Benijo [XII]

5.4. Métodos de actuación *ex ante*.

Seguidamente, tras haber descrito los anteriores ejemplos de respuestas o reacciones a la acumulación de residuos, procedemos a la presentación de las actuaciones y los tratamientos de los desechos plásticos que tienen lugar antes de ser éstos emitidos al entorno natural (métodos *ex ante*). Es aquí donde aparece el popular concepto de reciclaje. “Reciclar”, de acuerdo con la Real Academia Española (RAE), se define como “someter un material usado a un proceso para que se pueda volver a utilizar” [67]. Esta sencilla idea resulta ser una de las estrategias de mayor relevancia en la lucha contra la contaminación plástica. Y es que el efecto del reciclaje no se limita solamente a la disminución de la contaminación del medioambiente, sino que, tal y como se ha puesto de manifiesto en las secciones anteriores, beneficia de forma considerable a la salud de las personas, y ayuda ahorrar energía y recursos naturales [68]. Algunos países han demostrado que es realmente posible conseguir alcanzar unos porcentajes de reciclaje elevados. Es el caso, por ejemplo, de Noruega, quien actualmente logra recuperar, por ejemplo, un 97% de las botellas de plástico producidas para su posterior reciclaje (2020). Su estrategia consiste en cobrar un depósito por cada botella y disponer a los supermercados de unas máquinas que recogen dichos recipientes y reembolsan el pago [69]. Sin embargo, en líneas generales, las estadísticas de reciclaje en muchos países no alcanzan los niveles deseados. España, por ejemplo, si hablamos del total de residuos municipales, se encuentra en una posición considerablemente mejorable. En el año 2016, se registró en el territorio español una tasa global de reciclaje de los residuos municipales del 33,9%, porcentaje inferior a la media europea (45%) y muy lejano al 55% que exigirá la Unión Europea para el año 2025 [70]. Sin embargo, es cierto que la economía circular de los plásticos en España ha aumentado constantemente, llegando incluso a lograr por primera vez que la cantidad de plástico reciclado supere a la de plástico depositado en el vertedero [28]. Además, si nos centramos en el reciclaje de residuos de envases, España supera a la media europea y, en concreto, se sitúa en la 6ª posición entre los países miembros de la UE [70]. A pesar de estos datos positivos, el margen de mejora es todavía muy amplio, quedando un largo camino dentro de este ámbito.

Para proseguir con el desarrollo de la idea de “reciclar”, es importante saber que existen tres formas principales de aprovechamiento de los plásticos desechados. Hablamos del reciclaje mecánico, el reciclaje químico y la recuperación energética.

En primer lugar, el reciclaje mecánico tiene idealmente el objetivo de utilizar el residuo plástico en el mismo proceso de producción del que proviene [71]. Sin embargo, la pérdida de las características y deterioro de los materiales

obstaculizan la consecución de dicho objetivo. Por lo tanto, podemos afirmar de forma general y más correcta, que el reciclaje mecánico consiste en someter los objetos plásticos a diferentes operaciones y procesos mecánicos con el fin obtener un producto de naturaleza y propiedades similares al original [72]. Se trata de un tratamiento utilizado, por ejemplo, para bolsas de basura, tuberías de riego, botellas, contenedores... [71]. Para fabricar estas piezas por medio del reciclaje mecánico, se comienza con un proceso de lavado y molido de los residuos plásticos. Seguidamente, se da paso al conformado de los nuevos productos, que se realizará mediante presión y calor [73].



Figura 13. Actividad en el interior de una planta de reciclaje mecánico de plásticos [XIII]



Figura 14. Exterior de una planta de reciclaje mecánico de plásticos en la provincia de Almería [XIV]

En segundo lugar, encontramos el reciclaje químico. El objetivo básico de esta estrategia es el fraccionamiento del residuo plástico en sus componentes más sencillos (los monómeros), para su posterior utilización como materia prima en la elaboración de nuevos plásticos [73]. Actualmente existen diferentes tratamientos para realizar este tipo de reciclaje (la mayoría de ellos no desarrollados aún a nivel comercial), como la pirólisis, la hidrogenación, la gasificación o el tratamiento con disolventes. De acuerdo con el trabajo de Elias y Jurado (2012), son la pirólisis y la hidrólisis las mejores y más prometedoras tecnologías dentro del reciclaje químico [71]. Los principales productos obtenidos mediante este procedimiento de reciclaje son los siguientes, tal como los enumera la asociación comercial de compañías químicas estadounidenses American Chemistry Council [74]:

- Nuevos plásticos (polímeros).
- Monómeros para la producción de nuevos plásticos.
- Nafta para la elaboración de nuevos plásticos.
- Diferentes sustancias químicas.

- Productos químicos básicos (como el metanol), que pueden ser empleados, por ejemplo, para la preparación de líquidos limpiaparabrisas y distintos productos de limpieza.
- Combustibles de transporte, tanto para aviación como para automóviles.
- Ceras, para la fabricación de velas y lápices.
- Y otros productos, como el petróleo crudo sintético.



Figura 15. Actividad en el interior de una planta de reciclaje químico de plásticos [XV]



Figura 16. Prototipo de la planta de reciclaje químico de plásticos en Somersby (en la Costa Central de Nueva Gales del Sur, Australia). [XVI]

En tercer lugar, procedemos a la descripción de la recuperación energética. Se trata de una alternativa a las expuestas anteriormente, empleada para aquellos desechos plásticos que no permiten su reciclaje de forma sostenible [75]. Esta estrategia consiste generalmente en la incineración de la basura plástica, en la que la energía asociada a la combustión es recuperada con el objetivo de generar energía [9]. En este contexto entran en acción las plantas modernas de cogeneración, quienes emplean residuos de plástico y otros materiales de alto valor calorífico para generar calor y energía mecánica [75]. Esta estrategia tiene una gran importancia dentro de los métodos destinados a convertir residuos en recursos. De hecho, en Europa, un 42.6% de los desechos plásticos recogidos son valorizados mediante la recuperación de energía [76].



Figura 17. Actividad en el interior de una planta de valorización energética de residuos plásticos [XVII]



Figura 18. Exterior de una planta de valorización energética de residuos plásticos [XVIII]

Por último, tras completar el desarrollo de los diferentes tratamientos de residuos, nos aproximamos aún más al origen de los plásticos para presentar actuaciones relacionadas con la producción y la distribución, tales como las iniciativas sostenibles de empresas y proyectos conjuntos entre ellas. En este sentido, destacan las acciones de algunas compañías como las de la multinacional Coca-Cola. Esta corporación ha planteado diferentes medidas para tratar de suprimir la contaminación marina, entre las que destacan sus investigaciones y trabajos orientados a que los envases que distribuyen sean cada vez más sostenibles. Dentro de estas iniciativas destaca “Mares Circulares”, que tiene como objetivo recuperar una cantidad de residuos plásticos equivalente al 100% de sus envases producidos, para posteriormente tratarlos y emplearlos en el proceso de fabricación de nuevos productos. Lo positivo de “Mares Circulares” es que, además de fomentar la colaboración entre ONGs y entidades públicas y privadas para la limpieza de mares y paisajes costeros, logra modificar el proceso de producción mediante la introducción de plásticos reciclados en el mismo [77]. En este sentido, Coca-Cola combina una actuación *ex post*, semejante a las descritas en la sección 6.3, y una acción de reciclaje.

Un ejemplo claro e ilustrativo de cómo una empresa enfoca parte de sus esfuerzos hacia la toma de medidas en la fase de producción, es la creación del Instituto Nestlé de Ciencias del Envase (2018), de la compañía Nestlé. El objetivo principal de este proyecto consiste en la investigación e innovación orientadas hacia el desarrollo de materiales de envasado sostenibles, biodegradables, reutilizables y reciclables. La empresa espera conseguir, entre los años 2020 y 2025, eliminar del proceso todos aquellos plásticos no reciclables o difíciles de reciclar y sustituirlos por materiales de envasado alternativos [78]. Otro caso que podemos destacar es el de Musselblomma, una colección de diferentes textiles desarrollada por la corporación multinacional Ikea, y fabricada a partir de residuos plásticos extraídos directamente del mar

[79]. En colaboración con pescadores españoles y la iniciativa Seaqual, se ha llevado a cabo una importante recogida de basura plástica en el Mar Mediterráneo, contando en total con el servicio de más de 400 barcos y unos 1500 pescadores. Lo más interesante de este proyecto reside en que, los desechos plásticos recolectados, constituyen la materia prima empleada para la fabricación de los hilos y tejidos que serán la base de los artículos de la colección sostenible en cuestión [80].

Del mismo modo, encontramos empresas que centran sus esfuerzos en la reducción del plástico en la fase de distribución. Por ejemplo, en mayo de 2018 la sociedad National Geographic tomó la decisión de suprimir el sobre de plástico que envolvía las revistas, y sustituirlo por uno de papel reciclado. Solamente con esta “pequeña” acción no se logrará salvar el planeta ni se obtendrán resultados de gran relevancia, pero como afirmaba Susan Goldberg, directora de National Geographic Estado Unidos, “granito a granito, la arena formará una montaña” [3].



Figura 19. Portada de la revista de National Geographic “Un Mar de Plástico”, distribuida sin envoltorio de plástico [XIX]

Asimismo, la compañía Decathlon, en colaboración con WWF, eliminaba en julio de 2019 las bolsas de plástico, ofreciendo como alternativa (por solo 1 euro) bolsas elaboradas con materiales textiles sobrantes de la fabricación de sus productos [81]. Con esta actuación, la empresa espera reducir sus emisiones contaminantes de CO₂ asociadas a la distribución de bolsas en un 45%, retirando de la circulación unas 338 toneladas de plástico. En esta línea, el líder de Desarrollo Sostenible de Decathlon, Íñigo García, declaraba lo

siguiente: “Nuestro propósito es ofrecer soluciones sostenibles que permitan a nuestros clientes tomar decisiones de consumo más responsables, proponiendo que cada vez que vengan a nuestras tiendas traigan su propia bolsa, dado que la reutilización es la mejor estrategia de economía circular. Por ello, apostamos por las bolsas de retales, confeccionadas a partir de los excedentes textiles de nuestros productos. Por otro lado, también pondremos a disposición de nuestros usuarios, de forma gratuita, las cajas de cartón procedentes de nuestra logística para que puedan ser reutilizadas” [82]. Otro ejemplo ilustrativo del mismo estilo que los anteriores, es el de la cadena de supermercados Lidl. En primer lugar, ya en 2018, la empresa eliminaba las bolsas de compra de plástico, ofreciendo en su lugar alternativas sostenibles como bolsas reutilizables de rafia y bolsas de papel [83]. Además, a lo largo del año 2019, Lidl ha comenzado a establecer una nueva medida en sus supermercados. Esta iniciativa consiste en la sustitución de las bolsas de la sección de frutas y verduras por envases biodegradables y biocompostables que se descomponen en un plazo de aproximadamente 12 meses. Con esta estrategia, se estima que se lograría reemplazar unas 220 toneladas de plásticos contaminantes no biodegradables [84].



Figura 20. Bolsa biocompostable del supermercado Lidl, para la sección de frutas y verduras [XX]

Finalmente, como ya se ha mencionado, es preciso señalar el surgimiento de cada vez más pactos y proyectos entre distintas organizaciones y empresas en relación a la lucha contra la contaminación plástica. Un claro y relevante ejemplo es el de The New Plastics Economy. En enero del año 2016, la fundación World Economic Forum, la organización Ellen MacArthur Foundation y la consultora McKinsey & Company, publicaron conjuntamente un informe en el que, principalmente, se presentaba con gran transparencia una nueva estrategia basada en el concepto de economía circular, que tiene como objetivo combatir la invasión de los residuos plásticos en todo el planeta. El proyecto cuenta con el apoyo, e incluso con la aportación, de más de 40 líderes de

instituciones y grandes compañías relacionadas de alguna manera con la fabricación, distribución y gestión de envases de plástico. Entre ellas, podemos destacar ONU Medioambiente, Coca-Cola, Danone, Carrefour, Unilever, Suez, Novamont, Veolia, Lidl, Dow Chemical Company, Amcor, etc. En el documento en cuestión, los autores presentan lo que han identificado, “a través de un trabajo analítico exhaustivo”, como las tres ideas que tiene el potencial de impulsar el cambio hacia a la “Nueva Economía de Plásticos” [10]:

- Rediseño e innovación.
- Reutilización.
- Reciclaje con una economía y una calidad radicalmente mejoradas.

A partir de su nacimiento en 2016, The New Plastics Economy ha ido progresando y mejorando mediante el estudio y la investigación. De hecho, The Ellen MacArthur Foundation y ONU Medioambiente lanzaron el informe *Global Commitment 2019 Progress Report*, que tiene como propósito conseguir acelerar aún más la transición hacia la economía circular. Esta actualización incluyó más de 400 signatarios, entre los cuales destaca la presencia de compañías responsables de la fabricación y distribución de aproximadamente el 20% de los envases de plástico producidos en todo el mundo [85].

Así, con estos últimos métodos y medidas, hemos llegado hasta el inicio de “la vida de los plásticos”, hasta el momento en el que son producidos y distribuidos. Sin embargo, este no es el final del camino. Existen determinadas ideas y estrategias cuyo campo de actuación se encuentra antes incluso del nacimiento de estos materiales; puesto que la medida *ex ante*, por excelencia, que dirige la atención a la eliminación de la producción de plásticos, es la propia sustitución del plástico por otros materiales medioambientalmente más responsables. A través del éxito en la búsqueda de sustitutos ideales, biodegradables y sostenibles, podríamos estar hablando de acabar con la producción mundial de plástico para siempre. A raíz de esto, resulta lógico considerar la sustitución del plástico como uno de los campos en los que más se debe invertir, trabajar, investigar e innovar. Precisamente, en la sección 6 del presente trabajo se llevará a cabo una intensa investigación y síntesis de la información más actual y relevante acerca de los sustitutos biodegradables y vegetales del plástico en sus distintas aplicaciones, profundizando de forma más intensa en el caso de las vajillas de un solo uso.

6. REVISIÓN Y SÍNTESIS DE LA LITERATURA RECIENTE ACERCA DE LOS SUSTITUTOS VEGETALES DEL PLÁSTICO. EL CASO DE LAS VAJILLAS DESECHABLES.

En esta sección se desarrolla el objetivo principal del presente trabajo, que consiste, concretamente, en la revisión y síntesis de literatura, iniciativas y proyectos existentes en torno a la sustitución del plástico, haciendo especial hincapié en el caso de las alternativas vegetales en vajillas de un solo uso. Como se puso de manifiesto en la sección 5, la propia sustitución del plástico por otros materiales medioambientalmente más responsables pasa a ser una medida de especial interés, ya que supone la eliminación de la producción de plásticos. En este sentido, se comienza esta sección introduciendo de forma general algunas ideas relacionadas con la sustitución de los plásticos convencionales por materiales más biodegradables o por productos reutilizables, y seguidamente se profundiza en el análisis de las alternativas de base vegetal. Dentro de este último estudio (alternativas de base vegetal), que constituye la parte principal de la sección 6, se trata en primer lugar la sustitución del plástico por materiales vegetales en diferentes campos de aplicación, y posteriormente se pone la atención en las alternativas vegetales para las vajillas de “usar y tirar”.

Como ya se ha mostrado en las secciones anteriores, la creciente gravedad del problema de la acumulación de residuos plásticos ha intensificado la búsqueda de soluciones. Ha promovido la investigación orientada a reducir el consumo y disminuir las consecuencias de la contaminación plástica. Tal y como se ha comentado, algunas de estas actuaciones tienen lugar cuando los desechos plásticos se encuentran ya acumulados y contaminando el ambiente natural (métodos *ex post*), mientras que otras se aplican en momentos del proceso previos a su emisión, tales como el tratamiento y reciclaje de los desechos o medidas en las fases de distribución y producción de estos materiales (métodos *ex ante*). Teniendo en cuenta esto, podemos afirmar que el contenido de la presente sección, en la que se estudia la propia sustitución del plástico, se ubicaría antes incluso del nacimiento de estos materiales, lo que convierte a la sustitución en la medida *ex ante* por excelencia.

6.1. UNA INTRODUCCIÓN.

Antes de entrar en el desarrollo profundo de los sustitutos vegetales del plástico, a continuación se presenta brevemente algunos ejemplos asociados a alternativas de sustitución diferentes de aquéllas. Cabe mencionar que la idea de la sustitución del plástico puede verse reflejada ya de forma sencilla incluso en los hogares, en el día a día de las personas. Como ya se mostraba en la sección 5 del trabajo, cada vez una parte más significativa de la población se suma a la creciente corriente mundial de colaboración y protección del medioambiente, adoptando determinadas medidas individuales. Dentro de estas iniciativas resulta destacable la búsqueda de alternativas a los productos de plástico convencional entre las que es posible destacar las siguientes: (i) el fomento de materiales que favorecen la reutilización y (ii) la sustitución por alternativas naturales no vegetales.

(i) Materiales que favorecen la reutilización.

Entorno al concepto de reutilización, existen diversos productos de uso cotidiano sobre los que se introducen materiales que sustituyen al plástico. Entre ellos, seleccionamos los dos que consideramos que son los más extendidamente utilizados, y los describimos brevemente a continuación:

- Botellas reutilizables.

El agua embotellada (en plástico) es responsable de una cantidad significativa de residuos plásticos. Además del problema de la propia generación de desechos de plástico, resulta importante destacar que la fabricación de estos productos implica un consumo considerablemente elevado de energía. De acuerdo con el trabajo de Gleick y Cooley (2009), la producción agua embotellada implica energéticamente unas 2000 veces el costo energético de la producción de agua del grifo [86]. La alternativa que ha surgido y que es ya extendidamente empleada (para todo tipo de bebidas, no solo para el caso del agua), es la botella reutilizable elaborada mediante materiales como el vidrio o el acero inoxidable. Los envases fabricados con estos dos materiales tienen la ventaja de contar con una larga vida útil [87]. Se trata de productos 100% reciclables, y su calidad no se deteriora con el número de veces que se recicle [88] [89]. Además, estos

materiales presentan la importante virtud de producir un impacto menor sobre el líquido que contienen. Al contrario que las de plástico y otros materiales, las botellas hechas de vidrio o de acero inoxidable no alteran el sabor ni transfieren partículas tóxicas al líquido [87] [90].

- Bolsas reutilizables.

Una fracción considerable de los residuos plásticos generados en el mundo está ligada al masivo empleo de bolsas de plástico desechables. En este sentido, de acuerdo con la ONU (2019), se utiliza cada año más de 500.000 millones de bolsas de este material [91]. Con el objetivo de sustituir este perjudicial producto, diversas empresas y organizaciones ofrecen bolsas alternativas fabricadas mediante otros materiales como algodón orgánico, tejido no tejido (TNT), nylon y almidón de patata, entre otros [92] [93]. Estos productos, cuya fabricación trata de llevarse a cabo de forma medioambientalmente responsable, tienen la ventaja de ser reutilizables y, además, presentan a menudo una mayor calidad y mejores características (como la cantidad de peso que pueden resistir) que las bolsas de plástico convencionales [94]. El empleo de estas bolsas reutilizables resulta fundamental para la lucha contra la contaminación por desechos plásticos, ya que, de acuerdo con Greenpeace, usar estos artículos implica que cada persona ahorre unas 144 bolsas de plástico desechables que habría consumido cada año [95].

(ii) Sustitutos naturales no vegetales.

Antes de pasar a analizar los sustitutos vegetales del plástico, que constituyen la parte principal y central del presente trabajo, a continuación se describe alternativas biodegradables de origen distinto del vegetal. Cabe resaltar la existencia de numerosos proyectos orientados hacia la búsqueda de sustitutos sostenibles incluso no vegetales, 100% biodegradables y naturales del plástico. Nos referimos en este caso a ciertas alternativas que tratan de potenciar la biodegradabilidad de los productos, y no tanto su posible reutilización. A modo de ejemplo, se presentan dos casos que pueden resultar de interés.

- Bolsas elaboradas con cáscara de gambas/camarones.

La revista National Geographic publicaba en 2018 la noticia de que una adolescente australiana, Angelina Arora, fue capaz de elaborar bolsas desechables fabricadas mediante la cáscara de gambas, con el objetivo de sustituir las contaminantes bolsas de plástico de un solo uso [96]. La joven descubrió que un elemento de la cáscara de este crustáceo, la quitina, podía combinarse con una proteína presente en los capullos de los gusanos de seda y en las telarañas (la fibroína), para la creación de un plástico cuya descomposición es 1,5 millones de veces más rápida que la de los plásticos convencionales (tardando unos 33 días) [96] [97]. Este proyecto, además de los evidentes beneficios relacionados con la sostenibilidad y biodegradabilidad, presenta la gran ventaja que implica el aprovechamiento de desechos naturales, ya que, la principal materia prima para la fabricación de las bolsas, la cáscara de gambas, es un residuo que hasta el momento no había encontrado una importante utilidad.



Figura 21. Angelina Arora muestra el material elaborado a partir de cáscara de gambas para la fabricación de bolsas desechables [XXI]

- Hidrogeles moldeables de alto contenido de agua mezclando arcilla y un aglutinante molecular dendrítico [98].

Con el objetivo de crear materiales plásticos que no dependan de los combustibles fósiles, nace la idea de reemplazar los plásticos convencionales por hidrogeles, geles a base de agua. En la investigación de Wang et al (2010) se informa de que el agua y la arcilla (2-3% en masa), cuando se mezclan con una proporción muy pequeña de componentes orgánicos (0,4% en masa), forman de manera rápida un hidrogel transparente. Este gel a base de agua, además de ser amigable con el medioambiente, se puede moldear fácilmente y obtener

formas persistentes gracias a su elevada resistencia mecánica. Como comenta el propio autor, “nuestro hidrogel contradice la preconcepción de que los materiales unidos por fuerzas supramoleculares y compuestos en su mayoría por agua son débiles, y pueden proporcionar muchas aplicaciones interesantes” [98].



Figura 22. Objeto macroscópico de forma persistente moldeado a partir de un hidrogel. Fuente: Wang et al (2010) [XXII]

6.2. LOS BIOPLÁSTICOS

En lo que se refiere a la búsqueda de sustitutos del plástico más biodegradables y reutilizables, resulta muy importante resaltar los intensos esfuerzos de investigación actuales centrados en el estudio y desarrollo de los llamados bioplásticos. Estos materiales son polímeros de base biológica (total o parcialmente), o biodegradables, o ambos. A pesar de que las alternativas bioplásticas nacen en gran medida por motivos medioambientales y con el objetivo de sustituir a los plásticos convencionales, existen dos aspectos principales alrededor de dichos polímeros que son actualmente objeto de discusión: la evaluación de la sostenibilidad y su impacto en el sistema de gestión de residuos plásticos [99]. Tal y como se presenta en el trabajo reciente de Zhao et al (2020), que revisa la literatura relevante en torno a los bioplásticos, se puede clasificar los bioplásticos en tres tipos principales [99]:

- De base biológica y biodegradables.
- De base biológica y no biodegradables.
- A base de petróleo y biodegradables.

