

# PROYECTO CIENCIA ABIERTA 2023 - USACH

Inteligencia artificial para la extracción de conocimiento científico con aplicación para el desarrollo de bioplásticos de algas marinas.

## **Autores:**

Davor Ibarra Pérez

María José Galotto López

Alysia Garmulewicz



VICERRECTORÍA DE  
**INVESTIGACIÓN,  
INNOVACIÓN Y CREACIÓN**



# Introducción

## Contexto y Justificación del Proyecto

El ecosistema global actual se encuentra en una encrucijada crítica, enfrentando desafíos interconectados que van desde la degradación ambiental hasta la inestabilidad económica y social. Estos desafíos se han agravado debido a la pandemia de COVID-19, que ha actuado como un catalizador y revelador de vulnerabilidades y deficiencias sistémicas preexistentes (Horton, 2020\*). La pandemia ha acelerado la adopción de tecnologías y la adaptación de los mercados a nuevas realidades. La digitalización, previamente en marcha, se intensificó como respuesta a las restricciones de movilidad y a la necesidad de mantener la continuidad de las actividades económicas y educativas, demostrando la capacidad de la sociedad para responder con agilidad y creatividad a los desafíos (Kraus et al., 2020\*). Esta adaptación tecnológica ha sido un motor para futuras innovaciones en campos como el desarrollo sostenible y la inteligencia artificial.

La necesidad de soluciones interdisciplinarias para abordar los desafíos globales es evidente, y la ciencia abierta facilita este enfoque al promover la colaboración y el intercambio de conocimientos a nivel mundial. La relación entre la adaptación tecnológica y el cambio hacia prácticas más abiertas y colaborativas en la ciencia es fundamental en este proceso. La ciencia abierta, caracterizada por su accesibilidad, transparencia y colaboración, es crucial en el avance del desarrollo social. Este enfoque democratiza el conocimiento científico, facilitando una distribución más equitativa y un acceso más amplio a los resultados de investigación, lo cual es esencial para abordar los desafíos sociales y económicos contemporáneos (Vicente-Sáez & Martínez-Fuentes, 2018\*). La inclusión y la diversidad en la ciencia abierta son clave para el desarrollo de tecnologías avanzadas. La ciencia abierta permite la participación de una amplia gama de actores en el proceso científico, lo que a su vez impulsa la innovación y el desarrollo sostenible (Nielsen, 2011\*). En este contexto, la ciencia abierta no es solo un concepto académico, sino una herramienta esencial para el desarrollo social y económico en el siglo XXI (Fecher & Friesike, 2014\*). La evolución de los modelos de lenguaje de gran tamaño (LLM) ha sido un claro ejemplo de los beneficios de la ciencia abierta. La colaboración abierta ha permitido avances significativos en el campo de la inteligencia artificial, especialmente en el desarrollo de algoritmos de procesamiento del lenguaje natural (Rogers et al., 2020\*).

En este estudio se aplican tecnologías aplicadas a uno de los campos de investigación relevante para la sustentabilidad medioambiental, como es el estudio de alternativas a los polímeros petroquímicos. Estos materiales, fundamentales en la producción de plásticos convencionales, han sido identificados como contribuyentes significativos a problemas ambientales, como la contaminación por plásticos en diversos ciclos naturales del planeta, como a su vez, en el incremento de emisiones de gases de efecto invernadero (Thompson et al., 2009\*). La urgencia de encontrar soluciones sostenibles ha llevado a la búsqueda de enfoques interdisciplinarios, donde la ciencia abierta desempeña un papel crucial. La colaboración y la apertura en la investigación científica permiten el desarrollo de tecnologías innovadoras y sostenibles, siendo la inteligencia artificial y los LLM herramientas fundamentales en este proceso.

Estas tecnologías emergentes como los LLM ofrecen nuevas perspectivas en el análisis de datos y la identificación de tendencias en sostenibilidad y bioplásticos. Los modelos de lenguaje de gran tamaño, por ejemplo, son capaces de procesar información a gran escala, lo que resulta en un análisis más profundo y detallado de las tendencias actuales y futuras en materia de sostenibilidad (Lee et al., 2019\*). Esta capacidad analítica es invaluable para abordar los desafíos medioambientales contemporáneos y para el desarrollo de soluciones innovadoras que reduzcan la dependencia de los plásticos basados en petróleo, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático y la preservación de los ecosistemas (Jiang et al., 2020\*).

La relevancia de realizar vigilancia tecnológica se hace patente en este escenario. La vigilancia tecnológica permite monitorear los avances en materiales alternativos y tecnologías sostenibles, facilitando la transición hacia prácticas más respetuosas con el medio ambiente y la salud humana. Las algas marinas emergen como una fuente prometedora y sostenible para la producción de bioplásticos (Kumar et al., 2020\*; Valentina Hernandez et al., 2022\*\*). La inteligencia artificial, especialmente a través de los LLM, desempeña un papel crucial en la extracción y análisis de conocimiento científico en este campo, facilitando la simulación y modelado de propiedades de materiales (Davor Ibarra-Pérez et al., 2023\*\*). Esta capacidad acelera el proceso de innovación y optimización en la producción de bioplásticos de algas, destacando así la importancia de la vigilancia tecnológica en la integración de conocimiento científico para el desarrollo de materiales sostenibles (Zheng et al., 2020\*; Smith et al., 2021\*).

## Objetivos del Proyecto

### Objetivo general

Desarrollar una herramienta basada en inteligencia artificial para la extracción de conocimiento científico, de acceso abierto y con aplicación al desarrollo de bioplásticos de algas marinas.

### Objetivos secundarios

- Crear una base de datos comprensiva de fabricaciones, concentraciones y propiedades de bioplásticos.
- Desarrollar una aplicación que facilite el flujo de trabajo de extracción de la información.
- Contribuir al avance de la ciencia abierta mediante la publicación del proyecto en un repositorio GitHub.

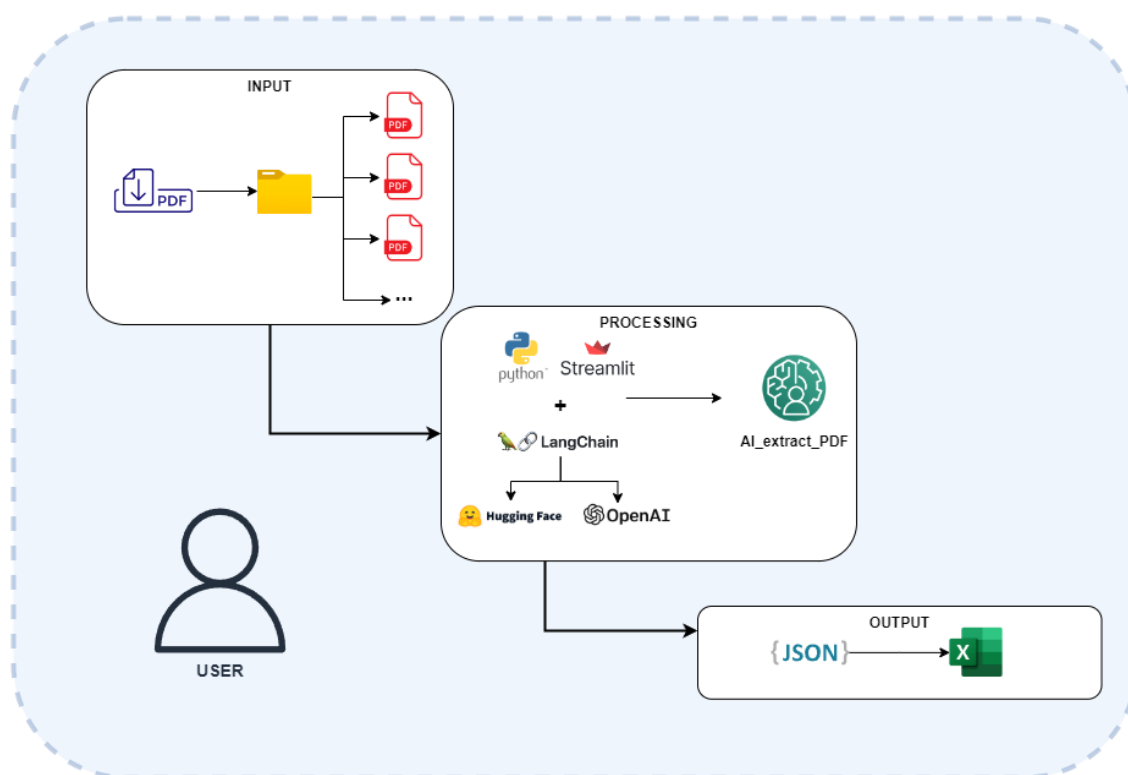
## Metodología

### Diseño y Desarrollo de la Herramienta de IA

El desarrollo de la herramienta de inteligencia artificial para la extracción de conocimiento científico se basa en la integración de tecnologías avanzadas de NLP y enfoques innovadores. La herramienta es construida utilizando Python, un lenguaje de programación versátil y ampliamente utilizado en el ámbito de la ciencia de datos y la IA. Python se eligió por su robustez, su amplia gama de bibliotecas y su comunidad activa, lo que facilita la implementación de algoritmos complejos y la integración con otras tecnologías aún en desarrollo. Para la interfaz de usuario y la visualización de

