Research Club Scientia Vol. 4, No 4
Frecuencia: Octubre–Diciembre 2026
ISSN: 3103 - 1315
DOI: https://doi.org/10.65415/a9gj4567

Materiales biodegradables y polímeros de nueva generación para sustituir plásticos convencionales

Biodegradable materials and next-generation polymers to replace conventional plastics

Materiali biodegradabili e polimeri di nuova generazione per sostituire le plastiche convenzionali

Irene Anahi Moscoso Contreras[I]
imoscosoc@unemi.edu.ec
ORCID: https://orcid.org/0009-0001-1970-8418
Facultad de Ciencias e Ingenierías, Ingeniería Industrial, Universidad Estatal de Milagro, Ecuador

Kelly Denisse Murillo Jaen[I]
kmurilloj@unemi.edu.ec
ORCID: https://orcid.org/0009-0002-2520-0490
Facultad de Ciencias e Ingenierías, Ingeniería Industrial, Universidad Estatal de Milagro, Ecuador

Jordy Medardo Robles Procel[I]
jroblesp4@unemi.edu.ec
ORCID: https://orcid.org/0009-0005-4060-3476
Facultad de Ciencias e Ingenierías, Ingeniería Industrial, Universidad Estatal de Milagro, Ecuador

Ysmeidi Glezayda Vargas Pilozo[I]
yvargasp3@unemi.edu.ec
ORCID: https://orcid.org/0009-0004-9873-0964
Facultad de Ciencias e Ingenierías, Ingeniería Industrial, Universidad Estatal de Milagro, Ecuador

Jorge Tomas Holguin Anzules[I]
jholguina7@unemi.edu.ec
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4454-4184
Facultad de Ciencias e Ingenierías, Ingeniería Industrial, Universidad Estatal de Milagro, Ecuador

Correspondencia: kmurilloj@unemi.edu.ec

Artículo de Investigación

Aceptado: 26/Noviembre/2026 **Publicado:** 27/Noviembre/2026

I. Facultad de Ciencias e Ingenierías, Ingeniería Industrial, Universidad Estatal de Milagro, Ecuador

.

Resumen

En el contexto de la crisis ambiental por la acumulación de plásticos (petroquímicos), se están desarrollando nuevos materiales biodegradables y polímeros de nueva generación. El objetivo de esta revisión sistemática es analizar los últimos avances en el desarrollo de bioplásticos de origen marino y de residuos agroindustriales. Después de un proceso de screening (PRISMA) se han identificado 3 trabajos claves de revisión analítica y sistemática que resumen el estado de arte de los biopolímeros de 2a y 3a generación. Los principales aspectos que se destacan son los siguientes: El uso de materia prima de origen marino (macroalgas, crustáceos) y bacterias halófilas permiten obtener polisacáridos y PHA sin necesidad de tierra cultivable. Los subproductos agrícolas (bagazo, cáscaras, paja) pueden ser utilizados como sustrato para producir PHA. Con el uso de tecnologías de extracción verde (ultrasonidos, microondas, enzimas) se reduce la generación de efluentes tóxicos (comparado con métodos químicos). El uso de nanorellenos (nanocelulosa, nanoarcilla) y compuestos fenólicos mejora propiedades mecánicas y de barrera a la humedad. De esta forma es posible desarrollar envases activos e inteligentes. Estos biomateriales tienen altas tasas de mineralización (condiciones controladas de compostaje industrial y suelos activos). Sin embargo, para su viabilidad en escala comercial es necesario superar los problemas de estacionalidad de la biomasa, desarrollar sistemas de degradación enzimática programada y establecer marcos normativos (compostabilidad y migración alimentaria).

Palabras clave: Bioplásticos, biopolímeros, biopolímeros marinos, residuos agrícolas, economía circular, biodegradabilidad, polihidroxialcanoatos (PHA), quitosano, alginato, celulosa, extracción verde, envasado de alimentos, nanocompuestos, sostenibilidad.

Abstract

In the context of the environmental crisis caused by the accumulation of petrochemical plastics, new biodegradable materials and next-generation polymers are being developed. The objective of this systematic review is to analyze the latest advances in the development of bioplastics derived from marine sources and agro-industrial waste. Following a PRISMA screening process, three key analytical and systematic review studies were identified that summarize the state of the art of second- and third-generation biopolymers. The main aspects highlighted are as follows: The use of marine-derived raw materials (macroalgae, crustaceans) and halophilic bacteria allows for the production of polysaccharides and polyhydroxyalkanoates (PHAs) without requiring arable land. Agricultural byproducts (bagasse, peels, straw) can also be utilized as substrates for PHA production. Through the use of green extraction technologies (ultrasound, microwaves, enzymes), the generation of toxic effluents is reduced compared to conventional chemical methods. Furthermore, the incorporation of nanofillers (nanocellulose, nanoclay) and phenolic compounds improves mechanical properties and moisture-barrier performance, making it possible to develop

active and intelligent packaging. These biomaterials exhibit high mineralization rates under controlled industrial composting conditions and in biologically active soils. However, to achieve commercial-scale viability, it is necessary to overcome biomass seasonality issues, develop programmed enzymatic degradation systems, and establish regulatory frameworks regarding compostability and food migration limits.