En este sentido, los plásticos convencionales quedarían relegados a un cuarto grupo: a base de petróleo y no biodegradables. Esta clasificación se puede observar claramente en la Figura 23.

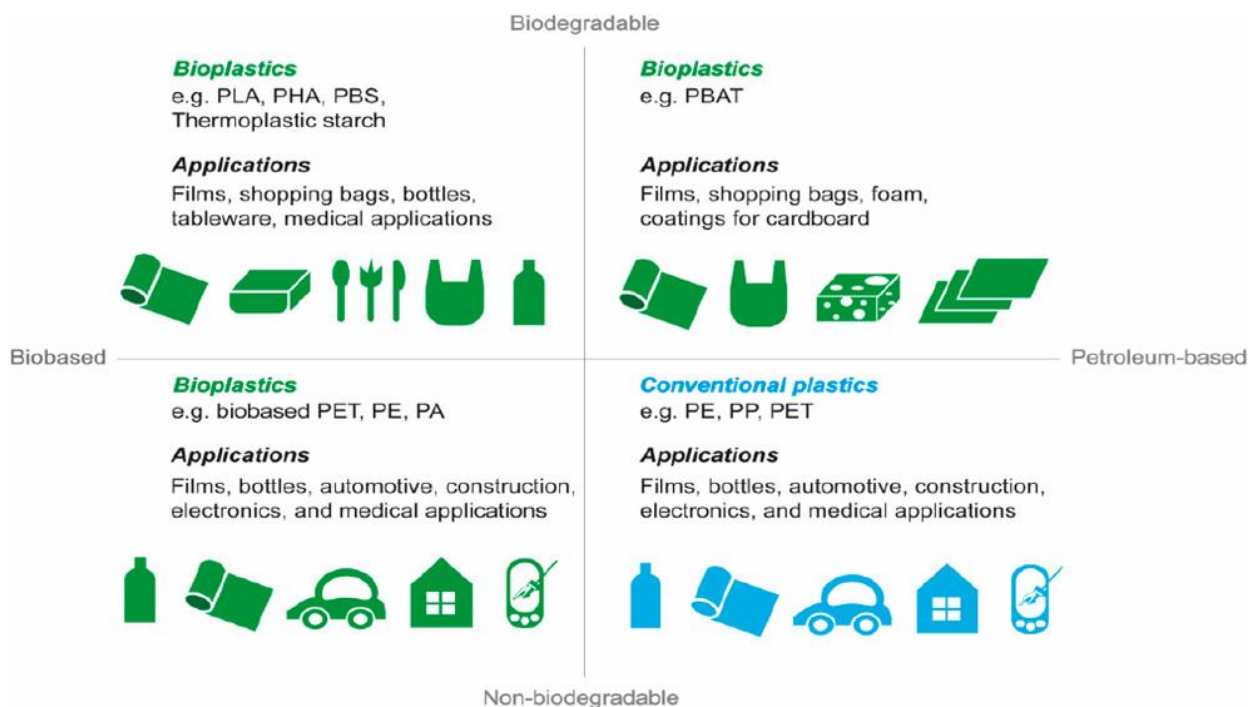


Figura 23. Clasificación de los bioplásticos (incluyendo además los plásticos convencionales) según su base y su grado de biodegradabilidad. Fuente: Zhao et al (2020) [XXIII]

A partir de la Figura 23, se puede entender que el grupo más deseable es el de los bioplásticos de base biológica y biodegradables, que incluye el PLA, PHA, PBS y el almidón termoplástico. A pesar de lo positivo que estos polímeros pueden parecer, es importante hacer notar que, en este contexto, la afirmación de que se trata de materiales biodegradables puede resultar “engañosa” y llevar a confusión. De hecho, los estudios llevados a cabo para valorar el grado de biodegradabilidad de estos materiales nos muestran resultados quizá no tan óptimos como los que esperamos. En la Tabla 1 se presentan resultados de interés obtenidos a partir de dichos experimentos para el ejemplo del PLA (perteneciente al grupo más deseable en términos de sostenibilidad, de acuerdo con la clasificación anterior), en diferentes ambientes (compost, suelo/tierra y ambiente marino simulado) [99]:

Bioplástico estudiado			
PLA (Ácido Poliláctico)			
Ambiente	Compost	Suelo/tierra	Ambiente marino simulado
Condiciones	58 °C, 60% RH	10-25 °C	25 °C
Método	CO ₂ producido	CO ₂ producido	CO ₂ producido
Tiempo de prueba (días)	30	120	180
Biodegradabilidad (%)	60-70	0	3-4

Tabla 1. Grado de biodegradabilidad del PLA en diferentes condiciones ambientales. Fuente: Elaboración propia, basada en Zhao et al (2020) [XXIII]

Como se puede comprobar en la Tabla 1, los buenos porcentajes de biodegradabilidad del PLA se dan en unas condiciones muy determinadas. Este polímero requiere de un disparador térmico, es decir, de una temperatura más elevada que su temperatura de transición vítrea; por ejemplo, los 60°C que puede proporcionar una instalación de compostaje industrial [99]. En este sentido, debemos tener en cuenta que no es lo mismo el compostaje industrial que el doméstico, ya que presentan diferencias significativas en la capacidad de biodegradación. De acuerdo con Emadian et al (2017), los estudios de la biodegradación del PLA en las condiciones de compostaje en el hogar, durante 11 meses, presentan una biodegradación muy lenta [100]. Asimismo, Weng et al (2013), comprobaron experimentalmente que estos polímeros, a temperatura ambiente o inferior (en condiciones de suelo), tienen un proceso de degradación muy complejo [101]. Dicho de otro modo, en los ensayos realizados se ha podido observar que las muestras de PLA se biodegradan en pequeñas proporciones y muy lentamente, o que incluso no llegan a sufrir degradación alguna durante los períodos de pruebas [99]. Con esta información se puede concluir que, la afirmación de que se trata de un material biodegradable, debe ser tomada con cautela.

Además, de acuerdo con Río-Pérez et al (2007), en el caso del PLA y otros bioplásticos es cierto que los monómeros pueden ser producidos mediante la fermentación de recursos renovables (como ya se ha comentado previamente). Sin embargo, el proceso de polimerización posterior se lleva a cabo por vía química convencional [102], por lo que la contaminación asociada a la elaboración o fabricación de estos materiales no se aleja de la de los plásticos sintéticos convencionales.

De esta manera, aunque los bioplásticos suponen una gran cantidad de ventajas respecto a otros plásticos sintéticos, seguimos sin poder asegurar hoy en día que se trate de la solución definitiva al problema, y queda un largo camino de estudio, investigación y desarrollo. Dicho esto, es importante adelantar que se continuará estudiando estos materiales en las próximas subsecciones (6.3 y 6.4) debido a: su origen vegetal, su mayor grado de biodegradabilidad en relación a los plásticos sintéticos convencionales, su combinación con otros materiales vegetales, y su enorme presencia en los artículos de investigación académica actuales. En cualquier caso, para más información acerca de los bioplásticos y su situación actual, se puede consultar la exhaustiva revisión del año 2020 llevada a cabo por Zhao et al, “Narrowing the Gap for Bioplastic Use in Food Packaging: An Update” [99], que hace hincapié en el caso del empleo de estos materiales en el embalaje de alimentos.

6.3. SUSTITUTOS VEGETALES DEL PLÁSTICO EN APLICACIONES VARIAS.

A continuación, se procede a exponer una revisión y síntesis de los desarrollos en el campo de los sustitutos vegetales del plástico, comenzando por aplicaciones variadas de los mismos (subsección 6.3), y centrándonos finalmente en el caso concreto de las vajillas desechables (subsección 6.4). En la elaboración del contenido de estos apartados se ha tratado de buscar las alternativas más sostenibles posibles que existen, y se ha procesado y sintetizado la información más reciente acerca de las mismas. Dichos sustitutos encontrados son de base vegetal y biodegradables, y a menudo se combinan, como veremos, con otros materiales, como por ejemplo los bioplásticos presentados previamente.

Como se podrá observar seguidamente, cada subsección (6.3 y 6.4) se subdividirá a su vez en dos partes: una primera en la que se presentan productos sostenibles elaborados con materiales vegetales y que se encuentran ya en el mercado, y una segunda en la que se tratan proyectos y artículos sobre materiales que se encuentran aún en fase de estudio.

De esta manera, dentro de la presente subsección (6.3), centrada en los sustitutos vegetales del plástico en diferentes aplicaciones, encontramos ejemplos recogidos en los siguientes grupos: por un lado aportaciones en fase de comercialización (6.3.1), y por otro lado aportaciones en el ámbito académico (6.3.2).

6.3.1. En fase de comercialización.

Como ya se ha ido comentando en las secciones y subsecciones anteriores, una gran cantidad de empresas y organizaciones buscan cada vez más medidas con el objetivo de unirse a la lucha contra el plástico. A continuación nos centramos en los proyectos orientados a sustituir el plástico por materiales vegetales más sostenibles y biodegradables, y que se encuentran en fase de comercialización. Dentro de este ámbito, dadas las numerosas iniciativas implementadas, se ha seleccionado algunos ejemplos que pueden resultar de interés.

En primer lugar, cabe mencionar el caso de la empresa **Holy Lama Naturals** (fundada en el año 2000 en Kerala, India), quien ofrece una serie de productos naturales y medioambientalmente sostenibles [103]. La compañía, reconocida en Kerala como una empresa de mujeres aprobada por el gobierno (donde más del 80% de los trabajadores son mujeres, la mayoría provenientes de entornos desfavorecidos) [104], presenta como productos “estrella” una línea de jabones a base de aceite de coco virgen, de origen ético y fabricados sin productos químicos agresivos ni grasas de animales [103].

La parte interesante para el presente trabajo reside en el empaquetado de estos artículos. En este sentido, los jabones en cuestión se presentan al cliente en un estuche con forma de concha, fabricado a mano a partir de la hoja de la palma areca [103] (denominación científica: *Dypsis lutescens* [105]). Las hojas de esta planta son un recurso abundante que, generalmente, ha sido considerado siempre un desecho biológico [106]. De esta manera, lo que logra la empresa Holy Lama Naturals es fabricar un empaquetado 100% natural y biodegradable, a partir de residuos de origen vegetal, cumpliendo así con el objetivo de sustituir el plástico convencional por una alternativa responsable y amigable con el medioambiente.



Figura 24. Jabones naturales de la compañía Holy Lama Naturals, presentados en estuches biodegradables hechos de hojas de la palma areca [XXIV]

Otro ejemplo a destacar es el de la compañía **Ecovative Design** (fundada en el año 2007), que colabora con otras empresas para ofrecer alternativas sostenibles con el objetivo de sustituir el plástico convencional y espumas de poliestireno en envases, textiles, materiales de construcción y otras aplicaciones [107] [108]. Los productos desarrollados por esta empresa están fabricados a base de micelio [107], parte vegetativa de hongos filamentosos, formada por una red de “micro-filamentos” llamados hifas. Estas hifas se adhieren a las superficies del material orgánico, en condiciones ambientales, actuando como pegamento natural de “autoensamblaje” [109]. A partir de esta materia prima, Ecovative es capaz de construir macroestructuras, lo cual es exclusivo de sus plataformas de biofabricación. Desarrolla estructuras de elevado rendimiento en lugar de generar componentes individuales que deban ensamblarse para formar un material funcional [107].

La tecnología de la que disfruta la empresa permite a la misma ajustar la estructura del micelio en función de las propiedades que se desean para el material a producir. En este sentido, puede controlar la porosidad, la textura, la resistencia, la orientación de las fibras, etc., en función de la aplicación para la que se desarrolla el material [107].

La cualidad principal que hace interesante estos productos reside en que, siendo artículos de alto rendimiento, son también medioambientalmente responsables. De hecho, al contrario que los plásticos convencionales, los materiales a base de micelio producidos por esta empresa se biodegradan en períodos de tiempo reducidos una vez finaliza la vida útil de los mismos [107].



Figura 25. Envase hecho de micelio, de la empresa Ecovative Design [XXV]

Por otro lado, la empresa **Avani Eco**, nacida en 2014 con el objetivo de buscar tecnologías y soluciones respetuosas con el medioambiente, ofrece una serie de envases y productos sostenibles fabricados a partir de materiales naturales que sustituyen al plástico convencional [110].

Por ejemplo, en el ámbito de las bolsas desechables, Avani Eco presenta unas bolsas ecológicas fabricadas a base de yuca [111]. Estos productos, una vez finaliza su vida útil, pueden degradarse en las condiciones del compostaje doméstico y convertirse en fertilizantes para las plantas [112]. Esta empresa ofrece además otros artículos sostenibles como pajitas (de PLA, papel...), ponchos (a base de semillas de maíz, soya y girasol), y vajillas desechables (que mencionaremos en la subsección 6.4) [113].

Asimismo, un caso que no pasa desapercibido es el de la marca **E6PR (Eco Six Pack Ring)**, fundada en 2017 por We Believers, Entelequia, y un grupo de inversores experimentados en la industria del envasado de bebidas. Esta empresa ofrece una alternativa sostenible para reemplazar a los paquetes de 6 anillos de plástico convencional (principalmente para latas de cerveza) [114]. Así, E6PR se ha convertido en el primer paquete de 6 anillos elaborado a base de residuos de los subproductos del propio proceso de fabricación de la cerveza, como la cebada y trigo [115] [116].

Estos productos, cuando son desechados de forma correcta, llegan a una instalación de compostaje donde se degradan en cuestión de días. Por otro lado, si los paquetes llegan accidentalmente al medio natural, tardarán solamente unas semanas en biodegradarse, evitando así la acumulación y la contaminación. Además, en este segundo supuesto, según sus promotores tampoco se producirá efectos negativos sobre la vida silvestre del lugar en caso de ingestión de estos productos (ya que E6PR está elaborado de materiales orgánicos naturales y compostables) [115].

El proyecto en cuestión de E6PR resulta verdaderamente atractivo, y es por ello por lo que cada vez más empresas de todo el mundo (Estados Unidos, Canadá, México, Sudáfrica, Australia, Polonia, Escocia, Alemania, etc.) se unen a la iniciativa e invierten en estos paquetes biodegradables. Así pues, compañías de diversos países emplean e implementan estos artículos con el fin de reducir la producción y el impacto medioambiental del plástico [116]. Algunas de estas empresas que podemos destacar son SaltWater Brewery (pionera), Guinness, Corona y Mahr's Bräu [117] [118].



Figura 26. Paquete de 6 anillos para latas de cerveza, de la compañía E6PR [XXVI]

Finalmente cabe añadir el reciente e interesante ejemplo de la compañía **NOTPLA**, fundada en 2019, que ha desarrollado Ooho, un envase biodegradable flexible para bebidas y salsas [119]. Esta organización está formada por la combinación de químicos, ingenieros, diseñadores y emprendedores que enfocan sus esfuerzos en la búsqueda de alternativas biodegradables a los envases de plástico convencionales [120].

Su principal y más conocido producto es precisamente el envase Ooho. Se trata de un recipiente que contiene agua (u otras bebidas) dentro de una doble membrana. Ooho se logra elaborar gracias a una técnica empleada para dar forma esférica a los líquidos, denominada “esferificación” [121]. Este artículo, de textura gelatinosa, está fabricado mediante Notpla, un material biodegradable que combina algas y plantas [119]. En cuanto a la materia prima, la importancia de Notpla reside en que es elaborado a partir de uno de los recursos más renovables de la naturaleza, las algas pardas, que pueden crecer hasta un metro diario sin requerir condiciones especiales ni productos fertilizantes, y además ayudan a la desacidificación del mar [122].

Así, el envase Ooho se biodegrada en un corto período de tiempo de entre 4 y 6 semanas. Además, cuenta con la ventaja de que es también comestible, lo que lo hace aún más atractivo y fácil de emplear [121] [122].



Figura 27. Envase/Cápsula Ooho, de la empresa NOTPLA [XXVII]

6.3.2. En fase de estudio o artículos académicos.

Seguidamente, como ya se ha adelantado, se procede a presentar proyectos y artículos académicos centrados en crear y caracterizar materiales alternativos, de origen vegetal, nacidos con el fin de reemplazar a los plásticos sintéticos convencionales en diferentes aplicaciones. Debido a la cantidad de trabajos existentes, se ha seleccionado algunos que son considerados de mayor interés y relevancia. Como se podrá observar a continuación, las intensas investigaciones recientes se pueden encontrar dentro de diversos campos de aplicación, entre los cuales destaca el envasado de productos.

En primer lugar, resultan destacables algunos estudios que tienen como objetivo la elaboración de materiales sostenibles y de buenas propiedades, a partir del almidón proveniente de productos agrícolas y otros materiales vegetales de refuerzo. Dentro de este ámbito y orientado a la sustitución de los plásticos y embalajes, se encuentra el artículo de **Debiagi et al (2010)**, de título “Efeito de fibras vegetais nas propriedades de compósitos biodegradáveis de amido de mandioca produzidos via extrusão” [123]. El objetivo concreto de este estudio consiste en la caracterización de compuestos biodegradables producidos por extrusión a partir de la mezcla de almidón de yuca, glicerol (plastificante) y fibras vegetales (de caña de azúcar y cáscara de avena).

De acuerdo con los autores el almidón es un polímero biodegradable de interés en este ámbito ya que, además de tratarse de una fuente renovable y un material biodegradable, puede ser empleado a nivel industrial gracias a su abundante presencia en la naturaleza y su bajo costo. Entre sus aplicaciones destaca actualmente el envasado de comida rápida, que requiere poca resistencia mecánica. Sin embargo, en el ámbito del embalaje, el almidón presenta ciertas desventajas, como su poca o deficiente flexibilidad y su baja resistencia a la humedad. Para combatir estos inconvenientes, resulta de interés la adición de fibras, plastificantes y otros aditivos. Por ejemplo, la adición de fibras vegetales de la caña de azúcar (bagazo) y la cáscara de avena (caso estudiado en el artículo en cuestión) permite que se obtenga un material tan resistente como el empaque convencional de plástico sintético.

En concreto, los autores obtienen las diferentes muestras variando la cantidad de cáscara de avena y fibras de caña de azúcar, los niveles de humedad y el contenido de glicerol. Estos modelos son fabricados por extrusión a partir de la mezcla de almidón, plastificante y fibras, mediante el empleo de una extrusora de laboratorio. Los parámetros analizados en el estudio son: densidad, índice de expansión (IE), índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA) y color.

En cuanto a los resultados del experimento, se puede observar que la adición de las fibras vegetales no afectó de forma significativa a la densidad, al IE ni al IAA. Por otro lado, sí que se apreció una disminución del ISA (lo cual es una ventaja en el ámbito del embalaje) y un oscurecimiento de las muestras (presentando menores valores de luminosidad y una tendencia hacia un color rojizo y amarillento).

A través de los resultados obtenidos, los autores concluyen que la adición de fibras vegetales puede ser empleada para el refuerzo del material (para su aplicación en el embalaje), ya que no se produce un efecto negativo en el IE y se logra reducir el ISA. Sin embargo, en comparación con el poliestireno expandido, los compuestos de almidón estudiados en este trabajo eran más densos. Lo que esto indica es que resulta necesaria más investigación orientada a mejorar esta propiedad.

Finalmente cabe resaltar que, según los autores, este trabajo podía ser un importante paso para la producción a nivel industrial de los compuestos biodegradables a base de almidón; materiales que requieren, para el ámbito del embalaje, unas condiciones de proceso que presenten resultados reproducibles de expansión, capacidad de absorción y solubilidad en agua.

Dentro de este mismo ámbito, de la producción de envases y en concreto de bolsas desechables biodegradables, se encuentra el estudio de **Scheibe et al (2014)**, de título “Production and characterization of bags from biocomposite films of starch-vegetal fibers prepared by tape casting” [124]. El objetivo específico de este trabajo consiste en el estudio de las propiedades de películas de almidón reforzadas con fibras de celulosa, elaboradas mediante la técnica de fundición en cinta, con el propósito de valorarlas para su aplicación en la fabricación de envases biodegradables.

Los autores afirman que las películas de almidón son generalmente preparadas a través de la técnica de fundición clásica. La desventaja que presenta este método es que solo permite generar materiales de pequeñas dimensiones, imposibilitando así su aplicación en la producción a gran escala. Por el contrario, mediante la técnica de la fundición en cinta se puede producir películas con dimensiones mucho más grandes y desarrollar a partir de ellas grandes cantidades de paquetes 100% biodegradables. Tal y como comentan los autores, a pesar de que la fundición en cinta es un método conocido y empleado en otros ámbitos, requiere aún mucha investigación en su aplicación para la fabricación de películas biodegradables.

En concreto, en el experimento desarrollado por Scheibe et al se emplea la técnica de la fundición en cinta para elaborar películas biocompuestas de diferentes grosores a partir de almidón de yuca, glicerol (plastificante) y fibras de celulosa. La caracterización de estas muestras se basó en la determinación de los siguientes parámetros: la capacidad de sellado (por calor), la

humectabilidad, la capacidad de impresión, la resistencia a la perforación, la resistencia a la tracción y la resistencia al desgarro.

En la práctica experimental desarrollada por los autores se obtuvieron algunos resultados de interés. Estos mostraron que, cuanto mayor es el grosor de la película, mayor es su resistencia a la tracción, su resistencia al desgarro y su resistencia a la perforación. Además se pudo comprobar que los mejores resultados en el sellado de las bolsas por calor, se obtienen al utilizar una temperatura aproximada de 150°C. Asimismo, las pruebas para medir el ángulo de contacto indicaron que las películas son fácilmente imprimibles.

Finalmente, basándose en el experimento llevado a cabo, los autores concluyen que la fundición en cinta es técnicamente viable para la preparación de películas a base de almidón, glicerol y fibras de celulosa, y que las bolsas biodegradables fabricadas mediante esta técnica tienen el potencial para ser empleadas en el envase de productos con superficies secas como algunas frutas (tomates, manzanas, etc.) o ropa, entre otros.

Asimismo, en el ámbito de la sustitución de los polímeros sintéticos convencionales en el envasado de alimentos, se encuentran numerosos trabajos centrados en el empleo de bioplásticos (descritos en la subsección 6.2) en combinación con otros materiales naturales de origen vegetal. A causa de la fuerte presencia de investigaciones en esta dirección, resulta de interés presentar algún ejemplo de ellas. Así, dentro de este área se puede destacar el trabajo de **Papadopoulou et al (2019)**, de título “Sustainable Active Food Packaging from Poly(lactic acid) and Cocoa Bean Shells” [125]. El principal objetivo de esta investigación fue la fabricación de compuestos a partir de ácido poliláctico (PLA) y cáscara de granos de cacao, y el posterior estudio de sus características más importantes para su aplicación como material de embalaje.

