

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”**

**DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**



**NANOTECNOLOGIA EN LA INDUSTRIA DE LOS ALIMENTOS**

POR

**ARMANDO QUINTERO ZAVALA**

**MONOGRAFIA**

Presentada como requisito parcial para obtener el título profesional de

**INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

**Mayo de 2018**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"  
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos

Nanotecnología en la Industria de los Alimentos

MONOGRAFIA

Presentada por

ARMANDO QUINTERO ZAVALA

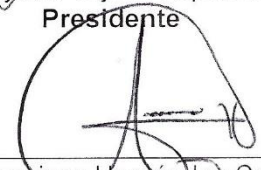
y que somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial  
para obtener el título profesional de


INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

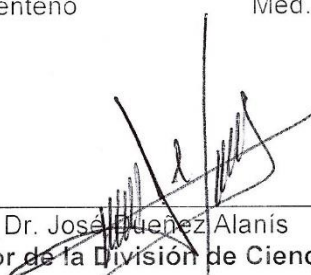
APROBADA

  
M.C. Haydee Yajaira López De la Peña  
Presidente

  
Dra. María Hernández González  
Vocal

  
M.P. Francisco Hernández Centeno  
Vocal

  
Méd. María Elena Castelo Mejía  
Vocal suplente

  
Dr. José Puenz Alanis  
Coordinador de la División de Ciencia Animal

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Mayo de 2018



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"  
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos

Nanotecnología en la Industria de los Alimentos

MONOGRAFIA

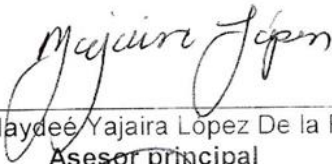
Presentada por

ARMANDO QUINTERO ZAVALA

como requisito parcial para obtener el título profesional de

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Fue dirigida por el siguiente comité:



M.C. Haydeé Yajaira López De la Peña  
Asesor principal



M.P. Francisco Hernández Centeno  
Co-asesor



Dra. María Hernández González  
Co-asesor



Méd. María Elena Castelo Mejía  
Co-asesor

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Mayo de 2018

## **DEDICATORIAS**

A mis padres Doroteo Quintero Sánchez y Rosalba Zavala Soriano, por ser mi fortaleza e inspiración para lograr este objetivo en mi vida, por estar siempre conmigo en las buenas y en las malas brindándome su apoyo en todo momento para lograr todos mis objetivos enseñándome a no darme por vencido y luchar para alcanzar cada una de las metas que me propongo.

A mí hermano Jesús Alejandro Quintero Zavala por su apoyo brindado durante esta etapa esperando ser un ejemplo que seguir y logres mejores cosas

A toda la familia Quintero Zavala, tíos (as), primos (as) y sobrinos (as) que confiaron en mí y me brindaron su apoyo de una u otro manera

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por permitirme llegar hasta este momento en mi vida que nunca imaginé donde aprendí muchas cosas, conocí muchas personas y nuevos lugares, gracias por llevarme siempre por el buen camino, llenarme de fortaleza y Fe para salir siempre adelante.

A mi familia por confiar en mí y hacer de esto un sueño cumplido que todos queríamos, gracias por sus consejos y su cariño. Por estar al pendiente de mí en todo momento y darme una vida digna gracias a todo su trabajo y esfuerzo

A mí Alma Mater la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por abrirme las puertas y convertirse en una segunda casa para mí para darme la oportunidad de ser adquirir nuevos conocimientos y crecer profesionalmente

A cada todos los maestros que me brindaron de sus conocimientos y consejos en especial a los maestros del Departamento de Ciencia y Tecnología de alimentos.

A la maestra Haydee Yajaira López por su tiempo y apoyo dedicado para poder concluir con este trabajo y por enseñanzas dentro de las aulas.

A la maestra Xochitl Ruelas Chacón por sus consejos y sus enseñanzas dentro de mi formación académica.

A Laura López Covarrubias y Nelly que más que amigos nos convertimos en grandes hermanos donde vivimos muy buenos momentos

A Sandra Ayala, Karla Cortés, Dulce Roque, Nohemy Torres, Adolfo Ángel (Teme), Margarito Aparicio (Mallo) por esas tardes de estudio y momentos vividos dentro y fuera de las aulas gracias por su amistad

# CONTENIDO

<b>DEDICATORIAS</b> .....	<b>4</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>5</b>
<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	<b>8</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>9</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>10</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>11</b>
<b>2 OBJETIVO</b> .....	<b>13</b>
2.1 Objetivos específicos.....	13
<b>3 ANTECEDENTES</b> .....	<b>14</b>
3.1 Nanotecnología.....	15
3.2 Nanomateriales.....	17
3.3 Aplicaciones de la nanotecnología .....	18
3.3.1 Nanotecnología en la medicina .....	21
3.3.2 Nanotecnología en la agricultura.....	23
3.3.3 Nanotecnología textil.....	25
3.3.4 Nanotecnología en la construcción .....	26
3.3.5 Nanotecnología en electrónica .....	27
3.3.6 Nanotecnología en el medio ambiente .....	28
3.4 Nanotecnología en alimentos .....	30
3.5 Aplicaciones de la Nanotecnología en alimentos.....	32
3.5.1 Procesamiento de alimentos .....	34

3.5.2	Envasado y conservación .....	38
3.5.3	Nanopartículas .....	42
3.6	Síntesis de nanopartículas.....	46
3.6.1	De arriba hacia abajo .....	46
3.6.2	Abajo hacia arriba .....	49
3.7	Toxicidad de la nanotecnología .....	50
<b>4</b>	<b>CONCLUSIÓN .....</b>	<b>54</b>
<b>5</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>55</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Productos para el consumo con nanomateriales.....	20
<b>Tabla 2.</b> Usos de la nanotecnología en alimentos .....	31
<b>Tabla 3.</b> Aplicaciones de nanotecnología en alimentos.....	34
<b>Tabla 4.</b> Aplicaciones de los nanosensores .....	40
<b>Tabla 5.</b> Riesgos para la salud de nanopartículas.....	53



## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Aplicaciones de la nanotecnología.....	18
<b>Figura 2.</b> Nanotecnología alternativa contra el cáncer .....	22
<b>Figura 3.</b> Sensor basado en microchips, aporta información de humedad de la tierra, intensidad de luz y temperatura.....	24
<b>Figura 4.</b> Aplicación de la nanotecnología para la formulación de plaguicidas, fertilizantes y otros productos agroquímicos .....	25
<b>Figura 5.</b> Nanotecnología aplicada a la industria textil .....	26
<b>Figura 6.</b> Hormigón vivo e inteligente que reacciona ante las grietas y rupturas reparándose automáticamente .....	27
<b>Figura 7.</b> Dispositivo de almacenamiento .....	28
<b>Figura 8.</b> Limpia de aguas contaminadas .....	29
<b>Figura 9.</b> Envases inteligentes .....	41
<b>Figura 10.</b> Tamaño de nanopartículas .....	43
<b>Figura 11.</b> Molienda de nanoparticulas .....	49

## **RESUMEN**

La habilidad de manipular la materia a nano escala tiene un enorme potencial para diversas aplicaciones e innovaciones, involucrando nuevos materiales para áreas tan distintas como la alimentaria, textil, química, medicina, tecnologías para la información y energía por mencionar solo algunas. Sus aplicaciones han alcanzado casi todos los aspectos de nuestra vida.