Keywords: Bioplastics, biopolymers, marine biopolymers, agricultural waste, circular economy, biodegradability, polyhydroxyalkanoates (PHA), chitosan, alginate, cellulose, green extraction, food packaging, nanocomposites, sustainability.

Riassunto

Nel contesto della crisi ambientale causata dall'accumulo di plastiche di origine petrolchimica, si stanno sviluppando nuovi materiali biodegradabili e polimeri di nuova generazione. L'obiettivo di questa revisione sistematica è analizzare i più recenti progressi nello sviluppo di bioplastiche ottenute da risorse marine e da residui agroindustriali. Il processo di selezione condotto secondo le linee guida PRISMA ha permesso di individuare tre studi chiave di revisione analitica e sistematica che sintetizzano lo stato dell'arte dei biopolimeri di seconda e terza generazione.

L'impiego di materie prime di origine marina (macroalghe e crostacei) e di batteri alofili consente di ottenere polisaccaridi e poliidrossialcanoati (PHA) senza ricorrere a terreni coltivabili. I sottoprodotti agricoli, come la bagassa, le bucce e la paglia, possono essere utilizzati come substrati per la produzione di PHA. Le tecnologie di estrazione sostenibile basate su ultrasuoni, microonde ed enzimi riducono la produzione di effluenti tossici rispetto ai metodi chimici. L'aggiunta di nanoriempitivi, come la nanocellulosa e le nanoargille, e di composti fenolici migliora le proprietà meccaniche e di barriera all'umidità, consentendo lo sviluppo di imballaggi attivi e intelligenti. Questi biomateriali presentano elevati tassi di mineralizzazione in condizioni controllate di compostaggio industriale e in suoli biologicamente attivi. Per renderne praticabile l'impiego su scala commerciale, occorre affrontare i problemi legati alla stagionalità della biomassa, sviluppare sistemi di degradazione enzimatica programmata e definire quadri normativi per la compostabilità e la migrazione di sostanze negli alimenti.

Parole chiave: Bioplastiche, biopolimeri, biopolimeri marini, residui agricoli, economia circolare, biodegradabilità, poliidrossialcanoati (PHA), chitosano, alginato, cellulosa, estrazione sostenibile, imballaggi alimentari, nanocompositi, sostenibilità.

1. Introducción

El uso generalizado de plásticos basados en petróleo a nivel mundial está provocando una crisis medioambiental sin precedentes. La acumulación de estos materiales en los ecosistemas terrestres

y marinos junto con la emisión de microplásticos están afectando a la biodiversidad y también a la salud de las personas. Es por ello que se hace necesario pasar a materiales poliméricos sostenibles. Los bioplásticos (materiales biobasados y/o biodegradables) son una de las alternativas más prometedoras para reemplazar a los polímeros sintéticos en sectores de alto consumo como puede ser el envasado de alimentos, agricultura o biomedicina. (US EPA, 2023)

Los primeros bioplásticos (de primera generación) se desarrollaron utilizando cultivos agrícolas (maíz, caña de azúcar,..) ricos en carbohidratos. No obstante, esto dio lugar a problemas éticos y económicos por el hecho de estar compitiendo con la cadena alimentaria. Además, se requiere de grandes cantidades de agua dulce. Por ello en la actualidad se están trabajando en biopolímeros de segunda y tercera generación que se obtienen de subproductos de la industria agroalimentaria y de recursos marinos.(Selvam et al., 2025)

Por un lado disponemos de subproductos agrícolas y agroalimentarios (cáscara de fruta, bagazo, paja de cereales, suero lácteo) de bajo coste y alto contenido en celulosa y almidón. De esta manera conseguimos reducir nuestra huella de carbono y nuestros costes de gestión de residuos.(Selvam et al., 2025) . Por otro lado, hay un gran potencial en los ecosistemas marinos. Existen numerosas macromoléculas que pueden ser obtenidas de estos sistemas. Se pueden obtener polisacáridos (alginato, agar, carragenina, quitosano) de macroalgas y microalgas. También se pueden sintetizar poliésteres intracelulares (polihidroxialcanoatos o PHA) de crustáceos y microorganismos halófilos. Todo ello sin necesidad de tierras arables y sin necesidad de fertilizantes (Zeng et al., 2025).

