



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y
BIOTECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS

Aplicaciones de la nanotecnología para el envasado de alimentos

Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación, previa la obtención de Título de Ingeniera en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

AUTOR: Sibri Albarracín Vanessa Nataly

TUTORA: Dra. Dayana Cristina Morales Acosta

Ambato - Ecuador

Marzo -2022

APROBACIÓN DE LA TUTORA

Dra. Dayana Cristina Morales Acosta

CERTIFICA:

Que el presente documento ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este trabajo de Titulación bajo la modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Ambato, 11 de febrero del 2022

Dra. Dayana Cristina Morales Acosta

C.I.: 1804135570

TUTORA

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Sibri Albarracín Vanessa Nataly, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniera en Alimentos, son absolutamente originales, auténticos y personales, a excepción de las citas bibliográficas.



Sibri Albarracin Vanessa Nataly

C.I: 0106722838

Autora

APROBACION DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos Profesores Calificadores, aprueban el presente Trabajo de Titulación, modalidad proyecto de investigación, mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:

Dra. Liliana Alexandra Cerda Mejía
C.I. 18041480086
Presidente del Tribunal

Mg. Liliana Patricia Acurio Arcos
C.I. 1504067088

Mg. Fernando Cayetano Álvarez Calvache
C.I. 1801045020

Ambato, 11 de marzo del 2022

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo de Titulación o parte de él, como documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

A handwritten signature in blue ink, reading "Sibri Albarracin Vanessa Nataly". The signature is written in a cursive style with a long horizontal line extending to the right.

Sibri Albarracin Vanessa Nataly

C.I: 0106722838

Autora

DEDICATORIA

A Dios, Jesús y María Santísima por darme la oportunidad de la vida y la oportunidad de haber estudiado el tercer nivel académico.

A mi madre Olga Albarracín, por ser mi apoyo incondicional en todo; gracias a su dedicación y esfuerzo incalculable he logrado cumplir un sueño más.

A mi esposo Paúl Galindo, gracias por su tiempo y paciencia.

A mi hija Paulina Galindo, por ser el motivo de mis logros y proyectos.

Nataly

AGRADECIMIENTO

A Dios y a la Virgen María, por darme la oportunidad de vivir y la fuerza para no rendirme en ningún momento.

A mi madre Olga, que se sacrificó trabajando duramente para que yo llegara a este momento.

A mi esposo Paúl, que depositó su confianza y paciencia al apoyarme en los duros momentos de mi carrera universitaria, por cuidar de nuestra hija. Y por darme el amor que necesitaba para seguir adelante.

A mi tía Deyci, que me acogió en su hogar los primeros meses de mi carrera universitaria y me brindó los mejores consejos cuando lo necesitaba.

A la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología, por formarme en sus laboratorios y espacios educativos con los docentes encargados, que creyeron en mí y en mi formación profesional.

Y de manera especial a mi tutora, Dra. Dayana Cristina Morales Acosta por su tiempo, colaboración, y conocimientos, todos necesarios para el desarrollo del trabajo de titulación.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	iii
DERECHOS DE AUTOR	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT	xii
CAPITULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
Antecedentes investigativos	1
1.1 Historia de la nanotecnología.....	1
1.2 Concepto de nanotecnología	7
1.3 Nanomateriales.....	8
1.4 Obtención de los nanomateriales manufacturados	9
1.5 Clasificación de los nanomateriales de acuerdo con su origen	10
1.6 Importancia de la nanotecnología	11
1.7 Nanotecnología en lo agro	12
1.8 La nanotecnología en el área textil.....	13
1.9 La nanotecnología en la medicina.....	14
1.10 La nanotecnología en la industria alimentaria	16
1.11 Importancia del uso de envases plásticos en los alimentos.....	18

1.12 Nanotecnología en envases para alimentos.....	18
1.13 Ventajas y desventajas de la nanotecnología	19
CAPÍTULO II	22
METODOLOGÍA	22
2.1 Materiales.....	22
2.2 Métodos.....	22
2.2.1 Definición del problema.....	22
2.2.2 Búsqueda de la información.....	22
2.2.3 Organización de la información.....	23
2.2.4 Análisis de información	23
CAPÍTULO III	24
“NANOTECNOLOGÍA EN ENVASES PARA ALIMENTOS”.....	24
3.1 Aplicaciones de la nanotecnología en envases.....	24
3.2 Principales nanomateriales empleados en envases	27
3.3 Principales nanopartículas empleados en envases	30
3.4 Principales nanocompuestos poliméricos empleados en envases	33
3.5 Principales nanosensores y dispositivos empleados en envases	34
3.6 Envases biodegradables con nanotecnología	37
3.7 Envases comercializados con nanotecnología	38
A nivel mundial.....	38
A nivel de Latinoamérica.....	39

A nivel de Ecuador.....	40
3.8 Beneficios obtenidos por los envases con nanotecnología	40
CAPITULO IV	42
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	42
Conclusiones	42
Recomendaciones.....	43
BIBLIOGRAFIA	44

Tabla 1 Historia breve del desarrollo de la Tecnología	2
Tabla 2 . Aplicaciones frecuentes de la nanotecnología en la industria alimentaria.....	17
Tabla 3 Ventajas y desventajas de la nanotecnología	20

Figura 1 "Definición ISO de los nano-objetos incluyendo las 3 dimensiones básicas" .	24
Figura 2 "Empaques híbridos de quitosano, gelatina, y NPs de plata a dos concentraciones específicas"	34

RESUMEN

El objetivo principal de este estudio se enfoca en el análisis de las aplicaciones de la nanotecnología para el envasado de alimentos, tomando en cuenta sus aportes y beneficios para la industria alimenticia. De esta manera, se realizó un análisis teórico de los estudios científicos publicados relacionados con la nanotecnología en el desarrollo e innovación de envases para productos alimenticios, con mayoría de información publicada durante los últimos cinco años; la misma que se encuentra disponible en la base de datos ofrecido por la Universidad Técnica de Ambato (Wiley Online Library, Scopus) y también se empleó la base de datos de acceso libre (SciELO, Latindex, Pub Med, SCI-HUB). La información obtenida ha servido para identificar la situación actual de la nanotecnología y su relación con los envases alimenticios. Los resultados obtenidos fueron que la nanotecnología en los envases de alimentos ya es una realidad para diferentes alimentos y se han ido incursionando en el mercado de manera sutil lo cual sin darse cuenta ya cuenta con una aceptabilidad por parte del consumidor, lo cual es benéfico para la industria alimenticia ya que se alarga la vida útil del alimento, se detecta microorganismos y/o se eliminan, se ha disminuido considerablemente la susceptibilidad del producto a los cambios climáticos ya que envases con nanotecnología presentan altas condiciones de barrera.

Palabras claves: Investigación bibliográfica, industria alimentaria, nanotecnología, nanomateriales, envasado de alimentos, vida útil de alimentos.

ABSTRACT

The main objective of this study focuses on the analysis of nanotechnology applications for food packaging, taking into account its contributions and benefits for the food industry. In this way, a theoretical analysis of the published scientific studies related to nanotechnology in the development and innovation of packaging for food products was carried out, with most of the information published during the last five years, which was available in the databases offered by the Technical University of Ambato (Wiley Online library, Scopus) and also used the open access database (SciELO, Latindex, Pub Med, SCI-HUB). The information obtained has served to identify the current situation of nanotechnology and its relationship with food packaging. The results obtained were that nanotechnology in food packaging is already a reality for different foods and has been making inroads into the market in a subtle way, which without realizing it already has an acceptability by the consumer, which is beneficial for the food industry since the shelf life of the food is extended, microorganisms are detected and/or eliminated, the susceptibility of the product to climatic changes has been considerably reduced since packaging with nanotechnology has high barrier conditions.

Keywords: Bibliographic research, food industry, nanotechnology, nanomaterials, food packaging, food shelf life.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

Antecedentes investigativos

1.1 Historia de la nanotecnología

Alonso et al. (2015) dan a conocer que la nanotecnología ya se encontraba implícitamente presente en el siglo IV a.C.; para ello se basan en la copa de la muerte del Rey Licurgo que fue fabricada con vidrio de sosa y cal; y en su estructura cuenta con nanopartículas de oro y plata. Debido a dichas partículas se da el cambio de color, de verde a un rojo intenso cuando se inserta una fuente de luz en lo profundo del recipiente. Pero no fue hasta 1959 que se vislumbró la capacidad de trabajar con materiales a escala atómica – molecular por parte del físico norteamericano Richard Feynman en su conferencia conocida como “hay mucho sitio en el fondo” en el California Institute of technology (Caltech) (Engler et al., 2016; Mendoza y Rodríguez, 2007). Sin embargo, el término nanotecnología fue creado y empleado en 1974 por Norio Taniguchi, quien señala que: *“La nanotecnología consiste en el procedimiento de separación, consolidación y deformación de materiales átomo por átomo o molécula por molécula”* (Quintili, 2012), (Alonso et al., 2015)

Desde entonces el desarrollo de la nanotecnología ha sido un desafío tecnológico para los profesionales en el área, los mismos que han ido implementando diferentes inventos en el transcurso del tiempo dado el gran potencial que ésta presenta en la resolución de problemas y múltiples aplicaciones en diversos campos como el textil, farmacéutico, médico, alimentario (Villena & García 2018), automotriz, aeroespacial, marítimo, electrónico, telecomunicaciones (Alonso et al., 2015). Abriendo un mundo lleno de posibilidades para el desarrollo y la implementación de bienes y servicios. En la actualidad, se evidencia el uso de la nanotecnología con mayor frecuencia en áreas de informática, computación y telecomunicaciones (baterías de carga ultrarrápida y la optimización del rendimiento de operación de los diferentes aparatos tecnológicos) (García y Betancur, 2017); médica (diagnósticos tempranos, liberación controlada de

fármacos, regeneración de tejidos) (Martínez Torreblanca et al., 2020a); cosmética (bloqueadores solares eficientes)(Urquilla, 2019); textilera (auto-limpieza, hidrofobicidad, antimicrobianos, resistencia a los rayos ultravioletas, retardantes del fuego) (Villa, 2018); industria alimentaria (conservación de alimentos, envases inteligentes, alimentos mejorados, funcionales) (Urquilla, 2019); automotriz (nanobaterías y llantas más resistentes) National Nanotechnology Initiative (NNI, 2017); medio ambiente (potabilización de agua) (Monárrez Blanca, 2011), dando apertura a mayores posibilidades para el mejoramiento de la calidad de vida.

A continuación, se presenta un cuadro que detalla los inicios y avances de la nanotecnología hasta la actualidad:

Tabla 1 Historia breve del desarrollo de la Tecnología

AÑO	AVANCES EN LA NANOTECNOLOGÍA
1959	<ul style="list-style-type: none"> • Richard Feynman físico norteamericano en su célebre conferencia llamada “hay mucho sitio en el fondo” habla sobre máquinas moleculares construidas con precisión atómica (Engler et al., 2016), (Mendoza et al., 2007).
1974	<ul style="list-style-type: none"> • Se crea el concepto de nanotecnología por Norio Taniguchi diciendo que: “<i>La nanotecnología consiste en el procedimiento de separación, consolidación y deformación de materiales átomo por átomo o molécula por molécula</i>” (Quintili, 2012), (Alonso et al., 2015)

	<ul style="list-style-type: none"> • Dr. Tuomo Suntola y sus colaboradores consiguen la deposición de capas atómicas (ALD) (Asociación de Televisiones Educativas y culturales de Iberoamérica (ATEI), 2018).
<p>1975-1985</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Gerd Binnig, Heinrich Rohrer contribuyentes en el desarrollo y perfeccionamiento del Scanning tunneling microscope (STM), consiguieron visualizar la imagen de los átomos (Galarza, 2009).
<p>1985</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Se descubre la Bucky Ball: los fullerenos, estructuras de un nanómetro de diámetro en forma de balón de fútbol, formadas por 60 átomos de carbono, estos cuentan con características de ser excelentes conductores y altamente estables; además, tienen la capacidad de resistir a altas temperaturas y presiones (Invernizzi et al., 2005), (Galarza, 2009).
<p>1986</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Eric Drexler publica “Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology” (Máquinas de creación: la llegada de la era de la nanotecnología); cuya idea era la posibilidad de elaborar máquinas

	<p>moleculares (Invernizzi et al., 2005), (Galarza, 2009).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Creación del microscopio de fuerza atómica (AFM); se puede medir los rasgos morfológicos muy pequeños de una superficie (Mensch, 2015). • Arthur Ashkinand y colaboradores desarrollaron una técnica conocida como pinzas ópticas ('optical tweezers'), la misma que permite manipular simples moléculas biológicas de tamaños nanométricos (Álvarez et al., 2009).
1989	<ul style="list-style-type: none"> • La manipulación atómica es una realidad: Donal y Eigler escriben el logo de IBM con 35 átomos de xenón en una placa de níquel (Lozano, 2018).
1991	<ul style="list-style-type: none"> • Sumio Lijima descubre los nanotubos de carbono; también identifica que sufren variaciones en su comportamiento cuando alguna de sus propiedades se modifica (Galarza, 2009), (Invernizzi et al., 2005).
1993	<ul style="list-style-type: none"> • Warren Robinet y Stanley Williams consiguen ver y tocar átomos empleando el STM

	<p>mediante una realidad virtual (Delgado, 2004).</p>
1997	<ul style="list-style-type: none"> • Se funda la primera compañía en nanotecnología: Zyvex focalizada en el desarrollo de materiales nanoestructurados e integrarlos en nuevos productos de diferentes áreas como la industria automotriz, aeroespacial, marítima, de salud y alimentos (Alonso et al., 2015), (Invernizzi et al., 2005).
2000	<ul style="list-style-type: none"> • El presidente Clinton anuncia la U.S. National Nanotechnology Initiative y su financiamiento (Delgado, 2004). • Creación del primer nanomotor de ADN (Delgado, 2004), (Hernández, 2018).
2001	<ul style="list-style-type: none"> • Ejecución de la técnica de polimerización del dos-fotón; previo a la creación de micro máquinas (Delgado, 2004), (TIMETOAST, n, d.). • Se instaura la calculadora más pequeña del mundo y el circuito lógico con nanotubos de carbono (Delgado, 2004), (Hernández, 2018).

<p style="text-align: center;">2002</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Llamamiento de las Academias Americanas a la investigación experimental dirigida a la fabricación molecular (Pinilla, 2015), (Nanopartículas, nanografía, nanoescritor láser GaN, nanoporos (Díaz, 2017)). • Elaboración del microscopio electrónico, cuya capacidad fue observar el radio de un átomo de hidrógeno (Hernández, 2018).
<p style="text-align: center;">2004</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Se emplean los nanotubos en raquetas, los mismos que forman una o más hojas de carbono de manera concéntrica para reforzar las raquetas con el fin de que sean más potentes y resistentes (ABC TENIS, 2004).
<p style="text-align: center;">2007</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Intel usa el depósito de capas atómicas (ALD) en los microchips y los comercializa (ATEI, 2018).
<p style="text-align: center;">2008</p>	<ul style="list-style-type: none"> • En México se inicia con la propuesta Nacional de investigación en Nanotecnología involucrada con medio ambiente, salud y seguridad (NNI, 2017), (Díaz, 2017).