En la alimentación las aplicaciones de los nanomateriales se pueden encontrar en el procesado de alimentos, aditivos alimentarios y en materiales en contacto con alimentos, algunas aplicaciones ya se comercializan y otras aún están en proceso de desarrollo.

La fabricación de alimentos es una industria mundial que mueve millones dólares. Todas las grandes compañías de alimentos están buscando maneras de mejorar la eficiencia de la producción, inocuidad y las características de los alimentos. Una gran cantidad de proyectos de investigación y desarrollo están curso, con el objetivo de obtener una ventaja competitiva. Para una industria donde la competencia es intensa y la innovación es vital, la nanotecnología ha surgido como una ayuda potencial para mejorar la producción de alimentos y la calidad de estos.

**Palabras clave:** Nanotecnología, Nanomateriales, Industria de los alimentos, Aplicaciones de la nanotecnología, Nanopartículas.

## 1 INTRODUCCIÓN

La nanotecnología es una ciencia multidisciplinar que está teniendo un gran auge en la actualidad, ya que proporciona productos con nuevas propiedades fisicoquímicas muy atractivas. La nanotecnología brinda grandes oportunidades para la obtención de productos y aplicaciones innovadoras para la agricultura, la ganadería, la de cosméticos, la farmacéutica, los electrodomésticos, la del cuidado personal, la construcción, las comunicaciones, la de seguridad, la automotriz, la aeroespacial el tratamiento de las aguas y la producción, elaboración, conservación y envasado de los alimentos. Para ello, se utilizan una gran diversidad de nanomateriales, que van desde metales y óxidos de metales inorgánicos a nanomateriales orgánicos que llevan ingredientes bioactivos. Se trabaja a escala nanométrica, es decir, a niveles tan pequeños como moléculas y átomos generalmente un tamaño de 1 y 100 nanómetros de tamaño y su interés radica en que el pequeño tamaño de las partículas conlleva propiedades físicas y químicas que difieren significativamente de las habituales a mayor escala.

La nanotecnología de los alimentos es un área de interés emergente y abre todo un universo de nuevas posibilidades para la industria alimentaria. Las categorías básicas de las aplicaciones y funcionalidades nanotecnológicas actualmente en el desarrollo del envasado de alimentos incluyen: la mejora de las barreras de materiales plásticos, la incorporación de componentes activos que pueden proporcionar atributos funcionales más allá de los envases activos convencionales y la detección y señalización de información relevante. Los materiales de empaque

de nano alimentos pueden prolongar la vida útil de los alimentos, mejorar la inocuidad de los alimentos, alertar a los consumidores que los alimentos están contaminados o deteriorados, reparar las lágrimas en los envases e incluso liberar conservantes para prolongar la vida útil de los alimentos. Las aplicaciones de nanotecnología en la industria alimentaria se pueden utilizar para detectar bacterias en los envases, o para producir sabores y calidad de color más fuerte, y seguridad al aumentar las propiedades de barrera. La nanotecnología es una gran promesa para proporcionar beneficios no solo dentro de los productos alimenticios sino también en torno a los productos alimenticios.

## **2 OBJETIVO**

Presentar una recopilación de las aplicaciones de la nanotecnología en la industria de los alimentos.

### **2.1 Objetivos específicos**

1. Definir nanotecnología y nanomateriales.
2. Presentar las aplicaciones de la nanotecnología.
3. Investigar las aplicaciones de la nanotecnología en la industria alimentaria.
4. Describir los métodos de síntesis de las nanopartículas.
5. Mostrar algunos efectos toxicológicos de los nanomateriales.

### 3 ANTECEDENTES

La nanotecnología y nanociencia existen porque hace medio siglo que los cuánticos tiraron por tierra los conceptos de la física clásica y crearon la física cuántica, donde los átomos fueron desnudados hasta entender el funcionamiento del núcleo de los electrones y los fotones. De esta manera descubrimos, que ellos son los responsables principales, donde todo comienza en términos de energía, dando lugar a la creación de una vida que no se puede ver a simple vista, en principio. La idea de utilizar estructuras atómicas construyendo átomos sobre átomos comenzó con el Dr. Richard Feynman en el año de 1952, cuando anticipó conceptos que hoy son realidad en las actividades nanotecnológicas (Pradhan et al., 2015)

El nombre nanotecnología fue atribuido en el año de 1974 por el Prof. Norio Taniguchi de la Universidad de Ciencias de Tokio, en un artículo publicado con el siguiente título: "Nanotecnología consiste en el procedimiento de separación, consolidación y deformación de materiales átomo por átomo o molécula por molécula". Durante ese año de 1974 la nanotecnología comenzó a crecer con fuerza y condujo a los científicos más optimistas a trabajar con empeño en distintos temas. La idea de que en algún sentido se podría tocar los átomos y las moléculas, surgió en la década del 80, cuando estudiosos apoyados por la teoría propuesta por el Dr. K. Eric Drexler, consiguieron manipular los átomos y las moléculas. Esto causó una gran controversia de opiniones en la época y dio hasta motivos para que la justicia intervenga por el temor de que sea usado con intenciones bélicas o ilícitas. Ya en los primeros años de la década del 80 hubo una evolución significativa en la

nanociencia. Los principales laboratorios del mundo desarrollaron medios para visualizar y manipular los átomos y moléculas (Quintili, 2012).

### **3.1 Nanotecnología**

La palabra "nano" viene del griego "enano". Un nanómetro es un milésimo de un milésimo de un metro ( $10^{-9}$  m). Un nanómetro es aproximadamente 60.000 veces más pequeño que un cabello humano o el tamaño de un virus, una hoja de papel típica tiene aproximadamente 100.000 nm de espesor, un glóbulo rojo es de aproximadamente 2.000 a 5.000 nm de tamaño y el diámetro del ADN es en el intervalo de 2,5 nm. Por lo tanto, la nanotecnología se ocupa de la materia que oscila entre la mitad del diámetro del ADN hasta 1/20 del tamaño de un glóbulo rojo. Además, es interesante observar que los nanomateriales son tan pequeñas, que se necesita un microscopio para verlos. Las nanopartículas son generalmente aceptadas como aquellas con un tamaño de partícula inferior a 100 nanómetros, donde fenómenos únicos permiten nuevas aplicaciones y beneficios. Los nanomateriales en los que se ha realizado la mayor parte de la investigación son normalmente polvos compuestos de nanopartículas que presentan propiedades distintas de los polvos de la misma composición química, pero con partículas mucho más grandes. La investigación está en progreso en su potencial en el sector de la nanotecnología de alimentos, incluyendo envases de alimentos, alimentos y suplementos debido a sus funciones únicas y las aplicaciones de los nanomateriales (Maubert, Marisela and Soto, Laura and León, Ana María and Flores, 2009)

La nanotecnología es una ciencia relativamente nueva, aplicada a muchos campos de investigación. Consiste en el estudio, análisis, estructuración, formación, diseño

y operación de materiales a escalas moleculares. Ha sido en los últimos 20 años un importante complemento de la evolución de la ciencia, ya que gracias a los avances del estudio microscópico se han descubierto enigmas médicos y se han resuelto problemas “Micro” con consecuencias “Macro”. (Noormans, 2010)

Las estrategias de investigación para el desarrollo en este tema se enfocan en los métodos “Top Down” y “Bottom Up”. El primero traducido como de “arriba hacia abajo” refiriéndose a la generación de productos a partir de macromoléculas y el segundo, “de abajo hacia arriba” que considera el ensamble a partir de átomos o moléculas. En general los expertos en el mundo coinciden en que la nanotecnología tiene el potencial para desarrollar herramientas de manufactura y procedimientos, por ello es considerada una mega tendencia y una tecnología disruptiva, así, la nanotecnología promete incrementar la eficiencia en la industria tradicional y desarrollar nuevas aplicaciones radicales a través de tecnologías emergentes. (CIMAV, FUNTEC, & Secretaría de Economía, 2008)

En estos momentos la nanociencia y la nanotecnología aún se encuentra en una etapa temprana de investigación y desarrollo en la que las investigaciones y la mayoría de las inversiones están dirigidas hacia la comprensión de los fenómenos de la nanoescala, los procesos y la creación de nuevos materiales o nanoestructuras. Las tendencias tecnológicas hacia el año 2020 en el mundo, apuntan a la transición de los nanomateriales a los nanosistemas, mediante la construcción de sistemas nanoescalares que requerirán del uso combinado de las leyes de la nanoescala, principios biológicos, tecnología de la información e integración de sistemas (CIMAV et al., 2008).