Como ya se ha comentado en apartados anteriores, los bioplásticos son considerados hoy en día materiales de gran relevancia como alternativa a los polímeros convencionales. Dentro de este grupo, uno de los empleados más comúnmente es el ácido poliláctico (PLA), reciclable y “biodegradable”. Sin embargo, de acuerdo con los autores, el uso generalizado de este material se encuentra limitado a causa de sus peores propiedades en comparación con los plásticos convencionales. Actualmente, con el fin de superar estos problemas, se mezcla el PLA con otros polímeros o rellenos de refuerzo. En este sentido una corriente de gran interés consiste en emplear, en lugar de rellenos sintéticos, agentes de refuerzo naturales que mejoran considerablemente las propiedades del compuesto.

En concreto, los autores del trabajo emplearon un residuo natural como aditivo: la cáscara de los granos de cacao. Esta materia prima es un subproducto del

proceso de producción de chocolate, y sus características lo convierten en un material de interés para aplicaciones de embalaje y envasado de alimentos. En el estudio de Papadopoulou et al se describe un método sencillo que consiste en la combinación del PLA con polvo fino obtenido de la cáscara de granos de cacao, y un posterior proceso de fundición de la solución (utilizando diferentes concentraciones de cáscara de granos de cacao), para la obtención de los materiales compuestos deseados.

Los resultados obtenidos en el experimento mostraron las ventajas que supone la adición de la cáscara de los granos de cacao a las películas de PLA. En primer lugar, es importante decir que ayudó a que dichas láminas aumentasen su cristalinidad en un 33%, y mejoró también las características físicas de los compuestos. En segundo lugar, la adición de dicha materia prima mejoró las propiedades mecánicas de los compuestos, resultando en materiales más resistentes y con alta plasticidad. En tercer lugar, la cáscara de granos de cacao dotó a los compuestos de actividad antioxidante y mejoró sus propiedades de hinchamiento, lo que favorece a la biodegradabilidad de los mismos. Finalmente cabe añadir que el nivel de migración por contacto de estos bioplásticos a los alimentos fue bajo. Basándose tanto los resultados del experimento como en la sencillez del proceso de fabricación, los autores concluyeron afirmando que los compuestos de PLA y cáscara de granos de cacao constituyen un material con gran potencial en el ámbito del envasado de alimentos.

Resulta importante destacar un material, ya mencionado en el anterior apartado (6.3.1), que es cada vez más empleado en diversas industrias como alternativa a los recursos no renovables: el micelio. Debido a que se trata de un material renovable y biodegradable, de baja densidad y con buenas propiedades de aislamiento, puede ser un material interesante y con potencial en diversas aplicaciones: embalajes, textiles, paneles aislantes, ladrillos de construcción y otros objetos. De acuerdo con el trabajo de **Girometta et al (2019)** que revisa la literatura más reciente alrededor de este recurso, el principal inconveniente del micelio es que sus propiedades mecánicas son inferiores a las de su principal competidor sintético, el poliestireno expandido. Sin embargo, los autores afirman que, al tratarse de un material novedoso, la información actual acerca de las características de este material es limitada, y que solo unas pocas empresas invierten en su desarrollo. A pesar de esto, el gran potencial de los compuestos basados en micelio hace que el interés por ellos aumente y cada vez más trabajos académicos estén orientados a la mejora de sus propiedades. Para más información acerca del estado actual de las investigaciones sobre este recurso, consultar el artículo de revisión de Girometta et al (2019): “Physico-Mechanical and Thermodynamic Properties of Mycelium-Based Biocomposites: A Review” [126].

En relación con el micelio, muchos de los artículos que se encuentran actualmente estudian su posible aplicación en el envasado o empaquetado de productos. Por ejemplo, el trabajo de **Holt et al (2012)** “Fungal Mycelium and Cotton Plant Materials in the Manufacture of Biodegradable Molded Packaging Material: Evaluation Study of Select Blends of Cotton Byproducts” [127], o la revisión de **Abhijith et al (2018)** “Sustainable packaging applications from mycelium to substitute polystyrene: a review” [128]. Sin embargo, debido a que el embalaje de productos es tratado con frecuencia en la presente subsección, nos centraremos en este caso en la descripción de algunos trabajos que presentan el empleo del micelio en otro campo alternativo: la construcción. Concretamente trataremos los artículos de **Xing et al (2017)**, “Growing and testing mycelium bricks as building insulation materials” [129], y de **Jones et al (2017)**, “Thermal degradation and fire reaction properties of mycelium composites” [109].

En el área de la construcción, el empleo del micelio está orientado principalmente a la elaboración de materiales de aislamiento alternativos. Actualmente, para mejorar el rendimiento energético de los edificios, se emplea grandes cantidades de materiales aislantes como las espumas de plástico. El uso masivo de estos productos supone diversos problemas en relación con la no renovabilidad de los recursos y al bajo grado de biodegradabilidad de los mismos [129]. Es por ello por lo que en este ámbito resulta importante la búsqueda de sustitutos sostenibles, entre los que se puede destacar el micelio como alternativa segura y de alta resistencia al fuego [109].

En el estudio de Xing et al (2017) se planteó como objetivo la fabricación de una alternativa de base biológica, con similares propiedades físicas y mecánicas que los materiales sintéticos existentes (como el poliestireno expandido), pero con un nivel de biodegradabilidad superior al de estos. Para ello, se seleccionó distintas clases de hongos y se emplearon para crear ladrillos de micelio en desechos de paja. Una vez fabricados estos “bloques”, se analizaron para determinar algunas de las propiedades más importantes como la conductividad térmica y la capacidad calorífica específica [129].

En general, los resultados del experimento indicaron que las muestras de micelio tenían un buen rendimiento térmico. En la Tabla 2 vemos reflejados los valores de conductividad térmica y capacidad calorífica específica para cada una de las especies de micelio empleadas: OXY (*Oxyporus latermarginatus*), MEG (*Megasporoporia minor*) y GAN (*Ganoderma resinaceum*).

Especie	Conductividad térmica (W/(mK))	Capacidad calorífica específica (MJ/(M3*k))
OXY	0,078	0,418
MEG	0,079	0,501
GAN	0,081	0,369

Tabla 2. Rendimiento térmico de los materiales desarrollados a partir de las diferentes especies de micelio. Fuente: Elaboración propia, basada en Xing et al (2017) [XXVIII]

Sin embargo, los autores concluyeron que a pesar que el micelio tiene un gran potencial en el área de la construcción debido a sus características mecánicas y térmicas y a su nivel de biodegradabilidad, se requiere aún un mayor desarrollo e investigación en torno al mismo. Así, el artículo finaliza con la afirmación de que, en futuros trabajos, los esfuerzos deben centrarse en mejorar el proceso de crecimiento del micelio y en aumentar aún más el rendimiento térmico de los ladrillos [129].

En esta línea, el trabajo de Jones et al (2017) tuvo como objetivo la evaluación de la reacción al fuego y la degradación térmica de compuestos de micelio, propiedades de gran relevancia en la industria de la construcción. En concreto, el biocompuesto de micelio fue elaborado empleando cáscaras de arroz [109].

Una vez fabricado el material, los autores compararon sus propiedades con las de la espuma de poliestireno extruido comercial. Los resultados del experimento indicaron que la tasa de liberación de calor, la liberación de dióxido de carbono, la liberación de monóxido de carbono, la pérdida de masa y la densidad del humo producido eran considerablemente inferiores en el caso del micelio. En este sentido, la reducción del calor liberado y de los humos tóxicos emitidos hacen que los materiales de micelio elaborados por Jones et al sean más seguros y resistentes al colapso térmico que otras espumas comerciales. Finalmente, los autores concluyeron que los compuestos de micelio pueden ser considerados sustitutos apropiados para los materiales sintéticos de aislamiento tradicionales, como las espumas de poliestireno, gracias a su menor inflamabilidad, a su mayor nivel de biodegradabilidad y al bajo coste de su proceso de fabricación [109].

Una vez presentadas las aportaciones anteriores a la literatura sobre sustitutos con base vegetal, se ha dejado para el final una corriente considerada de especial interés para el presente trabajo. Se trata proyectos de investigación académica orientados hacia el aprovechamiento de residuos vegetales. Estos trabajos resultan muy atractivos de cara a la producción a gran escala ya que,

al utilizar “material desechado” como materia prima, no se requiere la explotación masiva de recursos naturales ni se produce una presión sobre el suministro alimentario (impacto que sí puede ser provocado al usar a nivel industrial alimentos, como la yuca o el maíz, como materia prima).

Así, dentro de este ámbito, encontramos por ejemplo el estudio desarrollado por **Ghaderi et al (2014)**, de título “All-cellulose nanocomposite film made from bagasse cellulose nanofibers for food packaging application” [130]. El objetivo principal de este estudio consiste en la producción de nanocompuestos de celulosa a partir de desechos agrícolas, y en la posterior determinación de sus propiedades para valorarlos de cara a su aplicación en el envasado de alimentos.

Tal y como afirmaban los autores, dentro de la búsqueda de posibles sustitutos al plástico convencional, resultaba de gran interés el caso de la celulosa. Este biopolímero se encuentra en abundancia en la naturaleza y se deriva de biomasa fácilmente disponible. Así, existen numerosas fuentes, tanto madereras y como no madereras, adecuadas para la obtención de este material. En este sentido, es de especial interés el caso de los recursos no madereros, debido a la escasez de la madera.

Teniendo en cuenta esto, los autores decidieron emplear residuos agrícolas como materia prima, lo que implica un bajo coste y la revalorización de los desechos. En concreto, se seleccionó el bagazo de la caña de azúcar (ya mencionado en el apartado 6.3.1), que contiene una cantidad importante de celulosa (entorno al 50%). Así, a partir de dicho recurso y empleando solvente de N, N-dimetilacetamida / cloruro de litio, se obtuvo el material buscado. El proceso de fabricación descrito por los autores era además barato y rápido. Una vez elaboradas las muestras de forma satisfactoria, fueron sometidas a ensayos y pruebas para determinar algunas de sus características de mayor interés e importancia en el campo del envasado de alimentos.

En cuanto a los resultados obtenidos a partir de los ensayos, cabe destacar los siguientes. En primer lugar, se demostró que a partir de un residuo agrícola como el bagazo es posible elaborar compuestos de alto rendimiento con elevada resistencia mecánica (resistencia a tracción de 140 MPa). Asimismo se pudo comprobar que, variando el tiempo de disolución, es posible modificar las características de las láminas. De esta manera, a mayor duración se obtiene: una menor cristalinidad, una mayor permeabilidad al vapor de agua, y una mejor capacidad de transferencia de tensión en el nanocompuesto. Además, una ventaja fundamental que presentan las muestras desarrolladas es que, al estar compuestas en su totalidad por celulosa, constituyen un material completamente biodegradable.

Finalmente resulta relevante comentar que, de acuerdo con Ghaderi et al, este trabajo demostraba que el bagazo de la caña es un recurso de bajo coste y

realmente prometedor para el desarrollo de biocompuestos orientados a diferentes aplicaciones. Finalmente, los autores afirmaron que, gracias a sus propiedades, los nanocompuestos de celulosa pueden ser considerados como un material con importante potencial para su empleo en la fabricación de envases de alimentos biodegradables.

También dentro del campo de la sustitución del plástico sintético convencional por “desperdicios” vegetales, encontramos el trabajo desarrollado por **Perotto et al (2018)**, de título “Bioplastics from vegetable waste *via* an eco-friendly water-based process” [131]. Este trabajo tenía como objetivos principales la elaboración de películas bioplásticas a partir de residuos vegetales, por medio de un proceso ecológico a base de agua, y la posterior determinación de sus propiedades más importantes.

Dentro del artículo se puede destacar dos características principales del experimento que son consideradas de relevancia por los autores. En primer lugar, se encontraba el aprovechamiento de residuos orgánicos para la fabricación de los bioplásticos. Esto resulta de gran interés ya que, de acuerdo con Perotto et al, podría mejorar considerablemente la sostenibilidad de nuestra economía mediante la sustitución de los plásticos no biodegradables (y producidos a partir de recursos no renovables) por materiales más medioambientalmente responsables. En segundo lugar, estaba el novedoso procedimiento de fabricación desarrollado en este trabajo. Los autores comentaban que dicho método, al ser llevado a cabo a base de agua y a temperatura ambiente, podría ampliar el campo de aplicación de los bioplásticos derivados de desechos vegetales, garantizando una buena compatibilidad con los procesos de producción a nivel industrial. Además, dicho procedimiento no suponía problemas ambientales asociados a productos químicos peligrosos.

En concreto, en el estudio se empleaba residuos vegetales provenientes de la zanahoria, el perejil, la achicoria y la coliflor. A partir de esta materia prima y el método basado en agua descrito en el artículo se obtienen los bioplásticos buscados. Posteriormente, las muestras de este material fueron analizadas y sometidas a ensayos para determinar sus principales características y propiedades de interés: la microestructura, las propiedades termomecánicas, la interacción con agua, la biodegradabilidad, la migración por contacto con alimentos, las propiedades antioxidantes, las propiedades de barrera de gases, y otras.

En cuanto a los resultados, las películas bioplásticas obtenidas mostraron buenas propiedades mecánicas, similares a las de otros bioplásticos como el almidón termoplástico. Las muestras demostraron tener poca migración de componentes bioplásticos a los alimentos, lo que los convierte en materiales seguros para el contacto con estos. Asimismo, gracias a que se trataba de un

proceso de fabricación no agresivo, el color y las propiedades funcionales (la capacidad antioxidante) de los materiales vegetales iniciales, se mantuvieron y se vieron igualmente reflejados en los bioplásticos resultantes. Además, las pruebas asociadas al grado de biodegradabilidad indicaron que estos materiales presentaban un proceso de degradación más rápido que el de los bioplásticos elaborados a base de almidón. Finalmente, resulta relevante añadir que el método a base de agua descrito por los autores permite la combinación de los bioplásticos a partir de residuos vegetales con otros polímeros solubles en agua. De acuerdo con Perotto et al, esta posibilidad de mezcla convierte a los bioplásticos en materiales realmente interesantes en diversos campos de aplicación: objetos desechables, productos cosméticos, artículos electrónicos biodegradables, etc.

Por último, también dentro de la sustitución del plástico por materiales vegetales residuales y enfocado hacia el envasado de productos, encontramos el estudio de **Zhao et al (2019)**, de título “Biodegradable and transparent cellulose film prepared eco-friendly from durian rind for packaging application” [132]. El objetivo general de este estudio consistía en proporcionar una aplicación ecológica a residuos de origen vegetal como posibles sustitutos al plástico sintético convencional. El objetivo específico del trabajo era la preparación de una película biodegradable con buenas propiedades y apariencia a partir de la celulosa proveniente la corteza del durián.

De acuerdo con los autores, la celulosa es un material muy atractivo para la industria debido a que es un biopolímero renovable, abundante, biodegradable y de buenas propiedades mecánicas. Sin embargo, como ya se ha comentado, la mayor parte de la celulosa empleada a nivel industrial proviene de la madera y el algodón. El problema de esto reside en que la madera es un recurso limitado y escaso, y que el algodón es empleado en su mayoría en la industria textil. Es por ello por lo que hoy en día resulta tan interesante estudiar el caso de los desechos agrícolas y de los alimentos.

En el caso concreto de este estudio se seleccionó la corteza del durián, residuo proveniente de la fruta del durián. El durián es común en países como Tailandia, Indonesia, Filipinas y Malasia, y su cáscara puede causar problemas ambientales si no se desecha adecuadamente. El experimento desarrollado por Zhao et al siguió un método “verde” para producir la película de celulosa empleando cloruro de litio / N, N Dimethylacetamide como sistema solvente. Una vez obtenido el material resultante, fue sometido a pruebas para definir sus propiedades más importantes.

En cuanto a los resultados, se debe comentar en primer lugar que indicaron que la fibra de celulosa obtenida de la corteza del durián era similar a la de la celulosa comercial extraída del algodón. Además, la caracterización de las muestras reveló que la película fabricada por los autores poseía una estructura

homogénea y de buena apariencia, con una alta transparencia y de superficie lisa. Asimismo, el material resultante mostró buenas propiedades térmicas y mecánicas. En cuanto a la biodegradación, se llevó a cabo un análisis que indicó que las muestras fabricadas se descomponen completamente en el suelo en un período de tiempo de unas 4 semanas; lo que supone, de acuerdo con los autores, “una biodegradabilidad sobresaliente”.

Finalmente cabe destacar que, de acuerdo con Zhao et al, el proceso presentado en el trabajo tiene la ventaja añadida de tener un bajo costo, gracias al aprovechamiento de desechos vegetales como materia prima.

6.4. SUSTITUTOS VEGETALES DEL PLÁSTICO EN VAJILLAS DESECHABLES.

Como ya se ha introducido en apartados anteriores del trabajo, las vajillas de usar y tirar constituyen una importante parte de los residuos plásticos generados y acumulados en la naturaleza. De hecho, son una considerable fracción de los productos desechables de plástico generados en el planeta; quienes a su vez suponen cerca del 50% del plástico total producido [30]. Por ello surgen cada vez más iniciativas enfocadas hacia la sustitución del plástico convencional en estos objetos. Además, la búsqueda de alternativas en este ámbito resulta hoy oportuna y necesaria debido a que los plásticos de un solo uso están siendo prohibidos en cada vez más regiones del planeta. En Canarias, por ejemplo, estos productos deberán desaparecer a partir del año 2021 [4].



Figura 28. Vajilla de usar y tirar en la playa [XXIX]

A continuación, por lo tanto, se presentan contenidos acerca de los sustitutos vegetales del plástico en el caso concreto de las vajillas desechables. Dentro de esta subsección encontramos nuevamente ejemplos recogidos en los siguientes grupos: productos en fase de comercialización (6.4.1) y académicos (6.4.2).

6.4.1. En fase de comercialización.

A continuación, nos centramos en proyectos nacidos con el objetivo de sustituir el plástico en las vajillas desechables. Dado que el número de empresas y artículos que existen es muy elevado, nuevamente se procura seleccionar productos que ponen el foco en sostenibilidad ambiental y que, además, puedan resultar casos representativos de las iniciativas exitosas que se están introduciendo en el mercado.

En primer lugar cabe destacar la empresa madrileña **Klimer**, fundada en 1998 y dedicada a la distribución de equipamiento para la hostelería y la restauración [133], que ofrece una gran variedad de productos biodegradables y compostables, como platos, bowls, cuencos, tarrinas, etc., fabricados a partir de materiales vegetales [134]. Este catálogo, enfocado hacia la sostenibilidad, ha nacido con el objetivo de sustituir los artículos desechables de plástico contaminante cuya extinción puede ser ya una realidad [135].

En la fabricación de estos productos, y en concreto de las vajillas de un solo uso, se emplea materiales como la pulpa de la caña de azúcar, las hojas de la palma areca, el cartón kraft compostable, etc. [134] [135] [136]. Además de estas materias primas, Klimer ofrece también artículos fabricados a partir de almidón de maíz, PLA biodegradable [137], material perteneciente al grupo de bioplásticos descrito en la subsección 6.2. Al elegir esta materia prima la empresa garantiza que, si se desecha estos productos de forma adecuada (contenedor de orgánicos), se convertirán en compost y podrán volver a la tierra [137]. En la Figura 28 se representa este proceso. Por tanto, con el objetivo de ayudar a proteger el medioambiente, Klimer trata de que toda su colección de envases y vajillas 100% biodegradables sea fabricada de forma “ECO Responsable” [137].



Figura 29. Proceso circular de los productos ofrecidos por la empresa Klimer [XXX]

Otro caso interesante es el proyecto colombiano **Lifepack** (iniciado en 2009 [138]), que centra gran parte de sus esfuerzos en la investigación e innovación, presenta según sus promotores diferentes productos 100% respetuosos con el medioambiente [139]. Los artículos de mayor relevancia son los pertenecientes a la línea llamada Papelyco. Estos consisten en platos y otros envases de alimentos fabricados a partir de residuos vegetales que hasta el momento eran simplemente desechados [140]. En concreto, se emplea fibras naturales como la corona de piña o la cáscara de maíz [140] [141]. La principal ventaja que presentan los productos de esta línea reside en que, a diferencia de las vajillas desechables de plástico convencional, estas son totalmente biodegradables y desaparecen en un período de entre 3 y 6 semanas [140].

Sin embargo, la parte de mayor originalidad del proyecto es que, además de ser artículos biodegradables, son también germinables [140] [141]. Esto significa que una vez terminada su vida útil, las vajillas de Papelyco pueden ser arrojadas a la tierra y, si se riegan, podrán crecer de ellas plantas de distintos tipos [142]: flores, frutas, plantas aromáticas, etc. [138]. La co-fundadora de Lifepack, Claudia Barona, explicaba este efecto en 2018: “Metemos semillas dentro de la celulosa vegetal, entonces luego de utilizar el plato se puede sembrar en una maceta o en un jardín, y el plato desaparece y germina en una planta” [141]. De esta forma, el objetivo de esta interesante idea no es solamente la reducción de la producción y acumulación del plástico, sino también la creación de vida.



Figura 30. Platos germinables de la empresa Lifepack [XXXI]

Otro ejemplo que resulta realmente atractivo es el proyecto alemán **Leaf Republic**, iniciado en 2014 por los diseñadores Pedram Zolgardri y Carolin Fiechter y centrado en la fabricación de platos, bowls y otros elementos a partir de hojas naturales, con el objetivo de combatir contra los plásticos de “usar y tirar” [143] [144].

Para la creación de estas vajillas se emplea una hoja impermeable y biodegradable que proviene de una vid silvestre encontrada en Asia y Sudamérica [144]. En el caso de Leaf Republic, este recurso natural es

cosechado en la India [145]. Las hojas se cosen en esteras y, ya en Alemania, se les da la forma deseada mediante moldes y prensas de los que dispone la compañía [145] [146]. La estructura de los platos obtenidos es muy sencilla: presenta dos capas de hojas cosidas con fibra de palmera y separadas por una capa de papel impermeable [144]. En la Figura 31 se ofrece una representación de esta disposición de los materiales.



Figura 31. Disposición de las capas de hojas de vid y lámina de papel de los platos de Leaf Republic [XXXII]

El método desarrollado, basado en una técnica milenaria de la India [147], no emplea productos químicos ni plásticos, y no requiere la tala de árboles para obtener la materia prima [146]. De esta manera, según sus promotores, todos los artículos ofertados por Leaf Republic son sostenibles y 100% biodegradables [145] [146] [147], necesitando menos de un mes para descomponerse [B]. Además, son tan estables como las vajillas desechables hechas de plástico convencional [144] [145].



Figura 32. Plato de la empresa Leaf Republic, obtenido directamente de la hoja de una vid silvestre [XXXIII]



Figura 33. Plato de la empresa Leaf Republic [XXXIV]

Por otro lado, la empresa **Avani Eco** (fundada en el año 2014), ya mencionada en el apartado 6.3.1 por algunos de sus productos, ofrece también una serie de artículos de cocina desechables como platos, bandejas, cuencos, cajas para comida, etc., fabricados a partir de materiales biodegradables de origen vegetal [148] [149].