2009	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboran simuladores de ADN de dispositivos robóticos de ensamblaje a nanoescala (NNI, 2017), (Díaz, 2017).
2010	<ul style="list-style-type: none"> • IBM usa la punta de silicio para cincelar un material de sustrato, demostrando un modelado que genera patrones y estructuras a nanoescala tan pequeñas como 15 nanómetros abriendo un abanico de oportunidades para la electrónica, la medicina (NNI, 2017).
2012	<ul style="list-style-type: none"> • National Nanotechnology Initiative promueve los nanosensores y la infraestructura nanotecnológica (NNI, 2017),
2013	<ul style="list-style-type: none"> • Se desarrolló la primera computadora con nanotubos de carbono (Guerrero, 2013).

Elaboración: Sibri Albarracin Vanessa Nataly

1.2 Concepto de nanotecnología

Para comprender el concepto de nanotecnología es importante conocer la nanoescala, para tener clara la medida de trabajo de esta revolución tecnológica. En el S.I.U. (Sistema Internacional de Unidades) nano es un prefijo de enano o pequeño, un nanómetro o nm es equivalente a una mil millonésima parte de un metro, 10^{-9} m, o a la millonésima parte de un milímetro. Esta unidad, es empleada para medir longitudes en escala atómica y las distancias entre los átomos de las moléculas (Briones et al., 2007).

La nanotecnología para Invernizzi et al., (2005) es la manipulación de materiales (moléculas y/o átomos) de manera precisa a escala nanométrica para la fabricación de productos, es decir, permite la reestructuración molecular de materiales a una escala nanométrica (rango de 1 a 100 (nm) (García & Betancur, 2017). De igual forma (Jaimes et al., 2017) indica que la fabricación molecular (nanotecnología) está focalizada en la manipulación, caracterización, fabricación y organización de estructuras biológicas y no biológicas a dicha escala. La manipulación estructural de los materiales genera cambios en sus propiedades intrínsecas y se generan dispositivos y materiales nuevos, radicalmente nuevos, que incluyen propiedades y características diferentes, únicas y útiles (García, 2019).

1.3 Nanomateriales

Los nanomateriales son materiales que poseen partículas con dimensiones de 1 a 100nm, estos pueden ser resultado de la naturaleza (volcán) o actividad humana (proceso industrial), conocidos como naturales y accidentales, respectivamente, o también pueden ser los llamados nanomateriales manufacturados los que son reestructurados átomo por átomo con el fin de modificar sus características y dar propiedades específicas como la depresión del punto de fusión, mayor reactividad, hidrofobicidad, mayor conductividad, alta estabilidad térmica (Baladrán et al., 2021; Borja & Rojas, 2020) los mismos que se clasifican en cuatro categorías según las dimensiones que posean.

El sistema de clasificación de Pokropivny, V. & Skorokhod, V. (2007) permite hablar de:

- Nanomateriales de dimensión cero (0D), es decir, sus tres dimensiones (x,y,z) se encuentran en régimen nanométrico dentro de esta categoría se encuentran los fullerenos, las nanopartículas de Au y Ag, los nanodiamantes (Mora, 2013).
- Nanomateriales unidimensionales (1D), aquí se da importancia a la dimensión predominante en escala normal (metro) en este caso es la longitud de los ejemplos citados a continuación (Pokropivny, V. & Skorokhod, V. 2007); como los nanotubos, nanocilindros y nanohilos; es importante mencionar que también poseen una dimensión en régimen de nanómetros (diámetro) (Amaya & Quiroga, 2019).

- Nanomateriales bidimensionales (2D), aquí la dimensión que tiene importancia para el material son las dos direcciones (x e y) en escala superior a 100nm, mientras que su grosor se encuentra en escala nanométrica; su presentación es como lámina, con un espesor entre 1 a 100 nm aquí se puede citar al grafeno, nanorecubrimientos, nanopelículas (Amaya & Quiroga, 2019a; Briones Carlos et al., 2007).
- Nanomateriales tridimensionales (3D) este consiste en la agregación de nanomateriales en cada dirección (x,y,z), es decir, cada dirección se encuentra estructurada por unidades nanométricas (Borja & Rojas, 2020) por lo tanto ninguna dimensión (x,y,z) es menor a 100nm, pudiéndose citar al grafito (Amaya & Quiroga, 2019b)

1.4 Obtención de los nanomateriales manufacturados

Para la síntesis de los nanomateriales existen dos métodos:

- “Top-down” o de manera descendente, la misma que consiste en la elaboración de nanomateriales con la desagregación del material macroscópico hasta llegar a las dimensiones nano métricas, para lo cual emplean técnicas físicas de fuerte deformación como molienda y desgaste mientras que como técnica química se utiliza la volatilización y condensación (López Mora et al., 2018; Zanella, 2012).
- “Bottom-up” o llamado también como ascendente cuyo fundamento es la elaboración de nanoestructuras con la agregación y/o modificación de átomo por átomo o molécula por molécula con la capacidad de autoensamblarse o autoorganizarse frente a un cambio externo presente (pH, campo eléctrico, solución química), empleando técnicas de sol – gel, evaporación / condensación, plasma térmico y reacciones en fase vapor. Para ello citaremos un ejemplo de la producción de nanopartículas de plata, donde se mezcló nitrato de plata (AgNO_3) y citrato de sodio $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$, como agente reductor. Las cargas positivas de los átomos de plata son neutralizadas por el $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ ocasionando una aglomeración de las cargas mediante las fuerzas de atracción de Van der Waals

hasta tener un tamaño homogéneo de nanopartículas; para rescatarlas se realiza una filtración y luego un secado (Baladrán, R. & Mendoza, M. 2021).

1.5 Clasificación de los nanomateriales de acuerdo con su origen

La agencia del Medio Ambiente (EPA) de Estados Unidos ha clasificado a los nanomateriales en:

Basados en carbono

Como es de conocimiento general el carbono es el elemento químico que ha tenido mayor ámbito investigativo, descubriendo en los ochenta los fullerenos (C₆₀) cuya forma es esférica y tiempo después se identificó a los nanotubos de carbono (de forma cilíndrica) y el grafeno (sus carbonos forman una red hexagonal). Estos nanomateriales son empleados en el desarrollo de películas mejoradas, recubrimientos, materiales resistentes, aislantes (Ávalos Fúnez, 2016).

Basados en metales

En esta familia se encuentran los cristales semiconductores compuestos de miles de átomos, también forman parte las nanopartículas de oro y plata y los óxidos metálicos como el dióxido de titanio o níquel nano estructurado

Dendrímeros y nanopolímeros

Básicamente los dendrímeros son macromoléculas, construidas por varias ramificaciones, presentando la posibilidad de ser modificadas, para la adicción de algún grupo funcional, su importancia recae sobre la catálisis que realiza a nanoescala, sensores químicos, encapsulación de moléculas (Gonzalo, T. & Muñoz, A. 2005; Ávalos Fúnez, 2016).

Los nanopolímeros son polímeros en escala nanométrica, cuya característica es su superficie específica alta y; propiedades catalíticas (Quintana et al., 2015).

Compuestos

Es decir, surgen combinaciones de nanopartículas con otros materiales de tamaño mayor (Ávalos Fúnez, 2016), un claro ejemplo de esto son los nanocristales de materiales de conducción media (puntos cuánticos) con capacidades electrónicas, magnéticas, ópticas y

catalíticas; y nanoarcillas (materiales cerámicos) con propiedades de barrera al oxígeno, humedad y con resistencia mecánica alta (Quintana et al., 2015).

1.6 Importancia de la nanotecnología

Las necesidades humanas se han ido incrementando con el pasar de los años es por eso que la nanotecnología junto con la tecnología se han fusionado de manera excepcional y su evolución ha desarrollado diferentes e innovadores inventos que hoy en día satisfacen requerimientos básicos de los seres humanos tales como: la obtención de agua potable, descontaminación del aire, eficiencia en fumigación agrícola (Euroresidentes, 2015); obtención de ordenadores entre otros aparatos electrónicos con bajo costo de adquisición (Márquez, 2019); producción de energía eléctrica a través de la energía termal solar, fabricación de equipos avanzados y baratos para I+D+i en la línea médica, desarrollando alimentos funcionales y con alto valor nutricional (Jaimes et al., 2017), los que ayudarán a combatir la desnutrición y/o obesidad, mayor vida de anaquel de diferentes alimentos (Parzanese, 2015); transformando el estilo de vida de las personas. Como resultado de esto, la nanotecnología converge en diferentes disciplinas: desde la ciencia de materiales electrónicos hasta la medicina, estos son los campos más notorios dentro del contexto social ya que la necesidad de desenvolverse en el entorno tecnológico facilita un sinnúmero de actividades del diario vivir, por lo tanto, van estrechamente enlazados para el uso-beneficio.

En el campo de la medicina, específicamente en el área de farmacia se refleja claramente el avance de la tecnología con la aplicación de la nanotecnología por lo que ha llegado hasta salvar vidas, como respaldo de lo antes mencionado Portales León, (2017) indica que la prevención y tratamiento de enfermedades ya es una realidad, gracias a los nanorobots dirigibles que controlan la liberación de fármacos obteniendo una reparación de tejidos y células dañadas prevaleciendo la vida del paciente, un ejemplo de ello es la investigación realizada por Araya-Sibaja et al., (2021) cuyo estudio se focalizó en incorporar curcumina (CUR) a nanosistemas (nanocristales, nanosuspensiones, nanoemulsiones) con el fin de optimizar la actividad anticancerígena, disponibilidad, solubilidad, especificidad del CUR en tumores de ratones, obteniendo un tratamiento personalizado y eficaz. El instituto Federal de Tecnología en Suiza ha desarrollado unos

robots microscópicos que pueden ser introducidos en el cuerpo humano cargados de fármaco y ser guiados con campos magnéticos; dicho estudio se ejecutó en el ojo (retina) (Euroresidentes, 2015).

1.7 Nanotecnología en lo agro

La producción en la agricultura siempre se encuentra en un constante combate con plagas de insectos y malezas, teniendo como consecuencia una reducción y/o pérdida de productividad. La nanotecnología en este campo abre muchas posibilidades para establecer perfeccionamientos en los sistemas de agricultura para la producción de alimentos y teniendo como consecuencia una reducción de costos de producción, optimización de procesos, reducción del uso de agua, materiales, trabajo, tierra entre otros (Euroresidentes, 2015). Castro Restrepo (2017) en su investigación realizada menciona que con la fabricación molecular (nanotecnología), se puede potencializar las técnicas de manejo contra las enfermedades de los cultivos con el empleo de nanopartículas (nano encapsulamiento de los ingredientes activos) en las formulaciones de fungicidas, repelentes de insectos, herbicidas; ya que esto incrementa la eficiencia de los productos químicos disminuyendo su volatilización y lixiviación (Lira-Saldivar et al., 2018), la nanoencapsulación ayudará a precisar la aplicación de los productos consiguiendo una penetración más eficaz mediante las cutículas y tejidos de la planta logrando además disminuir la toxicidad para el medio ambiente (García López et al., 2016).

Por otro lado tenemos una población en constante crecimiento que exige cada vez más una mayor cantidad y calidad de alimentos, por tanto se busca incrementar la producción sin causar daño al medio ambiente. Los agricultores deben brindar todos los nutrientes necesarios a la planta o al cultivo para que la producción sea eficiente, para ello se ha logrado conseguir los nanofertilizantes enfocados en nanomateriales como nutrientes (hierro, fósforo, magnesio, nitrógeno) que serán absorbidos por las raíces u hojas y su descomposición dentro de los tejidos de los vegetales liberarán el nutriente y este podrá ser utilizado por la planta. Mientras que el nanomaterial cargado de nutrientes hace el papel de un transportador, en otras palabras, el nutriente es cargado en la superficie o introducido en el interior del nanomaterial, el mismo que será absorbido y almacenado en los tejidos de la planta. Después dichos nutrientes se van liberando de manera

progresiva lo que provoca una fuente continua de nutrientes en la parte interior del cultivo (raíz) o en la planta, esto puede ser por difusión o desintegración de la nanopartícula (Echevarría-Machado, 2019; Miguel-Rojas & Pérez-De-Luque, 2020).

En la agricultura unos de los elementos ya empleados son los nanotubos de carbono (NTC) debido a su excepcional combinación de propiedades, utilizados para estimular el crecimiento de las plantas y la germinación de semillas (Khodakovskaya et al., 2012) (Lira-Saldivar et al., 2018). Los NTC han demostrado tener capacidad de mejorar el crecimiento del cultivo de células del tabaco (Khodakovskaya et al., 2012). En otro estudio, realizado por Hao et al., (2018) se demuestra que los nanomateriales con nanopartículas de óxido de hierro y óxido de titanio inhibieron significativamente la proliferación viral del mosaico del nabo en la planta de tabaco.

Delgado (2009) menciona que se está estudiando cómo conseguir la agricultura de precisión “*precisión farming*”, es decir, establecer un sistema completo de tecnología y nanotecnología que permita monitorear en tiempo real el manejo de pesticidas, nanofertilizantes, nanoarcillas para la fortificación de suelos y nanosensores para realizar seguimiento de la evolución del cultivo, condiciones del medio ambiente y del suelo (Echevarría-Machado, 2019).

Este tipo de estudios brinda una perspectiva futurista sobre el uso de la nanotecnología en el tratamiento de los suelos, creando la posibilidad de mejorar aquellos productos que se usan como: el tratamiento de cultivos, pesticidas, insecticidas hasta el tratamiento molecular de las semillas entre varias posibilidades que se van abriendo a través de la experimentación.

1.8 La nanotecnología en el área textil

La nanotecnología (NT) ha generado una revolución textil en los últimos tiempos. El desarrollo de materiales en este campo tecnológico ha permitido crear prendas de mayor calidad y sobre todo innovadoras, adaptándose a diversos contextos y estilos de vida del ser humano. Lo que ha llevado al mercado de consumo textil, no solo a buscar ropa para mitigar el frío o calor (Valdez et al., 2016); sino que también, el producto sea de alta calidad y durabilidad, presente resistencia a desgarros, entre otros, es decir, que

otorgue soluciones a los problemas cotidianos como protecciones climáticas (protección UV), aspectos estéticos del individuo (resistentes a líquidos, manchas, combate las arrugas), etc., (Jiménez et al., 2021, Chavali et al., 2018).

El primer enfoque nanotecnológico está relacionado con mejorar las propiedades y características superficiales de fibras y tejidos (Villa, 2018); dichas mejoras pueden darse por tres tratamientos; físico (mediante la utilización de plasma), mecánico (micro fibrilación y compactación) y químico (métodos biológicos) (Naik, 2017; Quintili, 2012). El segundo enfoque corresponde a la integración de sensores con tecnologías de la información, lo que se conoce como tejidos inteligentes, los que tienen la capacidad de modificar su naturaleza como respuesta a algún cambio en su entorno. Esta tecnología ha permitido mejorar la funcionalidad de las prendas textiles mediante la incorporación de sensores diversos, microprocesadores, indicadores luminosos, fibra óptica, todo ello alimentado por baterías incorporadas a la propia prenda” (Villa, 2018).