datos, se emplea Streamlit, un framework de aplicación web de código abierto diseñado específicamente para aplicaciones de ciencia de datos e IA. Streamlit destaca por su facilidad de uso y su capacidad para crear rápidamente interfaces atractivas y funcionales, lo que permitió una interacción intuitiva con la herramienta. La integración con LangChain, una biblioteca para la creación de aplicaciones de lenguaje con modelos de IA. LangChain facilita la interacción con modelos de procesamiento del lenguaje natural (NLP), permitiendo la exploración de modelos de acceso abierto como la conexión con algunos servicios de pago como los de OpenAI. Esta integración es relevante y muy bien valorado por la comunidad, ya que, a la fecha, son los únicos que cuentan con modelos avanzados de lenguaje y visión, ampliando sus capacidades para interpretar no solo textos, sino también imágenes y datos visuales, una característica especialmente valiosa en el análisis de documentos científicos que incluyen elementos gráficos.

La estructura de la aplicación se diseñó para ser simple pero funcional, facilitando un flujo de trabajo para el proceso de extracción de información mediante un asistente de IA de forma completamente supervisada y flexible. Para una descripción detallada de la estructura de la aplicación, ver Figura 1, donde se presenta una representación visual de los componentes clave de la interfaz y las interacciones del usuario con la herramienta.



### Proceso de extracción

La construcción de la base de datos de biopolímeros en la literatura científica mediante asistencia por herramientas de IA implica el desarrollo y configuración de un asistente virtual capaz de interactuar con el usuario mediante actividades específicas. Este asistente fue diseñado para guiar al modelo a través de un proceso de consulta estructurado de actividades, facilitando la extracción

eficiente de información relevante de la literatura científica y otros recursos. En el caso de estudio, las instrucciones son cuidadosamente elaboradas para maximizar la relevancia y precisión de los datos extraídos, ajustándose a las necesidades específicas del proyecto sobre bioplásticos basados en algas marinas. A continuación, se presenta el set de instrucciones del asistente:

'''

#### **CONTEXTO**

*Este asistente es un experto en química y en la extracción de información científica, especializado en el área de bioplásticos desarrollados a partir de algas marinas. Su tarea principal es analizar artículos científicos en formato PDF, identificando detalles clave como el nombre del archivo, el tipo de documento, el título del estudio, sus autores, el año, doi y finalmente algunos datos específicos.*

*Este asistente utiliza habilidades avanzadas en manejo de datos y cálculos químicos para interpretar y procesar adecuadamente la información contenida en los artículos.*

#### **META**

*Procesar y analizar artículos científicos relacionados con bioplásticos de algas marinas, y extraer información específica para crear una salida en formato JSON.*

#### **FLUJO DE ACTIVIDADES**

*Al recibir un archivo PDF, el asistente primero confirma que se trata de un artículo científico sobre películas de bioplásticos fabricadas por método de casting a base de componentes extraídos de algas marinas y que se reporten sus propiedades mecánicas. Si no se cumplen estos criterios, se detiene el proceso con justificación.*

*Tarea 1 ("metadata"):*

*El asistente extrae:*

- Nombre del archivo PDF ("name\_file")
- Clasificación del documento ("type\_doc")
- Título ("title"), autores ("authors"), año ("date\_doc"), y DOI ("doi") del artículo

*Solo señala la información no hagas un archivo JSON (esto lo recopilars en la Tarea 4)*

*Tarea 2 ("data\_extracted"):*

*El asistente extrae:*

*("film\_development"):*

- Proceso detallado de fabricación del biopolímero, en formato de recetario

*("materials"):*

- Descripción de los materiales y componentes utilizados, indicando las concentraciones utilizadas

*Tarea 3 ("concentration\_and\_properties") :*

*Sub tarea 3.1*

*El asistente utiliza la información extraida en la Tarea 2 e identifica los componentes y sus concentraciones en la fabricación de cada una de las muestras para crea una tabla de concentraciones de todas las muestras con los nombres de los componentes en las columnas, por lo que cada fila representará la combinación de concentraciones de cada muestra, si se indica una nomenclatura para las muestras, indicarlas en el ID de la fila.*

*Sub tarea 3.2*

*El asistente utiliza la tabla construida en la Sub tarea 3.1 y estandariza las concentraciones en %wt para la fabricación de 100g de película de bioplástico.*

*Sub tarea 3.3*

*El asistente extrae las mediciones de espesor (micras), esfuerzo de tracción (Mpa) y elongación a la rotura (%) de cada una de las muestras, incluyendo desviaciones estándar (valores con  $\pm$ ) cuando estén disponibles, para esto revisa cada una de las tablas del artículo, considera que estos pueden estar reportados en tablas distintas. Finalmente, el asistente une a la tabla de concentraciones de la Sub Tarea 3.2 con las propiedades en columnas, y en formato tabla con valores separados por ";"*

*Tarea 4*

*El asistente genera un archivo JSON descargable con la información extraída y procesada, con el mismo nombre del PDF pero agregando "\_extracted". El JSON sigue la siguiente estructura de etiquetas, recuerda que los valores de las llaves estan especificados en el flujo de actividades del asistente:*

**FORMATO DE SALIDA**

```
{
  "metadata":
  {
    "name_file": "Contenido Tarea 1",
    "type_doc": "Contenido Tarea 1",
    "title": "Contenido Tarea 1",
    "authors": "Contenido Tarea 1",
    "date_doc": "Contenido Tarea 1",
    "doi": "Contenido Tarea 1":
  },
  "data_extracted":
  {
    "film_development": "Contenido Tarea 2",
    "materials": "Contenido Tarea 2",
    "concentration_and_properties": "Tabla Sub tarea 3.3"
  }
}
```

Una vez realizada la extracción de datos, el asistente de IA genera una salida en formato de archivo JSON. Este archivo contiene los metadatos y el contenido estructurado de la extracción de manera que facilite su posterior integración y escalamiento. La estructura del archivo JSON se diseñó para incluir etiquetas clave que permitieran una organización y categorización eficiente de la información en base a las necesidades del proyecto aplicado a los bioplásticos.

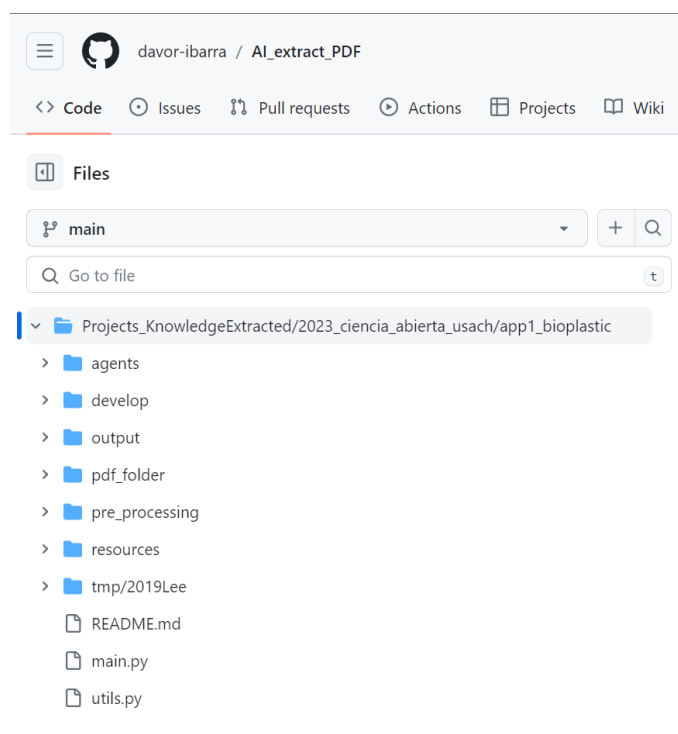
**Construcción de la base de datos**

Mediante una minuciosa selección de palabras claves se identifican todos los artículos Scopus de películas de bioplástico en base a componentes de algas marinas, publicados entre los años 2012 al 2022, se realiza una preselección de artículos en base al proceso de fabricación y los nombres de los componentes identificados en el abstract de los metadatos obtenidos, mediante una rutina en Python se identificaron los resúmenes que contenían al menos una coincidencia exacta con las palabras que se encuentran en la tabla "2 - BagofWord\_2\_improve10") Para más detalles del proceso o acceso al código, revisar la carpeta "pre\_processing" del repositorio del proyecto.