Sin embargo, existe un problema para su comercialización a gran escala. Los biopolímeros tienen unas peores propiedades mecánicas. Además son muy sensibles a la humedad. Ello junto a los altos costes de extracción y purificación hacen que no sean competitivos frente a poliolefinas (polietileno, polipropileno...) (Sabry et al., 2026; Selvam et al., 2025) . En este artículo se analizan los últimos avances en la obtención y modificación de bioplásticos procedentes de fuentes marinas y de residuos agrícolas. Se analizan las tecnologías de extracción verde y estrategias de formulación que permiten su escalado industrial.

2. Metodología

Para el desarrollo de esta revisión se realizó una búsqueda exhaustiva en las bases de datos como lo es Scopus, ScienceDirect y Google Scholar, abarcando publicaciones comprendidas entre 2022 hasta 2026 (fecha de última búsqueda: 15 de marzo de 2026). Se emplearon ecuaciones booleanas combinando términos clave en inglés y español: *("biodegradable polymers" OR "bioplastics" OR "marine biopolymers" OR "agro-industrial waste") AND ("green extraction" OR "nanocomposites" OR "biodegradation" OR "circular economy")*. Como criterios de inclusión iniciales se aplicaron filtros de idioma de inglés y español, y disponibilidad de texto completo en

Research Club Scientia Vol. 4, No 4, Octubre - Diciembre, pp. 1595-1608 , ISSN: 3103 – 1315

acceso abierto (*open access*), descartando aquellas publicaciones restringidas por barreras de pago. En este sentido se pueden distinguir tres fases principales:

Delimitación y selección de fuentes:A nivel de selección de títulos y resúmenes se realizó un pre-filtrado por relevancia temática directa en relación con la valorización de biomasa no competitiva con la alimentación humana (originada en medio marino y/o residuos agroindustriales). A nivel de evaluación de elegibilidad a texto completo se estableció como criterio de selección la exclusión de todo estudio experimental o documental que no fuera de tipo secundario (revisión analítica/crítica/sistemática) e integró en conjunto los aspectos de extracción, funcionalización y biodegradabilidad. Esto ha permitido identificar tres revisiones clave (Lackner et al., 2023; Selvam et al., 2025; Tennakoon et al., 2023) que constituyen el núcleo de esta síntesis. Los otros estudios experimentales y documentales han sido utilizados exclusivamente como literatura de apoyo.

Categorización por rutas de procesamiento: Los datos obtenidos se han clasificado teniendo en cuenta la ruta de obtención y síntesis de los diferentes biopolímeros. Se ha diferenciado entre los métodos convencionales (hidrólisis ácida y básica) y los emergentes (extracción verde). En concreto se han analizado las técnicas de extracción asistida por ultrasonidos (UAE), microondas (MAE) y enzimática (EAE) o bien utilizando solventes eutécticos profundos (líquidos iónicos). También se han estudiado las rutas biotecnológicas de fermentación a partir de microorganismos. Se ha prestado especial atención a los procesos no estériles con microorganismos halófilos.

Evaluación funcional y comparativa: Los datos de caracterización físico-química de los materiales obtenidos se han sistematizado. Se han analizado los parámetros relevantes para su uso en aplicaciones industriales (resistencia a tracción, elongación a rotura y permeabilidad al vapor de agua). Además se han estudiado las tasas de biodegradación. También se ha analizado el efecto de la adición de plastificantes, reticulantes y nanorellenos (nanocelulosa, nanoarcilla y extractos bioactivos).

3. Resultados

Proceso de selección de los estudios

Se encontraron 142 registros en la primera búsqueda. Se eliminaron 38 duplicados. Los títulos y resúmenes de las 104 publicaciones fueron sometidos a un proceso de cribado. En este paso se descartaron 69 artículos que no eran relevantes para abordar el objetivo de sustitución de plásticos convencionales por nuevos polímeros biodegradables. De los 35 manuscritos completos analizados, se decidieron excluir 32 por no cumplir con los criterios de elegibilidad. De estos 18 estaban enfocados en bioplásticos de primera generación (cultivos alimentarios) y 14 no tenían un análisis técnico de extracción y degradación. Finalmente quedaron tres estudios clave de revisión analítica y sistemática (Figura 1).