Concretamente, estas vajillas de “usar y tirar” están elaboradas a partir del bagazo que, como ya se comentó en la anterior subsección 6.3, es el residuo fibroso seco proveniente de la caña de azúcar [149] (denominación científica: *Saccharum officinarum* [150]). Este material constituye el principal subproducto de la industria de la caña de azúcar, siendo el residuo que se desecha tras la trituración del tallo para obtener el jugo [151]. La abundancia con la que encontramos este recurso, se puede comprobar a través de la relación bagazo/tallo de la caña, que es de aproximadamente un 30% en masa [152]. En los últimos años, una importante cantidad de esta materia prima se ha empleado como fuente de combustible. Sin embargo, esta estrategia no aporta demasiado valor económico al cultivo [151], por lo que la posibilidad de utilizar el bagazo con otros fines resulta interesante y merece ser investigada.

Así, lo que logra Avani Eco a través de la tecnología sostenible de la que dispone, es revalorizar este residuo vegetal y ofrecer así una alternativa biodegradable al plástico convencional en las vajillas de un solo uso.

Finalmente resulta interesante presentar el caso de la empresa británica **Tapari**, establecida en 2017, que se dedica a la distribución de productos ecológicos elaborados a mano, y que según sus propios promotores tiene el objetivo de afectar positivamente al mundo de tres formas principales: de manera ambiental, social y económica [153]. Los principales productos que ofrece la compañía son platos hechos de hojas naturales [154].

La materia prima empleada son hojas del árbol de Sal [155] (denominación científica: *Shorea Robusta* [156]), que es una planta de hoja caduca seca nativa del subcontinente indio [157]. En concreto, Tapari obtiene este recurso de las regiones de menor altitud y las zonas de jungla de Nepal [155].

El proceso de fabricación de los platos se divide en algunos pasos principales. En primer lugar, los aldeanos locales de Nawalparasi (Nepal) recogen las hojas, las empacan y las retiran de la jungla. Seguidamente se lavan, se dejan secar, y se unen creando “alfombras” lo más grandes posibles (empleando fibras de bambú para coser las hojas, y así evitar el empleo de pegamentos. A continuación, se les da la forma deseada mediante los moldes y prensas adecuados. Durante el proceso de moldeo, se calienta la materia prima a unos

150°C con el fin de facilitar la unión de las cuatro capas de hojas que conforman cada plato. Cada recipiente se deja en la prensa durante unos 20 segundos mientras se le aplica una carga aproximada de 50 Kg. Finalmente, se retiran de las placas, se clasifican y se empacan [155]. En la Figura 34 se representa gráficamente este procedimiento.

Tal y como refleja su procedimiento de fabricación, los productos son obtenidos de una forma sostenible y sin impacto ambiental. Así, Tapari logra encontrar una alternativa natural, 100% biodegradable (se biodegrada en solo unas semanas) y compostable, que sustituye a las contaminantes vajillas desechables de plástico convencional [158].

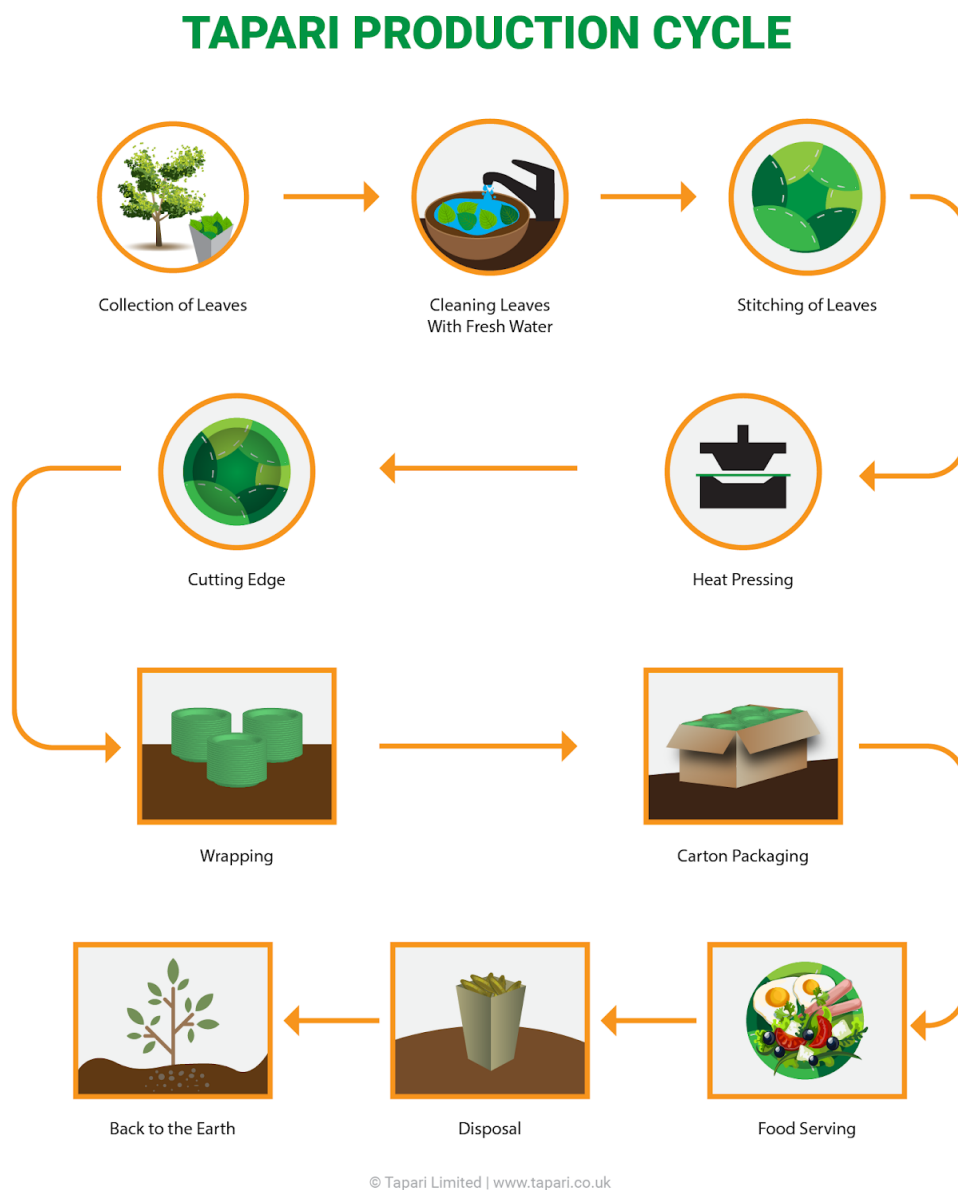


Figura 34. Esquema del ciclo de producción de la empresa Tapari [XXXV]

6.4.2. En fase de estudio o artículos académicos.

Antes de comenzar con la exposición de los contenidos, es importante tener en cuenta que existen una gran cantidad de trabajos académicos orientados a fabricar y caracterizar diferentes tipos de materiales de origen vegetal para diversas aplicaciones, y entre las cuales podría estar su uso como materia prima para la producción de vajillas desechables. Sin embargo, para el desarrollo del presente apartado se ha seleccionado solamente proyectos e investigaciones académicos enfocados específicamente en la preparación y análisis de dichas vajillas de usar y tirar. Además, se ha tratado de encontrar los experimentos de mayor sostenibilidad, y se ha priorizado los que emplean desechos vegetales u hojas de árboles como materia prima.

Así, en primer lugar, dentro de este entorno del aprovechamiento de los residuos vegetales, cabe destacar el proyecto BioCasPack, una iniciativa social que trata de que la comunidad femenina de San Lorenzo (Perú) participe en un programa de capacitación en la elaboración de recipientes sostenibles. En concreto, dentro del proyecto resulta de especial interés para nuestro trabajo el documento de **Cotrina et al (2016)**, de título “Diseño y prueba piloto de un modelo de capacitación en el aprovechamiento de la cascarilla de arroz a través de la elaboración de envases biodegradables en San Lorenzo” [159]. En concreto, uno de los objetivos específicos de este estudio es la experimentación y la descripción de un proceso por el cual, a partir de cascarilla de arroz, se fabrican platos sostenibles.

Los autores analizan la situación actual en torno al cultivo del arroz, y afirman que la cascarilla constituye el residuo de menor valor del mismo. De acuerdo con Cotrina et al (2016), este desecho es normalmente quemado para la obtención de sus derivados, lo cual provoca la emisión de grandes cantidades de CO₂. Por otro lado se presenta el hecho de que, como se ha presentado en previas secciones de nuestro trabajo, una cantidad importante de los residuos plásticos que se acumulan en la naturaleza provienen de vajillas u otros objetos desechables. De esta manera, resulta apropiada la investigación académica orientada hacia el aprovechamiento de la cascarilla de arroz como posible sustituto del plástico en envases desechables. En este sentido, el trabajo de Cotrina et al (2016) presenta los siguientes contenidos principales:

- Análisis de la situación actual del cultivo del arroz en San Lorenzo.
- Diseño y fabricación de envases a partir de la cascarilla de arroz.
- Estudio de mercado y utilidad esperada.
- Diseño del modelo de capacitación.

- Evaluación financiera del proyecto.

El procedimiento experimental de preparación de los envases constituye la parte de mayor atractivo para nuestro trabajo. Este proceso comienza con el desarrollo de la masa, en el cual se emplea el propio grano de arroz como aglutinante (en las conclusiones se plantea un aglutinante alternativo que permite evitar el uso del propio alimento). En la Tabla 3 los autores presentan de forma resumida los pasos que conforman dicho procedimiento:

PROCESOS	ESPECIFICACIONES
Molienda de arroz	Realizarlo hasta obtener un polvo fino de arroz
Mezclado de agua y el polvo de arroz	Realizarlo en la olla, para obtener una masa uniforme
Cocción de goma de arroz	Realizarlo a fuego alto, removiendo constantemente con una cuchara hasta observar el fondo de la olla y observando la consistencia de la goma. Rápidamente, se saca del fuego y se traslada a otro envase
Molienda de cascarilla de arroz	Realizarla hasta obtener un polvo fino de cascarilla de arroz
Mezclado de polvo de cascarilla de arroz y goma	Sin esperar a que la goma se enfríe, se mezcla con la cascarilla de arroz hasta observar que se consigue una consistencia homogénea

Tabla 3. Especificación de los procesos de la elaboración de la masa a partir de los granos de arroz para la fabricación de platos. Fuente: Elaboración propia basada en Cotrina et al (2016) [XXXVI]

Una vez se ha preparado la masa, se realiza tres procesos finales. En primer lugar, se le da al material el espesor deseado mediante un rodillo. En segundo lugar, se introduce y comprime el material en un molde previamente aceitado.

En tercer, se realiza la cocción del conjunto (masa-molde) en un horno. En cuarto y último lugar, al haber terminado el proceso de cocción, se deja enfriar y secar el envase. En la Figura 35 se presenta algunas muestras resultantes.



Figura 35. Envases resultados del proceso final de modelo de corazón y vasija pequeña [XXXVI]

Finalmente, los autores exponen una serie de conclusiones, entre las cuales vamos a destacar las dos relacionadas puramente con el método experimental desarrollado. En primer lugar afirman que, aunque mediante el proceso expuesto pueden fabricarse exitosamente vajillas biodegradables, se debe realizar una investigación de mayor intensidad en relación a la impermeabilización de las mismas. En segundo lugar, Cotrina et al consideran oportuna la búsqueda de un aglutinante alternativo que permita no utilizar el propio grano de arroz, y así emplear solamente el residuo del cultivo (la cascarilla). En este sentido, proponen la goma de overal (denominación científica: *Cordia lutea* [160]), cuya flor está presente en grandes cantidades en la región de desarrollo del proyecto BioCasPack.

Dentro del mismo ámbito se encuentra el trabajo de **Kroefly Contreras et al (2018)**, desarrollado en la Universidad Iberoamericana de Puebla (México), de título “Prototipo de plato desechable biodegradable a partir de la corona de la piña (*Ananas comosus*)” [161]. El objetivo del estudio consistió en desarrollar un prototipo de plato desechable a partir de la corona de la piña, con la finalidad última de disminuir el consumo de vajillas desechables de plástico convencional.

De acuerdo con los autores, el poliestireno expandido es el cuarto polímero más producido en el mundo, y el segundo en México. Se utiliza de forma tan extendida gracias a sus buenas características y a su bajo costo. De hecho, tal

y como los autores afirman, en México se consume unas 125 mil de toneladas de poliestireno expandido, de las cuales una cuarta parte está destinada a la producción de artículos desechables. Como ya hemos visto repetidamente en el presente trabajo, esto supone un grave problema asociado a la acumulación de residuos plásticos en el medio natural, debido a bajo nivel de biodegradabilidad del material.

Motivados por esto, los autores proponen emplear residuos vegetales para la fabricación de platos de usar y tirar biodegradables. En concreto, se decidió utilizar como materia prima la corona de la piña, uno de los residuos generados durante el proceso de producción de piña en almíbar. Para el desarrollo del trabajo, los autores tomaron como base el experimento llevado a cabo por Bolio et al (2016) [162], proponiendo algunas modificaciones con el fin de optimizar el proceso. En la Tabla 4 se presenta una comparativa muy esquemática entre el método de Bolio et al (2016) y el desarrollado por los autores del artículo en cuestión.

Método Bolio et al (2016)	Método modificado
Recorte	Recorte
Hidrólisis básica	Deshidratación (nuevo paso)
Lavado con agua	Hidrólisis básica
Hidrólisis ácida	Lavado con agua
Lavado con agua	Hidrólisis ácida
Cloración	Lavado con agua
Lavado con agua	Cloración
Deshidratación	Lavado con agua
Hidrólisis básica	Hidrólisis básica
Lavado con agua	Lavado con agua
Cloración	Cloración
Lavado con agua	Lavado con agua
Deshidratación	Deshidratación

Tabla 4. Comparación esquemática entre el método de Bolio et al (2016) y el método modificado desarrollado en la Universidad Iberoamericana de Puebla, para elaborar el material a partir de la corona de la piña. Fuente: Elaboración propia, basada en Kroefly Contreras et al (2018) [XXXVII]

Con este procedimiento, lo que Kroefly Contreras et al consiguieron fue reducir en un 50% el consumo de agua y reactivos. Tras finalizar con dicho proceso, se colocó el material resultante en un plato y se secó a 80,60 y 40°C en intervalos de 3, 4 y 5 horas respectivamente, con el objetivo de fabricar el prototipo de plato.

De esta manera los autores lograron obtener de forma óptima el plato mediante el método alternativo que proponían. Además, en comparación con el método de Bolio et al (2016), la utilización del proceso alternativo permite trabajar con una mayor cantidad de materia prima e implica una reducción de costos.

En su artículo, Bolio et al (2016) concluían con la afirmación de que las fibras de celulosa provenientes de la corona de piña podían ser consideradas prometedoras en numerosas aplicaciones [162]. En este sentido, los investigadores de la Universidad Iberoamericana de Puebla (México) demostraron que el potencial puede ser real, ya que lograron fabricar platos basándose en el método descrito por los anteriores autores y empleando dicha materia prima.

Por otro lado, como ya se adelantó en el anterior apartado (6.4.1), existen ya diferentes recipientes y objetos “de cocina” desarrollados a partir del bagazo de la caña de azúcar. En este sentido se encuentra el estudio de **Nakkeeran (2019)**, de título “A Review Paper on Biodegradable Tableware Using Sugarcane Bagasse” [163]. El objetivo de este trabajo consiste en la realización de una revisión de la información reciente sobre las vajillas de usar y tirar fabricadas a partir del bagazo. Además, el artículo se centra en la presentación directa y sintética de la investigación efectuada.

En el estudio en cuestión se afirma, al igual que se ha mostrado en las diferentes secciones de nuestro trabajo, que la humanidad tiene la importante misión de eliminar los residuos plásticos del planeta; para lo cual resulta de especial interés la sustitución por materiales biodegradables y compostables. En concreto, el autor propone el bagazo de la caña de azúcar como material de especial interés, por tratarse este de un recurso renovable que requiere un menor gasto de energía en la producción de la vajilla que el plástico convencional. Además, resulta aún más atractivo por el hecho de ser un desecho de la producción del azúcar, de manera que no se requiere el establecimiento de áreas de cultivo adicionales ni se produce un impacto sobre los bosques.

En el proceso experimental presentado en la revisión de Nakkeeran para la preparación del material, se comienza pulverizando el bagazo de la caña de azúcar. A este bagazo en polvo se le añade agua y harina de maida (considerada como una de las mejores sustancias adhesivas en el ámbito de la alimentación), y se mezclan mediante la aplicación de calor. Asimismo se emplea una goma proveniente del árbol Neem, que además de fortalecer las vajillas actúa como agente antibacteriano. Tras el procedimiento de mezcla de los componentes, se moldea el material obtenido y se deja secar con la ayuda de la luz solar.

De esta manera, las vajillas de bagazo obtenidas son muy estables, resistentes y poco flexibles. Además, muestran buenas propiedades térmicas, y son repelentes al agua y resistentes a la grasa. Así, se demuestra que el material y el procedimiento presentados resultan adecuados para la fabricación de platos que requieran soportar alimentos grasientos calientes y muy aceitosos. Finalmente, es importante añadir que lo que hace que estos productos sean considerados especialmente atractivos es que son completamente biodegradables y compostables.

Todo lo anteriormente presentado constituye la razón por lo que los platos y vasos fabricados a partir del bagazo de la caña de azúcar se han comenzado a desarrollar más frecuentemente y son ofrecidos ya por algunas empresas como alternativa a las vajillas de plástico sintético convencional de un solo uso.

Asimismo, orientado también hacia la fabricación de vajillas desechables y hacia la sustitución del plástico contaminante por materiales fabricados mediante residuos vegetales, se encuentra el proyecto de **Gustafsson et al (2019)**, de título “Development of Bio-Based Films and 3D Objects from Apple Pomace” [12]. El objetivo principal de este trabajo consistió en el desarrollo de películas y objetos 3D de base biológica, empleando como materia prima orujo de manzana, y en su posterior evaluación para su aplicación en vajillas desechables y en el envasado.

De acuerdo con los autores, el reemplazo de los plásticos sintéticos por otros materiales sostenibles puede mitigar los efectos de la contaminación del medio ambiente y las emisiones de gases de efecto invernadero. Es por ello por lo que, como se ha ido observando en las anteriores secciones y subsecciones, nacen cada vez más proyectos y alternativas naturales en este ámbito. En este sentido, resulta de especial interés la elaboración de materiales de base biológica preparados a partir de desechos vegetales. Esta idea resulta tan atractiva debido a que, tal y como afirman los autores, “no solo reduce el efecto ambiental negativo de los plásticos sintéticos, sino que también contribuye a los problemas de gestión de desechos”.

En concreto, en el estudio de Gustafsson et al (2019) se emplea la fracción completa del orujo de la manzana (sin separación de semillas y tallos). El orujo de manzana es el principal residuo generado durante la producción de jugo, sidra o vino. Cada año, la producción mundial de manzanas es de aproximadamente 70 millones de toneladas, de las cuales entre un 20 y 30% es orujo. De esta manera, millones de toneladas de orujo son generadas cada año y su eliminación resulta compleja. Por ello, los autores seleccionan esta materia prima y, a través de técnicas de fundición en solución y moldeo por compresión, fabrican films y objetos 3D biodegradables. Además del orujo, en el experimento se emplea glicerol (plastificante) y monohidrato de ácido cítrico.

En cuanto a los resultados, se debe comentar en primer lugar que los métodos empleados permitieron obtener los films y objetos 3D de forma exitosa. En segundo lugar, los autores resaltan que el tipo de plastificante seleccionado influyó en las características de los productos. Por un lado, el uso de glicerol como plastificante permitió obtener películas y objetos 3D compactos con alta resistencia a tracción. Por otro lado, la utilización de azúcares naturales como plastificante dio como resultado productos de estructura más cohesionada. Sin embargo, presentó mayores % de alargamiento. Finalmente, los autores concluyen que la fabricación de películas y objetos 3D a partir del orujo de manzana, debido al nivel de biodegradabilidad y a las propiedades de los productos obtenidos, puede resultar relevante dentro del ámbito de la búsqueda de materiales ecológicos que reemplacen a los plásticos sintéticos convencionales. Además, añaden que estos materiales producidos tienen potencial para ser utilizados en diversos campos, entre los que destacan aplicaciones como los envases y vajillas desechables o comestibles.

También orientado hacia el aprovechamiento de subproductos agrícolas para la fabricación de vajillas de un solo uso, se encuentra el artículo de **Soots et al (2019)**, de título “Manufacturing technology and mechanical properties of biodegradable tableware made from cereal bran” [164]. El objetivo de este trabajo consiste en el estudio y comparación de las técnicas y procedimientos empleados para la fabricación de vajillas desechables empleando subproductos del proceso de molienda de los cereales.

Como ya se ha comentado en las anteriores secciones, y tal y como afirman Soots et al, el hecho de que humanidad se encuentre desde hace años en una situación de sobreproducción y excesivo consumo, hace que la generación de residuos plásticos sea desmedida y verdaderamente preocupante. Además, de acuerdo con los autores, dentro de estos residuos plásticos son destacables las vajillas de usar y tirar. Las alternativas consideradas más adecuadas son precisamente los utensilios y recipientes de cocina fabricados a partir de materiales vegetales. De hecho, los autores explican que el uso generalizado de vajillas biodegradables y compostables reduciría considerablemente las emisiones de carbono, el gasto de agua y la acumulación de residuos que implican los productos de plástico convencionales.

Soots et al proponen los subproductos del molido de los cereales como materia prima adecuada para la fabricación de vajillas de un solo uso. En concreto, de entre los subproductos de dicho proceso, el estudio se centra en el empleo de salvado de avena, de cebada, de maíz, de trigo y de centeno. En la Figura 36 se representa esquemáticamente el ciclo de vida de la vajilla desechable desarrollada a partir de estos materiales.