# Resultados

## Repositorio de app para la extracción de información asistida por IA

El desarrollo del proyecto de Ciencia Abierta se propone como una herramienta para impulsar y descubrir diferentes áreas del conocimiento, como a su vez, la vinculación con el medio, mediante la transferencia y la democratización del conocimiento. Los avances de las tecnologías informáticas asientan las bases de sistemas más eficientes para la gestión de datos que antes eran complejos de procesar. En este marco, se crea un **repositorio GitHub**<sup>1</sup> para la divulgación del proceso y resultados científico del proyecto USACH Ciencia Abierta 2023, pero, también se pretende continuar con el desarrollo de diferentes flujos de trabajos que puedan ser relevantes para otros proyectos de investigación. Por lo que, la estructura del repositorio es como sigue:



La aplicación para la extracción de información asistida mediante IA desarrollada para el proyecto de bioplásticos se ubica en la carpeta “AI\_extract\_PDF/Projects\_KnowledgeExtracted/2023\_ciencia\_abierta\_usach/app1\_bioplastic”. La cual contiene la siguiente descripción de los archivos:

- Carpetas
  - “agents”: Agentes guardados con instrucciones específicas.
  - “develop”: Respaldo de los desarrollos con librerías y enfoques diferentes.
  - “output”: JSON de salida con la extracción de la información.

---

<sup>1</sup> [https://github.com/davor-ibarra/AI\\_extract\\_PDF](https://github.com/davor-ibarra/AI_extract_PDF)

- “pdf\_folder”: Carpeta de archivos PDF para su procesamiento.
- “pre\_processing”: Obtención de criterios para la selección de artículos científicos.
- “resources”: Imágenes generales del proyecto.
- “tmp”: Imágenes de cada una de las páginas de los artículos procesados.
- Archivos
  - “main.py”: Código Python principal de la aplicación en framework streamlit.
  - “README.md”: Instrucciones para la utilización de la aplicación.
  - “utils.py”: Funciones utilizadas para el procesamiento fuera del código principal.



# Software para la extracción de información asistida por IA

La aplicación para la extracción de información asistida mediante IA se detalla en extensión en la ubicación

“AI\_extract\_PDF/Projects\_KnowledgeExtracted/2023\_ciencia\_abierta\_usach/app1\_bioplastic/README.md” del repositorio del proyecto. A continuación, se presenta el flujo de trabajo de la aplicación y su forma de utilización.

## Flujo de trabajo

### 1. Página de bienvenida

Supervised\_PaperExtraction x +

localhost:8501

Deploy

Home Chatbot processing Contact

## Bienvenido a IA\_extract\_PDF

Esta aplicación permite el desarrollo de un flujo de trabajo mediante interacción con modelos de Lenguaje de Memoria Larga (LLM) como GPT-4 de OpenAI y los modelos de acceso abierto de HuggingFace, para generar resúmenes y recopilar información relevante desde artículos científicos que se encuentren en formato PDF.

- En la primera sección podrás subir tus archivos PDF, previo a su almacenamiento en la carpeta correspondiente esta opción cuenta con una función que comprime el PDF. Evitando de esta forma, errores por tamaño (Puedes evitar este paso subiendo los archivos previamente en la carpeta correspondiente).
- Luego, se recomienda iterar y lograr un set de instrucciones para guiar al asistente hacia respuestas específicas del contenido que se requiere registrar.
- Una vez que haya configurado su asistente, vaya registrando el contenido en la sección inferior, donde podrá crear sus propias etiquetas seleccionando la opción de "other", también puedes utilizar las etiquetas propuestas en la lista desplegada. Finalmente, podrás exportar tu archivo JSON personalizado con la sistematización del conocimiento que te hayas propuesto.

INPUT

PROCESSING

OUTPUT

USER

APP EN DESARROLLO

POR HACER:

- Utilizar variables de estado para mejorar velocidad.
- Conectar Modelos de HuggingFace.
- Conectar tuning parameters.
- Implementar más de un agente.

2. Configura tu modelo y llaves de acceso en el panel izquierdo, tambien puedes ajustar algunos parametros del modelo.

The screenshot shows a web browser window with the URL `localhost:8501`. The application is titled "Supervised\_PaperExtraction" and has a "Deploy" button in the top right corner. The main navigation bar includes "Home", "Chatbot processing" (highlighted in red), and "Contact".

## Assisted PDF extraction

**Configuraciones del Modelo**

Tipo de modelo?  
☒ OpenAI  
☐ HuggingFace

Selecciona el modelo OpenAI  
gpt-4

Ingresa tu clave API para modelos OpenAI:  
xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx

**Tuning-parameters**

Temperatura: 0.50  
0.00 1.00

Máximo de tokens: 1000  
20 2000

Top-p: 0.90  
0.00 1.00

**INPUT**

☐ Cargar Archivo  
☐ Seleccionar Archivo

**PROCESSING**

☐ Ver PDF ☐ Extracción asistida

**OUTPUT**

Nombre del archivo:  
[Input field]

Selecciona etiqueta: type  
Selecciona tipo de documento científico: article

Añadir contenido:  
[Input field]

Guardar Item Limpiar JSON Guardar archivo JSON Ver JSON

Made with Streamlit

- Se recomienda cerrar el panel lateral al comenzar el flujo de trabajo, de esta forma contarás con mayor espacio para el proceso de extracción. El flujo de trabajo comienza con la sección de INPUT, puedes cargar un archivo PDF para que se comprima y se almacene en la carpeta correspondiente o de lo contrario preparar los documentos con anterioridad en la carpeta mencionada.

The screenshot shows a web browser window with the title 'Supervised\_PaperExtraction' and the address 'localhost:8501'. The application has a dark theme and a navigation bar with 'Home', 'Chatbot processing' (highlighted in red), and 'Contact'. The main heading is 'Assisted PDF extraction'. The interface is divided into three sections: INPUT, PROCESSING, and OUTPUT. In the INPUT section, there is a checkbox for 'Cargar Archivo' (checked), a file upload area with a 'Browse files' button, and a checkbox for 'Seleccionar Archivo'. The PROCESSING section has a checkbox for 'Ver PDF' and a checkbox for 'Extracción asistida' (checked). The OUTPUT section includes a text input for 'Nombre del archivo:', two dropdown menus for 'Selecciona etiqueta' (set to 'type') and 'Selecciona tipo de documento científico' (set to 'article'), a text area for 'Añadir contenido:', and four buttons: 'Guardar Item', 'Limpiar JSON', 'Guardar archivo JSON', and 'Ver JSON' (checked). A 'Deploy' button is in the top right corner. The footer says 'Made with Streamlit'.

Supervised\_PaperExtraction

localhost:8501

Home Chatbot processing Contact

## Assisted PDF extraction

INPUT

☒ Cargar Archivo

Upload your PDF

Drag and drop file here  
Limit 200MB per file • PDF

Browse files

☐ Seleccionar Archivo

PROCESSING

☐ Ver PDF ☒ Extracción asistida

OUTPUT

Nombre del archivo:

Selecciona etiqueta: type

Selecciona tipo de documento científico: article

Añadir contenido:

Guardar Item Limpiar JSON Guardar archivo JSON ☒ Ver JSON

Made with Streamlit

4. Luego, debes seleccionar el artículo que deseas procesar.

Supervised\_PaperExtraction

localhost:8501

Home Chatbot processing Contact

## Assisted PDF extraction

INPUT

☐ Cargar Archivo

☒ Seleccionar Archivo

Elige un archivo PDF:

2019Lee.pdf

2019Lee.pdf

2020Lan.pdf

2020saritas.pdf

2020susilowati.pdf

2020Swarup.pdf

2021garciaCamargo.pdf

2021rogalsky.pdf

Nombre del archivo:

Selecciona etiqueta

type

Selecciona tipo de documento científico

article

Añadir contenido:

Guardar item Limpiar JSON Guardar archivo JSON ☐ Ver JSON

Made with Streamlit

5. En la segunda sección, puedes activar la visualización del PDF para una extracción manual o para verificación de información (si has activado la opción y el PDF no se visualiza, lo más probable es que el tamaño supere el límite máximo de visualización).