La nanotecnología promete cambiar el mundo, por ejemplo, desde una pintura para automóviles que se limpia a sí misma y ropas que nunca absorben suciedad u olores, a sistemas de administración de medicamentos capaces de focalizarse en órganos específicos. Los nanomateriales ya están siendo producidos y comercializados y su uso en una infinidad de aplicaciones (Molins, 2008)

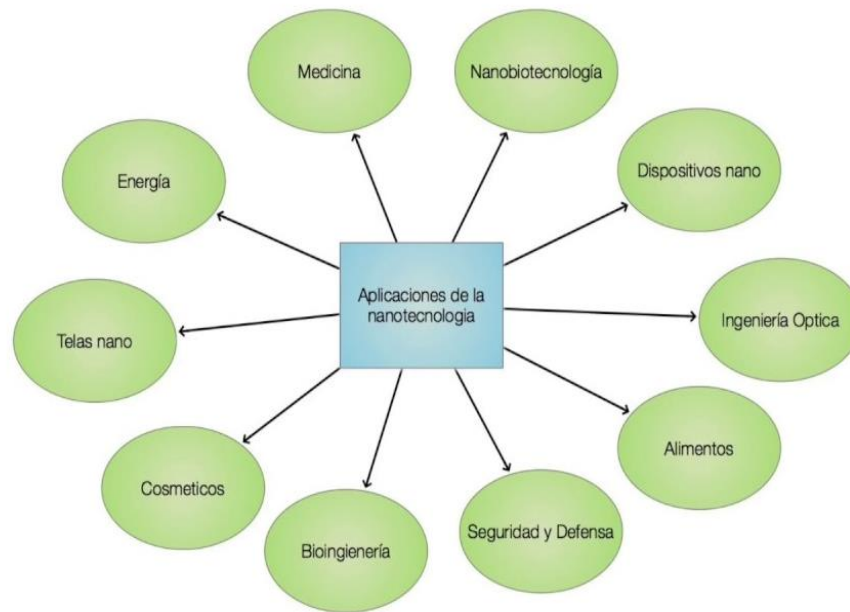
### **3.2 Nanomateriales**

El término nanomateriales engloba todos aquellos materiales desarrollados con al menos una dimensión en la escala nanométrica. Cuando esta longitud es, además, del orden o menor que alguna longitud física crítica, tal como la longitud de Fermi del electrón, la longitud de un monodominio magnético, etc., aparecen propiedades nuevas que permiten el desarrollo de materiales y dispositivos con funcionalidades y características completamente nuevas (Palacio, 1998).

Con propiedades morfológicas más pequeñas que un micrómetro en al menos una dimensión, muchas propiedades de los materiales dependen de cómo se comporten los electrones que se mueven en su seno o de como estén ordenados los átomos en la materia. En un material nanométrico, el movimiento de los electrones está muy limitado por las dimensiones del propio material. Además, la proporción de los átomos en la superficie con respecto a interior es con mucho más alta que en materiales de tamaño elevado. La composición del material puede ser cualquiera, si bien las más importantes son silicatos, carburos, nitruros, óxidos, boruros, seleniuros, telurios, sulfuros, haluros, aleaciones metálicas, intermetálicos, metales, polímeros orgánicos y materiales compuestos (Weiss, Takhistov, & McClements, 2006).

### 3.3 Aplicaciones de la nanotecnología

La nanotecnología ya tiene hoy un impacto en toda una gama de áreas como medicina, sector energético, agrícola, alimenticio, industrial entre tantos otros. Ahora se tendría que aprender a usarlo y direccionarlo de la mejor manera para que contribuya no solamente económicamente sino principalmente en lo social y ambiental (Maestro & CArbajo, 2012).



**Figura 1.** Aplicaciones de la nanotecnología <https://www.youtube.com>

El medio ambiente como uno de los macro determinantes de la salud y la vida humana no podría dejar de ser una de las principales áreas en sentir el impacto de la nanotecnología. Lamentablemente no estamos hablando de solucionar todos los perjuicios ambientales ya ocasionados por el hombre en todos estos milenios, pero por lo menos ayudar a restablecer en alguna forma gran parte de un equilibrio natural que fue quebrado por la explotación sin control de los recursos naturales.

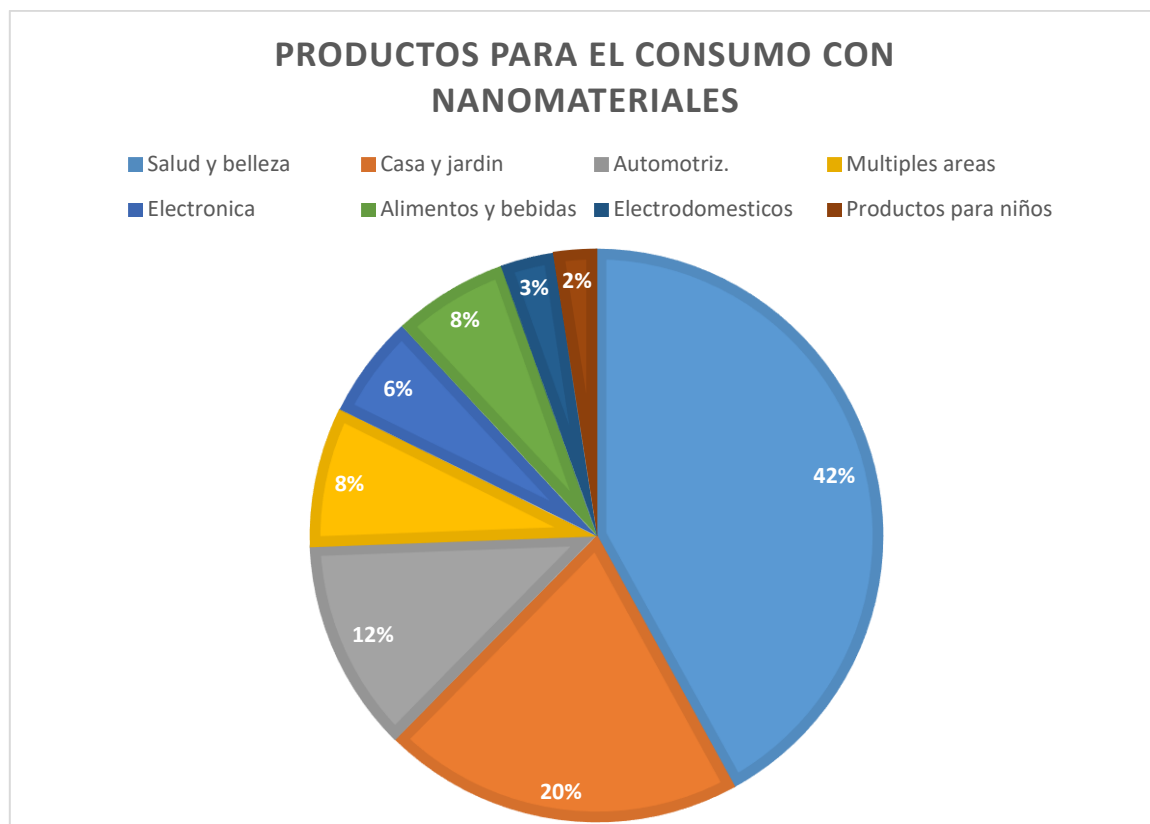
Con la nanotecnología habrá mucho menos necesidad de minerales lo que permitirá cerrar muchas minas que por la misma extracción ha causado muchísimos daños. La fabricación molecular permitiría el desarrollo rápido de tecnología que no daña al medioambiente y conseguiríamos energía solar almacenable en la gran mayoría de las casas e industrias reduciendo de este modo emisiones de ceniza, hollín, hidrocarburos, NOx, CO<sup>2</sup> y petróleo. Podremos tener la oportunidad de intervenir en todos los niveles de gestión ambiental como por ejemplo: detectar y limpiar impurezas, monitorear y prevenir permanentemente daños en el medio ambiente, contribuir al suministro de agua potable más pura y más económica, alimentos más seguros entre tantos otros aspectos importantes (Quintili, 2012).