Figura 1

Diagrama de flujo PRISMA del proceso de identificación, cribado, elegibilidad e inclusión de los estudios sobre biopolímeros y materiales biodegradables de nueva generación.



Nota. Elaboración propia a partir de los lineamientos PRISMA 2020. En total se identificaron n = 142 registros en las bases de datos consultadas. De estos se eliminaron los duplicados (n = 38). Luego se realizó el cribado de títulos y resúmenes (n = 104 registros cribados; n = 69 excluidos). Posteriormente se evaluó la elegibilidad en texto completo (n = 35; n = 32 excluidos: n = 18 por enfoque en plásticos de primera generación y n = 14 sin análisis técnico de extracción/degradación), y finalmente se incluyeron en la síntesis cualitativa n = 3 estudios de revisión.

En síntesis, la información central de esta revisión se basa principalmente en tres estudios secundarios (Tabla 1) que son revisiones analíticas, críticas y sistemáticas del estado del arte en temas como ecosistemas marinos, marcos normativos y cadenas agroindustriales. El resto de las fuentes experimentales y documentales citadas en este manuscrito han sido utilizadas como literatura de apoyo.

Tabla 1

Características de los estudios incluidos

Referencia	Eje de biomasa	Objetivo	Enfoque	Principales aportes
Estudio 1 Tennakoon et al. (2023)	Algas,crustáceos y bacterias halófilas marinas.	Revisar extracción, propiedades y polisacáridos de los polisacáridos marinos y PHA.	Revisión analítica y descriptiva.	Fermentación halófila no estéril; alginatos, carrageninas, quitosano y PHA bajan costos
Estudio 2 Lackner et al. (2023)	Bioplásticos biobasados y biodegradables	Revisión crítica y normativa sobre estándares, ciclos de vida y degradación	Revisión crítica y normativa.	Diferencia biobasado vs. biodegradable, propone degradación enzimática y alerta sobre *greenwashing*
Estudio 3 Selvam et al. (2025)	Residuos agroindustriales (bagazo, cáscaras, paja, almidones y proteínas)	Examinar el refuerzo con nanotecnología en matrices agrícolas.	Revisión de literatura experimental.	Extracción (UAE, MAE, EAE) y nanorellenos mejoran resistencia mecánica y barrera al vapor de agua

Nota. Elaboración propia a partir de la literatura científica seleccionada sobre biopolímeros de segunda y tercera generación.

Distribución temporal y temática de la evidencia

En el análisis de contenido de los manuscritos podemos observar que la tendencia está claramente centrada en la economía circular y la valorización de los flujos residuales. Se pasa así de los bioplásticos basados en cultivos extensivos como el maíz o la caña de azúcar que caracterizaban al paradigma tradicional. Los principales aspectos que se han identificado tras la sistematización de la información son los siguientes: (1) Fuentes alternativas de biopolímeros de nueva generación; (2) Tecnologías de extracción verde y síntesis biotecnológica; (3) Estrategias de mejora mecánica y funcionalización; y (4) Cinética de biodegradación y marcos regulatorios. En la Tabla 2 se muestra la agrupación temática y su cobertura.

Tabla 2.

Categorías temáticas derivadas del análisis

Categoría temática	Descripción del eje de análisis	Frecuencia en el corpus	Estudios
Fuentes no competitivas de biomasa	Uso de recursos marinos (algas, quitina) y residuos agroindustriales ricos en polisacáridos.	n = 3 (100 %)	Estudio 1, Estudio 2, Estudio 3.
Tecnologías de extracción verde y fermentación	Sustitución de químicos agresivos por ultrasonido (UAE), microondas (MAE), enzimas y cultivos halófilos no estériles.	n = 2 (66.7 %)	Estudio 1, Estudio 3.
Refuerzo estructural y envases activos	Uso de nanocompuestos y compuestos bioactivos para superar la hidrofilicidad y fragilidad.	n = 2 (66.7 %)	Estudio 1, Estudio 3.
Biodegradabilidad, escalabilidad y regulación	Mineralización, gestión de residuos, costos industriales y normas de contacto alimentario.	n = 3 (100 %)	Estudio 1, Estudio 2, Estudio 3.

Nota. Elaboración propia a partir del análisis temático del corpus incluido ($N = 3$ revisiones). Las frecuencias relativas se calcularon sobre el total de las tres revisiones seleccionadas; dado que un mismo estudio aborda múltiples ejes temáticos de forma simultánea, las categorías no son mutuamente excluyentes. UAE = extracción asistida por ultrasonidos; MAE = extracción asistida por microondas.