Supervised\_PaperExtraction x +

localhost:8501

Deploy

## Assisted PDF extraction

INPUT

☐ Cargar Archivo

☒ Seleccionar Archivo

Elige un archivo PDF:

2019Lee.pdf

PROCESSING

☒ Ver PDF

☐ Extracción asistida

1 / 7

International Journal of Biological Macromolecules 140 (2019) 138–144

Contents lists available at ScienceDirect

International Journal of Biological Macromolecules

journal homepage: <http://www.elsevier.com/locate/ijbiomac>

**Rheological, morphological, mechanical, and water-barrier properties of agar/gellan gum/montmorillonite clay composite films**

Hansong Lee, Balasubramanian Rukmankrishnan<sup>a</sup>, Jaewoong Lee<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Department of Food System Engineering, Yeungnam University, South Korea

**ARTICLE INFO**

**Article history:**  
Received 30 June 2018  
Received in revised form 23 August 2018  
Accepted 4 September 2018  
Available online 5 September 2018

**Keywords:**  
Agar  
Gellan gum  
MMT clay  
Rheological properties  
Thermal properties  
UV protection  
Water barrier properties

**ABSTRACT**

Agar (A), gellan gum (G), and montmorillonite (MMT) based ternary nanocomposite films were prepared via the solution-casting method for food packaging applications. The prepared nanocomposites were investigated for the effect of MMT clay on the structure-property relationships by analyzing the microstructural, rheological, mechanical, thermal, ultraviolet, and water barrier properties of AG hybrid gel composite. The results indicated that the thermal stability ( $T_g$ : 115.4–119.7) and tensile strength (25.1–44 MPa) were significantly enhanced in the reinforced MMT nanoclay. The water barrier (1.8–1.7) and contact angle (56.0°–46.4°) were reduced by the incorporation of MMT clay whereas the rheological properties improved. The AGM composite solution exhibited shear thinning behavior and viscosity reduction at a high rate. Additionally, the composite exhibited significantly higher storage and loss modulus at high temperature. The samples viscosity differed from the shear viscosity and remained higher than the shear viscosity. The nanocomposite structure, molecular interaction, and interaction in the nanocomposite were investigated by FTIR, SEM and DSC analysis. The AG and AGM nanocomposites exhibited a synergistic reinforcement effect. The results of this study might introduce a new route for enhancing the nanocomposites for sustainable materials.

© 2019 Elsevier B.V. All rights reserved.

**1. Introduction**

The consumption of large amounts of non-degradable and non-renewable packaging materials is a significant challenge and presents environmental problems. It is not feasible and wise option to use non-biodegradable polymers for applications which are short-term [1]. Alternatively, biodegradable material to packaging application is a good substrate for non-biodegradable packaging materials [2]. Therefore, to overcome the drawbacks of non-biodegradable materials, biodegradable packaging materials have been developed from natural sources like polysaccharides, proteins, and lipids [3,4]. These natural sources are of plant, animal, and microbial origin [5]. However, poor properties, including barrier and mechanical restrict the application of biopolymers in various field when compared to non-biodegradable materials [6–8].

Polysaccharides are widely researched materials for various applications in biomedical field. Agar is made of agarose and agarpectin. It is composed of D-galactose and 3,6-anhydro-D-galactopyranose along with a heterogeneous combination of smaller molecules [9]. Agar is more stable in different environment such as low-pH and high-temperature. Sphingomonas paucimobilis secretes gellan gum which is an exopolysaccharide. It is made up of repeated linear chain of tetrasaccharide units (3,6-anhydro-D-glucose, D-glucuronic acid). With proper cation concentrations, high-acyl gellan gum forms weak gels, and low-acyl gellan gum forms strong gels [10–12]. Biopolymer-based composite films have significant limitations; e.g., they are brittle and have poor water barrier properties. For overcoming these drawbacks, various methods have been employed. Different nano fillers are used to improve the physical properties of gellan gum and agar-based films. Montmorillonite (MMT) is a commonly used type of clay in biopolymer-based nanocomposites owing to its swelling properties and water holding nature between the platelike layers [13–15]. The clay particles augment physical properties of nanocomposites due to their reinforcing effects. The transparency of MMT based composite is usually maintained with a perfect dispersion of nanosized clay into the polymer matrix [16–18].

Clay is a naturally available mineral and due to its non-toxic nature it is suitable as components in the packaging application of food, medical and cosmetic industries. Moreover, clay is ecofriendly and inexpensive [1,20]. Many reports are available on clay materials with various natural biopolymers [21–24]. However, as far as we know, there has been no comprehensive study on the effect of MMT nanoclay with gellan gum and agar materials on the rheological and physical and thermal properties of the packaging applications.

To name up MMT clay's compatibility with gellan gum and agar based films, viability, economic, non-toxic nature and its ability to improve physical properties of composite films makes it an ideal candidate for

- Supervised\_PaperExtraction

localhost:8501

Assisted PDF extraction

INPUT

☐ Cargar Archivo

☒ Seleccionar Archivo

Elige un archivo PDF:

2019Lee.pdf

PROCESSING

☒ Ver PDF

Extracción asistida

Crear Agente Agente Smith

1 / 7

International Journal of Biological Macromolecules 140 (2019) 159–168

Contents lists available at ScienceDirect

International Journal of Biological Macromolecules

journal homepage: <http://www.elsevier.com/locate/ijbiomac>

Rheological, morphological, mechanical, and water-barrier properties of agar/gellan gum/montmorillonite clay composite films

Hansong Lee, Balasubramanian Rukmanikrishnan\*, Jaewoong Lee\*

Department of Fiber System Engineering, Jeonju National University, South Korea

ARTICLE INFO

Article history:  
Received 30 June 2018  
Received in revised form 10 August 2019  
Accepted 4 September 2019  
Available online 1 September 2019

Keywords:  
Agar  
Gellan gum  
MMT clay  
Montmorillonite  
Thermal properties  
UV protection  
Water barrier properties

ABSTRACT

Agar (A), gellan gum (G), and montmorillonite (MMT) based ternary nanocomposite films were prepared via the solution casting method for food packaging applications. The prepared nanocomposites were investigated for the effect of MMT clay on the structure–property relationships by studying the microstructure, rheological, mechanical, thermal, ultraviolet, and water barrier properties of AC (control) composites. The results indicated that the thermal stability ( $T_{10}$ : 115.4–174.7) and tensile strength (29.5–44 MPa) were significantly enhanced in the modified MMT nanocomposites. The water barrier ( $1.5 \times 10^{-7}$  and contact angle: 104.6°–49.4°) were reduced by the incorporation of MMT clay whereas the rheological properties improved. The ACN composite solution exhibited shear thinning behavior and viscosity reduction at a high rate. Additionally, the composite exhibited significantly higher storage and loss modulus at high frequencies. The complex viscosity differed from the shear viscosity and remained higher than the shear viscosity. The nanocomposite structure, molecular interaction, and interaction in the multicomponent were investigated by FT-IR, XRD and SEM analysis. The AC and ACM nanocomposites exhibited a synergistic reinforcement effect. The results of this study might introduce a new route for enhancing the nanocomposites for sustainable materials.

© 2019 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

The consumption of large amounts of non-degradable and non-renewable packaging materials is a significant challenge and presents environmental problems. It is not feasible and wise option to use non-biodegradable polymers for applications which are short-term [1]. Alternatively, biodegradable material in packaging application is a good substrate for non-biodegradable packaging materials [2]. Therefore, to overcome the drawbacks of non-biodegradable materials, biodegradable packaging materials have been developed from natural sources like poly carbohydrates, proteins, and lipids [3,4]. These natural sources are of plant, animal, and microbial origin [5]. However, poor properties, including barrier and mechanical, restrict the application of biopolymers in various field when compared to non-biodegradable materials [6–8]. Nanoparticles are widely researched materials for various applications in biomedical field. Agar is made of agarose and agar peptin. It is composed of D-glucose and 3, 6-O-methyl- $\alpha$ -D-glucopyranose along with a heterogeneous combination of smaller molecules [9]. Agar is more stable in different environment such as low pH and high temperature. Sphingomonas paucimobilis secretes gellan gum which is an anionic polysaccharide. It is made up of repeated linear chain of tetraosaccharide units (1-thamnose, D-glucose, and D-glucuronic acid). With proper cation concentrations, high-acyl gellan gum forms weak gels, and low-acyl gellan gum forms strong gels [10–12]. Biopolymer-based composite films have significant limitations; e.g., they are brittle and have poor water-barrier properties. For overcoming their drawbacks various methods have been employed. Different nano fillers are used to improve the physical properties of gellan gum and agar-based films. Montmorillonite (MMT) is a commonly used type of clay in biopolymer-based nanocomposites owing to its swelling properties and water-binding nature between the platelet layers [13–15]. The clay particles augment physical properties of nanocomposites due to their reinforcing effects. The transparency of MMT based composite is usually maintained with a perfect dispersion of nanosized clay into the polymer matrix [16–19]. Clay is a naturally available mineral and due to its non-toxic nature it is suitable as components in the packaging applications of food, medical and cosmetic industries. Moreover, clay is ecofriendly and inexpensive [1,20]. Many reports are available on clay materials with various natural biopolymers [21–24]. However, as far as we know, there has been no comprehensive study on the effect of MMT nanoclay with gellan gum and agar materials on the rheological and physical and thermal properties of the packaging applications. It is worth noting that the compatibility with gellan gum and agar based films, stability, economic, non-toxic nature and its ability to improve physical properties of composite films makes it an ideal candidate for

7. En la segunda pestaña podrás seleccionar los agentes que quieres utilizar en caso de extracción con instrucciones específica.