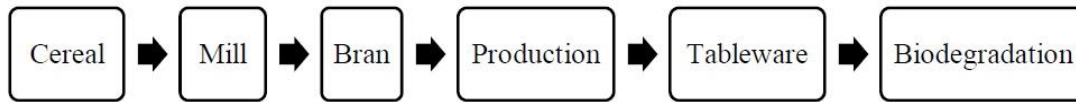


Figura 36. Ciclo de vida de una vajilla fabricada a partir del salvado de los cereales: cereal, molido, salvado, producción, vajilla, y biodegradación [XXXVIII]

Tras el desarrollo del estudio de investigación y de los experimentos llevados a cabo, los autores llegan a una serie de conclusiones. Entre ellas, en el artículo se destacan las siguientes:

- 1) El estudio de las patentes llevado a cabo demostró que China, a pesar de ser uno de los mayores generadores de residuos plásticos que terminan en el mar, es también uno de los países que más aportan al desarrollo de nuevas tecnologías de producción de vajillas compostables.
- 2) La densidad de las vajillas compostables fabricadas por medio de la compresión de salvado de arroz, salvado de maíz, salvado de trigo u hojas de árboles, debe ser al menos de $1,4 \text{ g / cm}^3$.
- 3) Durante la investigación se pudo observar también que la resistencia a la flexión de las vajillas fabricadas a partir de materiales anisotrópicos (como las hojas de palma), variaba mucho en las diferentes muestras y ensayos.
- 4) Los autores, basándose en el estudio y en la experimentación, consideran que la resistencia a la flexión que debe tener el material del que se pretende fabricar la vajilla desechable debe ser al menos de $9,98 \text{ N / mm}^2$.
- 5) Soots et al concluyen que futuras investigaciones orientadas hacia la fabricación de vajillas de un solo uso a partir de materiales vegetales, deben plantear el empleo de subproductos de la molienda de otros cereales, y poner especial atención en las propiedades mecánicas de los productos desarrollados.

Finalmente, cabe destacar la existencia de proyectos que tratan de emplear hojas vegetales para la fabricación de las vajillas biodegradables. Dentro de este ámbito podemos destacar el trabajo de **Yuan et al (2019)**, centrado en el desarrollo de un adhesivo sostenible para la unión de las hojas, de título “Study on Performance of Bio-based Adhesive for Bonding Tree Leaves” [165]. Este estudio tiene como objetivos principales la preparación de un adhesivo de base biológica, la fabricación de una vajilla mediante hojas naturales y el adhesivo, y el análisis de algunos parámetros y propiedades de relevancia relacionados con los mismos.

Tal y como los autores afirman, se estima que cada año se consumen en el planeta más de 10 mil millones de juegos de vajillas desechables, y el número va en aumento. Estos productos están fabricados generalmente de materiales muy difíciles de descomponer y de reciclar una vez alcanzan el final de su vida útil, lo que, como se ha explicado en las anteriores secciones, supone un serio problema para el medioambiente. Por esta razón aparecen esfuerzos orientados hacia la creación de platos y otros utensilios fabricados a partir de recursos vegetales. En concreto, el artículo de Yuan et al (2019) trata sobre las vajillas de usar y tirar desarrolladas mediante hojas de árboles, concentrándose específicamente en la búsqueda de un adhesivo adecuado: “para la producción de vajillas, la tecnología clave es la unión de las hojas de los árboles”. En casos como el de la compañía Leaf Republic, tratada en el apartado 6.4.1, las hojas empleadas presentan un gran tamaño y, para unir las, son cosidas mediante fibra de palmera [144]. Sin embargo, disponer de hojas de gran tamaño no es siempre posible. Por ello, para asegurarse de que la producción a gran escala de estas vajillas sea más factible, los autores emplean en el estudio en cuestión hojas de menor tamaño provenientes de especies de árboles comunes. Para que esto sea posible, en lugar de coser las hojas, fueron unidas mediante un adhesivo de base biológica

En el experimento se empleó concretamente hojas del árbol *Magnolia Grandiflora* para fabricar la vajilla. Por su parte, el adhesivo fue preparado a partir de almidón de yuca y almidón de maíz. Antes de llevar a cabo la unión, las hojas fueron tratadas con glicerol para mejorar su impermeabilidad. Seguidamente, se utiliza el adhesivo para unir las en moldes con diferentes formas, y obtener así distintos tipos de recipientes.

Para la caracterización del adhesivo, se midió y analizó la estructura, las propiedades físicas y las propiedades mecánicas del mismo. Según los autores, los resultados obtenidos indicaron que se produjo alguna reacción entre los grupos funcionales en el adhesivo y los grupos funcionales en la superficie de las hojas. Asimismo, con el fin de definir cuál es el método de prensado en caliente más óptimo, se investigó los efectos que tienen la proporción de adhesivo aplicado, el tiempo de prensado y la temperatura de prensado sobre el rendimiento de unión de las hojas naturales. En este sentido, teniendo en cuenta la eficiencia y costo de la producción, la estética y el rendimiento de la unión, se pudo comprobar que los parámetros más adecuados fueron:

- Proporción de adhesivo: 100 g/m^2
- Temperatura de prensado: 70°C
- Tiempo de prensado: 120 s

Finalmente, basándose en los resultados del experimento, Yuan et al concluyen que las hojas de los árboles unidas mediante el adhesivo preparado a base de almidón pueden ser consideradas como una materia prima adecuada para la fabricación de vajillas desechables biodegradables.

6.5. REFLEXIONES Y PROPUESTA.

Tras haber realizado el presente Trabajo de Fin de Grado, en el que se ha llevado a cabo una revisión exhaustiva de la literatura y de las iniciativas corporativas en el ámbito de los efectos nocivos de la acumulación del plástico y de las medidas que tratan de mitigar dichos efectos, a continuación, se hace una reflexión personal acerca de las líneas que bajo el criterio del autor son más prometedoras. Además, se presenta al final una propuesta para la fabricación de platos biodegradables a partir de residuos provenientes de la platanera: el proyecto “Ecoplatos”, desarrollado en la Universidad de La Laguna por el grupo de Ingeniería de Materiales.

Como ya se señaló en la ‘Sección 1, se debe entender que el término “plástico” empleado en este trabajo se refiere concretamente a aquellos polímeros plásticos sintéticos que, además de tener una vida útil de corta duración y poco provecho, se acumulan en el medio natural durante cientos de años contaminando y provocando el deterioro del planeta. De este modo, el término no hace referencia a los materiales plásticos realmente valiosos e incluso necesarios cuya supresión resulta difícil o inapropiada (como es el caso del polímero PEEK y sus aplicaciones biomédicas).

Consideramos que la búsqueda de soluciones efectivas a un problema como el de la acumulación de plásticos debe, en primer lugar, observar profundamente las ventajas y desventajas de estos materiales y, después de ello, explorar alternativas que de manera más efectiva reducen o eliminan sus desventajas, sin menoscabo de sus ventajas.

En cuanto a las ventajas, encontramos una importante cantidad de características propias de estos materiales que los hacen realmente atractivos, y que constituyen la razón por la cual se producen en la actualidad de forma masiva. Generalmente, aunque sus propiedades varían en función del tipo de plástico, estos polímeros sintéticos presentan un bajo coste de producción, resultan fáciles de trabajar, son duraderos y resistentes, y tienen una baja densidad, entre otros. Además, cabe destacar que estos materiales pueden ser adaptados, por medio de la Ingeniería de Materiales, para su uso en muchas y diversas aplicaciones.

En cuanto a sus inconvenientes, recopilamos a continuación los más destacables:

- 1- Contaminación ambiental de la tierra, los océanos y la atmósfera.** La salud de la tierra y de los mares se ve fuertemente afectada por la acumulación de desechos plásticos, así como por la presencia de sus partículas pequeñas derivadas, denominadas microplásticos y

nanoplásticos. Por su parte, la contaminación del aire está asociada principalmente a las emisiones de CO₂ ligadas a la producción de los plásticos, y a la existencia de micro-nanoplásticos en suspensión. Por lo tanto estamos aludiendo en este primer punto a la no biodegradabilidad de estos materiales, y a las emisiones y vertidos contaminantes que ocasiona su producción. Todo esto afecta por extensión a todos los seres vivos que habitan en los diferentes ecosistemas.

- 2- Impacto sobre la salud humana.** Entre los efectos perjudiciales sobre la salud de las personas, podemos destacar algunos. En primer lugar, se debe destacar la ingesta de plástico por diversas vías. Hoy en día se sabe que, hasta cuando bebemos agua del grifo, estamos introduciendo este material tóxico en nuestro cuerpo. Asimismo, investigaciones académicas recientes han demostrado que los microplásticos se están extendiendo gradualmente a través de la cadena alimenticia. En este sentido, por ejemplo, cuando comemos algún pez o ave, estamos ingiriendo partículas de plástico que pueden ocasionarnos graves problemas como la disrupción endocrina. Por otro lado, es importante mencionar que la ingestión de estas sustancias se produce también por el “traspaso” de partículas desde los envases y embalajes plásticos hacia los alimentos. En segundo lugar, cabe destacar que los plásticos producen también problemas respiratorios y cardiovasculares derivados de la contaminación del aire (CO₂ y nanoplásticos en suspensión).
- 3- Recurso no renovable.** En este sentido, la producción masiva de polímeros plásticos convencionales implica el agotamiento de un recurso no renovable, el petróleo.

De esta manera, a pesar de que los polímeros plásticos sintéticos son muy eficientes y de gran utilidad, las consecuencias que provoca su producción a gran escala evidencian la no adecuación de la misma. De hecho, la generación y acumulación de residuos plásticos suponen una seria amenaza, cada vez mayor, para la salud de nuestro planeta. Es por ello por lo que resulta necesaria la aplicación de estrategias y métodos que combatan contra la utilización indiscriminada del plástico, contra la filosofía de materiales plásticos de usar y tirar, y contra su acumulación en entornos naturales: regulaciones legislativas, tratamientos de los residuos de plástico (reciclaje mecánico, reciclaje químico y recuperación energética), proyectos de limpieza de paisajes naturales, iniciativas de empresas que actúan sobre las fases de producción y distribución de elementos plásticos...

En este sentido, dentro de las medidas que existen, se ha podido observar a lo largo del trabajo que la sustitución puede ser la de mayor interés debido a que implica directamente la no producción de plástico (refiriéndonos con esto a

aquellos plásticos que por su propia formulación pueden ser sustituidos por materiales biodegradables y no contaminantes). Como se comentó anteriormente, es la medida *ex ante* por excelencia, ya que tiene lugar antes incluso del nacimiento de los plásticos.

Además, dentro de la sustitución del plástico, el empleo de materia prima renovable y en concreto de recursos vegetales, resulta especialmente atractivo. Esto se debe, principalmente, a que los materiales fabricados a partir de dichos recursos son biodegradables y compostables, con lo que su consumo no produce impacto sobre el medioambiente por acumulación de desechos.

De esta manera, se atendería a los tres inconvenientes ligados a la producción de plástico, ya que se desarrollarían a partir de recursos renovables, se trataría de materiales directamente biodegradables y, de esta forma, se evitaría los efectos nocivos para la salud del planeta y de los seres vivos. Es por ello por lo que el presente trabajo se centra en la revisión de la literatura reciente en relación a la sustitución del plástico por materiales vegetales.

Si se continúa en el proceso de concretar aún más el sustituto ideal dentro de las alternativas vegetales, se puede concluir que el aprovechamiento de residuos vegetales (o agrícolas) es especialmente atractivo. Esta revalorización de los desechos constituye uno de los principios básicos de la Economía Circular, y presenta algunas ventajas con respecto a la utilización de otros recursos vegetales:

- Supone un bajo coste y fácil acceso a la materia prima. Al utilizar un residuo vegetal/agrícola, se está dando uso a un material que carecía de valor y que probablemente iba a ser simplemente desechado.
- No requiere la sobreexplotación de recursos naturales. Por ejemplo, la obtención de madera y otras materias primas implica frecuentemente la tala de bosques.
- No se ejerce presión sobre el suministro alimentario. Si en lugar de un residuo de origen vegetal, se emplea a gran escala el propio alimento como materia prima (como materiales a base de arroz, maíz, yuca...), habría competencia para acceder al recurso entre la alimentación y la “sustitución del plástico”. Por ejemplo, expertos de la agencia internacional 3Dnatives, explican que cada Kg de PLA (bioplástico tratado en las subsecciones anteriores) requiere el empleo 2,65 Kg de maíz. Así, si quisiéramos sustituir las 270 millones de toneladas de plástico producidas en el mundo anualmente, se necesitaría 715,5 millones de toneladas del cereal, de manera que el suministro y el precio de este producto básico se verían afectados [166].

Se debe resaltar además, en este sentido, que actualmente resulta también de interés para las investigaciones el uso de hojas de árboles, sean residuales o no. Diferentes trabajos y artículos académicos han demostrado que, mediante métodos limpios y sencillos es posible conseguir buenos resultados en diversas aplicaciones. Además, en este trabajo de revisión se ha podido observar que la búsqueda y el desarrollo de soluciones más complejas y sintéticas con el fin de mejorar las propiedades y características funcionales, perjudican en ocasiones a la pureza del proceso y del producto fabricado, teniendo potenciales efectos indeseables sobre el medio ambiente y la salud humana.

En lo que respecta a los diferentes campos de aplicación de los polímeros sintéticos, sobresalen en cuanto a efectos perjudiciales para el planeta los productos de plástico desechables. Esto se debe a que, como se ha comentado en secciones anteriores del trabajo, teniendo una vida útil de pocos minutos de media, tardan cientos de años en degradarse. En concreto, estos productos suponen cerca de la mitad del total de plásticos producidos en el planeta. Es por ello por lo que la sustitución de estos polímeros sintéticos desechables es considerada prioritaria. Además, dentro de este grupo, un peso considerable lo ocupan las vajillas de un solo uso. La vajilla de plástico desechable se fabrica generalmente mediante poliestireno (PS), polipropileno (PP), cloruro de polivinilo (PVC) y otros polímeros sintéticos [165] que, como ya se ha comentado, a pesar de tener diversas ventajas, son altamente contaminantes e intensifican el deterioro del planeta. Motivado por esto, el presente trabajo separa y hace especial hincapié en el caso de los sustitutos vegetales del plástico en vajillas de usar y tirar.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, se puede entender que una línea de especial interés e importancia para presentes y futuras investigaciones orientadas a combatir al plástico, reside en la fabricación de vajillas desechables a partir de materiales vegetales provenientes de residuos agrícolas. Ello significa situar los sustitutos biodegradables, basados en materias primas renovables, y que proceden de desechos agrícolas, en uno de los focos principales de la lucha contra la contaminación plástica.

Así nacen los “Ecoplatos”, un proyecto incipiente desarrollado en la Universidad de La Laguna (ULL) para fabricar platos biodegradables a partir de los desperdicios de las plantaciones de la platanera de las Islas Canarias. Dentro de este proyecto existen actualmente dos documentos que describen el proceso experimental de preparación de los “Ecoplatos”: el Trabajo de Fin de Grado de Carmen Corbella Pardo (2018) y el trabajo de Leydi Ramona Pérez Hernández (TFG en proceso, 2019). En un principio, el presente Trabajo de Fin de Grado tenía la misma orientación que los anteriores: procedimiento

experimental de fabricación de los “Ecoplatos”. De hecho, se comenzó a trabajar en este sentido, llegando a preparar las muestras de residuos de la platanera para su utilización. Sin embargo, debido a la aparición del virus COVID19 y a las medidas al respecto tomadas por el Gobierno, resultó imposible continuar con el trabajo y se tuvo la necesidad de adaptar el trabajo a las circunstancias. De esta forma, se consideró de especial interés la ejecución de una revisión de la literatura reciente acerca de la sustitución del plástico por materiales vegetales. Dicho esto, se procede a continuación a la descripción del proyecto y de la metodología experimental desarrollada en la ULL para la fabricación de los platos ecológicos.

En primer lugar, en cuanto a la selección de la materia prima, los residuos de la platanera han sido considerados los más adecuados por estar muy presentes y ser fácilmente accesibles en el archipiélago. En concreto, en el año 2018, según el Instituto Canario de Estadística [167], se produjeron unas 386 mil toneladas de plátano en toda Canarias y unas 160 mil toneladas sólo en Tenerife. De hecho, actualmente, alrededor del 50% de la producción europea de plátanos está cubierta por las Islas Canarias, donde unas 9.100 hectáreas están destinadas al cultivo de plataneras [168]. Además, esta notable producción de plátano implica la generación de cantidades significativas de residuos vegetales. Se estima que esta cantidad de desechos oscila entre 1 y 1,5 veces el peso de los propios plátanos [169]. Así, son generadas anualmente unas 430 mil toneladas de residuos agrícolas procedentes de la platanera en el archipiélago canario [170].

Además, la idea del mencionado proyecto tiene la ventaja añadida de que ayuda al sector agrícola a deshacerse de restos vegetales que entorpecen su labor. En este sentido, es verdad que una parte de estos residuos es en ocasiones empleada para diferentes fines. Pueden ser, por ejemplo, destinados a la producción de compost para fines agrícolas. Por otro lado, determinadas partes como las hojas y el rolo pueden ser aprovechadas para alimentación de ganado. Además existen otros campos donde pueden ser útiles, como la fabricación de productos químicos o la generación de energía mediante la digestión anaerobia. Sin embargo, aún con todo esto, la gran cantidad de desechos vegetales que la platanera genera hace que en las plantaciones siga existiendo un problema de acumulación de residuos para la siguiente cosecha. [168] [171] [172].

En concreto, para la fabricación de los “Ecoplatos” se emplea la hoja y la badana de la platanera. Las hojas de esta planta son de gran tamaño (se calcula que el área foliar es cuatro veces mayor que la superficie que ocupa la propia planta), presentan una forma ovalada y nervaduras pennadas [173]. Por su parte, la badana, proveniente del rolo de la platanera, presenta una forma rectangular alargada y está compuesta por varias capas de material vegetal. En las figuras 37 y 38 se muestra estos residuos agrícolas.



Figura 37. Hojas de platanera empleadas para la fabricación de los platos (Fuente: propia)



Figura 38. Muestras de badana empleadas para la fabricación de los platos (Fuente: propia)

El procedimiento desarrollado en la Universidad de La Laguna, llevado a cabo siempre bajo las indicaciones del Código Alimentario Español [174], es el siguiente:

Antes de comenzar con la producción de los platos, se prepara diferentes muestras de material compuesto en forma de probetas rectangulares planas (variando el número de capas, la materia prima y el adhesivo empleado), para posteriormente caracterizarlas (física y mecánicamente) y poder decidir cuál de las variantes es la más beneficiosa para la fabricación de los “Ecoplatos”. El proceso de preparación de dichas probetas se divide de forma general en los siguientes pasos:

- 1º. **Recolección de la materia prima.** Se obtiene las hojas y la badana de platanera del invernadero de la Sección de Ingeniería Agraria de la EPSI. Se procura que esta materia prima esté en el mejor estado posible, evitando las muestras contaminadas, secas, dobladas...
- 2º. **Preparación de la materia prima.** Se recortan las muestras para obtener láminas de tamaño más cómodo y manejable. Posteriormente se eliminan los restos de tierra y otras partículas empleando abundante agua del grifo. A continuación se desinfectan mediante una solución de lejía al 3%, apta para su uso como desinfectante alimentario según las indicaciones del Código Alimentario Español. Seguidamente se vuelve a aclarar las láminas con abundante agua del grifo, y se dejan secar completamente a temperatura ambiente.
- 3º. **Preparación del adhesivo.** Esto se hace a base de almidón, probando diferentes tipos: de arroz, de patata y de maíz. El método de preparación comienza con la disolución del almidón seleccionado en agua (se propone una proporción agua/almidón [P/P] de 5:1). Una vez realizada la mezcla, se calienta a fuego lento durante unos minutos y se remueve hasta apreciar que se ha formado una especie de goma o gel espeso y viscoso. Llegados

a este punto, se retira de la fuente de calor y se deja enfriar a temperatura ambiente.



Figura 39. Preparación del adhesivo a base de almidón del trabajo de Leydi Ramona Pérez Hernández (TFG en proceso, 2019)



Figura 40. Adhesivo a base de almidón del trabajo Leydi Ramona Pérez Hernández (TFG en proceso, 2019)

4º. Construcción de los materiales compuestos. Los materiales compuestos están constituidos por diferentes capas de hojas o de badana de la platanera, empleando el adhesivo preparado anteriormente para su unión. Mediante un molde y la aplicación de presión, se comprimen las distintas capas, y posteriormente se deja secar el conjunto a temperatura ambiente. Una vez seco, se desmolda con cuidado para que las muestras obtenidas queden intactas.

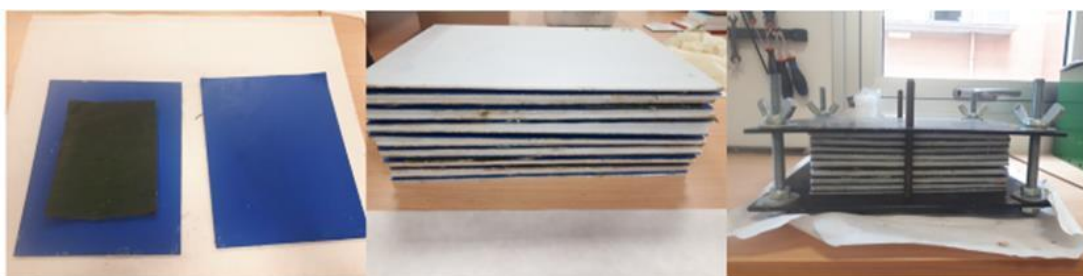


Figura 41. Fabricación de los materiales compuestos mediante moldes y la aplicación de presión en el trabajo de Leydi Ramona Pérez Hernández (TFG en proceso, 2019)

5º. Recorte del material en forma de probetas. A la hora de recortar el material, se toma como referencia las normas UNE-EN-ISO 178 y UNE-EN-ISO 527 para las medidas de las probetas. Así, las dimensiones seleccionadas son 20 mm de ancho y 150 mm de longitud. En la Figura 42, se muestra estas probetas.



Figura 42. Probetas hechas de hojas y badana de platanera, y adhesivo a base de almidón [XXXIX]

Una vez obtenidas las diferentes probetas, son sometidas a ensayos de tracción y de flexión, con el fin de caracterizarlas y valorarlas de cara a su utilización para la fabricación de los “Ecoplatos”. En experimentos desarrollados anteriormente en el Laboratorio de Materiales de la Universidad de La Laguna se ha podido obtener algunas conclusiones de interés. Entre ellas, cabe destacar la idea de que un mayor número de capas de material vegetal no implica una mejora de las propiedades mecánicas de la muestra. Por ejemplo, la disposición de cuatro capas de badana presenta mejores resultados que el empleo de cinco capas de la misma [175].

Tras finalizar con este proceso de selección del material compuesto, se procede a la fabricación de los platos. El método seleccionado para ello es similar al proceso de preparación de los materiales compuestos presentado anteriormente. Sin embargo, en este caso, las láminas no son recortadas en forma de probetas, sino que se utilizan muestras de mayor tamaño (es posible que se requiera la unión de varios fragmentos de hoja o badana para alcanzar el tamaño requerido por el molde).



Figura 43. Unión de varios fragmentos de hoja de platanera para alcanzar el tamaño requerido por el molde [XXXIX]

Para dar la forma deseada al material compuesto, se ha empleado, en el trabajo de Corbella Pardo, un molde de PLA (relleno del 20%), formado por una base y una tapa ensambladas mediante tornillos.