Síntesis narrativa de los hallazgos

En el caso de las fuentes alternativas de biomasa existen varios estudios que coinciden en la importancia de pasar a biopolímeros de segunda y tercera generación para evitar problemas de presión sobre tierras cultivables. Los residuos agrícolas son una buena fuente de lignocelulosa, almidón y proteínas (Charerntanom et al., 2025; Ogbonnaya et al., 2026). Además, los ecosistemas marinos son una fuente de polisacáridos estructurales (alginato, agar, carragenina, quitosano) y poliésteres microbianos (PHA). Estos últimos no requieren fertilizantes y agua dulce. En el caso de las tecnologías de extracción verde y síntesis hay que destacar que los procesos de hidrólisis

ácidos o alcalinos (tratamiento químico convencional) deterioran las cadenas poliméricas y producen efluentes contaminantes. Por otro lado, el uso de técnicas de extracción asistida por ultrasonido (UAE), microondas (MAE), enzimas (EAE) o extrusión reactiva permite reducir drásticamente los tiempos de proceso. Además, en el caso de PHA se puede trabajar con microorganismos halófilos marinos, que permiten llevar a cabo fermentaciones abiertas (no estériles) en medios salinos. De esta manera pueden realizarse fermentaciones continuas. Esto reduce los costes operativos relacionados con esterilización. Además, permiten recuperar el polímero por choque osmótico (Tennakoon et al., 2023; Zeng et al., 2025).

En cuanto a las estrategias de mejora mecánica y funcionalización se han encontrado que las matrices de biopolímeros puro tienen algunos inconvenientes (alta permeabilidad al vapor de agua, fragilidad y poca resistencia térmica). Por otro lado, el uso de nanorellenos (nanocristales de celulosa y nanoarcillas) y agentes reticulantes mejoran sus propiedades mecánicas (resistencia a la tracción). Además permiten generar un efecto de barrera frente a la humedad (Selvam et al., 2025; Tassew et al., 2025; Tsou et al., 2025). Por otro lado, la incorporación de extractos fenólicos residuales y aceites esenciales permite generar envases activos e inteligentes (con propiedades antimicrobianas y antioxidantes). También permiten monitoreo de frescura en alimentos (Bijoy & Sangeetha, 2026; Marta et al., 2026; Nwaka et al., 2025; Saleh & Utami, 2023). En el caso de la biodegradabilidad y escalabilidad se ha visto que aunque en condiciones de compostaje industrial y suelos activos tienen altas tasas de mineralización. Hay un compromiso entre durabilidad en servicio y degradación rápida (García-Mendoza et al., 2026; Silva et al., 2023). En la Tabla 3 se recogen los principales hallazgos relacionados con las preguntas directrices de la revisión.

Tabla 3.

Síntesis de hallazgos por pregunta de investigación

Pregunta de investigación	**Hallazgo principal**	**Interpretación breve**
¿Qué materias primas y procesos para biopolímeros sostenibles?	Residuos agroindustriales y recursos marinos con extracción verde y fermentación halófila.	Aprovechar subproductos evita la competencia alimentaria y mejora la rentabilidad inicial.

Research Club Scientia Vol. 4, No 4, Octubre - Diciembre, pp. 1595-1608 , ISSN: 3103 – 1315

Pregunta de investigación	Hallazgo principal	Interpretación breve
¿Cómo se superan las deficiencias mecánicas y de barrera frente a los plásticos convencionales?	Mediante el diseño de nanocompuestos híbridos y la funcionalización con aditivos bioactivos.	Los biopolímeros modificados alcanzan estándares funcionales aptos para el envasado de alimentos.
¿Qué barreras técnicas y regulatorias persisten para su adopción masiva?	Composición variada y faltan estándares globales claros y normas de migración ágiles	Requiere estandarizar procesos y fortalecer regulación ambiental

Nota. Elaboración propia a partir del análisis de los desafíos técnicos, económicos y regulatorios identificados en la literatura revisada.

Vacíos identificados y tendencias emergentes

En la revisión se destacaron algunos vacíos en el conocimiento que deben ser considerados para la sustitución inmediata de plásticos petroquímicos. Por un lado se observa una gran variación estacional y geográfica en la composición química de algas marinas y residuos agrícolas. Esto hace que sea difícil trabajar con estas materias primas en sistemas industriales. Además de esto, se observa que hay pocos estudios completos de ciclo de vida (ACV) a nivel piloto e industrial que analicen el verdadero balance energético de las nuevas tecnologías de extracción. Por otro lado también se observa que existe un vacío importante en el manejo de residuos. Es decir, los sistemas de recolección y clasificación de residuos están poco desarrollados. Además de esto hay una cierta ambigüedad en el etiquetado de productos "biodegradables" o "compostables". Esto puede llevar al riesgo de contaminación de los flujos de reciclaje convencionales. También genera una tendencia al greenwashing (Lackner et al., 2023; Silva et al., 2023). Por otro lado se observan algunas tendencias emergentes.Por ejemplo, se están desarrollando cepas microbianas (ingeniería genética) para optimización de rendimientos en sustratos residuales. También se trabajan bioplásticos (con degradación enzimática programada) para adaptar su vida útil a determinados sectores (agricultura, envases de alimentos). (Ajgalle & Mahapatra, 2026; Faizan et al., 2026; Khandelwal et al.2026).