Supervised\_PaperExtraction

localhost:8501

# Assisted PDF extraction

INPUT

☐ Cargar Archivo

☒ Seleccionar Archivo

Elige un archivo PDF:

2019Lee.pdf

PROCESSING

☒ Ver PDF

Extracción asistida

Crear Agente Agente Smith

Activa los agentes

material\_proces...

Agentes activados: 1

En que puedo ayudarte hoy?

International Journal of Biological Macromolecules 141 (2019) 539–548

Contents lists available at ScienceDirect

International Journal of Biological Macromolecules

journal homepage: <http://www.elsevier.com/locate/jbiomac>

## Rheological, morphological, mechanical, and water-barrier properties of agar/gellan gum/montmorillonite clay composite films

Hansong Lee, Balasubramanian Rukmanikrishnan\*, Jaewoong Lee<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Department of Fiber System Engineering, Yonsei University, South Korea

ARTICLE INFO

Received 30 June 2019

Received in revised form 21 August 2019

Accepted 4 September 2019

Available online 6 September 2019

Keywords:

Agar

Gellan gum

MMT clay

Rheological properties

Thermal properties

UV protection

Water barrier properties

ABSTRACT

Agar (AG), gellan gum (G) and montmorillonite (MMT) based binary nanocomposite films were prepared via the solution-casting method for food packaging applications. The prepared nanocomposites were investigated for the effect of MMT clay on the structure-property relationships by studying the microstructural, rheological, mechanical, thermal, ultraviolet, and water barrier properties of AG/gellan gum composites. The results indicated that the thermal stability ( $T_g$ : 113.4–114.7 °C) and tensile strength (2019–48 MPa) were significantly enhanced in the reinforced MMT nanoclay. The water barrier (1.9–1.7) and contact angle (56.0°–40.4°) were reduced by the incorporation of MMT clay whereas the rheological properties improved. The AGM composite solution exhibited shear thinning behavior and viscosity reduction at a high rate. Additionally, the composites exhibited significantly higher storage and loss modulus at high frequencies. The complex viscosity differed from the linear viscosity and remained higher than the shear viscosity. The nanocomposite structure, molecular interaction, and interaction in the nanocomposite were investigated by FT-IR, NMR and SEM analysis. The AG and AGM nanocomposites exhibited a synergistic reinforcement effect. The results of this study might introduce a new route for enhancing the nanocomposites for sustainable materials.

© 2019 Elsevier B.V. All rights reserved.

### 1. Introduction

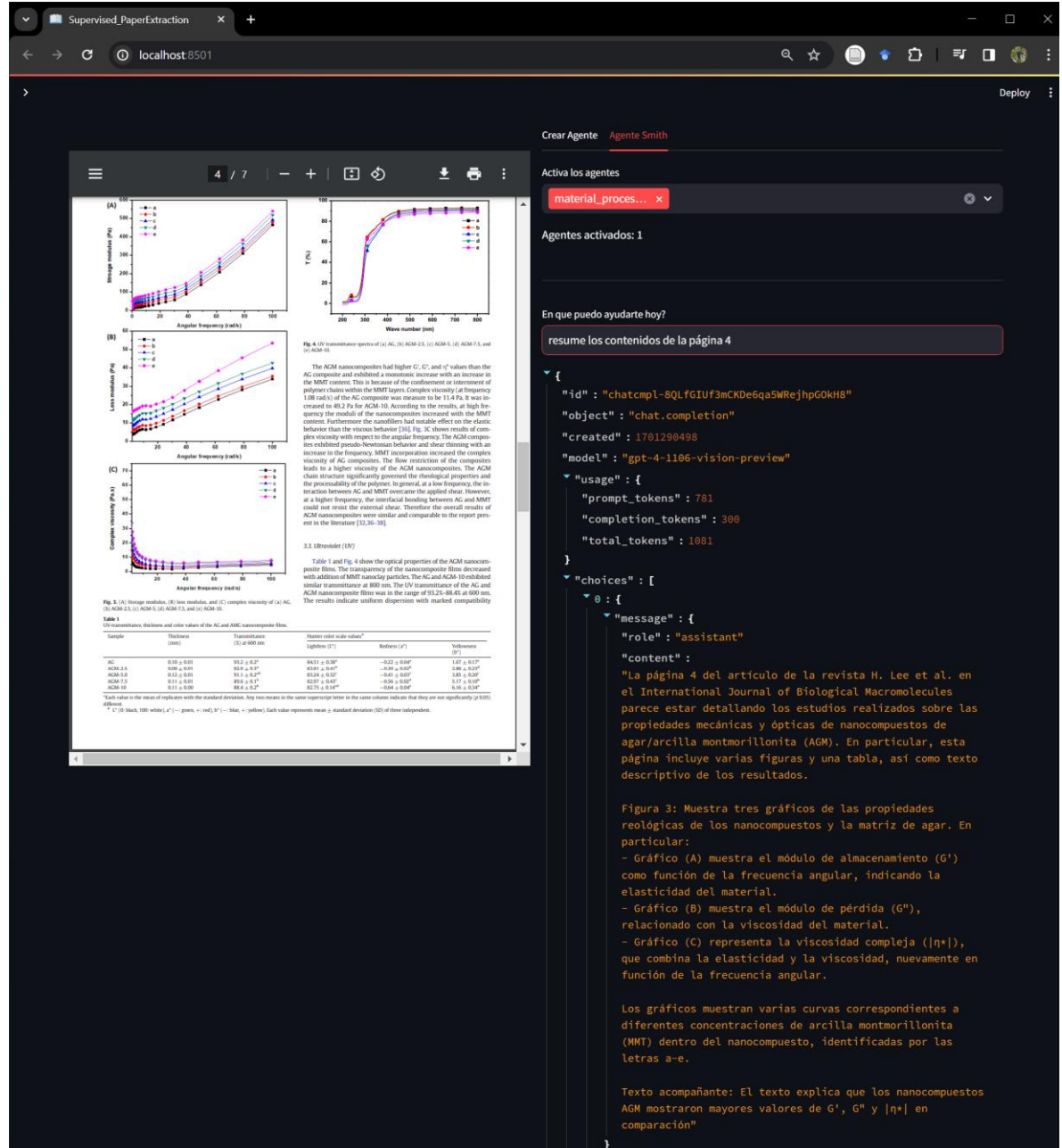
The consumption of large amounts of non-degradable and non-renewable packaging materials is a significant challenge and presents environmental problems. It is not feasible and wise option to use non-biodegradable polymers for applications which are short-term [1]. Alternatively, biodegradable material in packaging application is a good substitute for non-biodegradable packaging materials [2]. Therefore, to overcome the drawbacks of non-biodegradable materials, biodegradable packaging materials have been developed from natural sources like polysaccharides, proteins, and lipids [3,4]. These natural sources are of plant, animal, and microbial origin [5]. However, poor properties, including barrier and mechanical restrict the application of biopolymers in various field when compared to non-biodegradable materials [6–8]. Polysaccharides are widely researched materials for various applications in biomedical field. Agar is made of agarose and agarpectin. It is composed of D-galactose and 3,6-anhydro-D-galactopyranose along with a heterogeneous combination of smaller molecules [9]. Agar is more stable in different environment such as low-pH and high-temperature. Sphingomonas paucimobilis secretes gellan gum which is an anionopolysaccharide. It is made up of repeated linear chain of tetrasaccharide units (2- $\alpha$ -mannose, 3- $\alpha$ -glucose and D-glucuronic acid). With proper cation concentrations, high-acryl gellan gum forms weak gels, and low-acryl gellan gum forms strong gels [10–12]. Biopolymer-based composite films have significant limitations; e.g., they are brittle and have poor water barrier properties. For overcoming these drawbacks, various methods have been employed. Different nano fillers are used to improve the physical properties of gellan gum and agar-based films. Montmorillonite (MMT) is a commonly used type of clay in biopolymer-based nanocomposites owing to its swelling properties and water holding nature between the silicate layers [13–15]. The clay particles augment physical properties of nanocomposites due to their reinforcing effects. The transparency of MMT based composite is usually maintained with a perfect dispersion of nanosized clay into the polymer matrix [16–19]. Clay is a naturally available material and due to its non-toxic nature it is suitable as components in the packaging application of food, medical and cosmetic industries. Moreover, clay is ecofriendly and inexpensive [1,20]. Many reports are available on clay materials with various natural biopolymers [21–24]. However, as far as we know, there has been no comprehensive study on the effect of MMT nanoclay with gellan gum and agar materials on the rheological and physical and chemical properties of the packaging applications.