En este aspecto se evidencia que la nanotecnología ha permitido mejorar las propiedades de fibras y tejidos, con el objetivo de generar atributos estéticos, confort y propiedades funcionales a las prendas. Corroborando lo antes mencionado, la empresa Nano Silver y Nanotex ofrecen prendas de vestir (calcetines, playeras y ropa deportiva) cuyos acabados son de nanopartículas de plata y cobre, con la funcionalidad de poder liberar del mal olor (debido a la sudoración) al usuario, también ayuda al tratamiento de infecciones en la piel, como es el caso de los calcetines Nano Silver que se encuentran enfocados a personas diabéticas. Outlast, es una compañía que se encuentra desarrollando trajes espaciales para la NASA ya que sus textiles cuentan con microcápsulas de materiales de cambio de fase, es decir, absorben el calor y lo libran cuando existe un cambio de temperatura externa (Navarro Tovar et al., 2018). Otro ejemplo es NANTO (rociador) un recubrimiento hidrofóbico que impermeabiliza la ropa, tenis y muebles, elaborado por estudiantes de ingeniería en nanotecnología en Guadalajara; México (Nanto, 2017).

1.9 La nanotecnología en la medicina

La aplicación de la nanotecnología en la medicina (nanomedicina) ha dado pasos agigantados, debido a que este campo ha sido más explorado por la necesidad constante

que tiene el ser humano de mejorar su salud, por ende las opciones se han ido ampliando en varias temáticas, principalmente en tres que se abordarán a continuación. Es importante mencionar que todos los estudios investigativos que señalan las temáticas a tratar han sido realizados in vitro e in vivo (ratones).

- En el diagnóstico temprano que básicamente es la identificación de la enfermedad en etapas tempranas con la utilización de nanosistemas de imagen y nanobiosensores (Cuadros Marta et al., 2010; Martínez Torreblanca et al., 2020b).
 - Se realizó un estudio de resonancia magnética con nanopartículas de óxido de hierro para determinar la inflamación cerebral, estas nanopartículas de óxido de hierro recubiertas de dextrano sulfatado son absorbidas con afán por la microglía, obteniéndose un contraste significativamente mejorado en comparación con los controles del estudio, lo que conlleva a visualizar la información sobre el proceso inflamatorio (Tang, T. et al., 2018)
- Prevención y tratamiento de algunas enfermedades, consiste en la actuación, distribución y liberación de la medicina nanoencapsulada en el área requerida (Cuadros Marta et al., 2010; Martínez Torreblanca et al., 2020b; Ocampo Melchor et al., 2019).
 - Valenzuela, M. et al., (2021) trabajó con BioArgovit®, que es una nanopartícula de plata recubierta de proteína hidrolizada sintetizada, la misma que inhibió el crecimiento tumoral, potenció la antiproliferación y presentó actividad antiparasitaria selectiva 10 veces más ante el agente quimioterapéutico de primera línea (carboplatino).
- La nanomedicina regenerativa ha presentado un enfoque particular en diseñar estructuras que ayuden a reparar o sustituir los tejidos y órganos dañados. (Martínez Torreblanca et al., 2020b; Ocampo Melchor et al., 2019) según se ha ido desarrollando biomateriales y nanobiomateriales (Reyes, P. 2021).
 - Para dicha reparación la nanotecnología ha propuesto el uso de andamios a base de polímeros o metales que contengan las propiedades ideales (nutrientes) para la reconstrucción de tejido, una de ellas es la hidroxiapatita, ya que al ser porosa permite la libre circulación de los nutrientes en las células que se encuentren presentes, ayudando así a la

proliferación celular lo cual llevará a la regeneración de la estructura (Reyes, P. 2021).

Todo esto se puede dar debido a que la nanomedicina ha desarrollado la detección del comportamiento de las células normales, transformadas y biomoléculas (Ocampo Melchor et al., 2019). Es por ello que se define a la nanomedicina como *“Una rama de la nanotecnología con aplicaciones directas en medicina, que está permitiendo el abordaje de las enfermedades desde el interior del organismo, a un nivel celular o molecular”*(Cuadros Marta et al., 2010) .

Es importante mencionar también que la nanomedicina se encuentra vinculada con mejorar la biodisponibilidad y compatibilidad del fármaco en el organismo, ya que algunos medicamentos cuentan con poca solubilidad, absorción y disponibilidad al momento de ser suministrados al paciente (Gómez, 2019), por lo que se tiene perspectivas de que con ayuda de los nanomateriales tengan la capacidad de atravesar la pared de la vena y arterias, ser estables, resistentes, pueden acumularse eficientemente en lugares de estudio dentro de la célula (Ocampo Melchor et al., 2019).

Sin embargo, no todas las aplicaciones se encuentran comercializadas debido a que no han culminado las fases de pruebas lo que con lleva a no poder garantizar la seguridad y efectividad del producto de la nanotecnología (Ocampo Melchor et al., 2019, Torreblanca et al., 2020b;).

1.10 La nanotecnología en la industria alimentaria

La nanotecnología en este campo aún está en crecimiento contrayendo varios cambios en los alimentos especialmente para hacerlos más saludables. En la Tabla 2, se mencionan aquellas aplicaciones frecuentes que tiene la nanotecnología alimentaria:

Tabla 2 . Aplicaciones frecuentes de la nanotecnología en la industria alimentaria

Categoría	<i>Nanopartículas (NP) metálicas</i>		<i>Materiales de carbono</i>	<i>Nanoestructuras de ADN</i>	<i>Nanopartículas bimetálicas</i>	<i>Nanocompuestos poliméricos</i>		
Nanomateriales	Oro (AuNP) y plata (AgNP)	Óxido de cerio	Nanotubos de carbono y grafeno	Óxido de grafeno (GOx) y plata (AgNP)	Platino (PtNP) y Oro (AuNP)	Arcilla y silicato	Óxido de zinc y dióxido de titanio	Nitruro de Titanio (Tin)
Función	Detección de contaminantes (químicos, microbiológicos, pesticidas, metálicos) alimentarios.	Actúa como sondas colorimétricas en sensores para ayudar a la detección de antioxidantes y glucosa alimentarios.	Detección electroquímica de contaminantes alimentarios como nitrito, bisfenol, bacterias, plaguicidas organofosforados.	Detección de antibióticos en leche y carne.	Detección de <i>E. coli</i> O157:H7	Otorgan propiedades de barrera a los envases.	Agentes fotocatalíticos para degradar moléculas orgánicas y microorganismos.	Ofrece resistencia mecánica y coadyuvante en la fabricación de PET.
Fuente	(Bülbül et al., 2015), (Lv et al., 2018), (Abbaspour et al., 2015)	(Bülbül et al., 2015).	(Tsagkaris et al., 2018), (Bülbül et al., 2015).	(Yang et al., 2016), (Scandurra et al., 2019)	(Jiang et al., 2017), (Prieto, 2017)	(Tsagkaris et al., 2018), (Bumbudsanpha roke et al., 2015)	(Ivanišević et al., 2021)	(Tsagkaris et al., 2018)

Elaboración: Sibri Albarracin Vanessa Nataly

La aplicación de la nanotecnología en los alimentos ha ido avanzando con el objetivo de obtener beneficios tanto para la industria como para el consumidor, es decir, productos más saludables, frescos, resistentes y de mayor durabilidad. Para ello se realiza un seguimiento de los procesos con el fin de asegurar la calidad y seguridad alimentaria. De esta manera se respalda el consumo responsable de alimentos con una visión de cuidado nutricional, aportando ciertos beneficios a varios sectores de la población.

1.11 Importancia del uso de envases plásticos en los alimentos

En la industria de alimentos un aspecto de suma importancia en la línea de producción es el envasado del producto, porque este debe colaborar a la preservación de la calidad e inocuidad del alimento, es decir proteger de posibles afectaciones microbiológicas, de cambios en sus características sensoriales; también debe resaltar los atributos del alimento. (Parzanese, 2015). Actualmente los envases de los alimentos son elaborados con materiales poliméricos procedentes del petróleo (Rives, 2020). Sin embargo, se ha visto la necesidad de generar envases con cantidades menores de polímero, pero sin perder la función de barrera a los gases y a la luz, ni a sus propiedades mecánicas para no poner en riesgo la seguridad del alimento envasado (Lavado, 2020).

1.12 Nanotecnología en envases para alimentos

La nanotecnología aplicada en el ámbito de envases alimentarios ha orientado a los investigadores al desarrollo de sistemas de envasado activos, mejorados e inteligentes (Primožič et al., 2021) cuyos envases tiene la capacidad de mejorar la seguridad alimentaria del producto. De modo que los envases activos tienen la cualidad de incorporar sustancias para mejorar sus características mecánicas o sus propiedades barreras. Los envases inteligentes posibilitan la monitorización del estado y calidad de los productos de manera directa o indirecta (Bumbudsanpharoke et al., 2015). Citando un ejemplo de lo antes mencionado, las películas que en su estructura llevan nanopartículas de silicato, son capaces de reducir el flujo de oxígeno en el paquete y la filtración de humedad fuera del paquete obteniendo una protección del alimento contra el deterioro (The Food Tech, 2020).

En el desarrollo de envases alimentarios con aditivos funcionales se procede con la adición de determinadas nanopartículas a los polímeros durante el proceso de fabricación (Lavado, 2020) especialmente las nanopartículas de oro, plata, óxido de zinc y dióxido de titanio son usadas para la elaboración de envases buscando mejorar las propiedades mecánicas y físicas de los mismos y también se pretende desarrollar envases activos y/o inteligentes de tal forma que se garantice una mayor protección del producto (Gómez, 2020)

Además, la aplicación de procesos tecnológicos para el envase de los alimentos cada vez es más adaptable al contexto, por lo que trae alternativas de compras en el mercado y apunta a una preferencia por parte del consumidor ya que el alimento es más saludable, resistente y con mayor durabilidad. Luego de unos años se podrá evidenciar nuevas alternativas saludables con mayor accesibilidad para las personas, y de esta manera podrán disfrutar de todos los beneficios de un producto bien conservado pese al entorno en donde se encuentren

1.13 Ventajas y desventajas de la nanotecnología

En el transcurso de la investigación se ha denotado ciertos factores tanto positivos como negativos desde la creación de la nanotecnología. No cabe duda de que ha sido una era revolucionaria que ha permitido crear grandes inventos para mejorar la calidad de vida del ser humano. Por otro lado, hay que mencionar que este campo de la nanotecnología al ser “nuevo” y el ir cada vez innovando en diferentes ámbitos, abre la brecha de duda sobre si todos los procesos son seguros o no y esto solo se reflejará en el transcurso del tiempo.

La fabricación molecular trabaja juntamente con la tecnología y se fusionan de manera excepcional, generando grandes beneficios para la humanidad, pero también abre un portal a varios aspectos desconocidos, por ende, genera cierta incertidumbre sobre el futuro que le depara a la humanidad en base al uso de esta herramienta tan importante. Por lo que a continuación en la tabla 3 se refleja de manera general las ventajas y desventajas de la nanotecnología.

Tabla 3 *Ventajas y desventajas de la nanotecnología*

Ventajas	Desventajas
Purificación, mantenimiento del agua y/o suelo (Chávez Lizárraga, 2018).	El uso desmedido de la nanotecnología podría ocasionar contaminación ambiental (Comisión Europea, 2011).
Procesos agroindustriales mejorados y eficientes (Noormans, 2010).	Creación de armamentos letales (biológicos y/o químicos) que podrían ser causantes de tragedias mundiales (Euroresidentes, 2015).
Optimización de procesos industriales (Altbir, 2021).	Se corre el riesgo de que se incremente la pobreza debido a la robotización de procesos (Delgado, 2009)
Producción y almacenamiento de energía renovable (Chávez Lizárraga, 2018).	Aumento de la toxicidad de los alimentos posiblemente debido a la migración de las nanopartículas en pH bajos (Emamhadi, et al., 2020).
La eficiencia, eficacia de equipos electrónicos y mecánicos ha incrementado, además podrán ser adquiridos a costos relativamente bajos (García & Betancur, 2016).	Moléculas tan diminutas se pudiera inhalar inconscientemente ocasionando así intoxicación de las personas o animales (Comisión Europea, 2011).
Tratamientos y medicamentos efectivos (Cuadros Marta et al., 2010; Martínez Torreblanca et al., 2020b).	Debido a que se encuentra en desarrollo la nanotecnología el costo de aplicación es alto (Foladori, 2005)..

Aumenta la calidad fisicoquímica y microbiana de los alimentos y ayuda a mejorar las propiedades de barrera de los envases de alimentos (Emamhadi, et al., 2020).	Aun no se dispone de guías de procedimientos y restricciones para trabajar con nanotecnología (Foladori, 2005).
---	---

Elaboración: Sibri Albarracin Vanessa Nataly

Una vez revisado brevemente el enfoque de la nanotecnología en diferentes áreas, el fin de este trabajo es dar a conocer exclusivamente como la fabricación molecular ha beneficiado a los envases para alimentos, lo cual se abordará en el capítulo III.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 Materiales

En cuestión de una revisión bibliográfica, los materiales utilizados fueron digitales, como se indica a continuación:

- Computadora
- Internet
- Bibliotecas virtuales de la Universidad Técnica de Ambato (Ebook Central, Pro-Quest, Wiley Online Library, Scopus, entre otras).
- Bibliotecas virtuales de acceso libre (Google Académico, SciELO, Latindex, Pub Med, SCI-HUB)
- Gestor de referencias bibliográfico Mendeley

2.2 Métodos

2.2.1 Definición del problema

La presente investigación se basó en realizar búsquedas exhaustivas, recopilación, procesamiento, análisis y síntesis de estudios científicos publicados relacionados con la nanotecnología en el desarrollo e innovación de envases para productos alimenticios. Esta información debe ser considerada de vital importancia ya que se tendrá una visión sofisticada de lo que se ha logrado conseguir en y con los envases y también se da a notar los beneficios que otorgan tanto a la industria alimentaria y al consumidor, pues en la actualidad la innovación tecnológica está a la vanguardia y debe ser considerada de forma latente por los consumidores.

2.2.2 Búsqueda de la información

La información que se necesitó para desarrollar esta investigación provino de diversas fuentes secundarias. Las bases de datos que se utilizaron se encuentran disponibles por medio del sistema integrado de la Universidad Técnica de Ambato, como, por ejemplo: Ebook Central, Wiley Online Library, Pro Quest, Scopus, entre otros.

Además se empleó base de datos de acceso libre tal es el caso de: Google Académico, SciELO, Latindex,

Como se mencionó anteriormente, de dichas plataformas se extrajeron artículos científicos y capítulos de libros que están relacionados con la nanotecnología y los envases para productos alimenticios de las que se logró extraer información muy importante y precisa.

Finalmente, para garantizar la veracidad de la información obtenida, se utilizó en su mayoría información que se publicó durante los últimos cinco años y que está disponibles en revistas y repositorios internacionales.

2.2.3 Organización de la información

En cuanto a la información alcanzada, se organizó de forma sistemática tomando en consideración su importancia, es decir, se basó en el número de citas de cada artículo y capítulo analizado. Además, en cuanto a los criterios a investigar, para organizar la información y datos bibliográficos se utilizó el gestor de referencias Mendeley, y así se agrupó y priorizó información de acuerdo a las necesidades de la investigación, como fue el análisis de la nanotecnología en el desarrollo e innovación de envases para productos alimenticios y los factores que intervienen en el proceso mencionado.

2.2.4 Análisis de información

Para la investigación se realizó un análisis teórico de la información recolectada, en la cual se plantearon ideas relevantes que se basaron en como la nanotecnología se encuentra inmersa en el desarrollo e innovación de envases para productos alimenticios. Esta información se clasificó de acuerdo con los compuestos y tipos de envases para los productos alimenticios, lo que permitió un enfoque en como innovar en el proceso tecnológico de los envases.