Uno de los puntos directos y fuertes aplicables socialmente, es en el área de la medicina. Las herramientas de la investigación y la práctica de la medicina serán menos costosas y más potentes. Investigación y diagnóstico serán más eficaces, lo que permitirá una capacidad de respuesta más rápida para tratar nuevas enfermedades. Numerosos pequeños sensores, chips y diversos aparatos implantables de bajo costo, permitirán un control continuo sobre la salud de pacientes, así como tratamientos automáticos. Serán posibles diversos tipos de nuevos tratamientos (Quintili, 2012).

Para ser más específicos, los nanomateriales, ya se usan en numerosos productos y aplicaciones industriales. Nuestra base de datos de productos y aplicaciones de nanotecnología (**Tabla 1**) ya ofrece una visión general de cómo se usan los nanoestructurados y las aplicaciones nanoestructuradas en aplicaciones industriales y comerciales en todas las industrias. En la actualidad, el inventario de

productos para el consumo indica que hay 1814 productos que contienen nanomateriales, siendo la categoría de salud y belleza la mayoritaria (42% del total de los productos), mientras que la de alimentos y bebidas representa solo el 6.5% (Vance et al., 2015).

**Tabla 1.** Productos para el consumo con nanomateriales



(Vance et al., 2015)

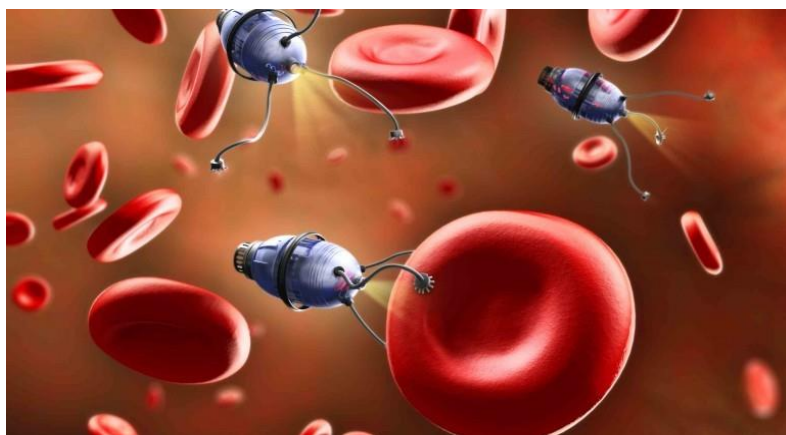
Las aplicaciones en el sector agroalimentario son a su vez de las más recientes comparadas con sus usos en la industria farmacéutica y médica. La liberación inteligente de nutrientes, la bioseparación de proteínas, el rápido muestreo de contaminantes químicos y biológicos, el envasado inteligente y la

nanoencapsulación de nutraceuticos son algunos de los temas emergentes de la nanotecnología en la industria agroalimentaria (Vance et al., 2015).

Las nanopartículas ya se emplean para reforzar materiales o funcionalizar cosméticos. Se recurre al uso de nanoestructuras superficiales para conseguir superficies resistentes al rallado, hidrófugas, limpias o estériles. El injerto selectivo de moléculas orgánicas a través de la nanoestructuración superficial permitirá avanzar en la fabricación de biosensores y de dispositivos electrónicos moleculares. Asimismo, se pueden mejorar y hacer avanzar enormemente los rendimientos de los materiales en condiciones extremas, con las consiguientes aplicaciones en los sectores espacial y aeronáutico (Maestro & Carbajo, 2012).

### **3.3.1 Nanotecnología en la medicina**

Una de las aplicaciones más notorias y potencialmente más inmediatas y prometedoras de los nanomateriales es la del diagnóstico y el tratamiento médico, y la prevención de enfermedades, como el cáncer. La vasta información generada por el proyecto del genoma humano trajo consigo progresos en el estudio genómico y proteómico del cáncer que, combinados con la nanotecnología, podrían revolucionar la oncología mediante la manipulación de la base molecular de la enfermedad (Molins, 2008).



**Figura 2.** Nanotecnología alternativa contra el cáncer. <https://innovacionyciencia.com>

La nanotecnología busca identificar la patología en el estado más inicial posible, idealmente a nivel de una única célula. Especialmente relevante resulta el uso de los nanorrays (biosensores) para el diagnóstico y seguimiento de enfermedades o el uso de nanopartículas como marcadores en ensayos clínicos o como agentes de contraste en pruebas diagnósticas. Las nanotecnologías pueden ser especialmente eficaces en un plazo de 10 años en el diagnóstico de enfermedades como el cáncer, patologías del sistema cardiovascular y neurológico, enfermedades infecciosas y metabólicas (Prospectiva, 2010).

Las aplicaciones en medicina regenerativa cambiarán radicalmente la forma de tratar las enfermedades. Ya se ha iniciado el uso de estructuras que sirven de anclaje o andamio a la regeneración celular (por ejemplo, a base de cristal bioactivo), incluyendo el uso de células madre, para crear tejidos (piel, hueso, cartílago) que pueden ser después injertados en pacientes en sustitución de los dañados. Posteriormente, son absorbidos por los tejidos nuevos producidos por el individuo. En un futuro se podrán también prevenir discapacidades crónicas como la artrosis, las enfermedades del aparato cardiovascular y del sistema nervioso

central, los biomiméticos, mediante biomateriales inteligentes, moléculas bioactivas de señalización y las propias células, que imitan el comportamiento natural de crecimiento de los tejidos (Prospectiva, 2010).

### **3.3.2 Nanotecnología en la agricultura**

Dado que los dispositivos de escala nanométrica o los componentes en nanoescala de dispositivos de mayor tamaño son mucho más pequeños que las células de los humanos, los animales o las plantas, los mismos pueden ser utilizados para penetrar al interior de las células. Ello permitiría que los investigadores observaran y midieran el transporte de proteínas dentro de la célula, por ejemplo, y que midieran la expresión genética. Esta posibilidad abre todo un nuevo horizonte en la investigación en la salud y la agricultura, en áreas como la genética animal y de vegetales alimenticios, así como la conversión de desechos en energía (Thayer 2002; Joseph y Morrison 2006).