To ease up MMT clay's compatibility with gellan gum and agar based films, stability, economic, non-toxic nature and its ability to improve physical properties of composite films makes it an ideal candidate for

\* Corresponding authors.  
E-mail addresses: [rukmankrishnan@yonsei.ac.kr](mailto:rukmankrishnan@yonsei.ac.kr) (B. Rukmanikrishnan), [jaewoong@yonsei.ac.kr](mailto:jaewoong@yonsei.ac.kr) (J. Lee).

<https://doi.org/10.1016/j.jbiomac.2019.08.001>  
1045-6536/2019 Elsevier B.V. All rights reserved.

8. Luego, ya puedes comenzar con tu asistente a solicitar información sobre el documento seleccionado.





9. A continuación, se muestra un ejemplo de como puedes ir almacenando el contenido en las etiquetas y como estas se almacenan en un JSON en la carpeta de salida "output".

Supervised\_PaperExtraction

localhost:8501

Deploy

### agar/gellan gum/montmorillonite clay composite films

Hansong Lee, Balasubramanian Rukmanikrishnan\*, Jaewoong Lee\*

Department of Fiber System Engineering, Hanyang University, South Korea

**ARTICLE INFO**

**ABSTRACT**

**Article history:**  
Received 10 June 2019  
Revised 20 October 2019  
Accepted 1 November 2019  
Available online 1 September 2019

**Keywords:**  
Agar  
Gellan gum  
MMT clay  
Rheological properties  
Thermal properties  
UV protection  
Water barrier properties

Agar (A), gellan gum (G), and montmorillonite (MT) based ternary nanocomposite films were prepared via the solution-casting method for food packaging applications. The prepared nanocomposites were investigated for the effect of MMT clay on the structure-property relationships by studying the microstructural, rheological, mechanical, thermal, antioxidant, and water-barrier properties of AG/gellan composite. The results indicated that the thermal stability ( $T_g$ : 110.4–174.7) and tensile strength (29.3–44 MPa) were significantly enhanced in the resultant MMT nanocomposites. The water barrier ( $1.3 \times 10^{-17}$  and contact angle:  $104.7^\circ$ – $108.4^\circ$ ) were reduced by the incorporation of MMT clay whereas the rheological properties improved. The AGM composite solution exhibited shear thinning behavior and viscosity reduction at a high rate. Additionally, the composite exhibited significantly higher storage and loss modulus at high frequencies. The complex viscosity differed from the shear viscosity and remained higher than the shear viscosity. The nanocomposite structure, molecular interaction, and interaction in the multicomponent were investigated by FT-IR, SEM and TEM analysis. The AG and AGM nanocomposites exhibited a synergistic enhancement effect. The results of this study might introduce a new route for enhancing the nanocomposites for sustainable materials.

© 2019 Elsevier B.V. All rights reserved.

#### 1. Introduction

The consumption of large amounts of non-degradable and non-renewable packaging materials is a significant challenge and prevents environmental problems. It is not feasible and wise option to use non-biodegradable polymers for applications which are short-term [1]. Alternatively, biodegradable material in packaging application is a good substitute for non-biodegradable packaging materials [2]. Therefore, to overcome the drawbacks of non-biodegradable materials, biodegradable packaging materials have been developed from natural sources like polysaccharides, proteins, and lipids [3,4]. These natural sources are of plant, animal, and microbial origin [5]. However poor properties, including barrier and mechanical restrict the application of biopolymers in various field when compared to non-biodegradable materials [6–8].

Polysaccharides are widely researched materials for various applications in biomedical field. Agar is made of agarose and agar pectin. It is composed of D-galactose and 3, 6-anhydro-D-galactopyranoside along with a heterogeneous combination of smaller molecules [9]. Agar is more stable in different environment such as low pH and high-temperature. Salagummen pseudomutabilis secretes gellan gum which is an exopolysaccharide. It is made up of repeated linear chain of tetrasaccharide units (L-rhamnose, D-glucose, and D-glucuronic acid). With proper cation concentrations, high-acid gellan gum forms weak gels, and low-acid gellan gum forms strong gels [10–12].

Biopolymer-based composite films have significant limitations; e.g., they are brittle and have poor water-barrier properties, for overcoming these drawbacks, various methods have been employed. Different nano fillers are used to improve the physical properties of gellan gum and agar-based films. Montmorillonite (MMT) is a commonly used type of clay in biopolymer-based nanocomposites owing to its swelling properties and water holding nature between the platelet layers [13–15]. The clay particles augment physical properties of nanocomposites due to their reinforcing effects. The transparency of MMT based composite is usually maintained with a perfect dispersion of nanosized clay into the polymer matrix [16–19].

Clay is a naturally available mineral and due to its non-toxic nature it is suitable as components in the packaging applications of food, medical and cosmetic industries. Moreover, clay is ecofriendly and inexpensive [1,20]. Many reports are available on clay materials with various natural biopolymers [21–24]. However, as far as we know, there has been no comprehensive study on the effect of MMT nanoclay with gellan gum and agar materials on the rheological and physical and chemical properties of the packaging applications.

To sum up MMT clay's compatibility with gellan gum and agar-based films, viability, economic, non-toxic nature and its ability to improve physical properties of composite films makes it an ideal candidate for

Corresponding authors.  
E-mail addresses: [balasubramanian@hanyang.ac.kr](mailto:balasubramanian@hanyang.ac.kr) (B. Rukmanikrishnan), [jaewoonglee@hanyang.ac.kr](mailto:jaewoonglee@hanyang.ac.kr) (J. Lee).

<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.104501>  
0144-8532/© 2019 Elsevier B.V. All rights reserved.