La información veraz que se plantea en la presente investigación se connota por las referencias bibliográficas que están adecuadamente citadas. De la misma forma, en cuanto a la información mencionada se determinaron aspectos que todavía no han sido investigados en su totalidad y ahora tienen mayor importancia para siguientes investigaciones.

CAPÍTULO III

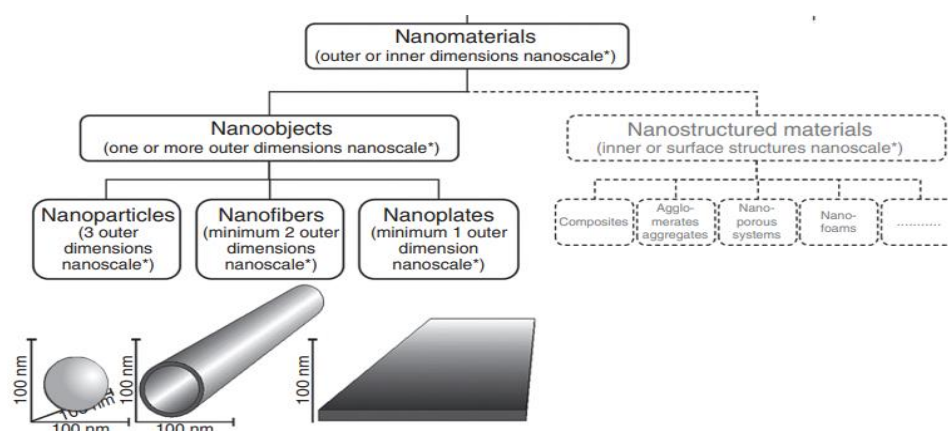
“NANOTECNOLOGÍA EN ENVASES PARA ALIMENTOS”

3.1 Aplicaciones de la nanotecnología en envases

El uso de la nanotecnología considera las características de su fabricación y manipulación, incluyendo todos los materiales que implican su elaboración, en este caso, aquellos componentes que contengan de 1 a 100 nm de longitud (Duncan, 2011). Pues bien, el tamaño de las partículas puede ser reducido por debajo de la cantidad mencionada, pero tomando en cuenta que el material que resulte de esto puede mostrar propiedades físicas y químicas que resultan ser distintas a las propiedades de los compuestos iniciales (Chaudhary et al., 2020). Cabe mencionar que existen diversos tipos de nanocompuestos que pueden ser usados para generar varias estructuras, entre ellos se destacan (Trotta & Mele, 2019) (Fig. 1):

- Nanocompuestos o nanoplacas: materiales creados a partir de una matriz polimérica de una dimensión.
- Nanofibras: materiales tubulares de dos dimensiones, aunque también otros autores las consideran en el grupo de las nanopartículas (Polat et al., 2019).
- Nanopartículas: materiales tridimensionales que pueden tener diversas formas y tamaños.

Figura 1 "Definición ISO de los nano-objetos incluyendo las 3 dimensiones básicas"



Fuente: (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), 2015)

Según (Salgado, Cruz, & Hernández, 2017)^[66] los envases en la industria alimenticia tienen en sí biocompuestos:

Biopolímeros naturales: Su composición se basa en carbohidratos (almidón, celulosa, quitosano, alginato, agar y carragenano); proteínas (proteína de soya, zeína de maíz, gluten de trigo, gelatina, colágeno, proteína de suero de leche y caseína).

Biopolímeros biodegradables sintetizados químicamente: Su composición se caracteriza por poli-(ácido láctico, PLA), poli-(ácido glicólico, PGA), poli-(ε-caprolactona, PCL), poli-(succinato de butileno, PBS) y poli-(vinil alcohol, PVOH).

Biopolímeros producidos por fermentación microbiana: Se componen por poliésteres microbianos, tales como los poli(hidroxicanoatos, PHAs), que incluyen poli-(3-hidroxi-butirato-co-3-hidroxi-valerato, PHBV), así como polisacáridos microbianos como pululano y curdlan. En este caso, la desventaja de los biopolímeros es que tienen propiedades mecánicas y de barrera deficientes, así como bajo rendimiento, procesamiento y costo (Plackett & Siró, 2011).

Bionanocompuestos como nanorellenos: Los bionanocompuestos usados para la preparación de nanorellenos son los siguientes:

- **Nanorellenos a base de celulosa:** La celulosa es el carbohidrato más abundante del planeta y es un recurso renovable y biodegradable. Son nanofibras muy atractivas para la preparación de refuerzos para los nanocompuestos. (Salgado, Cruz, & Hernández, 2017)

- **Nanotubos de carbono:** Las nanoestructuras de carbono incluyen fullereno, nanotubos de carbono (de pared simple y multi-pared), nanofibras de carbono y nanolaminillas de grafeno; las cuales han sido ampliamente estudiadas por sus excelentes características fisicoquímicas, mecánicas y eléctricas (Dueñas, 2015).

- **Nanoarcillas:** Los silicatos en capas también conocidos como nanoarcillas son los nanorellenos más utilizados en la síntesis de nanocompuestos de silicato estratificados de polímeros (Polat, et al., 2019).

- **Nanorellenos funcionales:** Los rellenos nanoestructurados juegan un papel importante en la fabricación de biocompuestos, ya que aportan varias funcionalidades deseadas como

flexibilidad y resistencia. Los materiales de relleno funcionales como las nanofibras de celulosa, la hidroxiapatita (HAp), los hidróxidos dobles estratificados (LDH), las nanopartículas de sílice, y los silsequioxanos oligoméricos poliédricos (POSS) son los más investigados. (Camacho , Vega, & Campos, 2011)

Actualmente existen diversas investigaciones en este campo, ya que para el año 2008, a nivel mundial se han contratado a casi medio millón de investigadores relacionados, pues ya hay innumerables empresas ya sean grandes, medianas y pequeñas, que se han dedicado a la fabricación especializada de modernas formas de materia nanométrica en una amplia gama de aplicaciones incluyendo la alimenticia y la farmacéutica (Duncan, 2011). Un ejemplo, es “ENACT PHARMA”, una pequeña empresa especializada en producir nanomateriales de soporte para el tratamiento de enfermedades neurodegenerativas y oncogénicas y por otro lado se encuentra “HYPERION” una empresa fundada en los años 80 que se dedica a fabricar materiales avanzados con filamentos de carbón de varios usos industriales (Ramsden, 2018).

La aplicación investigativa de los nanomateriales relacionados a varios productos, ya sean alimentarios o farmacéuticos, puede definirse considerando dos elementos clave: el envase y el producto (Han et al., 2018). Si se habla a cerca del producto, existen diversos componentes que pueden modificarlo con el objetivo de mejorar sus características cualitativas, potenciando la estabilidad del mismo, como por ejemplo el uso de las ciclodextrinas como adyuvante en alimentos (Szente & Szejtli, 2004). Por otro lado, si hay un enfoque hacia los envases, el objetivo principal radica en la protección del producto, evitando así su degradación a causa de agentes externos (físicos, químicos y biológicos) y aumentando considerablemente el tiempo de vida útil que este puede tener, mejorando la calidad, seguridad y su trazabilidad.

Científicos e investigadores de la industria, ya han podido identificar el uso potencial de la nanotecnología en todos los segmentos de la industria alimentaria, pues el área más activa en este campo es el envasado. Existen varios estudios que respaldan la importancia de la modificación de envases. Tal es el caso del grupo de (Qingyan, He et al., 2016) que elaboraron una película de nanocompuestos biodegradables (gelatina de piel de pescado-

TiO₂) exhibieron una actividad antibacteriana para *Escherichia coli* luego de 120 minutos de irradiar con luz UV; por otro lado el análisis de la propiedades físicas demostró que la nanopartícula de TiO₂ adicionadas a la películas de gelatina incrementa la resistencia a la tracción, el alargamiento a la rotura, al tiempo que disminuía su permeabilidad al vapor de agua y también presentan propiedades de barrera contra la luz UVC (a longitudes de onda de 220nm y 290nm). Otro estudio importante que debe ser considerado es el de (Bodaghi et al., 2013), que ha logrado demostrar el efecto antimicrobiano fotocatalítico de una película enriquecidas con nanocompuestos de TiO₂, la que poseen la capacidad de inactivar *Pseudomonas spp.* y *Rhodotorula mucilaginosa* en presencia de luz y a una determinada longitud de onda puede inducir la generación de Especies Reactivas al Oxígeno (ROS) que inhiben el crecimiento de microorganismos como levaduras o bacterias. Por solo detallar que en el estudio el número de celular sobrevivientes de *Pseudomonas spp* disminuyó en 4 log CFU/ml para la película con nanocompuesto de TiO₂, mientras que la matriz polimérica de polietileno de baja densidad solo existió una reducción de 1,35 log CFU/ml en un lapso de 3 horas de experimentación.

3.2 Principales nanomateriales empleados en envases

El término nanomaterial hace referencia a un compuesto al que se le ha añadido algún tipo de nanopartícula en pequeñas cantidades. Además, los nanomateriales se consideran materiales que tienen en su contención, partículas con distintas dimensiones a nanoescala, es decir que tienen una medición de hasta 100 nm, es decir la equivalencia a una milésima parte de un metro. (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), 2015)

En el área de envasado de alimentos específicamente, se trata de materiales que contienen de 1 a 7% de monoarcillas modificadas (Lagaron & Lopez-Rubio, 2011). Haciendo uso de los nanocompuestos, la nanotecnología tiene el potencial de generar nuevos envases con mayor resistencia al calor y humedad, menor peso, y reducir el efecto del oxígeno, dióxido de carbono, radiación ultravioleta y elementos volátiles de los materiales comúnmente empleados para el envasado de alimentos, condiciones que afectan las propiedades organolépticas de los mismos. (Sekhon, 2010).

Varios polímeros pueden ser incorporados con nanomateriales cuyas propiedades resultan altamente benéficas al momento de realizar envases en la industria alimenticia, a continuación, se detallan los principales grupos de polímeros:

1. Almidón

El almidón es un polisacárido biodegradable de bajo costo. En estudios recientes, se emplea en la industria alimenticia mediante la incorporación de TiO₂ NPs, que mejoran las características mecánicas (del almidón) de protección ante la luz UV y el agua (Yoon et al., 2012). Los efectos de los nanomateriales que emplean almidón como base en envases de productos alimenticios van desde la reducción de la hidrofobicidad, aclimatación del producto y reducción de la permeabilidad del vapor de agua, debido a que la adición de TiO₂ reduce el módulo de Young, incrementando la energía de tracción para el rompimiento y adicionalmente provee al envase propiedades de protección ante la luz UV (Goudarzi et al., 2017). En otro estudio se emplea PVA con partículas de metacrilato-co-acrilamida con almidón de maíz, con lo que se buscaba incrementar la hidrofobicidad del envase, mejorando las propiedades mecánicas y la resistencia al agua de 70 a 400%, mientras que del 45-65% del material es degradado en 165 días (Yoon et al., 2012).

2. Quitosano

Es un polisacárido antimicrobiano, biodegradable y abundante que es ampliamente estudiado en el desarrollo de envases de alimentos, debido a que en conjunto con ciertos nanomateriales sus propiedades mecánicas pueden ser potenciadas. Tal es el caso de las nanopartículas de ZnO₂, las cuales mejoran las propiedades mecánicas del quitosano en el envasado de alimentos, formando una barrera ante gases y reducida solubilidad en el agua (Wang et al., 2018). Sin embargo, este nanocompuesto cubierto con una capa de polietileno (PE) reduce la actividad microbiana, e inhibe el desarrollo de *Salmonella enterica*, *E. coli*, y *Staphylococcus aureus* (Al-Naamani et al., 2018). Otro estudio refleja un incremento significativo de las propiedades mecánicas del quitosano cuando se agrega nanopartículas de MgO₂, lo cual puede ocurrir por la interacción de los grupos hidroxilo

y amino del quitosano con el MgO. Las propiedades mecánicas que mejoran son estabilidad térmica, protección UV, humedad y propiedades de barrera (Sanuja et al., 2014).

3. Celulosa

La celulosa es el biopolímero más abundante en la naturaleza, sin embargo, este polímero en su forma nativa no tiene suficientes propiedades funcionales para su uso en envases para alimentos, por lo que tiene muy poco valor y utilidad en esta aplicación (Yu et al., 2014). Al incorporar nanopartículas de plata (AgNPs) se encontraron propiedades antimicrobianas y antioxidantes. Por lo que se sugiere el uso de este nanocompuesto para prolongar el tiempo de almacenamiento de los alimentos sin una reducción de las propiedades nutricionales y organolépticas (Wu et al., 2019).

Existen varios nanomateriales conformados por agregados de nanomateriales poliméricos de nylon, los cuales están siendo empleados para el envasado de alimentos. En la actualidad se han realizado varios ensayos, dentro de los cuales se destacan las aplicaciones que se citan a continuación:

Los lomos de vaca son empacados al vacío, empleando una matriz de poliamida 6 con agregado de nanoarcillas, material que además de mejorar la barrera ante la luz ultravioleta y el oxígeno, mejoró la rigidez del envase (Picouet et al., 2014). Por otro lado, los nanocompuestos de Ag poseen propiedades antimicrobianas y se emplean en el envasado de carnes, queso, pan, sopas y productos frutihortícolas, previo a su uso se comprobó que no existe o es muy poca la migración de los nanocompuestos del envase hacia los alimentos que este contiene (Addo Ntim et al., 2015).

Se utilizan nanopartículas de plata y etilvinilacohol en envases para carnes, lechuga, quesos, huevos y manzanas, debido a que existe una reducción de *L. monocytogenes* y *Salmonella* en dichos alimentos (Picouet et al., 2014). Adicionalmente, se han desarrollado nanopartículas de montmorillonita, en la que se reemplazaron los iones de sodio (Na^+) por plata (Ag^{2+}), este material se aplica en el envasado de ensaladas de frutas, puesto que tiene un efecto sobre la conservación de las características organolépticas y un incremento de la vida útil del producto, debido a que se inhibe la acción de los microorganismos alterantes (Costa et al., 2011).

La conservación de manzanas cortadas se realiza en bolsas de PVC con nanopartículas de óxido de Zinc (ZnO_2), el envasado en este material incide en la reducción de la actividad respiratoria y por ende el pardeamiento de las manzanas (Li et al., 2011).

Por otro lado, para el pollo picado se emplean films con nanotubos de carbono e isocianato de alilo, debido al efecto antimicrobiano y antioxidante del material (Zimoch-Korzycka & Jarmoluk, 2015), se obtiene un efecto similar al emplear quitosano o compuestos formados con celulosa en carnes. Este nanomaterial tiene el mismo efecto al envasar peras enteras, debido a que inhibe la maduración y por ende esto produce un retardo en el deterioro post-cosecha (Deng et al., 2017).

3.3 Principales nanopartículas empleados en envases

Las propiedades y funciones de las partículas a nanoescala presentan oportunidades distintas para mejorar el rendimiento de los productos tradicionales, es por eso que se considera su uso como materiales novedosos alternativos en el servicio industrial, farmacéutico y biomédico, materiales estructurales y de construcción, tecnología de información y aplicaciones electrónicas.