Figura 44. Molde de PLA empleado para el conformado de los "Ecoplatos" [XXXIX]

Una vez introducido el compuesto laminar en el molde, se debe dejar presionado hasta que el conjunto esté completamente seco. En ese momento se puede proceder al desmoldado y el plato estará listo. En las figuras 45 y 46 se muestra los "Ecoplatos" resultantes del Trabajo de Fin de Grado de Carmen Corbella Pardo:



Figura 45. Modelo de plato conformado con hojas de platanera [XXXIX]



Figura 46. Modelo de plato conformado con badana de platanera [XXXIX]

Por otro lado, en el trabajo de Pérez Hernández (TFG en proceso, 2019), se emplea la hoja verde de la platanera para la fabricación de los platos, no la hoja seca como en el experimento de Corbella Pardo (2018). Además, para el conformado de los recipientes se emplea moldes metálicos de forma circular. En concreto, se trabaja con una tapa inferior de diámetro mayor que la superior. De esta manera se puede montar una tapa sobre la otra, con el material compuesto de por medio, y ejercer presión para obtener la forma de recipiente deseada. En la Figura 47 se muestra las dos partes del molde.



Figura 47. Tapas del molde metálico para la fabricación de los platos en el trabajo de Leydi Ramona Pérez Hernández (TFG en proceso, 2019)

Así, en las figuras 48 y 49 se presenta los “Ecoplatos” preparados a partir de hojas de la platanera mediante el método experimental desarrollado en este trabajo.



Figura 48. Plato fabricado a partir de hojas de platanera en el trabajo de Leydi Ramona Pérez Hernández (TFG en proceso, 2019)



Figura 49. Vista de planta de un plato fabricado a partir de hojas de platanera en el trabajo de Leydi Ramona Pérez Hernández (TFG en proceso, 2019)

Los platos obtenidos en los anteriores experimentos han presentado incluso mejores propiedades que los fabricados a partir de plástico convencional (polipropileno) [175]. Por ello, en este sentido tienen potencial para poder ser desarrollados y producidos comercialmente. Sin embargo, existen aún algunos detalles que complican el método. En primer lugar, cabe mencionar que la caracterización de los materiales compuestos presenta el problema de la poca homogeneidad de las características de la materia prima empleada para su preparación [175]. En segundo lugar, se ha podido concluir que, hasta el momento, el factor más limitante dentro de la fabricación de los “Ecoplatos” es el molde. En este sentido, resultaría beneficiosa la disposición de moldes que permitieran ejercer mayores fuerzas de presión, para así poder introducir mayor cantidad de materia prima y obtener platos más compactos. En tercer lugar, es importante resaltar el hecho de que la vida útil de estos platos es muy corta (aproximadamente una semana). Esto supone un problema para su producción a gran escala, y futuros proyectos deberán concentrar esfuerzos en la mejora de la durabilidad de estas vajillas.

Finalmente es importante saber que, debido a la creciente necesidad de sustituir las vajillas desechables de plástico sintético, el proyecto de los “Ecoplatos” (así como muchas otras iniciativas con objetivos similares) continuará desarrollándose y mejorándose hasta el punto de poder ejecutarse a gran escala. En este sentido, teniendo en cuenta que la sustitución del plástico convencional por materiales vegetales provenientes de residuos agrícolas constituye una de las líneas de mayor interés en el ámbito de la lucha contra la contaminación plástica, se puede afirmar que el estudio de los “Ecoplatos” resulta muy oportuno y adecuado para fomentar la sostenibilidad en las Islas Canarias.

7. A. CONCLUSIONES

El presente Trabajo de Fin de Grado tenía inicialmente el objetivo de fabricar en el laboratorio platos desechables a partir de residuos provenientes de plantaciones de platanera. Sin embargo, debido a la aparición del virus COVID19 y a las medidas al respecto tomadas por el Gobierno, resultó imposible continuar con el trabajo y se tuvo la necesidad de adaptarlo a las circunstancias. De esta manera se escogió la revisión, por ser esta una metodología de gran importancia que proporciona una guía y un apoyo para los trabajos futuros de investigación.

En primer lugar, resulta importante manifestar que este trabajo se encuentra motivado por la problemática ligada a la inmensa cantidad de residuos plásticos que son generados en el mundo, y a la acumulación de los mismos en los espacios naturales (intensificada por la no biodegradabilidad de estos desechos). Esta contaminación plástica produce efectos nocivos preocupantes sobre el planeta y sobre todos los seres vivos que lo habitan.

En segundo lugar cabe resaltar que, dentro de estos residuos plásticos, destacan los provenientes de productos de un solo uso; los cuales teniendo una vida útil muy corta y poco provechosa, permanecerán en la naturaleza cientos de años antes de biodegradarse. Es por ello por lo que los productos de usar y tirar son suprimidos en cada vez más lugares del mundo. Por ejemplo, el Gobierno de Canarias los prohibirá a partir del año 2021. Por esta razón debe encontrarse materiales biodegradables adecuados para la sustitución del plástico convencional dentro de este ámbito, y, en concreto, para la sustitución en las vajillas desechables (caso estudiado en el presente trabajo).

En tercer lugar se llega a la conclusión de que, dentro de los sustitutos, resultan muy atractivos los de origen vegetal, debido al alto grado de biodegradabilidad y a las buenas propiedades de los productos fabricados a partir de estos. Además, si se continúa en el proceso de concretar aún más el sustituto ideal dentro de las alternativas vegetales, se puede concluir que el aprovechamiento de residuos vegetales (o agrícolas) es de especial interés. Esto se debe a que, entre otras ventajas, el empleo de esta materia prima a gran escala no ejercería presión sobre el suministro alimentario (se estaría empleando desperdicios agrícolas, no el alimento en sí, como es el caso, por ejemplo, de los almidones de arroz o patata).

Finalmente, cabe destacar que existe un proyecto incipiente dentro de este ámbito en la Universidad de La Laguna: "Ecoplatos". Mediante el empleo de la hoja y la badana de la platanera (abundantes en las Islas Canarias), se fabrican platos biodegradables con el fin último de que puedan ser producidos gran escala y así sustituir a las vajillas de plástico sintético convencional.

7. B. CONCLUSIONS

At the beginning, this Final Degree Project had the objective of manufacturing disposable dishes in the laboratory from residues from banana plantations. However, due to the appearance of the COVID19 virus and the measures taken by the Government in this regard, it was not possible to continue with the work and we had to adapt the work to the circumstances. In this way, the review was chosen because it is a methodology of great importance that provides guidance and support for future research.

Firstly, it is important to state that this work was motivated by the problems linked to the immense amount of plastic waste that is generated in the world, and to the accumulation of this materials in natural spaces (intensified by the non-biodegradability of these wastes). This plastic pollution produces worrying and harmful effects on the planet and on all living beings that inhabit it.

Secondly, it is worth noting that, among these plastic waste, those from single-use products stand out; who despite having a very short and unprofitable lifespan, will remain in nature hundreds of years before biodegrading. It is because of them that disposable products are being suppressed in more and more places in the world. For example, the Government of the Canary Islands will prohibit them as of the year 2021. That is why biodegradable materials must be found for the replacement of conventional plastic within this area, and, specifically, for the replacement of disposable plastic tableware (case studied in this work).

Thirdly, it is concluded that, among the substitutes, those of plant origin are very attractive, due to the high degree of biodegradability and the good properties of the products manufactured from them. Furthermore, if we continue the process of further specifying the ideal substitute within plant alternatives, it can be concluded that the use of plant (or agricultural) residues is of special interest. This is because, among other advantages, the use of this raw material on a larger scale would not put pressure on the food supply (it would be using agricultural waste, not the food itself, as is the case, for example, of starches rice or potato).

Finally, it should be noted that there is an incipient project within this área at the University of La Laguna: "Ecoplatos". By using the banana waste (abundant in the Canary Islands), biodegradable dishes are manufactured with the ultimate aim that they can be produced on a large scale and thus replace conventional synthetic plastic tableware.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MARTÍNEZ HUERTAS, José Félix. Fundamentos de la Educación Ambiental. [En línea]. *UNESCO Etxea*. [Consulta: 28-4-2020]. Disponible en: <https://www.unescoetxea.org/ext/manual/html/fundamentos.html>
- [2] GREENPEACE. Plásticos [En línea]. *Greenpeace España*. [Consulta: 28-4-2020] Web. Disponible en: <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/>.
- [3] NATIONAL GEOGRAPHIC. National Geographic y la lucha contra el plástico. *National Geographic España*. 2018. [Consulta: 28-4-2020]. Disponible en: https://www.nationalgeographic.com.es/mundo-ng/actualidad/national-geographic-y-lucha-contra-plastico_12710
- [4] GOBIERNO DE CANARIAS. Canarias prohibirá los plásticos de un solo uso a partir del 2021. [En línea]. *Consejería de Transición Ecológica, Lucha contra el Cambio Climático y Planificación del Gobierno de Canarias*. Febrero, 2020. [Consulta: 28-4-2020]. Disponible en: <https://www3.gobiernodecanarias.org/noticias/canarias-prohibira-los-plasticos-de-un-solo-uso-a-partir-del-2021/>
- [5] UNESCO. *La educación ambiental: las grandes orientaciones de la Conferencia de Tbilisi*. España: Naciones Unidas, UNESCO, 1980.
- [6] España. Ley 11/1997, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases. [En línea]. Boletín Oficial del Estado, 24 de abril de 1997, núm. 99, pp. 13270-13277 [Consulta: 28-4-2020]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1997-8875>
- [7] 4OCEAN. [En línea]. [Consulta: 28-4-2020]. Disponible en: <https://4ocean.com/>
- [8] ONG CANARIAS LIBRE DE PLÁSTICOS. [En línea]. [Consulta: 28-4-2020]. Disponible en: <https://www.canariaslibredeplasticos.com/>
- [9] UNED. Gestión y Tratamiento de los Residuos Urbanos (Semana de la Ciencia). [En línea]. 2003. [Consulta: 25-4-2020]. Disponible en: https://www2.uned.es/biblioteca/rsu/pagina4.htm#epig_2
- [10] WORLD ECONOMIC FORUM, ELLEN MACARTHUR FOUNDATION y MCKINSEY & COMPANY. *The New Plastics Economy. Catalysing Action*. 2017.
- [11] LEAF REPUBLIC. [En línea]. [Consulta: 28-4-2020]. Disponible en: <https://www.facebook.com/leafrepublic/>

- [12] GUSTAFSSON, Jesper, LANDBERG, Mikael, BÁTORI, Veronika, ÅKESSON, Dan, TAHERZADEH, Mohammad J. y ZAMANI, Akram. Development of Bio-Based Films and 3D Objects from Apple Pomace. *Polymers*, 2019, vol 11, nº 2.
- [13] PLASTICS EUROPE. El plástico: una historia de más de 100 años de innovación. [En línea]. [Consulta: 28-4-2020]. Disponible en: <https://www.plasticseurope.org/es/about-plastics/what-are-plastics/history>
- [14] VOGL, Otto. Oriental Lacquer, Poison Ivy, and Drying Oils. *Journal of Polymer Science Part A Polymer Chemistry*, 2000, vol 38, nº 24, pp. 4327-4335.
- [15] CONECTO.MX. Chicza. [En línea]. [Consulta: 28-4-2020]. Disponible en: <https://www.conecto.mx/es/chicza/>
- [16] GUISE-RICHARDSON, Cai. Redefining Vulcanization Charles Goodyear, Patents, and Industrial Control, 1834-1865. *Technology And Culture*, 2010, Vol 51, nº 2, pp. 357-387.
- [17] LUENGO, José María. Bioplásticos de origen bacteriano: los polihidroxi-alcanoatos. *AmbioCiencias*, 2018, vol 16, pp. 5-24.
- [18] PARKES, Alexander. On the properties of Parkesine, and its application to the arts and manufactures. *Journal of Franklin Institute*, 1866, vol 81, nº 6, pp. 264–271.
- [19] BAEKELAND, Leo Hendrik. Bakelite, a condensation product of phenols and formaldehyde and its uses. *Journal of Franklin Institute*, 1910, vol 169, nº 1, pp. 55-60.
- [20] SCIENCE HISTORY INSTITUTE. History and Future of Plastics. [En línea]. [Consulta: 28-4-2020]. Disponible en: <https://www.sciencehistory.org/the-history-and-future-of-plastics>
- [21] AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. Hermann Staudinger and the Foundation of Polymer Science. [En línea]. *American Chemical Society International Historic Chemical Landmark*. [Consulta: 28-4-2020]. Disponible en: <https://www.acs.org/content/acs/en/education/whatischemistry/landmarks/staudingerpolymerscience.html>
- [22] ANDRADY, Anthony L. y NEAL, Mike A. Applications and Societal Benefits of Plastics. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B, Biological Sciences*, 2009, vol 364, nº 1526, pp. 1977-1984.
- [23] OHIO HISTORY CONNECTION. Waldo Semon. [En línea]. *Ohio History Central*. [Consulta: 28-4-2020]. Disponible en: https://ohiohistorycentral.org/w/Waldo_Semon

[24] ROCA GIRÓN, Iván Ernesto. “Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del polietileno de alta densidad (PEAD)”. Director: José Eduardo Calderón García. Universidad de San Carlos de Guatemala. Escuela de Ingeniería Química, Guatemala, 2005. Tesis.

[25] GEYER, Roland, JAMBECK, Jenna R. and LAW, Kara Lavender. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 2017, vol 3, nº 7.

[26] RHODES, Christopher J. Plastic pollution and potential solutions. *Science Progress*, 2018, vol 101, nº 3, pp. 207-260.

[27] GREENPEACE. Datos sobre la Producción de Plásticos. [En línea]. *Greenpeace España*. [Consulta: 28-4-2020]. Disponible en: <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/datos-sobre-la-produccion-de-plasticos/>

[28] ANARPLA y CICLOPLAST. Cifras y Datos Clave de los Plásticos y su Reciclado en España. [En línea]. 2017. [Consulta: 28-4-2020]. Disponible en: http://www.cicloplast.com/ftp/cifras_datos_clave_plasticos_y_su_reciclado_en_espana.pdf

[29] WORLD WILDLIFE FUND. Glosario ambiental: ¿Qué es el plástico? [En línea]. 2018. [Consulta: 28-4-2020]. Disponible en: <https://www.wwf.org.co/?uNewsID=328912>

[30] WORLD WILDLIFE FUND. Cambia tus hábitos y lucha contra el plástico en tu día a día. [En línea]. [Consulta: 28-4-2020]. Disponible en: https://www.wwf.es/nuestro_trabajo/naturaleza_sin_plasticos/plasticos_de_un_solo_uso/

[31] PIMEC. PIMEC alerta que Europa genera cada año 25,8 millones de toneladas de residuos de plástico y que solo se recicla un 30%. [En línea]. 2019. [Consulta: 28-4-2020]. Disponible en: <https://www.pimec.org/es/institucion/sala-prensa/notas-prensa/pimec-alerta-que-europa-genera-cada-ano-258-millones-toneladas>

[32] CALLEJA, Daniel. *Entrevista a Daniel Calleja, Director General de Medio Ambiente de la Comisión Europea – 2018*. [Vídeo]. [En línea]. Madrid, 2018. [Consulta: 28-4-2020]. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?time_continue=147&v=OPlqmryezGg&feature=emb_title

[33] WORLD WILDLIFE FUND. El problema del plástico en la naturaleza y cómo puedes ayudar. [En línea]. 2019. [Consulta: 28-4-2020]. Disponible en: <https://www.worldwildlife.org/descubre-wwf/historias/el-problema-del-plastico-en-la-naturaleza-y-como-puedes-ayudar>

[34] OCEAN CONSERVANCY y TRASH FREE SEAS ALLIANCE. The Next Wave. Investment Strategies for Plastic Free Seas. [En línea]. [Consulta: 28-4-2020]. Disponible en: <https://oceanconservancy.org/wp-content/uploads/2017/05/the-next-wave.pdf>

[35] ECOEMBES. Océanos más sanos: 5 soluciones para 5 problemas. [En línea]. *Planeta Recicla*. 2016. [Consulta: 28-4-2020]. Disponible en: <https://www.ecoembes.com/es/planeta-recicla/blog/oceanos-mas-sanos-5-soluciones-para-5-problemas>

[36] ERIKSEN, Marcus, LEBRETON, Laurent C. M., CARSON, Henry S., THIEL, Martin, MOORE, Charles J., BORERRO, José C., GALGANI, François, RYAN, Peter G. y REISSER, Julia. Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. *Plos One*, 2014, vol 9, nº 12.

[37] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS. Los microplásticos también están contaminando nuestros suelos. [En línea]. *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente*. [Consulta: 28-4-2020]. Disponible en: <https://www.unenvironment.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/los-microplasticos-tambien-estan-contaminando-nuestros-suelos>

[38] WANG, Yung-Li, LEE, Yu-Hsuan, CHIU, I-Jen, LIN, Yuh-Feng, y CHIU, Hui-Wen. Potent Impact of Plastic Nanomaterials and Micromaterials on the Food Chain and Human Health. *International Journal of Molecular Sciences*, 2020, vol 21.

[39] PANNO, Samuel V., KELLY, Walton R., SCOTT, John, ZHENG, Wei, MCNEISH, Rachel E., HOLM, Nancy, HOELLEIN, Timothy J. y BARANSKI, Elizabeth L. Microplastic Contamination in Karst Groundwater Systems. *GroundWater*, 2019, vol 57, nº 2, pp. 189-196.

[40] HOURS, Martine, FÉVOTTE, Joëlle, y BERGERET, Alain Bergeret. Cancer mortality in a synthetic spinning plant in Besancon, France. *Occupational and environmental medicine*, 2007, vol 64, nº 9, pp. 575-581.

[41] GALLAGHER, Lisa G., LI, Wenjin, RAY, Roberta M., ROMANO, Megan E., WERNLI, Karen J., GAO, Dao L., THOMAS, David B., y CHECKOWAY, Harvey. Occupational exposures and risk of stomach and esophageal cancers: Update of a cohort of female textile workers in Shanghai, China. *American Journal of Industrial Medicine*, 2015, vol 58, nº 3, pp. 267-275.

[42] CHANG, Xiaoru, XUE, Yuying, LI, Jiangyan, ZOE, Lingyue, y TANG, Meng. Potential health impact of environmental micro- and nanoplastics pollution. *Journal of Applied Toxicology*, 2020, vol 40, nº 1, pp. 4-15.

- [43] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS. Play It Out. Beat Plastic Pollution. [En línea]. *General Assembly of the United Nations*. 2018. [Consulta: 28-4-2020]. Disponible en: <https://www.un.org/pga/73/playitout/>
- [44] ENEJI, Chris-Valentine Ogar, AKPO, David, y MBU, Edung Asuquo. Historical groundwork of Environmental Education (Fundamentals and foundation of Environmental Education). *International Journal of Continuing Education and Development Studies (IJCEDS)*, 2017, vol 3, nº 1, pp. 110-123.
- [45] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS. O nos divorciamos del plástico, o nos olvidamos del planeta. [En línea]. *Noticias ONU*. 2018. [Consulta: 29-4-2020]. Disponible en: <https://news.un.org/es/story/2018/06/1435111>
- [46] GREENPEACE. Plásticos. [En línea]. *Greenpeace España*. [Consulta: 29-4-2020]. Disponible en: <https://es.greenpeace.org/es/que-puedes-hacer-tu/consumo/consumo-plastico/>
- [47] WORLD WILDLIFE FUND. Ten tips to reduce your plastic footprint. [En línea]. *World Wildlife Fund UK*. [Consulta: 29-4-2020]. Disponible en: <https://www.wwf.org.uk/updates/ten-tips-reduce-your-plastic-footprint>
- [48] NATIONAL GEOGRAPHIC. 12 formas imaginativas para evitar el uso de plástico en tu comida. [En línea]. *National Geographic España*. 2019. [Consulta: 29-4-2020]. Disponible en: https://www.nationalgeographic.com.es/mundo-ng/12-maneras-que-no-conocias-evitar-plastico-tu-comida_14641
- [49] ECOEMBES. Cómo reciclar bien. [En línea]. *ecoembes.com.es*. [Consulta: 29-4-2020]. Disponible en: <https://www.ecoembes.com/es/ciudadanos/envases-y-proceso-reciclaje/como-reciclar-bien>
- [50] ECOINVENTOS. 20 consejos para reducir el consumo de plástico. [En línea]. 2020. [Consulta: 29-4-2020]. Disponible en: <https://ecoinventos.com/consejos-para-reducir-el-consumo-de-plastico/>
- [51] BBC MUNDO. 6 cosas que puedes hacer para reducir el uso de plásticos (y de paso ahorrar dinero). [En línea]. *BBC News*. 27 de marzo de 2018. [Consulta: 29-4-2020]. Disponible en: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-43542665>
- [52] ALLEN, Kara. How to Travel Plastic-Free. [En línea]. *Plastic Pollution Coalition*. 2018. [Consulta: 29-4-2020]. Disponible en: <https://www.plasticpollutioncoalition.org/blog/2018/7/11/how-to-travel-plastic-free>

[53] GOBIERNO DE CANARIAS. Programa de Educación Ambiental. [En línea]. [Consulta: 29-4-2020]. Disponible en: <https://www.gobiernodecanarias.org/educacion/web/programas-redes-educativas/programas-educativos/educa-ambiental/>

[54] VICECONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE DEL GOBIERNO DE CANARIAS, y TRAGSATEC. Estrategia para el plástico en Canarias. [En línea]. 2019. [Consulta: 30-4-2020]. Disponible en: <http://www.datosdelanzarote.com/Uploads/doc/Estrategia-para-el-pl%C3%A1stico-en-Canarias-2019-20190625114346808Estrategia para el plxstico en Canarias Gob CanV04.pdf>

[55] Unión Europea. Directiva 94/62/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de diciembre de 1994, relativa a los envases y residuos de envases. [En línea]. Diario Oficial de las Comunidades Europeas, 20 de diciembre de 1994, N° L 365/10. [Consulta: 30-4-2020]. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:31994L0062&rid=1>

[56] Unión Europea. Directiva (UE) 2018/852 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 94/62/CE relativa a los envases y residuos de envases. [En línea]. Diario Oficial de la Unión Europea, 30 de mayo de 2018, L 150/141. [Consulta: 30-4-2020]. Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2018/150/L00141-00154.pdf>

[57] Unión Europea. Directiva (UE) 2019/904 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de junio de 2019, relativa a la reducción del impacto de determinados productos de plástico en el medio ambiente. [En línea]. Diario Oficial de la Unión Europea, 5 de junio de 2019, L 155/1. [Consulta: 30-4-2020]. Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2019/155/L00001-00019.pdf>

[58] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS. Nueva plataforma ayudará a los países a trabajar unidos contra la contaminación por plásticos. [En línea]. *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente*. [Consulta: 30-4-2020]. Disponible en: <https://www.unenvironment.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/nueva-plataforma-ayudara-los-paises-trabajar-unidos>

[59] España. Real Decreto 293/2018, de 18 de mayo de 2018, sobre la reducción del consumo de bolsas de plástico y por el que se crea el Registro de Productores. [En línea]. Boletín Oficial del Estado, 18 de mayo de 2018, núm. 122, pp. 52591-52601. [Consulta: 30-4-2020]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2018-6651>