La selección y mejoramiento de las especies de plantas, hasta hace algunas décadas estuvo a cargo de la naturaleza. La irrupción de la industria agrícola biotecnológica en el sector agrícola cambió el objetivo de tal selección, ya no hacía a la supervivencia y aprovechamiento de tal especie, resultado de la selección natural, si no que introduce como fin el mejorar y maximizar la producción de los procesos agrícolas (Ávalo Fúnez, Haza Duaso, & Morales Gómez, 2016).



**Figura 3.** Sensor basado en microchips, aporta información de humedad de la tierra, intensidad de luz y temperatura <http://storage.contextoganadero.com>

Por medio de la nanobiotecnología ya se plantea la posibilidad de diseñar la planta a través de la manipulación de las semillas. Las investigaciones en este campo se basan en el desarrollo de nuevas técnicas que utilizan nano partículas que les permiten introducir ADN ajeno a una célula. Por ejemplo, los investigadores del laboratorio *Oak Ridge*, descubrieron una técnica de escala nanométrica para simultáneamente inyectar ADN a millones de células. Se ha logrado que millones de nano fibras de carbono con ADN sintético adheridas, crezcan de un chip de silicio. Se lanzan entonces las células vivas contra las fibras que las perforan y les inyectan ADN en el proceso. Una vez inyectado el ADN sintético, éste expresa nuevas proteínas y nuevos rasgos que en la actualidad no están siendo investigados (Quintili, 2012).

En la actualidad la industria de los plaguicidas están iniciando su incursión hacia la utilización de ingredientes activos nanométricos y muchas de las principales firmas



agro químicas del mundo llevan a cabo investigación y desarrollo para arribar a nuevas fórmulas de nano escala en la producción de pesticidas (Quintili, 2012).



**Figura 4.** Aplicación de la nanotecnología para la formulación de plaguicidas, fertilizantes y otros productos agroquímicos <https://www.agrosintesis.com>

### 3.3.3 Nanotecnología textil

Dentro de la ingeniería textil en varias áreas para dar a los tejidos diferentes tipos de acabamientos, tales como en los teñidos, para dar suavidad en la superficie, en los colorantes utilizados para hacer los estampados y es por esto que la fabricación de ropas fabricadas con productos nanotecnológicos se denominan inteligentes o textiles nanotecnológicos, como también los calzados o cualquier otro accesorio de moda (Quintili, 2012).

Las líneas de investigación en este campo se centran en:

- Desarrollo de nano fibras.
- Utilización de diferentes compuestos: nanoarcillas (propiedades mecánicas, protección UV), nano fibras de carbono (resistencia, conductividad y propiedades antiestáticas), nanopartículas de óxidos metálicos (propiedades fotocatalíticas, antimicrobianas)

- Fibras con estructura nanoporosa (ultraligeras y con alto aislamiento térmico, posibilidad de encapsulación de compuestos químicos) o Acabados textiles nanoestructurados para obtener recubrimientos más completos y precisos, con funciones repelentes al agua, a la grasa y a la suciedad, con funciones antimicrobianas (Prospectiva, 2010).

Los tejidos con superficie nanoestructurada artificialmente ofrecen grandes prestaciones en relación con los convencionales a la hora de mantenerse limpios y secos. Debido a su estructura estos tejidos repelen tanto a la suciedad como al agua, de manera que una vez expuestos a ellas son fácilmente limpiables sin sufrir apenas degradación (Maestro & Carbajo, 2012).



**Figura 5.** Nanotecnología aplicada a la industria textil <http://static.wixstatic.com>

### **3.3.4 Nanotecnología en la construcción**

Las nanotecnologías ofrecen un alto potencial para promover innovaciones radicales y de alto valor añadido en la fabricación, propiedades y uso de los materiales de construcción. Facilitará materiales más ligeros, resistentes, con menor impacto ambiental e incluso autoadaptables e inteligentes (Prospectiva, 2010).



**Figura 6.** Hormigón vivo e inteligente que reacciona ante las grietas y rupturas reparándose automáticamente <http://www.labioguia.com/notas/este-hormigon-inteligente-se-repara-a-si-mismo>

Los aditivos de hormigones basados en policarboxilatos y sintetizados a partir de criterios nanotecnológicos han permitido desarrollar una nueva generación de aditivos superfluidificantes, sobre los que se pueden modificar adaptándose a cada tipo de cemento, en función de su composición y prestaciones esperadas del hormigón (Maestro & Carbajo, 2012).

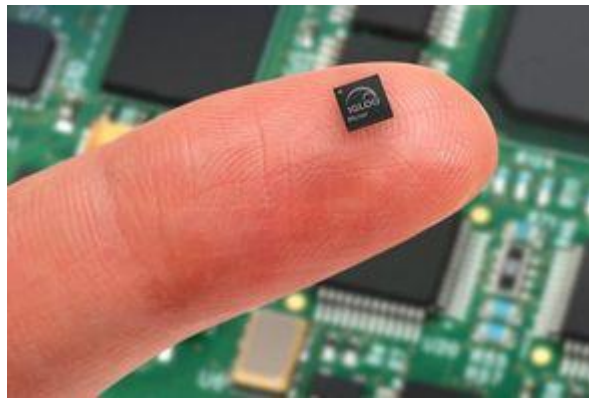
Los policarboxilatos disponen de una estructura molecular soportada en una cadena principal, que permite estructurar sobre ella todo el resto de funcionalidades, grupos funcionales libres que permiten la interacción con el cemento, cadenas laterales, no necesariamente hidrocarbonadas, responsable de funcionalidades dispersantes, pudiendo adaptarse mediante nanotecnología, adaptar estas cadenas a las funcionalidades específicas deseadas (Maestro & Carbajo, 2012).

### **3.3.5 Nanotecnología en electrónica**

En el campo de la ingeniería electrónica, las nanotecnologías se emplean, por ejemplo, en el diseño de dispositivos de almacenamiento de datos de menor tamaño, más rápidos y con un menor consumo de energía. Estos son algunos de

los campos donde actualmente se están investigando y se está tratando este nuevo tipo de tecnología, pero no son las únicas ramas, hay muchas más, con muchos más inventos y con proyectos en marcha (Molins, 2008).

La nanoelectrónica dará lugar a sistemas de almacenamiento de datos de muy alta densidad de registro (por ejemplo, 1 Terabit/pulgada<sup>2</sup>) y las nuevas tecnologías de visualización a base de plásticos flexibles. A largo plazo, el desarrollo de la nanoelectrónica molecular o biomolecular, la espintrónica y la informática cuántica abrirán nuevos horizontes a la tecnología informática. La nanoelectrónica estará en el origen de una nueva generación de ordenadores, teléfonos, automóviles, electrodomésticos y cualquier sistema de automatización necesario en cualquier equipo de aplicación industrial o doméstico (Maestro & Carbajo, 2012).