En la industria alimentaria, las nanopartículas juegan un rol crucial en el proceso de mantenimiento de la calidad del alimento reduciendo también las cantidades de desperdicios. Se sabe que una adición mínima de estas en materiales de empaquetamiento normales induce al aumento de la calidad del material per se y, por lo tanto, la fusión entre estos dos elementos forma un “Material Nanocompuesto” de características livianas con barreras de empaque más fuertes, que protegen la calidad de los alimentos durante varias operaciones en el proceso de manufactura, el transporte, mantenimiento y preservación. Actualmente, existen varios tipos de nanopartículas que se usan en la generación de diversos tipos de empaques, cabe mencionar que las nanopartículas pueden ser clasificadas en 2 grupos: inorgánicas y orgánicas.

1. Nanopartículas inorgánicas metálicas

Son estructuras tridimensionales con una base de elementos metálicos como: plata (Ag), zinc (Zn), cobre (Cu), paladio (Pd) y óxido de titanio (TiO_2). Al ser

sintetizadas, dichas nanopartículas pueden adquirir diversas formas como: esferas, varillas o alambres.

2. Nanopartículas inorgánicas a base de arcilla

Las arcillas se encuentran en el grupo de los silicatos y están organizadas en diferentes tipos como: kaolinita, smectita y vermiculita. La clasificación oficial de este tipo de nanopartículas las divide en tres (Khalid et al., 2016).

- a. Tectosilicatos, como las zeolitas
- b. Filosilicatos - kaolinitas
- c. Otros

Las arcillas son una mezcla de elementos catiónicos enriquecidos con grupos (-OH) y tienen la capacidad de generar una capa de un 1nm de espesor constituido de 3 conformaciones geométricas (2 tetraedrales y 1 octaedral). El uso de estos compuestos permite un mayor aislamiento disminuyendo la porosidad de los envases alimenticios.

3. Nanopartículas orgánicas

Generalmente se encuentran basadas en polímeros biocompatibles empleados principalmente en la nanoencapsulación, donde las nanocápsulas son micelas, liposomas, conjugados poliméricos o nanoesferas que pueden ser lipídicas, polisacáridica o proteica con capacidad de encapsular ingredientes con diferente solubilidad (Pardo de Santayana, 2018; Larrea, 2020).

Tomando en consideración las principales nanopartículas usadas en el procesamiento de envases, estas se han aplicado a varios tipos de productos ya sea en sus recipientes o en contacto con los alimentos. Representan entonces, una nueva alternativa de aditivos para mejorar las propiedades poliméricas de los materiales de envasado. Un ejemplo, se vio en el grupo de (Fernández et al., 2010) que generaron un nanocompuesto formado por la unión entre celulosa y nanopartículas de plata, este tipo de envase fue utilizado para ver la preservación de melones cortados y almacenados a 10 grados durante 10 días con el objetivo de ver si existe actividad microbicida y efectivamente hubo una inhibición en la cantidad de levaduras. Otro ejemplo es el uso de las nanopartículas de plata las cuales se

utilizan normalmente para efectos antimicrobianos. Alrededor de 650 patógenos causantes de enfermedades pueden ser eliminados por moléculas de plata con solo 6 minutos de tiempo de contacto, mientras que los antibióticos generales matan solo de 5 a 6 patógenos causantes de enfermedades (Hu et al., 2011).

Por lo consiguiente el uso de nanocompuestos puede mejorar considerablemente las propiedades de barrera, las propiedades mecánicas y las propiedades de resistencia al calor. Un ejemplo es el uso de arcillas a base de Halloysita, las cuales disminuyen la permeabilidad de vapores, aumentan la resistencia a los incrementos de temperatura, disminuyen la probabilidad de deterioro y roturas junto con la generación de una superficie lisa y suave para un mejor manejo (Alipoormazandarani et al., 2015). Otro ejemplo es el uso de nanopartículas de zinc con quitosano (25 nm) las cuales también disminuyen la permeabilidad de vapores y la actividad antimicrobiana (Noshirvani et al., 2017).

Las aplicaciones innovadoras en el envasado se han ido desarrollando en diversos campos, y en este caso, los envases activos y envases inteligentes, por eso actualmente se ha empleado el término “nanofood”, que en el caso de la industria alimentaria hace referencia a la intervención de la nanotecnología, en cualquiera de sus etapas, sean estas de producción, procesamiento, transporte o almacenamiento. Por lo que además se puede destacar su uso en fabricación de materiales y objetos destinados a entrar en contacto con alimentos, sobre todo por sus propiedades biocidas que le permiten prevenir hasta un 90% el crecimiento de microorganismos. Como ya se sabe, el uso determinado de óxido de titanio puede alterar la función homeostática específicamente de muchas bacterias, hay estudios que han demostrado que en presencia de luz UV y titanio existen alteraciones significativas en las estructuras celulares de las bacterias, específicamente en *P. aeruginosa*, en la formación de la pared celular, en donde muchos genes relacionados a su síntesis han demostrado una alteración en sus niveles de expresión, por otro lado, en el mismo tratamiento, también se ha visto que la actividad fotocatalítica del UV tiene repercusiones en la respiración celular de las bacterias aerobias (Kubacka et al., 2014).

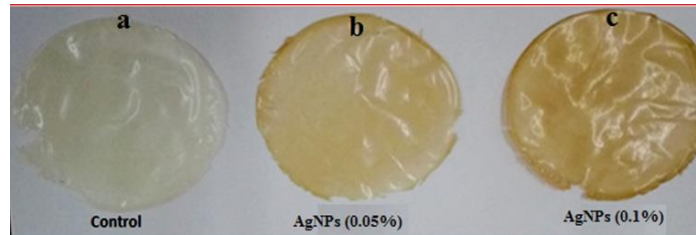
En las últimas investigaciones, se ha estudiado el efecto de un nuevo material de embalaje “nano”, para la preservación de dátiles chinos, para ello, emplearon grafeno de envase con incorporación de AgNPs, dióxido de titanio (TiO₂) y kaolin (Yang et al., 2016). Además de presentar mejores propiedades de barrera y mecánicas, mantuvieron la calidad de los frutos por más tiempo, en comparación con los envases sin recubrimientos nanoestructurados.

3.4 Principales nanocompuestos poliméricos empleados en envases

Cuando se adiciona y/o introduce nanopartículas (NP) a una matriz polimérica se obtiene un nanocompuesto, este nuevo material presenta diferentes propiedades como: transparencia, rigidez, resistentes a altas temperaturas, impermeabilidad a gases, resistencia a los solventes, permeabilidad a la humedad, estabilidad térmica y características antimicrobianas; claro que esto dependerá de las partículas nanométricas incorporadas (Ojeda et al., 2020; Zavala, 2008; Basavegowda et al., 2021). Es importante mencionar que los polímeros presentan características de bajo peso, flexibilidad, bajo costo de producción por lo que han sido consideradas por los científicos para el estudio y elaboración de matrices poliméricas con un enfoque en costo, precio y eficiencia (García et al., 2021).

Citando un ejemplo de Guzmán et al., 2014 funcionalizó la matriz termoplástica de policloruro de Vinilo (PVC) con dispersión y agregación nanopartículas de cobre la que presentaba propiedades antibacterianas. Otro estudio que aplican el uso de nanocompuestos híbridos con el objetivo de ver su impacto en la preservación de frutas. Un tipo es la mezcla homogénea entre: quitosano, gelatina, polietilenglicol y nanopartículas de plata generando así un empaque de color amarillento con un grosor de 92 μm (Fig. 2). Dichos empaques, fueron aplicados para la preservación de uvas a 37 grados durante 2 semanas promoviendo una larga duración de protección al producto (Kumar et al., 2018).

Figura 2 "Empaques híbridos de quitosano, gelatina, y NPs de plata a dos concentraciones específicas"



Fuente: (Kumar et al., 2018).

3.5 Principales nanosensores y dispositivos empleados en envases

Actualmente, se sabe que la sociedad está altamente globalizada, y, por lo tanto, el nivel de consumo de productos alimenticios es extremadamente alto debido a la alta cantidad de consumidores. En consecuencia, la necesidad de implementar productos seguros es importante debido a la demanda de calidad y seguridad que estos requieren. La implementación del empacamiento inteligente; abarca una serie de procesos que permiten una manipulación correcta y un control continuo de grandes cantidades de producción, con el objetivo de mantener un estándar de calidad constante para el consumidor. El proceso para generar un empaque inteligente engloba diferentes áreas ya sea desde la manipulación del producto, el diseño de su empaque, su transporte, la promoción en el mercado y su posterior desecho (Bagchi, 2012).

Existen diversas tecnologías que permiten el desarrollo de un empaque inteligente, estas permiten ser aplicadas para tener un control en diferentes aspectos de calidad como: indicadores de temperatura, indicadores de tiempo, integridad, frescura y seguridad.

1. Indicadores de temperatura y tiempo

Generalmente, estos indicadores se basan en la actividad enzimática que se encuentran en pequeños dispositivos inmovilizados en los envases. Cuando un producto alimenticio comienza a sufrir cambios debido al paso del tiempo junto con el apareamiento de microorganismos o también por un cambio brusco de temperaturas; se puede generar una correlación con el cambio de coloración en el dispositivo. El mecanismo de acción depende del tipo de enzima que se utiliza, un ejemplo es el uso de lipasas que debido a almacenamientos en temperaturas

incorrectas pueden, activarse y producir metabolitos que cambian el pH del medio y la coloración del dispositivo (Pandian et al., 2021).

2. Indicadores de integridad

Como se había indicado al inicio del presente capítulo, una problemática es la entrada de gases y vapor de agua al producto lo que genera una descomposición rápida de los mismos, sin embargo, existen dispositivos que permiten identificar dichos cambios por medio del cambio de coloración. Como ejemplo, se encuentra la detección de oxígeno por medio de dispositivos enriquecidos con melanina y L-dopa, que al entrar en contacto con el O₂, se genera un “cross-linking” molecular que cambia la coloración de blanca a negra, pues es un procedimiento que hace uso de la radiación ultravioleta (Shillingford et al., 2016).

3. Indicadores de frescura

Al igual que los anteriores, este tipo de indicador también se basa en el cambio de coloración del dispositivo. Dicho cambio se da por el apareamiento de metabolitos en productos que empiezan procesos de descomposición. Los dispositivos se basan en membranas de metil celulosa rojas, que cambian de coloración cuando hay la presencia de aminas volátiles (típico marcador de descomposición) tanto en productos cárnicos, marinos y en vegetales (Chun et al., 2014).

4. Monitoreo de seguridad de productos

El monitoreo de la seguridad de los productos se basa principalmente en el trabajo conjunto de los nanosensores con nanopartículas que se encuentran involucrados en la nariz o en la lengua electrónica, que pueden generar señales mucho más específicas acerca de las condiciones del producto en un tiempo determinado tomando en cuenta la presencia de gases, patógenos específicos y compuestos traza citotóxicos. Por lo tanto, este tipo de monitoreo engloba todo lo que está relacionado con los anteriores puntos, pero con una mayor exactitud (Ramachandriah et al., 2015). Existen diversos tipos de nanosensores que pueden ser empleadas para detectar cambios en las condiciones del producto alimenticio, entre ellas se destacan:

- a. Sensores con nanopartículas: las biomoléculas (enzimas, toxinas, ácidos nucleicos y proteína) son absorbidas por las nanopartículas Au, generando materiales híbridos que otorgara reconocimiento específico de la muestra de trabajo, mediante la fluorescencia de las nanopartículas, por lo que presentan la capacidad de ser marcadores biológicos; un ejemplo de esto es el inmunosensor colidal con AuNPs, para ello se realizó la conjugación de la proteína estreptavidina con las nanopartículas de oro, este nanoinmunosensor podrá ser empleado para la biodetección de analitos (Rojas et al., 2016; Pathakoti et al., 2017).
- b. Nanocantilevers: conocidos como biosensores nanomecánicos, cuentan en su estructura con materiales de sílice lo que les brinda la capacidad detectar virus y bacterias patógenas en los alimentos; esta herramienta detecta interacciones entre el sustrato y el cofactor enzimático, es decir, entre el receptor y el anticuerpo y el antígeno dando una señal física o electromecánica, debido a la tensión superficial que es inducida por la interacción molecular (sustrato y cofactor enzimático) por lo que se puede identificar algún factor de interés. Para la detección de microorganismos patógenos se da mediante un potencial de vibración de distintas frecuencias (Mihai et al., 2018, Ramirez, 2006)
- c. Bionanosensores: No todos los nanosensores deben ser inorgánicos, existen métodos de detección de elementos tóxicos utilizando sensores derivados de biomoléculas, entre ellos se encuentra los biosensores liposómicos. Estos son complejos esféricos con una membrana bilipídica que acarrean un conjunto de enzimas que pueden catalizar o detectar un compuesto tóxico generando una señal, como la luminiscencia. Un ejemplo radica en la identificación de compuestos derivados de pesticidas (organofosfatos) que pueden ser identificados por una enzima (Acetil colina estearasa) que esta adentro de un liposoma en una solución estable, una vez expuesta en presencia del agente tóxico, este la inhibe en presencia de un indicador luminiscente reportando la presencia positiva del agente tóxico (Liu et al., 2008).

3.6 Envases biodegradables con nanotecnología

Los materiales de empaque o envasado han ido cambiando constantemente debido al desarrollo de nuevos productos, procesos y tecnología, por lo que en la actualidad se cuenta con materiales de vidrio, papel, cartón, hojalata, aluminio y plásticos. Siendo los plásticos los materiales más utilizados en esta aplicación, pues presentan características deseables como la transparencia, propiedades mecánicas eficientes y estabilidad térmica. Varios de los plásticos más utilizados se elaboran con productos petroquímicos como: tereftalato de polietileno (PET), cloruro de polivinilo (PVC), polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS) y poliamida. Sin embargo, al no ser totalmente reciclables ni biodegradables, impactan negativamente al medio ambiente, además del aumento en el consumo de combustibles fósiles lo que a su vez incrementa los costos en sus procesos de manufactura.

El uso de materiales más amigables con el ambiente como los polímeros biodegradables, se ha visto como una de las muchas estrategias para minimizar el impacto ambiental. Los materiales biodegradables presentan características y campos de aplicaciones muy prometedores, ya que presentan propiedades antimicrobianas. Existen polímeros que posee aceptación como envases antimicrobianos tal es el caso del poli (ácido láctico) (PLA), cuya fuente renovable es la caña de azúcar o la conversión del almidón de maíz, arroz, y trigo, además presenta propiedades físicas y mecánicas similares al tereftalato de polietileno (PET) (Kamarudin, 2022). Por lo que Velasco 2017 estudió polímeros compuestos con relleno de nanopartículas de plata AgNP y fibras de carbono modificadas en una matriz de PLA, obteniendo propiedades de PLA mejoradas (mayor resistencia al impacto, incrementó la carga a la flexión y antimicrobiano). Arrieta et al., 2014 en su experimento científico desarrollo una mezcla de dos polímeros polihidroxibutirato (PHB) con PLA con una relación de 25% PHB-75%PLA que obtiene un material reforzado frente al oxígeno y al vapor de agua, lo que no se consigue con los polímeros separados. Uno de los aspectos relevantes de estos envases biodegradables es que presentan un tiempo de degradación de aproximadamente 35 días, la misma que se da por microorganismos en condiciones adecuadas de temperatura, humedad, disponibilidad de oxígeno, cabe mencionar que se puede presentar variaciones en los días de eliminación de la matriz ya

que dependerá de los aditivos que formen parte de la misma y/o de las condiciones; cuya fragmentación ocurre sin dejar ningún residuo tóxico para el medio ambiente (Camacho et al., 2011; García et al., 2020). Sin embargo, algunos plásticos provenientes de un monómero natural; pueden perder su propiedad de biodegradarse debido a modificaciones químicas, como la polimerización. (Labeaga Viteri, 2018). La aplicación de nanocompuestos y bionanocompuestos promete expandir el uso de las películas y cubiertas comestibles y biodegradables para su uso en productos alimenticios ().