- [60] Canarias. Ley 1/1999, de 29 de enero, de Residuos de Canarias. [En línea]. Boletín Oficial de Canarias, 5 de febrero de 1999, núm 16, pp. 1570-1583. [Consulta: 30-4-2020]. Disponible en: <http://www.gobiernodecanarias.org/boc/1999/016/boc-1999-016-001.pdf>
- [61] España. Resolución de 13 de agosto de 2018, por la que se dispone la publicación del Acuerdo por el que se fijan directrices y recomendaciones urgentes para la reducción y reciclaje de residuos plásticos de un solo uso en la Comunidad Autónoma de Canarias. [En línea]. Boletín Oficial de Canarias, 13 de agosto de 2018, núm. 163, pp. 28168-28185. [Consulta: 30-4-2020]. Disponible en: <http://www.gobiernodecanarias.org/boc/2018/163/003.html>
- [62] AGENCIA EFE. Canarias, pionera en prohibir los plásticos a partir de 2021. [En línea]. *eldia.es*. 28 de febrero de 2020. [Consulta: 30-4-2020]. Disponible en: <https://www.eldia.es/sociedad/2020/02/28/canarias-pionera-prohibir-plasticos-partir/1055820.html>
- [63] THE OCEAN CLEANUP. The Interceptor. [En línea]. [Consulta: 2-5-2020]. Disponible en: <https://theoceancleanup.com/rivers/>
- [64] WATERFRONT PARTNERSHIP OF BALTIMORE. Mr. Trash Wheel. [En línea]. *Healthy Harbor Plan*. [Consulta: 2-5-2020]. Disponible en: <https://www.mrtrashwheel.com/technology/>
- [65] THE SEABIN PROJECT. Seabin V5. [En línea]. [Consulta: 2-5-2020]. Disponible en: <https://seabinproject.com/the-seabin-v5/>
- [66] SEO BIRDLIFE y ECOEMBES. 1m2 por la naturaleza. [En línea]. *Proyecto LIBERA*. [Consulta: 2-5-2020]. Disponible en: <https://proyectolibera.org/noticias/events/1m2-por-la-naturaleza/>
- [67] REAL ACADEMIA ESPAÑOLA [RAE]. Reciclar. [En línea]. *Diccionario de la lengua española, 23ª edición*. 2019. [Consulta: 3-5-2020]. Disponible en: <https://dle.rae.es/reciclar>
- [68] SERVICIOS MEDIOAMBIENTALES DE VALENCIA, S.L. La importancia del reciclaje expresada en 3 factores. [En línea]. *Noticias*. 10 de septiembre de 2018. [Consulta: 3-5-2020]. Disponible en: <https://www.smv.es/importancia-reciclaje-factores/>
- [69] NATIONAL GEOGRAPHIC. ¿Cómo reducir el exceso de plástico? [En línea]. *National Geographic España*. 23 de enero de 2020. [Consulta: 3-5-2020]. Disponible en: https://www.nationalgeographic.com.es/mundo-ng/grandes-reportajes/como-reducir-exceso-plastico_12755

- [70] ECOEMBES. Las cifras del reciclaje. [En línea]. *Soy empresa circular*. 11 de abril de 2019. [Consulta: 3-5-2020]. Disponible en: <https://www.ecoembes.com/sites/default/files/cifras-reciclaje-2018.pdf>
- [71] ELIAS, Xavier, y JURADO, Lorena. *Los Plásticos Residuales y sus Posibilidades de Valorización*. España, 2012.
- [72] ARANDES, José M., BILBAO, Javier, y LÓPEZ VALERIO, Danilo. Reciclado de los residuos plásticos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 2004, vol 5, nº 1, pp. 28-45.
- [73] ESPINOZA, E.A. Modelo de gestión de residuos plásticos. [En línea]. // *Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos*. Septiembre 2009. [Consulta: 3-5-2020]. Disponible en: <http://www.redisa.net/doc/artSim2009/GestionYPoliticaAmbienta/Modelo%20de%20gesti%C3%B3n%20de%20residuos%20pl%C3%A1sticos.pdf>
- [74] AMERICAN CHEMISTRY COUNCIL. What is Advanced Recycling? [En línea]. *Plastics*. [Consulta: 3-5-2020]. Disponible en: <https://plastics.americanchemistry.com/what-is-chemical-recycling/>
- [75] PLASTICS EUROPE. Reciclado y recuperación de energía. [En línea]. [Consulta: 3-5-2020]. Disponible en: <https://www.plasticseurope.org/es/focus-areas/circular-economy/zero-plastics-landfill/recycling-and-energy-recovery>
- [76] PLASTICS EUROPE. Plastics – the Facts 2019. An analysis of European plastics production, demand and waste data. [En línea]. *plasticseurope.org*. [Consulta: 6-5-2020]. Disponible en: https://www.plasticseurope.org/application/files/9715/7129/9584/FINAL_web_version_Plastics_the_facts2019_14102019.pdf
- [77] THE COCA-COLA COMPANY. Mares Circulares. El proyecto de Coca-Cola para ayudar a reducir los residuos de nuestras costas [En línea]. *Coca-Cola España*. [Consulta: 4-5-2020]. Disponible en: <https://www.cocacolaespana.es/sostenibilidad/medioambiente/mares-circulares/mares-circulares-contaminacion-marina>
- [78] NESTLÉ. ¿Qué está haciendo Nestlé para hacer frente a los residuos de envases? [En línea]. *Nestlé España*. [Consulta: 5-5-2020]. Disponible en: <https://empresa.nestle.es/es/sobre-nestle/te-interesa-saber/que-esta-haciendo-nestle-para-hacer-frente-residuos-envases>
- [79] NATIONAL GEOGRAPHIC. ¿Planeta o plástico? Las empresas y la lucha contra la contaminación. [En línea]. *National Geographic España*. 23 de enero de 2020. [Consulta: 5-5-2020]. Disponible en: https://www.nationalgeographic.com.es/mundo-ng/actualidad/planeta-o-plastico-empresas-y-lucha-contr-contaminacion_12882/2

- [80] IKEA. Musselblomma, la colección que ama el mar. [En línea]. 27 de enero de 2020. [Consulta: 5-5-2020]. Disponible en: <https://www.ikea.com/es/es/news/coleccion-sostenible-musselblomma-pubd8786740>
- [81] DECATHLON. Eliminamos las bolsas de plástico. [En línea]. *medioambiente.decathlon.es*. [Consulta: 5-5-2020]. Disponible en: <https://medioambiente.decathlon.es/sostenibilidad/caminamosjuntoawwf/>
- [82] AGUILAR, Paola. Eliminamos las bolsas de plástico y papel de nuestras tiendas en España. [En línea]. *medioambiente.decathlon.es*. [Consulta: 5-5-2020]. Disponible en: <https://medioambiente.decathlon.es/eliminamos-las-bolsas-de-plastico-y-papel-de-nuestras-tiendas-en-espana/>
- [83] LIDL. Ya hemos eliminado las bolsas de plástico. [En línea]. *lidl.es*. [Consulta: 5-5-2020]. Disponible en: <https://www.lidl.es/es/bienestoyconlidl-bolsas-de-plastico/s1713>
- [84] LIDL. Lidl, primer súper en eliminar las bolsas de plástico para fruta y verdura y ofrecer bolsas 100% biocompostables. [En línea]. *lidl.es*. [Consulta: 5-5-2020]. Disponible en: <https://www.lidl.es/es/bienestoyconlidl-bolsas-seccion/s1710>
- [85] ELLEN MACARTHUR FOUNDATION y ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS. Global Commitment 2019 Progress Report. [En línea]. *newplasticseconomy.org*. [Consulta: 5-5-2020]. Disponible en: <https://www.newplasticseconomy.org/about/publications/global-commitment-2019-progress-report>
- [86] GLEICK, Peter, y COOLEY, Heather. Energy implications of bottled water. *Environmental Research Letters*, 2009, vol 4, pp. 1-6.
- [87] MIMOOK. Botella reutilizable. Plástico, aluminio, cristal o acero inoxidable. ¿Cuál es la mejor? [En línea]. [Consulta: 14-5-2020]. Disponible en: <https://mimook.com/botella-reutilizable-plastico-aluminio-cristal-o-acero-inoxidable-cual-es-la-mejor-opcion/>
- [88] HOUSKA, Catherine. Ventaja ecológica del acero inoxidable. [En línea]. [Consulta: 14-5-2020]. Disponible en: <http://aplicainox.org/sitio/wp-content/uploads/2011/05/ventecol.pdf>
- [89] MATA, Alejandro, y GÁLVEZ, Carlos. Conocimiento del proceso de reciclaje de envases de vidrio; propuestas de mejora del proceso actual y análisis costo-beneficio de la implantación del mismo en la planta Vidriera Guadalajara. [En línea]. [Consulta: 14-5-2020]. Disponible en: <https://docplayer.es/3455124-Reciclaje-de-vidrio-ing-alejandro-mata-ing-carlos-galvez.html>

- [90] ORGANIZACIÓN DE CONSUMIDORES Y USUARIOS (OCU). ¿Nos comemos los tóxicos de los envases? [En línea]. *ocu.org - Alimentación: Seguridad Alimentaria*. 1 de febrero de 2017. [Consulta: 14-5-2017]. Disponible en: <https://www.ocu.org/alimentacion/seguridad-alimentaria/informe/migracion-envases-alimentos>
- [91] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS. Compromiso mundial para reducir los plásticos de un solo uso. [En línea]. *Noticias ONU*. 15 de marzo de 2019. [Consulta: 14-5-2020]. Disponible en: <https://news.un.org/es/story/2019/03/1452961>
- [92] MATERIALESECOLÓGICOS.ES. Bolsas de la compra ecológicas. [En línea]. *materialesecologicos.es*. [Consulta: 14-5-2020]. Disponible en: <https://materialesecologicos.es/bolsas-compra-ecologicas/>
- [93] MARCOS, Diego Hernán, GARCÍA, Ramiro José, y GARCÍA, Silvia Pulido. El impacto de la bolsa reutilizable en la población. [En línea]. Universidad Argentina de la Empresa. 2012. [Consulta: 14-5-2020]. Disponible en: <https://repositorio.uade.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/123456789/2498/Marcos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [94] PLASTIC EDU. Benefits of Using Reusable Shopping Bags. [En línea]. *plastic.education*. 26 de diciembre de 2019. [Consulta: 14-5-2020]. Disponible en: <https://plastic.education/benefits-of-using-reusable-shopping-bags/>
- [95] GARCÍA, Alba. Analizamos todas las bolsas del mercado y te decimos cuál es la mejor para no usar de plástico. [En línea]. *Greenpeace España*. 19 de julio de 2018. [Consulta: 14-5-2020]. Disponible en: <https://es.greenpeace.org/es/noticias/analizamos-todas-las-bolsas-del-mercado-y-te-decimos-cual-es-la-mejor-para-no-usar-de-plastico/>
- [96] NATIONAL GEOGRAPHIC. This Teenage Girl Made a Plastic Bag From Shrimp. [En línea]. 20 septiembre de 2018. [Consulta: 16-5-2020]. Disponible en: <https://www.nationalgeographic.com/environment/2018/09/angelina-arora-teenager-created-plastic-shrimp-science-fair/>
- [97] HIRSH, Sophie. This Australian teenager is making a plastic alternative out of prawn shells. [En línea]. *World Economic Forum*. 12 de mayo de 2020. [Consulta: 16-5-2020]. Disponible en: <https://www.weforum.org/agenda/2020/05/australian-biodegradable-plastic-prawn-shells>
- [98] WANG, Qigang, MYNAR, Justin L., YOSHIDA, Masaru, LEE, Myongsoo, OKURO, Kou, KINBARA, Kazushi, y AIDA, Takuzo. High-water-content mouldable hydrogels by mixing clay and a dendritic molecular binder. *Nature*, 2010, vol 463, pp. 339-343.

- [99] ZHAO, Xiaoying, CORNISH, Katrina, y VODOVOTZ, Yael. Narrowing the Gap for Bioplastic Use in Food Packaging: An Update. *Environmental Science & Technology*, 2020, vol 54, pp. 4712-4732.
- [100] EMADIAN, S. Mehdi, ONAY, Turgut T., y DEMIREL, Burak. Biodegradation of bioplastics in natural environments. *Waste Management*, 2017, vol 59, pp. 526-536.
- [101] WENG, Yun-Xuan, JIN, Yu-Juan, MENG, Qing-Yang, WANG, Lei, ZHANG, Min, y WANG, Yu-Zhong. Biodegradation behavior of poly(butylene adipate-co-terephthalate) (PBAT), poly(lactic acid) (PLA), and their blend under soil conditions. *Polymer Testing*, 2013, vol 32, nº 5, pp. 918-926.
- [102] RÍO PÉREZ, Francisca, OCHOA-GÓMEZ, José R., DÍAZ DE APODACA, Elena, y RONCAL, Tomás. *BIOPLÁSTICOS*. España: Observatorio Químico del MITYC, 2007.
- [103] HOLY LAMA NATURALS. Plastic Free Ayurvedic Soaps. [En línea]. 31 de mayo de 2018. [Consulta: 22-5-2020]. Disponible en: <https://holylama.co.uk/plastic-free-ayurvedic-soaps/>
- [104] HOLY LAMA NATURALS. Fair Trade and Sustainability. [En línea]. [Consulta: 22-5-2020]. Disponible en: <https://holylama.co.uk/fair-trade-and-sustainable/>
- [105] SHANMUGASUNDARAM, N., RAJENDRAN, T., y RAMKUMAR, T. Characterization of untreated and alkali treated new cellulosic fiber from an Areca palm leaf stalk as potential reinforcement in polymer composites. *Carbohydrate Polymers*, 2018, vol 195, pp. 566-575.
- [106] LE, Phuoc-Anh, NGUYEN, Van-Truong, SAHOO, Sumanta Kumar, TSENG, Tseung Yuen, y WEI, Kung-Hwa. Porous carbon materials derived from areca palm leaves for high performance symmetrical solid-state supercapacitors. [En línea]. *Journal of Material Science*, 2020. [Consulta: 22-5-2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/340958755_Porous_carbon_materials_derived_from_areca_palm_leaves_for_high_performance_symmetrical_solid-state_supercapacitors
- [107] ECOVATIVE DESIGN. Our Foundry. [En línea]. *Ecovative Design Technology*. [Consulta: 18-5-2020]. Disponible en: <https://ecovativedesign.com/ourfoundry>
- [108] ECOVATIVE DESIGN. We Grow Materials. [En línea]. [Consulta: 21-5-2020]. Disponible en: <https://ecovativedesign.com/>

- [109] JONES, Mitchell, BHAT, Tanmay, WANG, Chun H., MOINUDDIN, Khalid, y JOHN, Sabu. Thermal degradation and fire reaction properties of mycelium composites. [En línea]. *21st International Conference on Composite Materials, Xi'an, China*. 20-25 de agosto de 2017. [Consulta: 19-5-2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Mitchell_P_Jones/publication/319065199_Thermal_degradation_and_fire_reaction_properties_of_mycelium_composites/links/5be89a7b299bf1124fcc2307/Thermal-degradation-and-fire-reaction-properties-of-mycelium-composites.pdf
- [110] AVANI ECO. Who We Are. [En línea]. [Consulta: 25-5-2020]. Disponible en: <https://www.avanieco.com/about-us/>
- [111] AVANI ECO. Bio-Cassava Bag. [En línea]. [Consulta: 25-5-2020]. Disponible en: <https://www.avanieco.com/portfolio-item/bio-cassava-bag/>
- [112] AVANI ECO. Polybag. [En línea]. *Products*. [Consulta: 25-5-2020]. Disponible en: <https://www.avanieco.com/product/polybag/>
- [113] AVANI ECO. Our Products. [En línea]. *Products*. [Consulta: 25-5-2020]. Disponible en: <https://www.avanieco.com/category-products/>
- [114] E6PR. The Company. [En línea]. *E6PR About Us*. [Consulta: 22-5-2020]. Disponible en: <https://www.e6pr.com/e6pr-team>
- [115] E6PR. Product. [En línea]. [Consulta: 22-5-2020]. Disponible en: <https://www.e6pr.com/about-e6pr>
- [116] E6PR. *Eco Six Pack Ring Launch, Beer Handling Alternative #E6PR - 2018*. [Vídeo]. [En línea]. 23 de enero de 2018. [Consulta: 22-5-2020]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=cvA1jvTm9ws>
- [117] E6PR. E6PRioneers: “Leading The Sustainable Way”. [En línea]. *E6PRioneers*. [Consulta: 25-5-2020]. Disponible en: <https://www.e6pr.com/where-to-find-us>
- [118] SALTWATER BREWERY. Eco Six Pack Rings. [En línea]. *SaltWater Brewery Community*. [Consulta: 25-5-2020]. Disponible en: <https://saltwaterbrewery.com/pages/community>
- [119] NOTPLA. Ooho! [En línea]. *Notpla Products*. [Consulta: 21-5-2020]. Disponible en: <https://www.notpla.com/products-2/>
- [120] NOTPLA. We are a sustainable packaging start-up. [En línea]. [Consulta: 21-5-2020]. Disponible en: <https://www.notpla.com/about/>
- [121] ECOINVENTOS. Ooho. Botella de agua biodegradable y comestible. [En línea]. 9 de agosto de 2018. [Consulta: 21-5-2020]. Disponible en: <https://ecoinventos.com/ooho/>

- [122] NOTPLA. Made from seaweed. [En línea]. *Notpla Technology*. [Consulta: 21-5-2020]. Disponible en: <https://www.notpla.com/technology/>
- [123] DEBIAGI, Flávia, MALI, Suzana, GROSSMANN, Maria Victória Eiras, y YAMASHITA, Fábio. Efeito de fibras vegetais nas propriedades de compósitos biodegradáveis de amido de mandioca produzidos via extrusão, *Ciência e Agrotecnologia*, 2010, vol 34, nº6, pp. 1522-1529.
- [124] SCHEIBE, Ana S., DE MORALES, Jaqueline O., y LAURINDO, João B. Production and characterization of bags from biocomposite films of starch-vegetal fibers prepared by tape casting. *Journal of Food Process Engineering*, 2014, vol 37, pp. 482-492.
- [125] PAPADOPOULOU, Evie L., PAUL, Uttam C., TRAN, Thi-Nga, SUARATO, Giulia, CESERACCIU, Luca, MARRAS, Sergio, D'ARCY, Richard, y ATHANASSIOU, Athanassia. Sustainable Active Food Packaging from Poly(lactic acid) and Cocoa Bean Shells. *Applied Materials & Interfaces*, 2019, vol 11, pp. 31317-31327.
- [126] GIROMETTA, Carolina, PICCO, Anna Maria, BAIGUERA, Rebecca Michela, DONDI, Daniele, BABBINI, Stefano, CARTABIA, Marco, PELLEGRINI, Mirko, y SAVINO, Elena. Physico-Mechanical and Thermodynamic Properties of Mycelium-Based Biocomposites: A Review. *Sustainability*, 2019, vol 11, nº 1, 281.
- [127] HOLT, Greg, MCINTYRE, Gavin, FLAGG, Dan, BAYER, Eben, WANJURA, John, y PELLETIER, Mathew. Fungal Mycelium and Cotton Plant Materials in the Manufacture of Biodegradable Molded Packaging Material: Evaluation Study of Select Blends of Cotton Byproducts. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 2012, vol 6, nº 4, pp. 431-439.
- [128] ABHIJITH, Ramya, ASHOK, Anagha, y REJEESH, C.R. Sustainable packaging applications from mycelium to substitute polystyrene: a review. *Materials Today: Proceedings*, 2018, vol 5, nº 5, pp. 2139-2145.
- [129] XING, Yangang, BREWER, Matthew, EL-GHARABAWY, Hoda, GRIFFITH, Gareth, y JONES, Phil. Growing and testing mycelium bricks as building insulation materials. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018, vol 121, nº 2.
- [130] GHADERI, Moein, MOUSAVI, Mohammad, YOUSEFI, Hossein, y LABBAFI, Mohsen. All-cellulose nanocomposite film made from bagasse cellulosenanofibers for food packaging application. *Carbohydrate Polymers*, 2014, vol 104, pp. 59-65.

[131] PEROTTO, Giovanni, CESERACCIU, Luca, SIMONUTTI, Roberto, PAUL, Uttam C., GUZMAN-PUYOL, Susana, TRAN, Thi-Nga, BAYER, Ilker S., y ATHANASSIOU, Athanassia. Bioplastics from vegetable waste via an eco-friendly water-based process. *Green Chemistry*, 2018, vol 20, pp. 894-902.

[132] ZHAO, Guili, LYU, Xiaomei, LEE, Jaslyn, CUI, Xi, y CHEN, Wei-Ning. Biodegradable and transparent cellulose film prepared eco-friendly from durian rind for packaging application. *Food Packaging and Shelf Life*, 2019, vol 21, 100345.