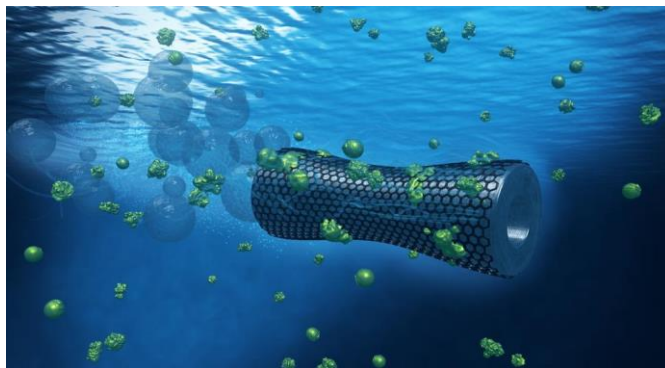


**Figura 7.** Dispositivo de almacenamiento <https://ugc.kn3.net>

### **3.3.6 Nanotecnología en el medio ambiente**

En la protección ambiental, la nanotecnología está permitiendo aplicaciones en fotocatalisis, un proceso en el que la luz fomenta una reacción entre compuestos como residuos de plaguicidas y el nanomaterial, sin que este se consuma. Ese

proceso sería útil en la descontaminación del agua para consumo humano y agrícola. Por ejemplo, se ha estudiado con éxito en diversos ámbitos la eliminación de aceites, agroquímicos y productos de desecho –inclusive de contaminantes biológicos como los virus– vía fotocatalisis, usando nanomateriales de óxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) (Molins, 2008).



**Figura 8.** Limpia de aguas contaminadas <http://www.lavanguardia.com>

Los adelantos en la nanotecnología pueden beneficiar al medio ambiente mediante la utilización de dispositivos de detección que sean menos costosos y más sensibles que los actuales.

Por ejemplo, los nuevos sensores nanotecnológicos basados en proteínas pueden detectar el mercurio en concentraciones de aproximadamente una parte en  $10^{-15}$  o una cuatrillonésima. Lo que antes resultaba en una tarea imposible. Con nanopartículas de óxido de europio se está aplicando un método sumamente sensible para medir el plaguicida *atrazina*, un contaminante que se encuentra con frecuencia en las aguas subterráneas. La rápida detección gracias a la nanotecnología permite una rápida respuesta, lo que minimiza los daños sobre el

medio ambiente y sobre quienes nos beneficiamos de él, también reduce los costos de eliminación de la contaminación (Quintili, 2012).

### **3.4 Nanotecnología en alimentos**

Durante siglos, los alimentos se han procesado para mejorar el almacenamiento (conservación), la textura, el sabor, el sabor y el valor nutricional, y para garantizar la seguridad microbiológica. La mayoría de los alimentos actuales se someten a una variedad de procesos industriales y domésticos antes de ser consumidos, por ejemplo, tratamiento térmico, fermentación, hidrólisis ácida, horneado, curado, ahumado y secado. La industria alimentaria se ve impulsada en última instancia por la rentabilidad, que es consecuencia de la aceptación del consumidor al ofrecer un valor añadido en términos de calidad, frescura, nuevos sabores, sabores, texturas, seguridad o reducción de costos (Chaudhry et al., 2008).

La nanotecnología de los alimentos es un área de interés emergente y abre todo un universo de nuevas posibilidades para la industria alimentaria. Las categorías básicas de las aplicaciones y funcionalidades nanotecnológicas actualmente en el desarrollo del envasado de alimentos incluyen: la mejora de las barreras de materiales plásticos, la incorporación de componentes activos que pueden proporcionar atributos funcionales más allá de los envases activos convencionales y la detección y señalización de información relevante (Sekhon, 2010).

El dinamismo de este enfoque ha dado como resultado que la nanotecnología sea el atractivo del siglo. Encuentra su uso en cada área de la ciencia y la tecnología, y la ciencia de los alimentos no se ha quedado atrás. La nanotecnología ha tenido

una aplicación próspera en muchos otros sectores, y su aplicación en la ciencia de los alimentos es un evento reciente. La seguridad y calidad de los alimentos es algo de gran preocupación y siempre debe examinarse en su totalidad ya que la vida se encuentra allí. Los investigadores han encontrado varias tecnologías en un intento por mejorar la calidad y la seguridad de los alimentos. La participación de la nanotecnología en la industria alimentaria ha conducido a la producción de alimentos con mejor estabilidad térmica, mejor solubilidad, novedosas y con mayor biodisponibilidad oral (Hamad, Han, Kim, & Rather, 2018).

Las aplicaciones de la nanotecnología en la ciencia de los alimentos van a afectar los aspectos vitales de los alimentos y las industrias relacionadas, desde la inocuidad de los alimentos hasta la síntesis molecular de nuevos productos alimenticios e ingredientes (Chaudhry et al., 2008).

La nanotecnología tiene ventajas importantes en su uso para el envasado en comparación con las formas convencionales que utilizan polímeros, que pueden incluir ventajas tales como una barrera mejorada y propiedades mecánicas y resistentes al calor, junto con la biodegradabilidad además de los efectos antimicrobianos mejorados (**Tabla 2**), los nanomateriales se pueden utilizar para detectar el deterioro de alimentos a través de nanosensores (Pathakoti, Manubolu, & Hwang, 2017).

**Tabla 2.** Usos de la nanotecnología en alimentos

Tipo de producto	Nombre del producto y fabricante	Contenido Nano	Propósito
Material en contacto con	Taza para bebé Nano Silver, sueño del bebé	Nanopartículas de plata	Las partículas de plata de tamaño nanométrico tienen propiedades antibacterianas.

alimentos (vajilla)			
Envasado de alimentos	Adhesivo para envases de hamburguesas McDonald's, Ecosynthetix.	Nanoesferas de almidón de 50-150nm.	Estas nanopartículas tienen 400 veces más superficie que las partículas de almidón natural. Cuando se usan como adhesivo requieren menos agua y, por lo tanto, menos tiempo y energía para secarse.
Envasado de alimentos	Durethan KU22601 envoltura de plástico, Bayer	Nanopartículas de sílice en un nanocompuesto a base de polímero	Las nanopartículas de sílice en el plástico evitan la penetración de oxígeno y otros gases. Alargan la vida útil del producto.
Bebida nutricional	Mezcla de bebida nutricional de chocolate con avena, salud del niño.	Partículas de 300 nm de hierro (SunActive Fe).	Las partículas de hierro de tamaño nanométrico tienen una mayor reactividad y biodisponibilidad.
Material en contacto con los alimentos (equipo de cocina)	Tabla de corte Nano Silver, A-Do Global.	Nanopartículas de plata.	Las partículas de plata de tamaño nanométrico tienen propiedades antibacterianas.

**Fuente:** (Hamad et al., 2018)

### 3.5 Aplicaciones de la Nanotecnología en alimentos

Si bien las aplicaciones de la nanotecnología para el sector alimentario son relativamente recientes, en los últimos años se han producido rápidos avances en esta área. Los principales desarrollos hasta ahora han tenido como objetivo alterar la textura de los componentes de los alimentos, encapsular los componentes de los alimentos o los aditivos, desarrollar nuevos sabores y sensaciones, controlar la liberación de sabores y / o aumentar la biodisponibilidad de los componentes nutricionales (**Tabla 3**). Para aplicaciones de envasado de alimentos, estos desarrollos han dado lugar a nuevos materiales con propiedades mecánicas, de barrera y antimicrobianas mejoradas. En términos generales, las aplicaciones actualmente conocidas y proyectadas de la nanotecnología para el sector alimentario (Chaudhry et al., 2008).



Las aplicaciones potenciales en la ciencia y tecnología de los alimentos se clasifican principalmente en empaques, tecnología de proceso, antimicrobianos e ingredientes alimentarios. Su uso en productos alimenticios puede clasificarse como "directo" o "indirecto". El uso directo se refiere a la incorporación de sustancias y materiales nanoestructurados en los productos alimenticios y también debe declararse como tal. Algunas de las aplicaciones directas incluyen fragancias, agentes colorantes, antioxidantes, conservantes y componentes biológicamente activos (vitaminas, ácidos grasos omega-3, polifenoles, etc.). El uso indirecto comprende el uso de materiales nanoestructurados en tecnología de envasado y sensores, o el uso de catalizadores competentes nanoestructurados para la hidratación de grasas (Pathakoti et al., 2017).