3.7 Envases comercializados con nanotecnología

De acuerdo con algunos autores, entre los años 2018 y 2021 hubo un crecimiento en el consumo y producción de envases inteligentes a nivel del mercado global, teniendo una proyección de inversión superior a los 24000 millones de dólares en 2021 con un crecimiento anual del 7% (Fuertes et al., 2016).

A nivel mundial

Hasta el momento se han identificado que existen alrededor de 400 compañías a nivel mundial que se enfocan en la producción de empaques inteligentes y por lo tanto ya hay una comercialización activa de los mismos en diferentes productos (Neethirajan & Jayas, 2011). A continuación, se describen algunos ejemplos:

- a. McDonald's – Mundo: Para el empaquetamiento de hamburguesas, esta empresa usa adhesivos de almidón enriquecidos con nano esferas de entre 50-150 nm, a comparación con las partículas naturales de almidón, estas pueden adquirir 400 veces más en superficie, disminuyendo el requerimiento de agua para el sellado del producto y por lo tanto disminuye el tiempo de secado en el sellado (Berger, 2009).
- b. Bayer – Alemania: Uso del empaque Durethan® KU 2-2601, el cual tiene base de nanopartículas de silica junto con un polímero de plástico, el cual previene la penetración de oxígeno y otros gases dentro del empaque (Berger, 2009).
- c. CTC Nanotechnology GmbH – Alemania: esta empresa ha desarrollado un empaque repelente de microorganismos para productos cárnicos y lácteos. La idea consiste en la generación de un gel polimérico que inmoviliza nanopartículas en

las superficies del empaque con el objetivo de generar un ambiente hostil para el desarrollo de bacterias (Co., 2009).

- d. Nanocor Inc. – Estados Unidos: Esta empresa ha generado un nanocompuesto conteniendo nanopartículas de arcilla. La idea fue desarrollada para el diseño de botellas de base de polietileno tereftalato con dichas nanopartículas para la contención de cerveza, jugos y bebidas gaseosas, evitando la exposición a gases y también posee una disminución de pérdida de CO₂ manteniendo así la frescura de los productos a más de 6 meses.
- e. Sharp Interpack – Reino Unido, New Ice – Estados Unidos, Archer Daniels – Estados Unidos: Este conjunto de empresas han desarrollado envases biodegradables con actividad antimicrobiana, fabricados a base de ácido poliláctico inmovilizado policaprolactona derivada de un polímero extraído de las plantas de maíz (Neethirajan & Jayas, 2011).

A nivel de Latinoamérica

Es importante mencionar que la mayoría de las empresas multinacionales que tienen sus sedes en Latinoamérica no tienen específicamente desarrollo de tecnología de empaques inteligentes (Zyago-Lau & Foladori, 2010). Sin embargo, muchos grupos de investigación y pequeñas empresas también han generado varios envases que poseen propiedades similares a las mencionadas anteriormente.

- a. Centro de Investigación de Química Aplicada – México: Este grupo ha desarrollado empaques inteligentes con capacidades de aislamiento gaseoso y también actividad antimicrobiana. Dichos empaques, están constituidos de nanopartículas de plata y polímeros de ácido poliláctico, cuya capacidad de degradación después de su vida útil es mucho más rápida y pueden ser aplicados a productos cárnicos aumentando así un 50% de su tiempo de vida y almacenamiento (*Tecnología Del Plástico*, 2019).
- b. Embrapa – Brasil: Esta empresa ha generado barreras orgánicas de carbono con nanopartículas con el objetivo de cubrir nueces de macadamia para bloquear la entrada de oxígeno y vapor de agua (Foladori et al., 2018).

- c. Panarum – Argentina: Concurrentemente, Argentina, junto con México, lideran en la producción de productos relacionados con nanocompuestos, pero específicamente en las áreas farmacéuticas, tecnológicas y textiles. Sin embargo, no hay mucha información relacionada con el área alimenticia. Un ejemplo de empresa modelo, es la de Panarum que fabrica adyuvantes de principios activos para el tratamiento oncológico.

A nivel de Ecuador

A nivel del país, no existen empresas nacionales que utilicen un sistema avanzado para producir nanocompuestos para empaque. Sin embargo, existen diversos grupos de investigación que se encargan de testear diferentes propiedades con respecto al uso de nanocompuestos para la industria alimenticia. Dichos grupos se encuentran en universidades como YACHAY tec.

1. Generación de matrices de quitosano con polivinilpirrolidona y nanopartículas de cobalto ($\text{Co}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$): las cuales tienen un alto potencial de mantener termoestabilidad en los productos (Suárez et al., 2020). Sin embargo, dicho nanocompuesto no se comercializa libremente.
2. Nanocompuestos mixtos con nanopartículas de plata: se ha diseñado y creado un fil nanocompuesto que abarca nanopartículas de plata con polivinilacetato-co-butyl acrilato-co-neodecanoato, cuya capacidad se encuentra en el aislamiento de productos que estén a nivel de contacto de gases y a nivel antibiótico, en el cual se ha demostrado una inhibición considerable de la viabilidad celular de *P. aeruginosa* durante una exposición de más de 1 mes (Diaz-Barrios et al., 2020).

3.8 Beneficios obtenidos por los envases con nanotecnología

En el siglo actual, los productores, procesadores, vendedores y consumidores de alimentos buscan sistemas de envasado de alimentos que proporcionen seguridad, calidad y trazabilidad a los alimentos. Este requerimiento necesita el trabajo conjunto de herramientas y tecnologías innovadoras para su aplicación (Vanderroost et al., 2014)

La nanotecnología aplicada al envasado de alimentos ofrece ciertas ventajas sobre los métodos convencionales de envasado, debido a que permite mejorar varias propiedades

como la resistencia a la temperatura, mayor durabilidad, propiedades de barrera, propiedades ópticas y de reciclaje, menor viscosidad y una reducción significativa del problema ambiental (Bumbudsanpharoke & Ko, 2015; Neethirajan & Jayas, 2011)

Más allá de los materiales empleados, la nanotecnología ha permitido la obtención de sistemas de envasado inteligentes, que pueden reconocer ciertas características de las condiciones de los alimentos, o protegerlos del deterioro, mediante diferentes métodos de comunicación como nanosensores, estos incluyen sensores basados en nanopartículas, narices electrónicas, biosensores de matriz, nanopartículas en solución y nano tiras de prueba (Echegoyen, 2015; Farhoodi, 2016; He & Hwang, 2016), empleados para procurar condiciones externas o internas de productos alimenticios adecuadas. A lo largo de la cadena de suministro de alimentos para controlar el deterioro de los alimentos, los indicadores en los que se basan pueden ser frescura, temperatura, oxígeno, entre otros (Majid et al., 2018).

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- El uso de la nanotecnología como aplicación para el envasado de alimentos ha permitido mejorar la producción de envases biodegradables, pues en definitiva ha transformado la industria alimentaria otorgando la mejora en propiedades fisicoquímicas de los envases, e incluso beneficia la conservación y transportabilidad de los alimentos.
- El uso de las nanopartículas en los polímeros destinados para envases alimentarios ha otorgado propiedades antimicrobianas tanto en su eliminación, desarrollo y eliminación de microorganismos presentes en el producto. Los nanocompuestos han otorgado una mejora en las propiedades de barrera y en su comportamiento térmico y mecánico lo que beneficia a la industria del envasado mientras que los nanosensores se encuentran vinculados a los envases con el fin de controlar la seguridad y la calidad del alimento ya que emiten señales frente a diferentes factores de contaminación o deterioro.
- Una de las ventajas más considerables del uso de la nanotecnología para el envasado alimenticio es la información de alerta que le otorgan al consumidor en caso de que exista una probable contaminación del producto o presencia de algún agente patógeno, además brinda beneficios al medio ambiente ya que se puede elaborar envases biodegradables con características similares a los envases de comercio actual.

Recomendaciones

- Se recomienda el uso de la nanotecnología como aplicación para el envasado de alimentos, puesto que actualmente se considera un medio innovador para mejorar la conservación de los productos, cuidando siempre el aspecto de la biodegradación para que resulten amigables con el medioambiente.
- Se sugiere el uso de nanopartículas, nanocompuestos y nanosensores en el envasado de alimentos por las propiedades que pueden brindar a los alimentos envasados como, por ejemplo, su fabricación reduce la toxicidad, prolonga el tiempo de vida del alimento y conserva el rendimiento energético y medioambiental.
- Se recomienda considerar que, a pesar de las ventajas del uso de la nanotecnología en el envasado, puede traer también saturación de nanomateriales en cuanto al consumo de productos de uso diario y la interacción que pueden tener con órganos sensibles del cuerpo o la alteración en los ecosistemas, por lo que su uso debe ser prudente y controlado.

BIBLIOGRAFIA

- Abbaspour, A., Norouz-Sarvestani, F., Noori, A., & Soltani, N. (2015). Aptamer-conjugated silver nanoparticles for electrochemical dual-aptamer-based sandwich detection of staphylococcus aureus. *Biosensors & bioelectronics*, 68, 149–155. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bios.2014.12.040>
- ABC TENIS (14 de enero del 2004). Presentan una raqueta que multiplica por diez la potencia. Recuperado de https://www.abc.es/deportes/tenis/abci-presentan-raqueta-multiplica-diez-potencia-200301140300-155701_noticia.html
- Addo Ntim, S., Thomas, T. A., Begley, T. H., & Noonan, G. O. (2015). Characterisation and potential migration of silver nanoparticles from commercially available polymeric food contact materials. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 32(6), 1003–1011. doi: <https://doi.org/10.1080/19440049.2015.1029994>
- Alipoormazandarani, N., Ghazihoseini, S., & Mohammadi Nafchi, A. (2015). Preparation and characterization of novel bionanocomposite based on soluble soybean polysaccharide and halloysite nanoclay. *Carbohydrate Polymers*, 134, 745–751. doi: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.08.059>
- Alipoormazandarani, N., Ghazihoseini, S., & Mohammadi Nafchi, A. (2015). Preparation and characterization of novel bionanocomposite based on soluble soybean polysaccharide and halloysite nanoclay. *Carbohydrate Polymers*, 134, 745–751. doi: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.08.059>
- Al-Naamani, L., Dutta, J., & Dobretsov, S. (2018). Nanocomposite Zinc Oxide-Chitosan Coatings on Polyethylene Films for Extending Storage Life of Okra (*Abelmoschus esculentus*). *Nanomaterials (Basel, Switzerland)*, 8(7), 479. doi: <https://doi.org/10.3390/nano8070479>
- Alonso, B. J., López, M. A., Rodríguez, Y. C., y Lázaro, D. A. (2015). La nanotecnología a 40 años de su aparición: Logros y tendencias. *CIIDIT, FIME-UANL*, 18 (66), 13-23.

- Altbir, D. (2021). Centro para el desarrollo de la nanociencia y la nanotecnología. *Impacto de la Nanotecnología en la sociedad*: Recuperado de https://www.pei.usach.cl/sites/gestion_estrategica/files/nanotecnologia_en_la_sociedad_dora_altbir.pdf
- Álvarez Villarraga, J., Arbeláez Echeverri, P., Acevedo González, P. C., & Feo Lee, O. (2009). Nanotecnología. *Revista Oficial de la Asociación Colombiana para el Estudio del Dolor*, 4, 17. Recuperado de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/51540/REVISTA%204-1-77-93.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Amaya, J., & Quiroga, W. (2019a). Nanomateriales: una clasificación desde sus dimensiones. *Revista química e industrial*, 7-12. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/334746985>
- Araya-Sibaja, A. M., Salazar-López, N. J., Romero, K. W., Vega-Baudrit, J. R., Domínguez-Avila, J. A., Contreras, C. A. V., Robles-Zepeda, R. E., Navarro-Hoyos, M., & González-Aguilar, G. A. (2021). Use of nanosystems to improve the anticancer effects of curcumin. *In Beilstein Journal of Nanotechnology (12)*, 1047–1062. doi: <https://doi.org/10.3762/BJNANO.12.78>
- Arrieta, M; López, J; Hernández, A; Rayón, E. (2014). Ternary PLA–PHB–Limonene blends intended for biodegradable food packaging applications. *European Polymer Journal (50)*, 255–270. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2013.11.009>
- Asociación de las Televisiones Educativas y Culturales Iberoamericanas (ATEI). (mayo 2018). El físico finlandés Tuomo Suntola, ganador del Premio Millennium de Tecnología 2018. Recuperado de <https://noticiasncc.com/cartelera/articulos-onoticias/05/22/tuomo-suntola-ganador-premio-millennium-tecnologia-2018/>
- Bagchi, A. (2012). Intelligent Sensing and Packaging of Foods for Enhancement of Shelf life: Concepts and Applications. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 3(10). Recuperado de <https://www.ijser.org/researchpaper/Intelligent-Sensing-and-Packaging-of-Foods-for-Enhancement-of-Shelf-life-Concepts-and-Applications.pdf>

- Balandrán Quintana, R. R., & Mendoza Wilson, A. M. (2021). Un acercamiento a los fundamentos y aplicaciones de la nanotecnología: An approach to the fundamentals and applications of nanotechnology. *TECNOCIENCIA Chihuahua*, 15(3), 167-185. doi: <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v15i3.861>
- Ballesteros, J. H., & Garcia, H. B. (2009). *Estado del arte de la nanotecnología y su aplicación en las telecomunicaciones*. Recuperado de https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/697/digital_17334.pdf?sequence=1
- Berger, M. (2009). Food Nanotechnology - How the Industry Is Blowing It. Nanowerk. Recuperado de <https://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=5305.php>
- Bodaghi, H., Mostofi, Y., Oromiehie, A., Zamani, Z., Ghanbarzadeh, B., Costa, C., Conte, A., & Del Nobile, M. A. (2013). Evaluation of the photocatalytic antimicrobial effects of a TiO₂ nanocomposite food packaging film by in vitro and in vivo tests. *LWT - Food Science and Technology*, 50(2), 702–706. doi: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.07.027>
- Borja, J. y Rojas, B. (2020). Nanomateriales: métodos de síntesis. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 5(8), 426-445. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7554369.pdf>
- Briones Carlos, Casero Elena, Martín José, & Serena Pedro. (2007). *Nanociencia y nanotecnología: Entre la ciencia ficción del presente y la tecnología del futuro*. Recuperado de https://www.academia.edu/33445247/NANOCIENCIA_Y_NANOTECONOLOG%C3%8DA_Entre_la_ciencia_ficci%C3%B3n_del_presente_y_la_tecnolog%C3%ADa_del_futuro_FUNDACI%C3%93N_ESPA%C3%91OLA_PARA_LA_CIENCIA_Y_LA_TECNOLOG%C3%8DA
- Bülbü, G., Hayat, A., & Andreescu, S. (2015). Portable Nanoparticle-Based Sensors for Food Safety Assessment. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 15(12), 30736–30758. doi: <https://doi.org/10.3390/s151229826>