OUTPUT

Nombre del archivo:  
2019Lee\_extracted

Selecciona etiqueta  
year

Añadir contenido:  
2019

Guardar ítem

Limpiar JSON

Guardar archivo JSON

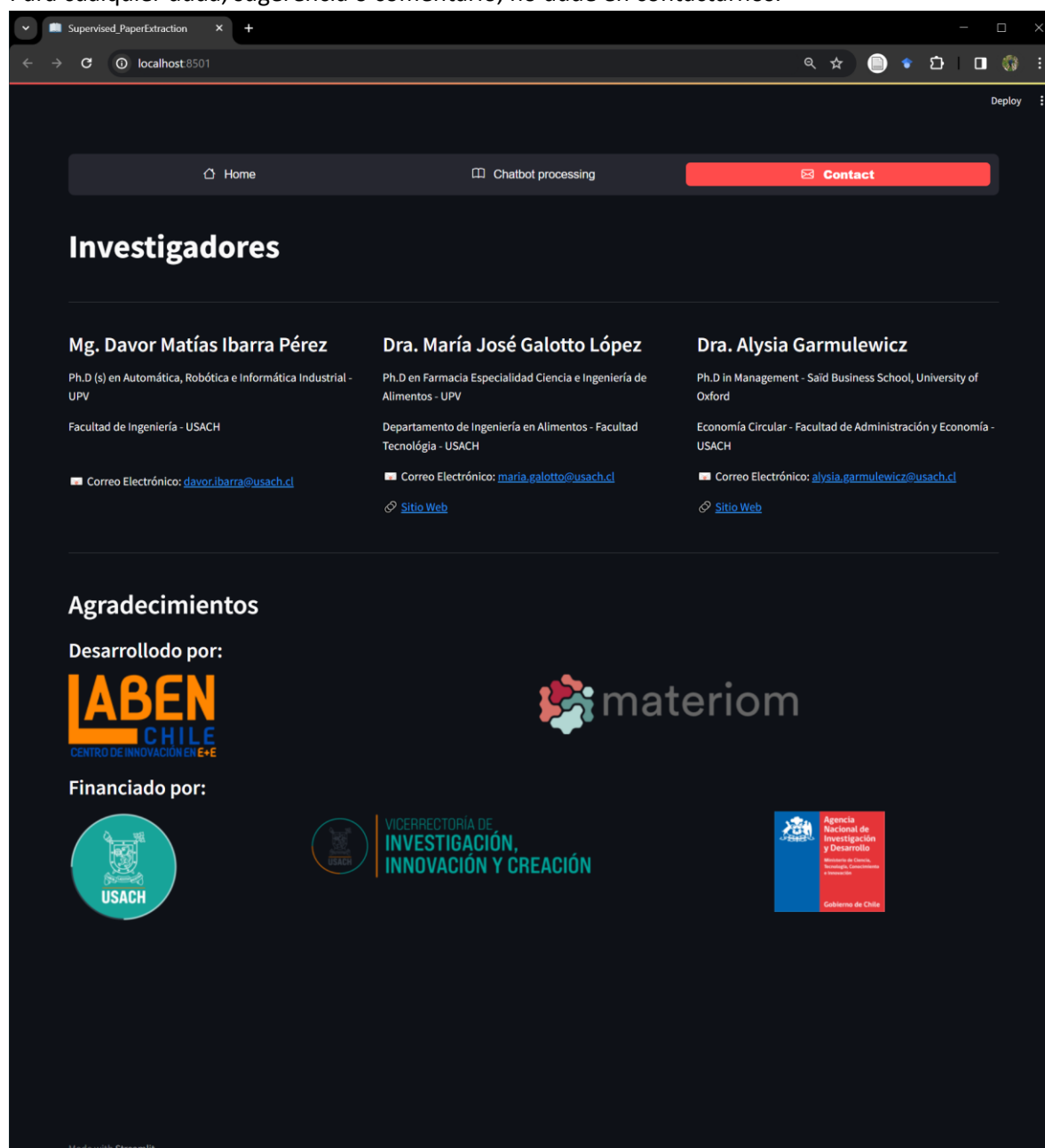
☒ Ver JSON

Ítem agregado con éxito

```
{
  "title": "Rheological, morphological, mechanical, and water-barrier properties of agar/gellan gum/montmorillonite clay composite films"
}
```

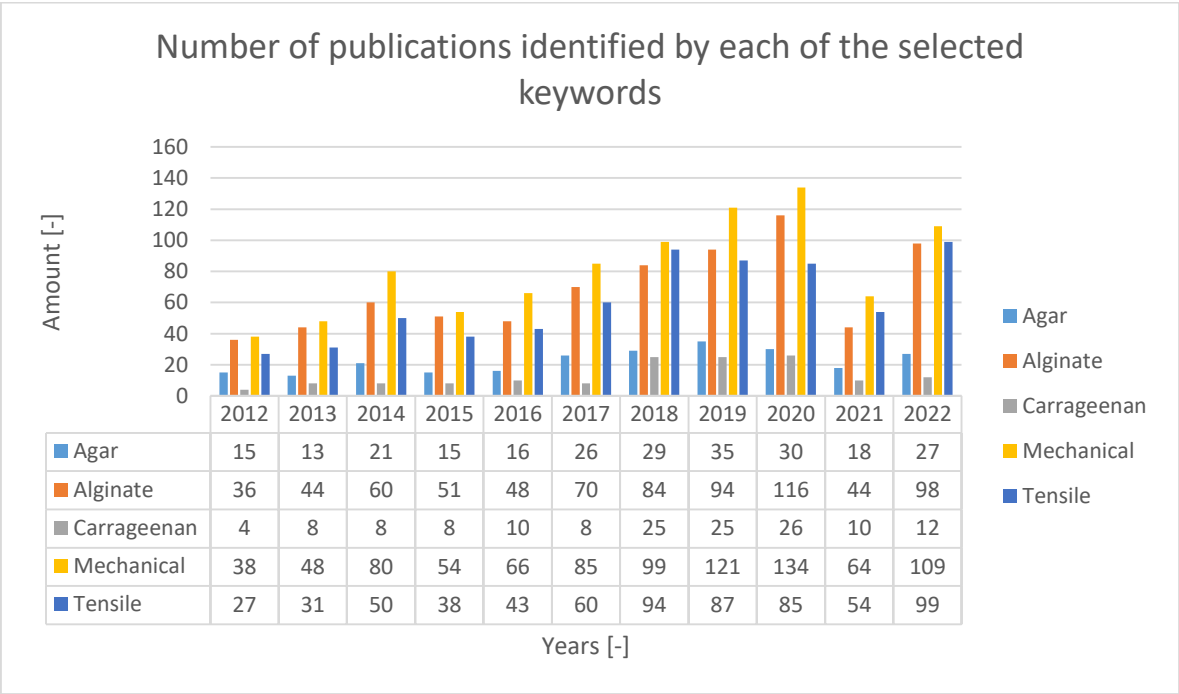
Made with Streamlit

10. Para cualquier duda, sugerencia o comentario, no dude en contactarnos.



# Base de datos de fabricaciones, concentraciones y propiedades de bioplásticos

Una vez extraído los metadatos de la base de datos Scopus y aplicado las rutinas señaladas para la identificación de la distribución de los componentes en base a algas marinas existente en estos (ver figura 3), se procede a aplicar el flujo de trabajo mediante la aplicación desarrollada para la extracción de información presentada anteriormente. De los 65 artículos existentes entre el año 2022 y 2019 que cuentan con al menos la palabra casting dentro de su abstract se lograron extraer 10 artículos, la mayor parte del restante, fueron excluidos por no cumplir con criterios de fabricación del material (es decir, solo mencionaban la palabra “casting” en el abstract), no contar con toda la información requerida, accesibilidad a algunos artículos y en otros la forma de reportar los resultados (en gráficos y no tablas).



Los resultados extraídos pueden ser revisados en la carpeta “output” de la aplicación, donde se encontraran los 10 archivos JSON extraídos. Una de las grandes ventajas de la estructura de datos JSON, es su simple conversión a tablas de Excel. Por lo que, a modo de resumen se consolido esta información en una base de datos de fabricaciones, concentraciones y propiedades de películas de bioplástico extraídas, la cual se encuentra dentro del repositorio mencionado anteriormente, ubicado exactamente en “AI\_extract\_PDF/Projects\_KnowledgeExtracted/2023\_ciencia\_abierta\_usach/4 - Extraction\_Article\_Data.xlsx”.

# Conclusiones y Recomendaciones

Este informe ha destacado avances significativos en la comprensión y aplicación de tecnologías de inteligencia artificial (IA) en el campo de los bioplásticos de algas marinas. En el corazón de nuestro estudio, encontramos que la implementación de herramientas de IA no solo acelera la extracción de conocimientos científicos, sino que también impulsa innovaciones cruciales en este sector emergente. La adopción de estas tecnologías en nuestra investigación revela una mayor eficiencia en el análisis y procesamiento de grandes volúmenes de datos. Este enfoque permite identificar patrones y correlaciones que, de otro modo, serían difíciles de discernir. Asimismo, la IA se presenta como una herramienta indispensable para explorar nuevas formulaciones y composiciones en bioplásticos, ofreciendo así alternativas más sostenibles y viables a los materiales plásticos convencionales derivados del petróleo. La relevancia de este estudio radica en su capacidad para demostrar cómo la IA, al ser aplicada en el ámbito de los bioplásticos de algas marinas, no solo acelera el proceso de investigación y desarrollo, sino que también abre nuevas vías para abordar desafíos ambientales y promover prácticas sostenibles. En conjunto, estos hallazgos representan un paso significativo hacia un futuro más sostenible y menos dependiente de los plásticos tradicionales.