Las estrategias para aplicar la nanociencia a la industria alimentaria son bastante diferentes de estas aplicaciones más tradicionales de la nanotecnología. El procesamiento de alimentos es una industria de fabricación multitecnológica que involucra una amplia variedad de materias primas, altos requisitos de bioseguridad y procesos tecnológicos bien regulados. Cuatro áreas principales en la producción de alimentos pueden beneficiarse de la nanotecnología: desarrollo de nuevos materiales funcionales, microescala y procesamiento a nanoescala, desarrollo de productos y métodos y diseño de instrumentos para mejorar la seguridad alimentaria y la bioseguridad (Weiss et al., 2006).

**Tabla 3.** Aplicaciones de nanotecnología en alimentos

Producto	Componente nano	Finalidad
<b>Suplemento nutricional</b>	Nanocápsulas moleculares de 1-5 nm de diámetro, hechas a partir de cianuro de sílice	Actúa como antioxidante, presenta mayor potencia y biodisponibilidad. Al ser expuesta a la humedad libera iones de hidrogeno
<b>Bebida nutricional</b>	Partículas de hierro de 300nm (SunActive Fe)	Las nanopartículas de hierro tienen mayor reactividad y biodisponibilidad
<b>Envase de alimentos</b>	Nanoesferas de almidón de 50-150 nm	Estas nanopartículas tienen una superficie 400 veces mayor a las de las partículas naturales de almidón. Cuando se utilizan como adhesivos requieren de menos agua, tiempo y energía para secarse
<b>Envase de alimentos</b>	Nanopartículas de sílice en un nanocompuesto polimérico	Las nanopartículas de sílice en el plástico impiden que penetre oxígeno y gas, alargando así el tiempo de conservación del producto
<b>Envase de alimentos</b>	Nanocompuestos de base de nylon	Barrera de oxígeno y dióxido de carbono, sabor olor y aroma
<b>Envase de alimentos</b>	Nanocompuestos de arcilla	Es un plástico empapado de nanopartículas de arcilla que hacen a las botellas menos propensas a quebrarse y aumenta la vida de anaqueles hasta 6 meses
<b>Envase de alimentos</b>	Catalizador de luz nano óxido de zinc	Bactericida, anti-UV, resistente a la temperatura, anti inflamable
<b>Envase de alimentos</b>	Biopolímeros nanocompuestos	Biodegradables después del uso. Puede convertirse en abono orgánico, soluble en agua, no contamina sistemas locales subterráneos de agua o recursos de agua
<b>Envase de alimentos</b>	Polímero nanocompuesto	Una clara lamina con propiedades de barrera extraordinarias, desarrollada principalmente para nueces y alimentos secos
<b>Envase de alimentos</b>	Nano dióxido de titanio	Empaque de plástico para comida con protección UV.
<b>Aditivo alimentario</b>	Micela (nanocápsula) de sustancias lipófilas	Un óptimo sistema de entrega de sustancias hidrofóbicas para mayor y más rápida reabsorción intestinal, cutánea y penetración de ingredientes activos
<b>Aditivo alimentario</b>	Nanopartículas de hasta 50 nm	Medios efectivos para la adición de ácidos grasos Omega 3 para uso en pastas, sopas, galletas, cereales y barras de dulces

Fuente: (Maubert, Marisela and Soto, Laura and León, Ana María and Flores, 2009)

### 3.5.1 Procesamiento de alimentos

El procesamiento de alimentos se puede definir como una práctica de preservación de alimentos con la ayuda de métodos y técnicas para transformar los alimentos en

un estado consumible. Estas técnicas están diseñadas de tal manera que el sabor y la calidad de los alimentos se mantiene intactos, pero también están protegidos contra la infestación de microorganismos que conduce a la descomposición de los alimentos. La irradiación, el calentamiento óhmico y la alta presión hidrostática son algunos de los métodos convencionales de procesamiento de alimentos (Pradhan et al., 2015).

Cualquiera que sea el medio elegido para la conservación, es importante tener en cuenta que la calidad y el sabor de los alimentos no deben interferirse y deben permanecer lo más intactos posible (Hamad et al., 2018).

Los métodos de procesamiento de alimentos que involucran los nanomateriales incluyen la incorporación de nutraceuticos, gelatinizadores y agentes viscosificantes, administración de nutrientes, enriquecimiento de minerales y vitaminas y nanoencapsulación de sabores (Pradhan et al., 2015).

La extracción de nutrientes de las materias primas es una parte importante de la industria alimentaria. Con la tecnología de propagación rápida, los métodos convencionales para procesar alimentos están siendo reemplazados por nuevas técnicas. Sin lugar a duda, la nanotecnología jugará un papel importante en esta mejora. En el procesamiento de alimentos, tales técnicas pueden mejorar los rendimientos de procesamiento de alimentos y disminuir el desperdicio o el deterioro de la nutrición (Amini, Gilaki, & Karchani, 2014).

### **3.5.1.1 Nanoencapsulación**

La nanoencapsulación es el proceso de captura de partículas extremadamente pequeñas dentro de un recubrimiento o matriz. Más concretamente se trata de una técnica en la que pequeñas partículas o gotitas de un sólido, líquido, o gas está atrapado dentro de otra sustancia. En su forma más simple una microcápsula es una pequeña esfera con una cáscara uniforme alrededor de ella; esta esfera puede variar en tamaño desde unos pocos nanómetros a unos pocos micrómetros.

El método de procesamiento de alimentos ayudado por nanocápsulas tiene varios beneficios: es fácil de manejar, protege contra la oxidación, mejora la estabilidad, su capacidad para retener los ingredientes altamente volátiles, hace sabor, tiene una liberación de control provocada por la humedad, la administración continua de múltiples ingredientes activos, liberación controlada desencadenada por pH, su percepción organoléptica dura más tiempo y tiene una mayor biodisponibilidad (Hamad et al., 2018).

Los principales sistemas de nanoencapsulación basados en lípidos que se pueden usar para la protección y administración de alimentos y nutraceuticos son nanoliposomas, nanococleatos y arqueosomas. La tecnología nanoliposoma presenta interesantes oportunidades para los tecnólogos de alimentos en áreas como la encapsulación y la liberación controlada de materiales alimenticios, así como también la mejora de la biodisponibilidad, la estabilidad y la vida útil de los ingredientes sensibles. Se informó sobre la aplicación de nanoliposomas como vehículos portadores de nutrientes, nutraceuticos, enzimas, aditivos alimentarios y antimicrobianos alimentarios (Sekhon, 2010).

### **3.5.1.2 Nanoemulsiones**

Son dispersiones muy finas de dos líquidos inmiscibles (generalmente de aceite en agua) con uno de los líquidos siendo dispersado en otro en forma de gotas; el diámetro de las gotas varía entre 50 y 200nm. Se utiliza normalmente en el desarrollo de productos bajo en grasa. Un ejemplo son las mayonesas que incluyen nanopartículas de aluminio y silicona (Maubert, Marisela and Soto, Laura and León, Ana María and Flores, 2009).

Se crean principalmente por dos enfoques; el enfoque de alta energía implica los pasos de homogeneización a alta presión, método de ultrasonido, chorros coaxiales líquidos de alta velocidad y método de dispositivos de alta velocidad (Hamad et al., 2018).