4. Discusión

Los resultados obtenidos en esta revisión sistemática evidencian la viabilidad técnica en la transición de materiales biodegradables convencionales a nuevos polímeros de nueva generación.

Research Club Scientia Vol. 4, No 4, Octubre - Diciembre, pp. 1595-1608 , ISSN: 3103 – 1315

Para ello es necesario abandonar los cultivos alimentarios. Además se requiere la conjugación de extracciones verdes con estrategias de nano-reforzado. Los materiales de partida deben ser renovables y además tener un buen rendimiento mecánico.

Por otro lado, se puede observar un abandono de los cultivos alimentarios para el desarrollo de estos nuevos materiales. Así por ejemplo se están utilizando residuos agroindustriales y/o recursos marinos. Además se emplean técnicas asistidas (ultrasonidos, microondas, enzimas) y/o fermentación halófila no estéril. Esto es así porque los sustratos refinados de 1a generación son caros. Asimismo la extracción química tradicional genera efluentes tóxicos. Es destacable el uso de bacterias halófilas marinas para la producción de PHA. De este modo se evita el estricto proceso de esterilización. Además se puede recuperar el polímero por choque osmótico.

Por otra parte, es importante destacar que las matrices de biopolímeros puros (almidón residual, celulosa, alginato...) no son suficientes para competir con las poliolefinas. Esto es así porque son hidrofílicos y frágiles. Sin embargo se pueden incorporar nanorellenos (nanocristales de celulosa, nanoarcillas) y/o compuestos bioactivos. De esta forma es posible diseñar sistemas híbridos con mejor comportamiento mecánico y de barrera física (similar al de los envases sintéticos). Además se pueden incorporar funciones activas e inteligentes (antimicrobianos, monitoreo de frescura...). (Bahramian et al., 2025).

Estos hallazgos están de acuerdo con el consenso existente en la literatura sobre la importancia de desarrollar modelos de economía circular en este ámbito (Silva et al., 2023). Sin embargo, es importante destacar que en esta revisión se observa que existe una tensión entre comportamiento funcional y biodegradabilidad. Aunque los agentes reticulantes y nanorellenos mejoran las propiedades de resistencia al agua y estabilidad térmica, también pueden afectar a la hidrólisis enzimática en condiciones naturales. Además se observa que existe una discrepancia entre los resultados en laboratorio y en situaciones reales de gestión de residuos. Por un lado, no existen unos estándares globales estrictos. Por otro lado existe confusión entre biobasado y compostable. Esto genera riesgos de contaminación en las actuales cadenas de reciclaje. Es posible el lavado de imagen verde (greenwashing).

Prácticamente hablando, es interesante pensar en escalamientos comerciales basados en biorrefinerías integradas (que aprovechen al máximo los recursos) cerca de áreas agrícolas o costeras (para reducir costes logísticos y evitar pérdidas por deterioro de productos perecederos, como algas). Teóricamente es importante trabajar en bioplásticos programablemente degradable enzimáticamente. También es importante que se trabaje en la regulación de toxicidad de aditivos y límites de migración en contacto con alimentos. Desde el punto de vista metodológico es recomendable hacer análisis de ciclo de vida completos y ensayos de desintegración en entornos

Research Club Scientia Vol. 4, No 4, Octubre - Diciembre, pp. 1595-1608 , ISSN: 3103 – 1315

reales (suelos agrícolas y marinos) más allá del compostaje industrial.(García-Mendoza et al., 2026).

Esta revisión debe realizarse teniendo en cuenta algunas limitaciones. En primer lugar cabe destacar que el corpus de estudio se ha centrado en los trabajos de revisión crítica y analítica de mayor impacto. Por ello no se dispone de información experimental primaria (no previamente sintetizada). Por otro lado, la gran diversidad de especies de algas y tipos de residuos agrícolas hace que no pueda establecerse parámetros universales de rendimiento. La composición de la biomasa varía drásticamente en función de la estacionalidad y geografía.