- Bumbudsanpharoke, N., & Ko, S. (2015). Nano-Food Packaging: An Overview of Market, Migration Research, and Safety Regulations. *Journal of Food Science*, 80(5), R910–R923. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1750-3841.12861>
- Busquelle, J. (2010). Análisis de Puntos de Función. *Lámpsakos*, 0(4), 59 - 61.
doi:<https://doi.org/10.21501/21454086.806>
- Castro-Restrepo, D. (2017). Nanotecnología en la agricultura. *Bionatura*, 2(3), 384–389. doi:
<https://doi.org/10.21931/RB/2017.03.03.9>
- Chaudhary, P., Fatima, F., & Kumar, A. (2020). Relevance of Nanomaterials in Food Packaging and its Advanced Future Prospects. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 30(12), 5180–5192. doi: <https://doi.org/10.1007/s10904-020-01674-8>
- Chavali, M. (2018). Nanotechnology Trends in Fashion and Textile Engineering. *Current Trends in Fashion Technology & Textile Engineering*, 2(3), doi:
<https://doi.org/10.19080/ctfte.2018.02.555590>
- Chávez, G. (2018). Nanotecnología una alternativa para el tratamiento de aguas residuales Avances Ventajas y Desventajas. *Selva Andina Research Society*, 9(1), 52-21.
Recuperado de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2072-92942018000100005&script=sci_abstract
- Chun, H.-N., Kim, B., & Shin, H.-S. (2014). Evaluation of a freshness indicator for quality of fish products during storage. *Food Science and Biotechnology*, 23(5), 1719–1725. doi:
<https://doi.org/10.1007/s10068-014-0235-9>
- Co., B. (2009). BASF Offers a New Biodegradable Plastic. Recuperado de
https://reverteplastics.com/index.php?gclid=Cj0KCQiAr5iQBhCsARIsAPcwROOBZl_W5akk07cQUUpJTzMdC-GaA-jKqJTMufzBrbnyk3Eaq3BSVAWsaAitGEALw_wcB
- Costa, C., Conte, A., Buonocore, G. G., & Del Nobile, M. A. (2011). Antimicrobial silver-montmorillonite nanoparticles to prolong the shelf life of fresh fruit salad. *International Journal of Food Microbiology*, 148(3), 164–167. doi:
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2011.05.018>

- Cuadros, M.; Llanos, A., & Villegas Portero, R. (2009). *Informes de Evaluación de Tecnologías Sanitarias*. Recuperado de https://www.aetsa.org/download/publicaciones/antiguas/AETSA_2007-02_F2_Nanomedicina.pdf
- Cuadros, M.; Llanos, A. & Villegas, R. (2010). Nanotecnología en Medicina; Informe de síntesis de tecnología emergente. *Agencia de Evaluación de Tecnologías Sanitarias de Andalucía*, 1–50. Recuperado de https://www.aetsa.org/download/publicaciones/antiguas/AETSA_200702_F2_Nanomedicina.pdf
- Das M, Ansari KM, Tripathi A, Dwivedi PD. (2011). Need for safety of nanoparticles used in food industry. *J Biomed Nanotechnol*, 7(1):13-4. doi: 10.1166/jbn.2011.1176.
- Delgado, G. (2004). Promesas y peligros de la nanotecnología. *Nómadas. Revista de Ciencias Sociales y Jurídicas*, (9),0. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=18100908>
- Delgado, G. C. (2009). Nanotecnología y producción de alimentos: impactos económicos, sociales y ambientales. *Estudios Sociales*, 34. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/417/41711502007.pdf>
- Deng, Z., Jung, J., Simonsen, J., Wang, Y., & Zhao, Y. (2017). Cellulose Nanocrystal Reinforced Chitosan Coatings for Improving the Storability of Postharvest Pears Under Both Ambient and Cold Storages. *Journal of Food Science*, 82(2), 453–462. doi: <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1750-3841.13601>
- Díaz, L. C. (2017). *Diseño y desarrollo de sistemas instrumentados por ingeniería en nanotecnología para la automatización de plantas industriales*. Recuperado de https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/7272/2017_Tesis_Liz_Catherine_Diaz_Puentes.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Díaz-Barrios, A., González, G., Reinoso, C., Santiana, J., Quiroz, F., Chango, J., Costa Vera, C., Caniglia, L., Salazar, V., & Fernández-Delgado, M. (2020). In situ synthesis and long-term stabilization of nanosilver in poly(vinyl acetate-co-butyl acrylate-co-

- neodecanoate) matrix for antibacterial applications. *Materials Chemistry and Physics*, 255. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.123476>
- Dueñas, J. A. (2015). *Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales. Estudio de las Propiedades de un Nanocompuesto con Nanotubos de Carbono en Matriz Polimérica*. Recuperado de https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/26994/TFG_Jose-Antonio_Romero_Duenas_2016.pdf;jsessionid=1944A080EEA00E32339830A2C95526AD?sequence=1
- Duncan, T. V. (2011). Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials and sensors. *Journal of Colloid and Interface Science*, 363(1), 1–24. doi: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jcis.2011.07.017>
- Echegoyen, E. (2015). Nano-developments for Food Packaging and Labeling Applications. *In Nanotechnologies in Food and Agriculture*. Springer. doi: https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-14024-7_7
- Echevarría-Machado, I. (2019). El tamaño sí importa: Los nanofertilizantes en la era de la agricultura de precisión. *Desde El Herbario CICY*, 11, 69–75. Recuperado de http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/
- Elizondo, M. C., Baudrit, J. V., & Gallo, A. C. (2011). Uso de nanomateriales en polímeros para la obtención de bioempaques en aplicaciones alimentarias. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 77. Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2011000400007
- Engler, V., Esteban, P., y Mottessi, C., (2016). Nanotecnología en debate. Ciencia y Sociedad en Debate: *Universidad Nacional de Quilmes*: Recuperado de <http://www.unq.edu.ar/advf/documentos/5be06258ec1b2.pdf>.
- Farhoodi, M. (2016). Nanocomposite Materials for Food Packaging Applications: Characterization and Safety Evaluation. *Food Engineering Reviews*, 8(1), 35–51. doi: <https://doi.org/10.1007/s12393-015-9114-2>

- Fernández, A., Picouet, P., & Lloret, E. (2010). Cellulose-silver nanoparticle hybrid materials to control spoilage-related microflora in absorbent pads located in trays of fresh-cut melon. *International Journal of Food Microbiology*, 142(1), 222–228.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.07.001>
- Fernández, A., Picouet, P., & Lloret, E. (2010). Cellulose-silver nanoparticle hybrid materials to control spoilage-related microflora in absorbent pads located in trays of fresh-cut melon. *International Journal of Food Microbiology*, 142(1), 222–228. doi:
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.07.001>
- Foladori, G., Invernizzi, N. (2005). Nanotecnología: ¿beneficios para todos o mayor desigualdad? *Redes*, 11(21), 55-75 Recuperado de
<http://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/577>
- Foladori, G., Invernizzi, N., Osma, J., & Záyago, E. (2018). *Cadenas de producción de las nanotecnologías en América Latina*. Recuperado de
<https://ingenieria.uniandes.edu.co/es/publicaciones/cadenas-de-produccion-de-las-nanotecnologias-en-america-latina>
- Fuente, J. Á. (2020). *Nanosensores de aplicación en salud*. Recuperado de
<https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/103307/PEREJON%20RUBIO%20INMACULADA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Fuertes, G., Soto, I., Carrasco, R., Vargas, M., Sabattin, J., & Lagos, C. (2016). Intelligent Packaging Systems: Sensors and Nanosensors to Monitor Food Quality and Safety. *Journal of Sensors*, <https://doi.org/10.1155/2016/4046061>
- Fuertes, G., Soto, I., Carrasco, R., Vargas, M., Sabattin, J., & Lagos, C. (2016). Intelligent Packaging Systems: Sensors and Nanosensors to Monitor Food Quality and Safety. *Journal of Sensors*, 2016. doi: <https://doi.org/10.1155/2016/4046061>
- Galarza, M. (2009). *Nanociencia, nanotecnología y su desarrollo en el Perú*. Escuela Académico Profesional de Física, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

- García, A., & Betancur, L. (2017). La visión de la nanotecnología para las radiocomunicaciones en los próximos años. *Una perspectiva desde la academia. Ingeniería y Región*. 17, 13-20. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6098074>
- García, J. (Noticias Udabol). (2019). *Nanotecnología y medio ambiente*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=If8gmeq-V34>. Bolivia, paz
- García, J., Ruiz, N., Lira Saldivar, H., Reyes, I., & Méndez, A. (2016). Efecto de nanopartículas metálicas y derivadas del carbón en la fisiología de semillas. *Agronano Tecnología*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/311559551_EFECTO_DE_NANOPARTICULAS_METALICAS_Y_DERIVADAS_DEL_CARBON_EN_LA_FISIOLOGIA_DE_SEMILLAS
- Goudarzi, V., Shahabi-Ghahfarrokhi, I., & Babaei-Ghazvini, A. (2017). Preparation of ecofriendly UV-protective food packaging material by starch/TiO₂ bio-nanocomposite: Characterization. *International Journal of Biological Macromolecules*, 95, 306–313. doi: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.11.065>
- Guerrero, T. (25 de septiembre del 2013). El primer ordenador fabricado con nanotubos de carbono. *Nanotecnología: El mundo*. Recuperado de <https://www.elmundo.es/elmundo/2013/09/24/nanotecnologia/1380041161.html>
- Han, J.-W., Ruiz-Garcia, L., Qian, J.-P., & Yang, X.-T. (2018). Food Packaging: A Comprehensive Review and Future Trends. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(4), 860–877. doi: <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1541-4337.12343>
- Hao Y., Yuan W., Ma C., White J.C., Zhang Z., Adeel M., Zhou T., Rui Y. y Xing B. (2018). Engineered nanomaterials suppress Turnip mosaic virus infection in tobacco (*Nicotiana benthamiana*). *Environmental Science: Nano* 5, 1685-1693.
- He, X., & Hwang, H.-M. (2016). Nanotechnology in food science: Functionality, applicability, and safety assessment. *Journal of Food and Drug Analysis*, 24(4), 671–681. doi: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.06.001>

- Hernández, O. (2018). *Línea de tiempo de la Nanotecnología*. Timetoast Timelines. Recuperado de <https://www.timetoast.com/timelines/nanotecnologiaf594514b-1137-4003-bd65-367be5c103ab?print=>
- Hirvikorpi, T., Vähä-Nissi, M., Mustonen, T., Iiskola, E., & Karppinen, M. (2010). Atomic layer deposited aluminum oxide barrier coatings for packaging materials. *Thin Solid Films*, 518(10), 2654–2658. doi <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tsf.2009.08.025>
- Hu, Q., Fang, Y., Yang, Y., Ma, N., & Zhao, L. (2011). Effect of nanocomposite-based packaging on postharvest quality of ethylene-treated kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) during cold storage. *Food Research International*, 44, 1589–1596.
- Invernizzi, N. y Foladori, G. (2005). El despegue de las nanotecnologías. *Ciencia Ergo Sum*, 12(3). 321-327. Recuperado de <https://cienciaergosum.uaemex.mx/article/view/7187/5712>
- Ivanišević, I., Milardović, S., & Kassal, P. (2021). Recent Advances in (Bio)Chemical Sensors for Food Safety and Quality Based on Silver Nanomaterials. *Food technology and biotechnology*, 59 (2), 216–237. doi: <https://doi.org/10.17113/ftb.59.02.21.6912>
- Jaimés, J. D. C., Rios, I. C., & Severiche, C. A. (2017). Nanotecnología y sus aplicaciones en la industria de alimentos. *Revista Alimentos Hoy*, 25 (41), 51-71.
- Jiang, T., Song, Y., Wei, T., Li, H., Du, D., Zhu, M. J., & Lin, Y. (2016). Sensitive detection of *Escherichia coli* O157:H7 using Pt-Au bimetal nanoparticles with peroxidase like amplification. *Biosensors & bioelectronics*, 77, 687–694. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bios.2015.10.017>
- Kamarudin, S. H., Rayung, M., Abu, F., Ahmad, S., Fadil, F., Karim, A. A., Norizan, M. N., (2022). Una revisión sobre el embalaje antimicrobiano de compuestos de polímeros biodegradables. *Polímeros*, 14(1), 174. MDPI AG. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.3390/polym14010174>

- Khalid, M., W, R., Ketabchi, M. R., Siddiqui, H., & Hoque, M. E. (2016). *Rubber/Nanoclay Composites: Towards Advanced Functional Materials*. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-10-1953-1_9
- Khodakovskaya, M., de Silva, K., Biris, A., Dervishi, E., & Villagarcia, H. (2012). Carbon nanotubes induce growth enhancement of tobacco cells. *ACS nano*, 6(3), 2128-2135.
- Kubacka, A., Diez, M. S., Rojo, D., Bargiela, R., Ciordia, S., Zapico, I., Albar, J. P., Barbas, C., Martins dos Santos, V. A. P., Fernández-García, M., & Ferrer, M. (2014). Understanding the antimicrobial mechanism of TiO₂-based nanocomposite films in a pathogenic bacterium. *Scientific Reports*, 4(1), 4134. doi: <https://doi.org/10.1038/srep04134>
- Kubacka, A., Diez, M. S., Rojo, D., Bargiela, R., Ciordia, S., Zapico, I., Albar, J. P., Barbas, C., Martins dos Santos, V. A. P., Fernández-García, M., & Ferrer, M. (2014). Understanding the antimicrobial mechanism of TiO₂-based nanocomposite films in a pathogenic bacterium. *Scientific Reports*, 4(1), 4134. doi: <https://doi.org/10.1038/srep04134>
- Kumar, S., Shukla, A., Baul, P. P., Mitra, A., & Halder, D. (2018). Biodegradable hybrid nanocomposites of chitosan/gelatin and silver nanoparticles for active food packaging applications. *Food Packaging and Shelf Life*, 16, 178–184. doi: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.03.008>
- Lagaron, J. M., & Lopez-Rubio, A. (2011). Nanotechnology for bioplastics: opportunities, challenges and strategies. *Trends in Food Science & Technology*, 22(11), 611–617. doi: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.01.007>
- Leticia Almengor. (2009). Nanotecnología en la industria alimentaria. Revista Electrónica No. 13, 35 a 52. Obtenido de <http://www.administracion.usmp.edu.pe/institutoconsumo/wp-content/uploads/2013/08/Nanotecnolog%C3%ADa-en-la-industria-alimentaria-UFM.pdf>
- Li, X., Li, W., Jiang, Y., Ding, Y., Yun, J., Tang, Y., & Zhang, P. (2011). Effect of nano-ZnO-coated active packaging on quality of fresh-cut ‘Fuji’ apple. *International Journal of*