[133] KLIMER. Quiénes somos. [En línea]. [Consulta: 27-5-2020]. Disponible en: <https://klimer.es/es/content/12-quienes-somos>

[134] KLIMER. Biodegradables 100%. [En línea]. [Consulta: 27-5-2020]. Disponible en: <https://klimer.es/es/biodegradables-100-586>

[135] KLIMER. Los recomendados de Klimer para el take away de tu restaurante: envases de cartón kraft. [En línea]. *VISTETUSPLATOS*. 8 de julio de 2019. [Consulta: 27-5-2020]. Disponible en: <http://vistetusplatos.com/los-recomendados-de-klimer-para-el-take-away-de-tu-restaurante/>

[136] KLIMER. Los recomendados de Klimer para el take away de tu restaurante: envases de pulpa de caña de azúcar. [En línea]. *VISTETUSPLATOS*. 22 de julio de 2019. [Consulta: 27-5-2020]. Disponible en: <http://vistetusplatos.com/ii-los-recomendados-de-klimer-para-el-take-away-de-tu-restaurante-envases-de-pulpa-de-cana-de-azucar/>

[137] KLIMER. La auténtica colección de envases 100% Biodegradables ya está en Klimer. [En línea]. *VISTETUSPLATOS*. 23 de mayo de 2018. [Consulta: 27-5-2020]. Disponible en: <http://vistetusplatos.com/la-autentica-coleccion-de-envases-100-biodegradables-ya-esta-en-klimer/>

[138] LIFEPACK. Lifepack, emprendimiento javeriano que vende vida. [En línea]. 13 de agosto de 2018. [Consulta: 26-5-2020]. Disponible en: <https://lifepack.com.co/lifepack-emprendimiento-javeriano-que-vende-vida/>

[139] LIFEPACK. ¿Por qué escogernos? [En línea]. *¿Quiénes somos?* [Consulta: 26-5-2020]. Disponible en: <https://lifepack.com.co/quienes-somos/>

[140] ECOINVENTOS. Lifepack, recipientes y envases 100% biodegradables y germinables. [En línea]. 31 de marzo de 2019. [Consulta: 26-5-2020]. Disponible en: <https://ecoinventos.com/lifepack/>

[141] LIFEPACK. Platos germinables y 100% biodegradables. [En línea]. 13 de agosto de 2018. [Consulta: 26-5-2020]. Disponible en: <https://lifepack.com.co/platos-germinables-y-100-biodegradables/>

- [142] LIFEPACK. Generamos Vida. [En línea]. [Consulta: 26-5-2020]. Disponible en: <https://lifepack.com.co/>
- [143] LEAF REPUBLIC. Información. [En línea]. *facebook.com*. [Consulta: 27-5-2020]. Disponible en: https://es-la.facebook.com/pg/leafrepublic/about/?ref=page_internal
- [144] ECOINVENTOS. Platos biodegradables hechos con hojas naturales que se descomponen en 28 días. [En línea]. 22 de julio de 2019. [Consulta: 27-5-2020]. Disponible en: <https://ecoinventos.com/platos-biodegradables-hechos-con-hojas-naturales/>
- [145] DW GLOBAL IDEAS. *Green Plates Made of Leaves* – 2016. [Vídeo]. [En línea]. 11 de diciembre de 2016 [Consulta: 27-5-2020]. Disponible en: <https://www.facebook.com/dw.globalideas/videos/10153864134556710/>
- [146] LEAF REPUBLIC. *Leaf Republic by Pedram Zolgadri* – 2016. [Vídeo]. [En línea]. 2 de junio de 2016. [Consulta: 27-5-2020]. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=v36dwHwSDW0&feature=emb_title
- [147] PASCUAL, Juan Antonio. Estos platos hechos con hojas desaparecen en 28 días. [En línea]. *Computer Hoy*. 26 de abril de 2019. [Consulta: 27-5-2020]. Disponible en: <https://computerhoy.com/noticias/life/estos-platos-hechos-hojas-desaparecen-28-dias-412041>
- [148] AVANI ECO. Our Products / Bagasse. [En línea]. *Products*. [Consulta: 26-5-2020]. Disponible en: <https://www.avanieco.com/category-bagasse/>
- [149] AVANI ECO. Edge Plate 9 Inch. [En línea]. *Products*. [Consulta: 26-5-2020]. Disponible en: <https://www.avanieco.com/product/edge-plate-9-inch/>
- [150] JUTAKRIDSADA, Pasakorn, SAENGPRACHATANARUG, Khwantri, KASEMSIRI, Pornnapa, HIZIROGLU, Salim, KAMWILAISAK, Khanita, y CHINDAPRASIRT, Prinya. Bioconversion of Saccharum officinarum Leaves for Ethanol Production Using Separate Hydrolysis and Fermentation Processes. *Waste and Biomass Valorization*, 2019, vol 10, pp. 817-825.
- [151] BOONTIMA, Benchawan, NOOMHORM, Athapol, PUTTANLEK, Chureerat, UTTAPAP, Dudsadee, y RUNGSARDTHONG, Vilai. Mechanical Properties of Sugarcane Bagasse Fiber-Reinforced Soy Based Biocomposites. *Journal of Polymers and the Environment*, 2015, vol 23, nº1, pp. 97-106.
- [152] BILBA, Ketty, y ARSÈNE, Marie-Ange. Silane treatment of bagasse fiber for reinforcement of cementitious composites. *Composites: Part A*, 2008, vol 39, nº9, pp. 1488-1495.
- [153] TAPARI. Who are we? [En línea]. *About us*. [Consulta: 28-5-2020]. Disponible en: <https://tapari.co.uk/about-us/>

- [154] TAPARI. All Leaf Dishes. [En línea]. [Consulta: 28-5-2020]. Disponible en: <https://tapari.co.uk/product-category/leaf-dishes-tapari/>
- [155] TAPARI. How Are The Leaf Dishes Made? [En línea]. 23 de febrero de 2018. [Consulta: 28-5-2020]. Disponible en: <https://tapari.co.uk/how-leafplates-are-made/>
- [156] SHARMA, Lila Nath, SHRESTHA, Krishna B., MAREN, Inger Elisabeth. Tree regeneration in gap-understory mosaics in a subtropical *Shorea robusta* (Sal) forest. *Journal of Forestry Research*, 2019, vol 30, pp. 2061-2068.
- [157] SHAIKH, Wasim Akram, CHAKRABORTY, Sukalyan, ISLAM, Rafique Ul. Photocatalytic degradation of rhodamine B under UV irradiation using *Shorea robusta* leaf extract-mediated bio-synthesized silver nanoparticles. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2020, vol 17, pp. 2059-2072.
- [158] TAPARI. Benefits and usage of Leaf Plates. [En línea]. 21 de septiembre de 2018. [Consulta: 25-5-2020]. Disponible en: <https://tapari.co.uk/benefits-and-usage-of-leaf-plates-tapari/>
- [159] COTRINA, Sonia, CHÁVEZ, Paulo, GARCÍA, Renzo, MORÁN, Ana, SALGADO, Jhon, y SEMINARIO, Lesly. Diseño y prueba piloto de un modelo de capacitación en el aprovechamiento de la cascarilla de arroz a través de la elaboración de envases biodegradables en San Lorenzo. [En línea]. Proyecto BioCasPack, Universidad de Piura. 19 de noviembre de 2016. [Consulta: 12-6-2020]. Disponible en: <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/2829>
- [160] BUSSMAN, Rainer W., y GLENN, Ashley. Medicinal plants used in Northern Peru for reproductive problems and female health. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 2010, vol 10, nº30.
- [161] KROEFLY CONTRERAS, Ángel, ROBLES FÉLIX, Brenda, y VARGAS DELGADO, Eduardo. Prototipo de plato desechable biodegradable a partir de la corona de la piña (*Ananas comosus*). [En línea]. *Universidad Iberoamericana de Puebla*. Noviembre de 2018. [Consulta: 11-6-2020]. Disponible en: <https://repositorio.iberopuebla.mx/handle/20.500.11777/4113>
- [162] BOLIO-LÓPEZ, Gloria Ivette, ROSS-ALCUDIA, Rubí Esmeralda, VELEVA, Lucien, AZAMAR BARRIOS, José Antonio, CADENAS MADRIGAL, Genaro, HERNÁNDEZ-VILLEGAS, Manuel Mateo, DE LA CRUZ BURELO, Patricia, y SÁNCHEZ CÓRDOVA, Samuel. Extraction and Characterization of Cellulose from Agroindustrial Waste of Pineapple (*Ananas comosus* L. Merrill) Crowns. *Chemical Science Review and Letters*, 2016, vol 5, nº17, pp. 198-204.

[163] NAKKEERAN, S. A Review Paper on Biodegradable Tableware Using Sugarcane Bagasse. *International Journal of Psychosocial Rehabilitation*, 2019, vol 23, nº4, pp. 63-70.

[164] SOOTS, Kaarel, OLT, Andres, y OLT, Jüri. Manufacturing technology and mechanical properties of biodegradable tableware made from cereal bran. *Conference: Actual Tasks On Agricultural Engineering, Croacia*, 2019, vol 47, pp. 445-452.

[165] YUAN, Yifu, SUN, Yan, LI, Muxuan, SUN, Yuhan, ZHANG, Runan, SUN, Fang, MAO, An, LI, Qi, y ZHANG, Jiabin. Study on Performance of Bio-based Adhesive for Bonding Tree Leaves. *American Journal of Agriculture and Forestry*, 2019, vol 7, nº6, pp. 297-303.

[166] 3DNATIVES. ¿Qué tan «ecológico» es realmente el filamento PLA? [En línea]. *Actualidad materiales 3D*. 23 de julio de 2019. [Consulta: 16-6-2020]. Disponible en: <https://www.3dnatives.com/es/ecologico-realmente-filamento-pla-230720192/>

[167] INSTITUTO CANARIO DE ESTADÍSTICA. Producción agrícola según cultivos por islas de Canarias y años. [En línea]. [Consulta: 16-6-2020]. Disponible en: <http://www.gobiernodecanarias.org/istac/jaxi-istac/tabla.do?uripx=urn:uuid:578aa839-c896-413a-86cc-5fb92f39b3b9&uripub=urn:uuid:ef5f2e5c-e2c4-4c1d-b5ed-c20fe946ce6f>

[168] LIFE BAQUA. *Motivación*. [En línea]. [Consulta: 16-6-2020]. Disponible en: <https://lifebaqua.eu/index.php/es/12-espanol-es/31-motivation-en>

[169] ELORTEGUI ESCARTÍN, N., JARABO FRIEDRICH, F., PÉREZ DOMÍNGUEZ, C., y DÍAZ RODRÍGUEZ, F. Tratamiento anaerobio de residuos de platanera. [En línea]. *Departamento de Química Técnica, Universidad de La Laguna, Tenerife*. [Consulta: 16-6-2020]. Disponible en: <http://www.grupoblascabrera.org/webs/ficheros/08%20Bibliograf%C3%ADa/08%20Renovables/56%20Tratamiento%20anaerobio%20residuos%20platanera.pdf>

[170] JARABO FRIEDRICH, F., y FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, J. *Energías Alternativas Renovables: ¿un Futuro Para Canarias?* La Laguna: Universidad de La Laguna, 1983. Colección Minor; 2.

[171] ÁLVAREZ RÍOS, Sergio. Aprovechamiento de subproductos de la platanera para alimentación animal. [En línea]. *Instituto Canario de Investigaciones Agrarias*. Octubre, 2010. [Consulta: 16-6-2020]. Disponible en: <https://www.icia.es/biomusa/pt/jornadas-y-actividades-pt/primeras-jornadas-de-transferencia-de-idi/19-de-octubre-de-2010-tercera-sesion/25-aprovechamiento-de-subproductos-sergio-alvarez/file>

[172] HERNÁNDEZ Y HERNÁNDEZ, Sebastián. La platanera en la alimentación del ganado. [En línea]. *HOJAS DIVULGADORAS, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*. 1946. [Consulta: 16-6-2020]. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1946_06.pdf

[173] RODRÍGUEZ LUPIÁÑEZ, Germán. Cultivo de la platanera. [En línea]. *HOJAS DIVULGADORAS, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*. 1967. [Consulta: 16-6-2020]. Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas>

[174] España. Decreto 2484/1967, de 21 de septiembre, por el que se aprueba el texto del Código Alimentario Español. [En línea]. Boletín Oficial del Estado, 17 de octubre de 1967, núm. 248, pp. 14180-14187. [Consulta: 24-6-2020]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1967-16485>

[175] CORBELLA PARDO, Carmen. Ecoplatos. Platos desechables fabricados con residuos vegetales (Trabajo de Fin de Grado). *Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología de la Universidad de La Laguna*, 2018.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS FIGURAS Y TABLAS

- [I] PÉREZ, Yolanda. Timeline plastics [En línea]. *Pinterest*. [Consulta: 5-6-2020]. Disponible en: <https://www.pinterest.es/pin/384565255656773143/>
- [II] ANARPLA y CICLOPLAST. Cifras y Datos Clave de los Plásticos y su Reciclado en España. [En línea]. 2017. [Consulta: 5-6-2020]. Disponible en: http://www.cicloplast.com/ftp/cifras_datos_clave_plasticos_y_su_reciclado_en_espana.pdf
- [III] WORLD WILDLIFE FUND. Cambia tus hábitos y lucha contra el plástico en tu día a día. [En línea]. [Consulta: 5-6-2020]. Disponible en: https://www.wwf.es/nuestro_trabajo/naturaleza_sin_plasticos/plasticos_de_un_solo_uso/
- [IV] PYKE, Lori. Plastic Soup. [En línea]. *National Geographic España: Planeta o Plástico*. [Consulta: 5-6-2020]. Disponible en: <https://www.nationalgeographic.com.es/temas/planeta-o-plastico/fotos/1/2>
- [V] COSKUN, Sebnem. Trash. [En línea]. *National Geographic España: Planeta o Plástico*. [Consulta: 5-6-2020]. Disponible en: <https://www.nationalgeographic.com.es/temas/planeta-o-plastico/fotos/1/2>
- [VI] CANCALOSI, John. Cigüeña atrapada en una bolsa. [En línea]. *National Geographic España: Planeta o Plástico*. [Consulta: 5-6-2020]. Disponible en: <https://www.nationalgeographic.com.es/temas/planeta-o-plastico/fotos/1/2>
- [VII] LEHMANN, Brian. Hienas en un vertedero. [En línea]. *National Geographic España: Planeta o Plástico*. [Consulta: 5-6-2020]. Disponible en: <https://www.nationalgeographic.com.es/temas/planeta-o-plastico/fotos/1/2>
- [VIII] LIVE LOVE FRUIT. Breathing in Microplastic: The Newest Form of Air Pollution Destroying Our Lungs. [En línea]. 7 de mayo 2019. [Consulta: 5-6-2020]. Disponible en: <https://livelovefruit.com/breathing-in-microplastic/>
- [IX] DKV SALUD. Diez consejos para reducir tu consumo de plástico. [En línea]. *economiadehoy.es*. [Consulta: 5-6-2020]. Disponible en: <https://www.economiadehoy.es/10-consejos-para-reducir-el-consumo-de-plastico-en-nuestro-dia-a-dia>
- [X] THE OCEAN CLEANUP. The Interceptor. [En línea]. *Twitter*. 6 de noviembre de 2019. [Consulta: 5-6-2020]. Disponible en: <https://twitter.com/theoceancleanup/status/1192109846230978562>

[XI] EUROPA PRESS. 'Mr. Trash Wheel', el barco que ha limpiado más de 540 toneladas de basura del puerto de Baltimore. [En línea]. MEDIO AMBIENTE. 13 de marzo de 2017. [Consulta: 5-6-2020]. Disponible en: <https://m.europapress.es/sociedad/medio-ambiente-00647/noticia-mr-trash-wheel-barco-limpiado-mas-540-toneladas-basura-puerto-baltimore-20170313144430.html>

[XII] BOSCH, Ricardo. Voluntarios colaborando con la limpieza de las playas tinerfeñas. [En línea]. *Diario de Avisos*. 'Canarias Libre de Plásticos': un amor por el mar convertido en proyecto (Artículo de Leticia Díaz). 19 de junio de 2018. [Consulta: 5-6-2020]. Disponible en: <https://diariodeavisos.elespanol.com/2018/06/canarias-libre-de-plasticos-un-amor-por-el-mar-convertido-en-proyecto/>

[XIII] RESIDUOS PROFESIONAL. Ninguna planta de reciclado mecánico de plásticos autorizada ha sufrido un incendio en seis años, asegura Anarpla. [En línea]. 1 de abril de 2019. [Consulta: 5-6-2020]. Disponible en: <https://www.residuosprofesional.com/incendios-plantas-reciclado-plasticos/>

[XIV] RUIDO SOSTENIBLE. Trabajos destacados: Estudio Acústico de Planta de reciclaje mecánico de plásticos. [En línea]. 25 de octubre de 2016. [Consulta: 5-6-2020]. Disponible en: <http://ruidosostenible.es/2016/10/25/trabajos-destacados-estudio-acustico-planta-reciclaje-mecanico-plasticos/>

[XV] RESIDUOS PROFESIONAL. El reciclado químico permitirá reutilizar los residuos de poliuretano como materia prima y evitar su vertido. [En línea]. 28 de marzo de 2019. [Consulta: 5-6-2020]. Disponible en: <https://www.residuosprofesional.com/reciclado-quimico-poliuretano-foam2foam/>

[XVI] CONSTRUIBLE.ES. La planta de reciclaje químico del país asiático Timor-Leste propiciará la economía circular de los desechos plásticos. [En línea]. *Materiales Sostenibles*. 23 de mayo de 2019. [Consulta: 5-6-2020]. Disponible en: <https://www.construible.es/2019/05/23/planta-reciclaje-quimico-imor-leste-permitira-crear-economia-circular-desechos-plasticos>

[XVII] SOGAMA CIRCULAR. La valorización energética de los plásticos es el mejor complemento al reciclado. [En línea]. Actualidad. 12 de abril de 2016. [Consulta: 5-6-2020]. Disponible en: <http://www.sogama.gal/es/noticia/la-valorizacion-energetica-de-los-plasticos-es-el-mejor-complemento-al-reciclado>

[XVIII] PLASTICS EUROPE. Reciclado y recuperación energética. [En línea]. [Consulta: 5-6-2020]. Disponible en: <https://www.plasticseurope.org/es/focus-areas/circular-economy/zero-plastics-landfill/recycling-and-energy-recovery>

[XIX] NATIONAL GEOGRAPHIC. National Geographic y la lucha contra el plástico. [En línea]. 8 de junio de 2018. [Consulta: 5-6-2020]. Disponible en: https://www.nationalgeographic.com.es/mundo-ng/actualidad/national-geographic-y-lucha-contra-plastico_12710

[XX] ELECONOMISTA.ES. Lidl usará bolsas biocompostables para fruta y verdura y eliminará las de plástico. [En línea]. *Empresas y finanzas*. 3 de junio de 2019. [Consulta: 9-6-2020]. Disponible en: <https://www.eleconomista.es/empresas-finanzas/noticias/9917759/06/19/Lidl-sustituye-las-bolsas-de-plastico-para-fruta-y-verdura-por-otras-biocompostables.html>

[XXI] MORRIS, Lulu. Dit tienermeisje maakte een plastic tas van garnalen. [En línea]. *National Geographic Nederland*. 24 de septiembre de 2018. [Consulta: 9-6-2020]. Disponible en: <https://www.nationalgeographic.nl/stop-met-plastic/2018/09/dit-tienermeisje-maakte-een-plastic-tas-van-garnalen>

[XXII] WANG, Qigang, MYNAR, Justin L., YOSHIDA, Masaru, LEE, Myongsoo, OKURO, Kou, KINBARA, Kazushi, y AIDA, Takuzo. High-water-content mouldable hydrogels by mixing clay and a dendritic molecular binder. *Nature*, 2010, vol 463, pp. 339-343.

[XXIII] ZHAO, Xiaoying, CORNISH, Katrina, y VODOVOTZ, Yael. Narrowing the Gap for Bioplastic Use in Food Packaging: An Update. *Environmental Science & Technology*, 2020, vol 54, pp. 4712-4732.

[XXIV] ECODISEÑO. Holy Lama Naturals. [En línea]. [Consulta: 9-6-2020]. Disponible en: <https://ecodiseno.tumblr.com/post/91520058052/holy-lama-naturals-holy-lama-naturals>

[XXV] BOMGARDNER, Melody M. Funding Mushrooms For Ecovative Design. [En línea]. *Chemical & Engineering News*. 21 de octubre de 2013. [Consulta: 9-6-2020]. Disponible en: <https://cen.acs.org/articles/91/i42/Funding-Mushrooms-Ecovative-Design.html>

[XXVI] CRAFT BREWING BUSINESS. Biodegradable, compostable, plastic-free E6PR can handles (Eco Six Pack Rings) get official mass scale launch. [En línea]. 7 de febrero de 2018. [Consulta: 9-6-2020]. Disponible en: <https://www.craftbrewingbusiness.com/packaging-distribution/biodegradable-compostable-plastic-free-e6pr-eco-six-pack-rings-can-handles-get-official-mass-scale-product-launch/>

[XXVII] LUXIDERS. Ooho! Eat water my friend! [En línea]. [Consulta: 9-6-2020]. Disponible en: <https://luxiders.com/es/ooho-comer-agua/>

[XXVIII] XING, Yangang, BREWER, Matthew, EL-GHARABAWY, Hoda, GRIFFITH, Gareth, y JONES, Phil. Growing and testing mycelium bricks as building insulation materials. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018, vol 121, nº 2.

[XXIX] CERRILLO, Antonio. El Parlamento europeo propone prohibir los plásticos de usar y tirar. [En línea]. *La Vanguardia*. Barcelona, 24 de octubre de 2018. [Consulta: 9-6-2020]. Disponible en: <https://www.lavanguardia.com/natural/20181024/452535415567/plastico-de-un-solo-uso.html>

[XXX] KLIMER. La auténtica colección de envases 100% Biodegradables ya está en Klimer. [En línea]. *VISTETUSPLATOS*. 23 de mayo de 2018. [Consulta: 9-6-2020]. Disponible en: <http://vistetusplatos.com/la-autentica-coleccion-de-envases-100-biodegradables-ya-esta-en-klimer/>

[XXXI] LIFEPAK. Plato germinable. [En línea]. [Consulta: 9-6-2020]. Disponible en: <https://lifepack.com.co/producto/plato-germinable-pequeno/>

[XXXII] LEAF REPUBLIC. Helft uns bitte weiter - wo würdet ihr unsere Produkte auf einem Display am liebsten sehen? [En línea]. *facebook.com*. 14 de diciembre de 2017. [Consulta: 9-6-2020]. Disponible en: <https://es-la.facebook.com/leafrepublic/posts/1755202584498088>

[XXXIII] LEAF REPUBLIC. "Design is the appropriate combination of materials in order to solve a problem". [En línea]. *facebook.com*. 19 de marzo de 2017. [Consulta: 9-6-2020]. Disponible en: <https://es-la.facebook.com/leafrepublic/posts/1469888693029480>

[XXXIV] AGROALIMENTANDO. Platos biodegradables hechos con hojas naturales que se descomponen en 28 días. [En línea]. [Consulta: 9-6-2020]. Disponible en: https://agroalimentando.com/nota.php?id_notas=4913

[XXXV] TAPARI. How Are Leaf Dishes Made? [En línea]. *Blog*. 23 de febrero de 2018. [Consulta: 9-6-2020]. Disponible en: <https://tapari.co.uk/how-leafplates-are-made/>

[XXXVI] COTRINA, Sonia, CHÁVEZ, Paulo, GARCÍA, Renzo, MORÁN, Ana, SALGADO, Jhon, y SEMINARIO, Lesly. Diseño y prueba piloto de un modelo de capacitación en el aprovechamiento de la cascarilla de arroz a través de la elaboración de envases biodegradables en San Lorenzo. [En línea]. Proyecto BioCasPack, Universidad de Piura. 19 de noviembre de 2016. [Consulta: 12-6-2020]. Disponible en: <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/2829>

[XXXVII] KROEFLY CONTRERAS, Ángel, ROBLES FÉLIX, Brenda, y VARGAS DELGADO, Eduardo. Prototipo de plato desechable biodegradable a partir de la corona de la piña (Ananas comosus). [En línea]. *Universidad Iberoamericana de Puebla*. Noviembre de 2018. [Consulta: 11-6-2020]. Disponible en: <https://repositorio.iberopuebla.mx/handle/20.500.11777/4113>

[XXXVIII] SOOTS, Kaarel, OLT, Andres, y OLT, Jüri. Manufacturing technology and mechanical properties of biodegradable tableware made from cereal bran. *Conference: Actual Tasks On Agricultural Engineering, Croacia, 2019*, vol 47, pp. 445-452.

[XXXIX] CORBELLA PARDO, Carmen. ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales (Trabajo de Fin de Grado). *Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología de la Universidad de La Laguna*, 2018.