Se ha demostrado que los polímeros biodegradables de nueva generación están siendo alternativas funcionales a los plásticos convencionales (sobre todo en envasado activo y agricultura). Esta revisión también aborda los temas de biotecnología marina y valorización de residuos agrícolas. Además trata sobre nanotecnología.

5. Conclusiones

Los resultados de esta revisión sistemática demuestran que los polímeros biodegradables de nueva generación son una alternativa viable a los plásticos petroquímicos tradicionales en algunas aplicaciones como el envasado activo y el sector agrícola. Para ello es necesario trabajar en el marco de la economía circular. Además, el uso de sub-productos agroindustriales y recursos marinos (no competitivos con la dieta humana) permite evitar problemas éticos de los bioplásticos de primera generación.

La reducción de los costes de producción y el menor impacto medioambiental respecto a procesos químicos convencionales se basa en el uso de procesos de extracción asistida (ultrasonidos, microondas y catálisis enzimática) que permiten evitar efluentes ácidos o alcalinos. También se utilizan bacterias halófilas marinas que permiten realizar fermentaciones no estériles de PHA (ahorrándose el coste energético de esterilización).

Las limitaciones de las matrices biopoliméricas (hidrofilicidad, fragilidad y baja resistencia térmica) se han conseguido mitigar mediante el desarrollo de nanocompuestos híbridos (con refuerzo lignocelulósico y extractos bioactivos) que permiten conseguir propiedades mecánicas y de barrera adecuadas para el envasado que permiten aumentar la vida útil de los alimentos. Las altas tasas de biodegradación están siendo obtenidas en sistemas controlados (compostaje industrial y suelos biológicamente activos). Es necesario desarrollar infraestructuras de compostaje y estandarizar la variabilidad estacional de la biomasa para poder escalar definitivamente a nivel industrial. Además es necesario establecer normas internacionales claras de compostabilidad y migración alimentaria para evitar greenwashing.

Research Club Scientia Vol. 4, No 4, Octubre - Diciembre, pp. 1595-1608 , ISSN: 3103 – 1315

Referencias

Ajgalle, A., & Mahapatra, C. (2026). Emerging Strategies in Nanomaterial-Engineered Biopolymeric Superabsorbents for Climate-Resilient Water and Nutrient Management. *Journal of Applied Polymer Science*, *143*(45), e71376. https://doi.org/10.1002/app.71376

Bahramian, B., Abedi-Firoozjah, R., Salari, A., Mahmoudzadeh, M., Mazloomi, S. M., Rezaie, M., Ehsani, A., Tavassoli, M., & Jafari, S. M. (2025). Polylactic acid-based biodegradable electrospun nanofibers: A sustainable approach for food packaging. *Future Foods*, *12*, 100802. https://doi.org/10.1016/j.fufo.2025.100802

Bijoy, G., & Sangeetha, D. (2026). Polyvinyl alcohol biopolymer composites for active biodegradable food packaging, current trends and future prospective: A review. *Applied Food Research*, *6*(2), 102306. https://doi.org/10.1016/j.afres.2026.102306

Charerntanom, W., Buddhakala, M., & Buddhakala, N. (2025). Mechanical Properties, Morphology and Biodegradability of Biopolymer Composites Prepared from Thermoplastic Starch and Polybutylene Succinate Reinforced with Rice Straw Fiber. *Trends in Sciences*, *22*(6), 9767. https://doi.org/10.48048/tis.2025.9767

Faizan, M., Lee, D., Bontapalle, S., Verduzco, R., & Siddiqui, M. N. (2026). Degradable polymer composites for circular and sustainable materials engineering. *Polymer Chemistry*, *17*(39), 4217-4232. https://doi.org/10.1039/D6PY00621C

García-Mendoza, A., Hernández Brito, J. J., Bordón Pérez, P. R., Donate González, R., & Monzón Verona, M. (2026). Degradation and mechanical behaviour of rotationally moulded PLA and PE components in marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, *232*, 120061. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2026.120061

Khandelwal, G., Rani, S., Vivekananthan, V., Mishra, S., Manojkumar, K., Mulvihill, D., Prodromakis, T., & Kottapalli, A. G. P. (2026). Biodegradable electronic materials and devices. *Progress in Materials Science*, *165*, 101862. https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2026.101862

Lackner, M., Mukherjee, A., & Koller, M. (2023). What Are "Bioplastics"? Defining Renewability, Biosynthesis, Biodegradability, and Biocompatibility. *Polymers*, *15*(24), 4695. https://doi.org/10.3390/polym15244695