- Food Science & Technology, 46(9), 1947–1955.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02706.x>
- Lira-Saldivar, R. H., Argüello, B. M., Villarreal, G. D. los S., & Reyes, I. V. (2018). Potencial de la nanotecnología en la agricultura. *Acta Universitaria*, 28(2), 9–24. doi:
<https://doi.org/10.15174/au.2018.1575>
- Liu, S., Yuan, L., Yue, X., Zheng, Z., & Tang, Z. (2008). Recent Advances in Nanosensors for Organophosphate Pesticide Detection. *Advanced Powder Technology*, 19(5), 419–441.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0921-8831\(08\)60910-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0921-8831(08)60910-3)
- Liu, S., Yuan, L., Yue, X., Zheng, Z., & Tang, Z. (2008). Recent Advances in Nanosensors for Organophosphate Pesticide Detection. *Advanced Powder Technology*, 19(5), 419–441.
doi: [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0921-8831\(08\)60910-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0921-8831(08)60910-3)
- Lòpez Mora, Gutiérrez Arenas, & Cuca García. (2018). Síntesis de nanopartículas y su aplicación en la nutrición animal. *AGRO PRODUCTIVIDAD*, 11(6), 85-90. Recuperado de
https://www.researchgate.net/publication/326752881_SINTESIS_DE_NANOPARTICULAS_Y_SU_APLICACION_EN_LA_NUTRICION_ANIMAL
- Lozano, S. (02 de febrero del 2018). Escribiendo con átomos. La enciclopedia británica escrita en la punta de un alfiler. *Comunicamos ciencia. Todos@CICESE*. Recuperado de
<http://todos.cicese.mx/sitio/noticia.php?n=1092#.YZ1lkmDMLIU>
- Lv, M., Liu, Y., Geng, J., Kou, X., Xin, Z., & Yang, D. (2018). Engineering nanomaterials based biosensors for food safety detection. *Biosensors & bioelectronics*, 106, 122–128. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bios.2018.01.049>
- Majid, I., Ahmad Nayik, G., Mohammad Dar, S., & Nanda, V. (2018). Novel food packaging technologies: Innovations and future prospective. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17(4), 454–462. doi:
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.11.003>
- Majid, I., Ahmad Nayik, G., Mohammad Dar, S., & Nanda, V. (2018). Novel food packaging technologies: Innovations and future prospective. *Journal of the Saudi Society of*

Agricultural Sciences, 17(4), 454–462. doi:
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.11.003>

Márquez Díaz, J. E. (2019). Nanotecnología y aplicaciones relacionadas con la computación. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/335617279>

Martínez Torreblanca, A., Tirado Hernández, J., Villalpando Castro, D., & Villapudua Rodríguez, G. (2020a). Nanomedicina desde una perspectiva tecnológica. *Revisión de literatura. Revista de Investigación En Tecnologías de La Información*, 8(16), 56–65. doi: <https://doi.org/10.36825/riti.08.16.006>

Martínez Torreblanca, A., Tirado Hernández, J., Villalpando Castro, D., & Villapudua Rodríguez, G. (2020b). Nanomedicina desde una perspectiva tecnológica. *Revisión de literatura. Revista de Investigación En Tecnologías de La Información*, 8(16), 56–65. doi: <https://doi.org/10.36825/riti.08.16.006>

Mendoza, G., & Rodríguez López, J. (junio de 2007). La nanociencia y la nanotecnología: una revolución en curso. *Perfiles Latinoamericanos*, 29(1), 161-186. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/115/11502906.pdf>

Mensch, A. (24 de marzo del 2015). El Microscopio de Fuerza Atómica – Explorando “ver” a nanoescala. *Centro de la Nanotecnología Sostenible. Nano sostenible*. Recuperado de <https://nano-sostenible.com/2020/05/12/el-microscopio-de-fuerza-atomicalexplorando-ver-a-nanoescala/>

Miguel-Rojas, C., & Pérez-De-Luque, A. (2020). Nanofertilizantes para cereales: situación actual y perspectivas futuras HYPATI Agro View project Scientific Reports: *Call for Papers-Nanotechnology in agriculture View project*. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/352284221>

Monárrez, Blanca. (2011). Síntesis y caracterización de nanopartículas con propiedades magnéticas sintetizadas por AACVD y su aplicación en la remoción de arsénico en el agua para consumo humano. Recuperado de <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/556/1/Tesis%20Blanca%20Elizabeth%20Mon%20C3%A1rrez%20Cordero.pdf>

- Mora, I. B. (2013). Síntesis y caracterización de nanomateriales 0D, 1D y 2D. Recuperado de https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/660464/berlanga_mora_isadora.pdf
- Nanotec. (9 de diciembre de 2018). *Nanotec*. ¿Qué son las nanopartículas? Recuperado de <https://www.nanotec.es/que-son-las-nanoparticulas/>
- Naranjo, K. C., Palacios, M. L., Correa, S. M., Mesa, A. R., Gallego, R., & Ramírez, D. P. (julio-diciembre de 2014). Tendencias investigativas de la nanotecnología en empaques y envases para alimentos. *Revista Lasallista de Investigación*, 11, 18-28. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/695/69539788003.pdf>
- National Nanotechnology Initiative (NNI). (2017). Nanotechnology Timeline. Recuperado de www.nano.gov/timeline
- Navarro Tovar, G., Martínez Castillo, J. H., & González Castillo, M. D. C. (2018). La ropa inteligente, una importante aplicación de la nanotecnología. Recuperado de <http://www.uaslp.mx/Comunicacion-Social/Documents/Divulgacion/Revista/Quince/225/225-01.pdf>
- Neethirajan, S., & Jayas, D. S. (2011). Nanotechnology for the Food and Bioprocessing Industries. *Food and Bioprocess Technology*, 4(1), 39–47. doi: <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0328-2>
- Noshirvani, N., Ghanbarzadeh, B., Rezaei Mokarram, R., & Hashemi, M. (2017). Novel active packaging based on carboxymethyl cellulose-chitosan-ZnO NPs nanocomposite for increasing the shelf life of bread. *Food Packaging and Shelf Life*, 11, 106–114. doi: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2017.01.010>
- Noormans, A. (2010). Impacto de la Nanotecnología en la Producción de Alimentos. *Lámpsakos*, 0(4), 28 - 35. doi: <https://doi.org/10.21501/21454086.801>
- Ocampo Melchor, Colonia Santa, & Coyocán Delegación. (2019). Nanomedicina. *Oficina de Información Científica y Tecnológica Para El Congreso de La Unión*, 032, 1–6.
- Ojeda, G., Arias Gorman, A., & Sgroppo, S. (2019). La nanotecnología y su aplicación en alimentos. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria En Nanociencias Y Nanotecnología*, 12(23), 1e-14e. doi:<https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2019.23.67747>

- Olivera, L. E., & Castillo, J. N. (2008). Simulación de Nanosensores para detectar partículas contaminantes utilizando Sistemas de información. *Ingeniería, 13*, 29-35. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/4988/498850167007.pdf>
- Pandian, A. T., Chaturvedi, S., & Chakraborty, S. (2021). Applications of enzymatic time–temperature indicator (TTI) devices in quality monitoring and shelf-life estimation of food products during storage. *Journal of Food Measurement and Characterization, 15*(2), 1523–1540. doi: <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00730-8>
- Pérez, J. E. (2016). El futuro de los envases para alimentos. *Virtual pro*. Recuperado de <https://www.virtualpro.co/editoriales/20161201-ed.pdf>
- Picouet, P. A., Fernandez, A., Realini, C. E., & Lloret, E. (2014). Influence of PA6 nanocomposite films on the stability of vacuum-aged beef loins during storage in modified atmospheres. *Meat Science, 96*(1), 574–580. doi: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.07.020>
- Pinilla, A. F. (10 de mayo de 2015). *Nanotecnología*. Universidad Nacional de Colombia: Slideplayer. Recuperado de <https://slideplayer.es/slide/5409857/>
- Plackett, D., & Siró, I. (2011). 18 - Polyhydroxyalkanoates (PHAs) for food packaging (J.-M. B. T.-M. and N. P. for F. P. Lagarón. *Woodhead Publishing, 498–526*. doi: <https://doi.org/https://doi.org/10.1533/9780857092786.4.498>
- Pokropivny, V. & Skorokhod, V. (2007). Classification of nanostructures by dimensionality and concept of surface forms engineering in nanomaterial science. *Materials Science and Engineering: C, 27*(5-8), 990-993. doi: <https://doi.org/10.1016/j.msec.2006.09.023>
- Portales León Elena. (2017). Nanorobots en terapia dirigida. Recuperado de <http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/ELENA%20PORTALES%20LEON.pdf>
- Quintili, M. (2012). Nanociencia y nanotecnología un mundo pequeño. *Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. Ensayos, 42*, 125-155. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5263478>

- Ramachandraiah, K., Han, S. G., & Chin, K. B. (2015). Nanotechnology in meat processing and packaging: potential applications - a review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 28(2), 290–302. doi: <https://doi.org/10.5713/ajas.14.0607>
- Ramsden, J. J. (2018). Chapter 16 - Some Successful and Unsuccessful Nanotechnology Companies. In J. J. B. T.-A. N. (Third E. Ramsden (Ed.), *Micro and Nano Technologies William Andrew Publishing*. 233–244. doi: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813343-9.00019-6>
- Sanuja, S., Agalya, A., & Umapathy, M. J. (2014). Studies on Magnesium Oxide Reinforced Chitosan Bionanocomposite Incorporated with Clove Oil for Active Food Packaging Application. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, 63(14), 733–740. doi: <https://doi.org/10.1080/00914037.2013.879445>
- Scandurra, A., Ruffino, F., Censabella, M., Terrasi, A., & Grimaldi, M. G. (2019). Dewetted Gold Nanostructures onto Exfoliated Graphene Paper as High Efficient Glucose Sensor. *Nanomaterials (Basel, Switzerland)*, 9(12), 1794. doi: <https://doi.org/10.3390/nano9121794>
- Sekhon, B. S. (2010). Food nanotechnology - an overview. *Nanotechnology, Science and Applications*, 3, 1–15.
- Shillingford, C., Russell, C. W., Burgess, I. B., & Aizenberg, J. (2016). Bioinspired Artificial Melanosomes As Colorimetric Indicators of Oxygen Exposure. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 8(7), 4314–4317. <https://doi.org/10.1021/acsami.5b11933>
- Singh, U. A., Kumari, M., & Iyengar, S. (2018). Method for improving the quality of genomic DNA obtained from minute quantities of tissue and blood samples using Chelex 100 resin. *Biological Procedures Online*, 20(12). doi: <https://doi.org/10.1186/s12575-018-0077-6>
- Suárez, J., Daboin, V., González, G., & Briceño, S. (2020). Chitosan-polyvinylpyrrolidone $\text{CoFe}_{3-x}\text{O}_4$ ($0.25 \leq x \leq 1$) nanoparticles for hyperthermia applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 164, 3403–3410. doi: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.08.043>

- Szente, L., & Szejtli, J. (2004). Cyclodextrins as food ingredients. *Trends in Food Science & Technology*, 15(3), 137–142. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.09.019>
- Tang, A.; Sarah, C.; Fredric, G.; & Louie, M. (2018). "IRM in vivo de nanopartículas de óxido de hierro funcionalizadas para la inflamación cerebral", *Medios de contraste & Imágenes moleculares*, 2018, 10. doi: <https://doi.org/10.1155/2018/3476476>
- Tsagkaris, A. S., Tzegkas, S. G., & Danezis, G. P. (2018). Nanomaterials in food packaging: state of the art and analysis. *Journal of food science and technology*, 55(8), 2862–2870. doi: <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3266-z>
- Tecnología del Plástico. (2019). *INVESTIGADORES MEXICANOS CREAN EMPAQUES INTELIGENTES CON NANOTECNOLOGÍA*. Recuperado de <https://www.plastico.com/temas/Investigadores-mexicanos-crean-empaques-inteligentes-con-nanotecnologia+129148>
- Trotta, F., & Mele, A. (2019). Nanomaterials: Classification and Properties. In *Nanosponges 1–26*. doi: <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9783527341009.ch1>
- Urquilla, A. (2019). Impacto de la nanotecnología como revolución industrial a nivel mundial. *Realidad y Reflexión*, 49(49), 66–78. doi: <https://doi.org/10.5377/ryr.v49i49.8063>
- Valenzuela, L.; Blanco, A.; Perrusquía, J. D.; Nequiz, M.; Mier, P.; Ruiz, B.; Campos, V.; Arellano, M.; García, J.; Pestryakov, A.; Villarreal, L.; Toledano, Y. & Bogdanchikova, N. (2021). New Protein-Coated Silver Nanoparticles: Characterization, Antitumor and Amoebicidal Activity, Antiproliferative Selectivity, Genotoxicity, and Biocompatibility Evaluation. *Pharmaceutics*, 13(1), 65. doi: <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13010065>
- Vanderroost, M., Ragaert, P., Devlieghere, F., & De Meulenaer, B. (2014). Intelligent food packaging: The next generation. *Trends in Food Science & Technology*, 39(1), 47–62. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.06.009>
- Villa, F. (2018). *Aplicaciones de la nanotecnología en la industria textil*. Recuperado de http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:master-Ciencias-CyTQ-Fmartin/Martin_Villa_Fernando_TFM.pdf

- Villena de Francisco, E., & García, R. (2018). Nanotechnology in the agrofood industry. *Journal of Food Engineering*, 238, 1-11. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.05.024>
- Wang, H., Qian, J., & Ding, F. (2018). Emerging Chitosan-Based Films for Food Packaging Applications. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(2), 395–413. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b04528>
- Wu, Z., Deng, W., Luo, J., & Deng, D. (2019). Multifunctional nano-cellulose composite films with grape seed extracts and immobilized silver nanoparticles. *Carbohydrate Polymers*, 205, 447–455. doi: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.10.060>
- Yang, T., Huang, H., Zhu, F., Lin, Q., Zhang, L., & Liu, J. (2016). Recent Progresses in Nanobiosensing for Food Safety Analysis. *In Sensors*, 16, (7). doi: <https://doi.org/10.3390/s16071118>
- Yoon, S.-D., Park, M.-H., & Byun, H.-S. (2012). Mechanical and water barrier properties of starch/PVA composite films by adding nano-sized poly(methyl methacrylate-co-acrylamide) particles. *Carbohydrate Polymers*, 87(1), 676–686. doi: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.08.046>
- Yu, H., Yan, C., & Yao, J. (2014). Fully biodegradable food packaging materials based on functionalized cellulose nanocrystals/poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) nanocomposites. *RSC Adv.*, 4(104), 59792–59802. doi: <https://doi.org/10.1039/C4RA12691B>
- ZÃ¡yago-Lau, E., & Foladori, G. (2010). La nanotecnologÃ­a en MÃ©xico: un desarrollo incierto. *EconomÃ­a, Sociedad y Territorio*, 10, 143–178.
- Zanella, R. (2012). Metodologías para la síntesis de nanopartículas: controlando forma y tamaño. *Mundo Nano, Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 5, (1). doi: <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2012.1.45167>
- Zhao, Y., Ye, M., Chao, Q., Jia, N., Ge, Y., & Shen, H. (2009). Simultaneous Detection of Multifood-Borne Pathogenic Bacteria Based on Functionalized Quantum Dots Coupled

with Immunomagnetic Separation in Food Samples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(2), 517–524. doi: <https://doi.org/10.1021/jf802817y>

Zimoch-Korzycka, A., & Jarmoluk, A. (2015). The use of chitosan, lysozyme, and the nano-silver as antimicrobial ingredients of edible protective hydrosols applied into the surface of meat. *Journal of Food Science and Technology*, 52(9), 5996–6002. doi: <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1645-7>