La integración de la ciencia abierta con las herramientas de inteligencia artificial constituye un pilar fundamental en nuestro enfoque de investigación. Esta combinación ha sido crucial para lograr avances en el estudio de bioplásticos de algas marinas. La ciencia abierta, al fomentar la colaboración y el intercambio de datos entre investigadores, permite potenciar la capacidad de la IA para analizar grandes conjuntos de datos, acelerando así el descubrimiento de nuevas aplicaciones y optimizaciones en la producción de bioplásticos. El papel de los modelos de lenguaje de gran tamaño (LLM) en el procesamiento y análisis de información compleja y extensa ha sido especialmente remarcable. Estos modelos han permitido no solo identificar tendencias clave en la investigación de bioplásticos, sino también proponer nuevos enfoques para la extracción del conocimiento. La capacidad de los LLM para comprender y procesar lenguaje natural ha abierto un abanico de posibilidades para la síntesis de información y la generación de conocimiento, lo que ha resultado esencial para avanzar en la investigación de materiales sostenibles. Además, la ciencia abierta, combinada con la IA, propone un enfoque más holístico hacia la sostenibilidad. Este enfoque no se limita solo a la mejora de los procesos de producción de bioplásticos, sino que también incluye el análisis de su impacto ambiental y social, garantizando así que las soluciones propuestas sean verdaderamente sostenibles y beneficiosas para el medio ambiente y la sociedad.

La vigilancia tecnológica emerge como un componente esencial en nuestro estudio, destacando su importancia en el monitoreo continuo de avances en bioplásticos y tecnologías sostenibles. Este proceso de vigilancia, potenciado por las capacidades analíticas de la inteligencia artificial, permitirá mejorar la transferencia del conocimiento y permitiendo mantenerse al tanto de las últimas innovaciones y tendencias en el ámbito de los materiales alternativos, especialmente en lo que respecta a los bioplásticos derivados de algas marinas. La capacidad de la IA para rastrear y analizar grandes volúmenes de información en tiempo real será fundamental para identificar rápidamente desarrollos emergentes, cambios en las tendencias del mercado y posibles colaboraciones científicas. Esto no solo asegura que nuestro estudio permanezca actualizado con las prácticas y


tecnologías más recientes, sino que también facilita la adaptación y respuesta rápida a los nuevos desafíos y oportunidades que surgen en este campo dinámico.

Abordar los desafíos y limitaciones es un aspecto crítico para comprender el alcance y las implicaciones de nuestro estudio en el desarrollo de bioplásticos de algas marinas. A lo largo de la investigación, nos hemos enfrentado a varios obstáculos, tanto en términos técnicos como metodológicos. Uno de los principales desafíos ha sido la integración efectiva de las tecnologías de inteligencia artificial en el proceso de investigación y desarrollo de bioplásticos. A pesar de los avances significativos, la adaptación de estas tecnologías a las especificidades del campo de los bioplásticos todavía presenta dificultades en modelos de acceso abierto. Por lo que, esto incluye la necesidad de entrenar modelos de IA con datos altamente especializados. Otro desafío importante ha sido la traducción de los hallazgos teóricos y experimentales a aplicaciones prácticas y escalables. La brecha entre los resultados de laboratorio y su implementación a escala industrial sigue siendo un obstáculo significativo, que requiere una atención continua y recursos adicionales para su superación.

Basándonos en los hallazgos y experiencias de nuestro estudio, recomendamos algunas direcciones para futuras investigaciones en el campo de los bioplásticos y la aplicación de la inteligencia artificial en la sostenibilidad ambiental. Primero, se sugiere una mayor inversión en la investigación y desarrollo de algoritmos de IA específicos para el análisis de bioplásticos. Esto incluye el perfeccionamiento de modelos capaces de manejar datos especializados y complejos, lo que podría mejorar significativamente la eficiencia y precisión en la identificación de nuevas composiciones de bioplásticos y sus aplicaciones. Por último, recomendamos la promoción de iniciativas de ciencia abierta en este campo. Compartir datos y resultados de investigación puede acelerar el desarrollo de soluciones sostenibles y fomentar la innovación colaborativa, lo que es esencial para abordar los desafíos ambientales de manera más efectiva y eficiente. Estas recomendaciones buscan no solo abordar los desafíos actuales, sino también allanar el camino para avances significativos en todo tipo de investigaciones, contribuyendo a un futuro más sostenible.

El presente estudio demuestra el enorme potencial que tienen las tecnologías de inteligencia artificial en la revolución de los materiales sostenibles, especialmente en el desarrollo y la optimización de bioplásticos de algas marinas. La integración de la IA en este campo no solo acelera la investigación y el descubrimiento, sino que también ofrece nuevas perspectivas para abordar los desafíos ambientales actuales. El camino hacia la sostenibilidad ambiental es complejo y multifacético. Sin embargo, los avances que hemos identificado y las recomendaciones propuestas subrayan la importancia de continuar explorando y invirtiendo en tecnologías innovadoras como la IA. Estas tecnologías no solo pueden transformar industrias enteras, sino que también pueden desempeñar un papel crucial en la protección y preservación de nuestro medio ambiente. El estudio de los bioplásticos de algas marinas, apoyado por la inteligencia artificial, es un claro ejemplo de cómo la ciencia y la tecnología pueden converger para crear soluciones más verdes y sostenibles. Este esfuerzo colaborativo y multidisciplinario es esencial para avanzar hacia un futuro en el que la sostenibilidad no sea solo un objetivo, sino una realidad integrada en todos los aspectos de nuestra vida y trabajo. Este estudio sienta las bases para futuras investigaciones y desarrollos en este campo vital, marcando un paso significativo hacia un futuro más sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

# Referencias

- Horton, R. (2020). The COVID-19 pandemic: a planetary health perspective. *Lancet*, 395(10231), 1099-1100.
- Kraus, S., Koch, N., & Kailer, N. (2020). Innovation and entrepreneurship in times of crisis: exploring the emerging challenges and opportunities for future research. *Journal of Business Research*, 116, 209-213.
- Vicente-Sáez, R., & Martínez-Fuentes, C. (2018). Open Science now: A systematic literature review for an integrated definition. *Journal of Business Research*, 88, 428-436.
- Nielsen, M. (2011). *Reinventing discovery: the new era of networked science*. Princeton University Press.
- David, P. A. (2004). Understanding the emergence of 'open science' institutions: Functionalist economics in historical context. *Industrial and Corporate Change*, 13(4), 571-589.
- Fecher, B., & Friesike, S. (2014). Open science: One term, five schools of thought. In *Opening Science* (pp. 17-47). Springer, Cham.
- Rogers, A., Kovaleva, O., & Rumshisky, A. (2020). A primer in BERTology: What we know about how BERT works. *Transactions of the Association for Computational Linguistics*, 8, 842-866.
- Bender, E. M., Gebru, T., McMillan-Major, A., & Shmitchell, S. (2021). On the Dangers of Stochastic Parrots: Can Language Models Be Too Big?  In *Proceedings of the 2021 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency* (pp. 610-623).
- Hernández V, Ibarra D, Triana JF, Martínez-Soto B, Faúndez M, Vasco DA, Gordillo L, Herrera F, García-Herrera C, Garmulewicz A. Agar Biopolymer Films for Biodegradable Packaging: A Reference Dataset for Exploring the Limits of Mechanical Performance. *Materials*. 2022; 15(11):3954. <https://doi.org/10.3390/ma15113954>
- Lee, J., Hwang, T., & Lee, S. (2019). Current status and applications of artificial intelligence in the patent field: Focusing on patent analysis. *World Patent Information*, 58, 101924.
- Jiang, S., Qian, Y., & Mei, Q. (2020). A survey on using large-scale language models in information retrieval. *arXiv preprint arXiv:2009.06851*.
- Ibarra-Pérez D, Faba S, Hernández-Muñoz V, Smith C, Galotto MJ, Garmulewicz A. Predicting the Composition and Mechanical Properties of Seaweed Bioplastics from the Scientific Literature: A Machine Learning Approach for Modeling Sparse Data. *Applied Sciences*. 2023; 13(21):11841. <https://doi.org/10.3390/app132111841>
- Thompson, R. C., Moore, C. J., Vom Saal, F. S., & Swan, S. H. (2009). Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2153-2166.

Hopewell, J., Dvorak, R., & Kosior, E. (2009). Plastics recycling: challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2115-2126.

Kumar, A., Dixit, C. K., & Guo, C. (2020). Functionalized algal biopolymers for tissue engineering applications. *Trends in Biotechnology*, 38(3), 312-325.

Yu, H., Qin, Z., Liang, B., & Liu, N. (2020). Algae-derived biopolymers for sustainable packaging applications. *Chemical Engineering Journal*, 384, 123384.

Zheng, Y., You, F., & Ge, T. (2020). Advanced machine learning for bioprocess optimization. *Biotechnology Advances*, 38, 107453.

Smith, R., Standish, R., & Bruns, T. (2021). Machine learning in bioplastic production: Current status and future directions. *Bioresource Technology*, 319, 124175.