Marta, H., Angelie, K., Yuliana, T., Arifin, H. R., Kurniati, D., Cahyana, Y., Indrianti, N., Sholichah, E., Sondari, D., & Ibrahim, N. H. (2026). The effect of patchouli essential oil concentration on physical, mechanical properties and antibacterial activity of breadfruit

(Artocarpus altilis) starch-based biofilms. *Scientific Reports*, *16*(1), 33195. https://doi.org/10.1038/s41598-026-67502-0

Nwaka, E., Akomah, U. C., Maduoma, T. U., Ezeokolie, E. D., Menankiti, D. T., Osarenren, E., Donatus, U. D., Orji, C. H., Ekwem, C. H., & Oduaro, I. J. (2025). Optimizing the production of biodegradable chitosan-glycerol bioplastics from potato starch. *European Journal of Sustainable Development Research*, *9*(3), em0309. https://doi.org/10.29333/ejosdr/16354

Ogbonnaya, M., Popoola, A. P. I., & Ditswabare, M. A. (2026). Characterization and mechanical properties of plant-based bioplastics produced from waste Sorghum bicolour (Guinea corn). *Next Sustainability*, *8*, 100386. https://doi.org/10.1016/j.nxsust.2026.100386

Sabry, I., El-Arab, A., & ElWakil, M. (2026). An integrated multi-criteria decision-making framework for the selection of sustainable biodegradable polymer for food packaging applications. *Discover Food*, *6*(1), 166. https://doi.org/10.1007/s44187-026-00867-3

Saleh, E. R. M., & Utami, S. (2023). Characteristics of biodegradable plastic from mulu bebe banana peel starch with the addition of chitosan and glycerol plasticizer. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1177*(1), 012047. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1177/1/012047

Samir, A., Ashour, F. H., Hakim, A. A. A., & Bassyouni, M. (2022). Recent advances in biodegradable polymers for sustainable applications. *Npj Materials Degradation*, *6*(1), 68. https://doi.org/10.1038/s41529-022-00277-7

Selvam, T., Rahman, N. M. M. A., Olivito, F., Ilham, Z., Ahmad, R., & Wan-Mohtar, W. A. A. Q. I. (2025). Agricultural Waste-Derived Biopolymers for Sustainable Food Packaging: Challenges and Future Prospects. *Polymers*, *17*(14), 1897. https://doi.org/10.3390/polym17141897

Silva, R. R. A., Marques, C. S., Arruda, T. R., Teixeira, S. C., & De Oliveira, T. V. (2023). Biodegradation of Polymers: Stages, Measurement, Standards and Prospects. *Macromol*, *3*(2), 371-399. https://doi.org/10.3390/macromol3020023

Study of the Biodegradation of PLA/PBAT Films after Biodegradation Tests in Soil and the Aqueous Medium. (2021). *Biointerface Research in Applied Chemistry*, *12*(1), 833-846. https://doi.org/10.33263/BRIAC121.833846

Tassew, N. A., Andualem, T. L., D M, R. P., Endeshaw, M. A., & Ramesh, R. (2025). Avocado seed starch bioplastic film reinforced with enset cellulose for sustainable packaging. *Scientific Reports*, *15*(1), 41075. https://doi.org/10.1038/s41598-025-24935-3

Tennakoon, P., Chandika, P., Yi, M., & Jung, W.-K. (2023). Marine-derived biopolymers as potential bioplastics, an eco-friendly alternative. *iScience*, *26*(4), 106404. https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.106404

Tsou, C.-H., Huang, X., Ge, F.-F., Lin, J.-H., Potiyaraj, P., Preuksarattanawut, C., Yang, T., & Hu, X.-F. (2025). Enhanced performance of nanoplate-carbon nanotube reinforced poly(butylene succinate) nanocomposites for sustainable packaging and multifunctional applications. *Food Chemistry: X*, *31*, 102989. https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102989

US EPA, O. (2023, julio 15). *Impacts of Plastic Pollution* [Overviews and Factsheets]. https://www.epa.gov/plastics/impacts-plastic-pollution

Walker, T. R., & Fequet, L. (2023). Current trends of unsustainable plastic production and micro(nano)plastic pollution. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, *160*, 116984. https://doi.org/10.1016/j.trac.2023.116984

Zeng, F., Luo, L., Huang, X., & Pradhan, N. (2025). Polyhydroxyalkanoates (PHA) based biopolymers: Properties, applications and biodegradation. En Y. Li (Ed.), *Sustainable bioplastics production from renewable sources* (Vol. 10, pp. 101-127). Elsevier. https://doi.org/10.1016/bs.aibe.2025.03.003