Las nanoemulsiones han recibido recientemente mucha atención de la industria alimentaria debido a su alta claridad. Estos permiten la adición de bioactivos y sabores nanoemulsificados a una bebida sin un cambio en la apariencia del producto. Las nanoemulsiones son efectivas contra una variedad de patógenos de alimentos, incluidas las bacterias Gram-negativas (Sekhon, 2010).

Las nanoemulsiones tienen varias ventajas sobre las emulsiones convencionales, ya que son térmicamente estables y de menor tamaño. Debido a su gran área de superficie, las nanoemulsiones pueden interactuar con una serie de componentes biológicos, como enzimas en el tracto gastrointestinal (Hamad et al., 2018).

### **3.5.2 Envasado y conservación**

Los métodos de envasado de alimentos se utilizan para garantizar que la calidad de los alimentos se mantenga intacta; están empacados de manera que sean seguros para el consumo. El envasado tiene como objetivo principal proporcionar protección física para evitar que los alimentos sufran golpes y vibraciones externas, infestación microbiana y temperatura al proporcionar protección de barrera mediante la captación de oxígeno y otros gases causantes de deterioro (Pradhan et al., 2015).

La nanotecnología ha puesto en marcha ciertas áreas específicas bajo embalaje que han reducido la contaminación ambiental mediante el empleo de materiales biodegradables para el envasado. La introducción de antimicrobianos, plásticos con altas barreras y medidas para la detección de contaminantes son algunas áreas que la nanotecnología ha abordado durante el envasado. El tratamiento y la manipulación de alimentos para evitar la pérdida de sus características se conoce como conservación de alimentos. La congelación, el secado y el enlatado son algunas de las formas convencionales de conservación de alimentos (Hamad et al., 2018).

Los empaques que incluyen nanomateriales pueden ser 'inteligentes', lo que significaría que podrían responder a condiciones ambientales o repararse a sí mismos o incluso alertar al consumidor sobre una probable contaminación del producto y/o de la presencia de agentes patógenos. Los nanomateriales están siendo desarrollados con mejores propiedades mecánicas y térmicas para asegurar una mejor protección de los alimentos ante los efectos externos diversos, mecánicos, térmicos, químicos o microbiológicos. Una de las aplicaciones más

impactantes de la nanotecnología es el desarrollo de nanosensores que pueden ser colocados en las instalaciones de fabricación y de distribución de alimentos y en el propio empaque de los productos para detectar la presencia de todo tipo de bacterias desde *Escherichia coli* y *Listeria* hasta *Campylobacter* y *Salmonella* (Licda et al., n.d.).

Se ha demostrado que la adición de ciertas nanopartículas en objetos y películas perfiladas las hace livianas, resistentes al fuego y más fuertes en términos de rendimiento mecánico y térmico, además de hacerlas menos permeables a los gases. Por ejemplo, se ha informado que los nanocompuestos tienen propiedades mejoradas con respecto a la durabilidad (Pradhan et al., 2015).

### **3.5.2.1 Nanosensores**

Un nanosensor es un dispositivo junto con los polímeros se utilizan para controlar patógenos y sustancias químicas alimentarias durante los procesos de almacenamiento, tránsito en envases inteligentes, detectan cualquier tipo de cambio en el color de los alimentos y también ayudan a detectar cualquier gas que se produzca debido a la descomposición. Los sensores suelen ser sensibles a gases como el hidrógeno, el sulfuro de hidrógeno, los óxidos de nitrógeno, el dióxido de azufre y el amoníaco. Además, estos dispositivos también pueden rastrear el historial de tiempo, temperatura y fecha de caducidad. Varios informes recientes indicaron que los nanosensores son capaces de detectar toxinas y patógenos alimentarios en el empaque (Pathakoti et al., 2017).

Estos consisten en una parte de procesamiento electrónico de datos, que puede convertir una señal como la luz o la presencia de una sustancia orgánica o de gas

en una señal electrónica que pueden conectarse a una red electrónica o inalámbrica, por ejemplo, utilizarse para el control de plagas de los cultivos en el campo o para el control de calidad de la leche durante el procesamiento industrial. Otro tipo de nanosensores también se puede integrar en el envasado de alimentos, para demostrar que el producto es apto para el consumo humano. Los nanosensores pueden, por ejemplo, cambiar de color si la comida no es fresca. Los micro y nanosensores se desarrollan para la seguridad alimentaria y el control de calidad (Noormans, 2010).

Se usan varios tipos de nanosensores, por ejemplo, biosensores de matriz, nanopartículas en solución, sensores basados en nanopartículas, narices electrónicas, tiras de nano prueba, nanocantilevers (**Tabla 4**) (Pradhan et al., 2015).

**Tabla 4.** Aplicaciones de los nanosensores

<b>Ejemplos con composición</b>	<b>Utilizada en</b>	<b>Ventajas</b>
<b>Nanosensores basados en metal (paladio, platino y oro)</b>	Envasado de alimentos	Detección de cualquier tipo de cambio en el color de la comida. Detección de toxinas como la aflatoxina B1 en la leche
<b>Biosensores de matriz, narices electrónicas, tiras de nanoprueba y nanocantilevers</b>	Envasado de alimentos	Cambia de color al entrar en contacto con cualquier signo de deterioro en el material alimenticio
<b>Nanobiosensores</b>	Envasado de alimentos	Detección de virus y las baterías

**Fuente:**(Pradhan et al., 2015)





Figura 9. Envases inteligentes <http://www.queserialaantigua.com>

### 3.5.2.2 Nanocompuestos

Los nanocompuestos son matrices poliméricas reforzadas en nanorellenos (nanoarcillas, nanoóxidos, nanotubos de carbono y microfibrillas de celulosa), donde una de las fases tiene al menos una, dos o tres dimensiones de menos de 100 nm de tamaño (Pathakoti et al., 2017).

Los nanocompuestos pueden mejorar la resistencia mecánica; reducir peso; aumentar la resistencia al calor; y mejorar la barrera contra el oxígeno, el dióxido de carbono, la radiación ultravioleta, la humedad y los volátiles de los materiales del paquete de alimentos. Los principales tipos de nanopartículas se han estudiado para su uso en sistemas de envasado de alimentos; también, sus efectos y aplicaciones fueron revisados (Sekhon, 2010).

Los compuestos poliméricos que incorporan nanopartículas de arcilla se encuentran entre los primeros nanocompuestos que emergen en el mercado como materiales mejorados para el envasado de alimentos. El mineral de nanoarcilla utilizado en

estos nanocompuestos es montmorillonita (también conocida como bentonita), que es una arcilla natural relativamente barata y ampliamente disponible derivada de cenizas / rocas volcánicas. Nanoclay tiene una estructura natural de nano capas que limita la penetración de gases y proporciona mejoras sustanciales en las propiedades de barrera a los gases de los nanocompuestos. Tales mejoras han llevado al desarrollo de compuestos de nanoarcilla-polímero para su uso potencial en una variedad de aplicaciones de envasado de alimentos, tales como carnes procesadas, queso, productos de confitería, cereales, alimentos hervidos en la bolsa, así como en extrusión- aplicaciones de recubrimiento para zumos de frutas y productos lácteos, o procesos de coextrusión para la fabricación de botellas para cerveza y bebidas carbonatadas. Por lo tanto, aumenta la vida útil del producto. Las industrias manufactureras podrían usar nanocompuestos en lugar de latas y botellas de vidrio para revestir sus botellas y ahorrar costos en el proceso (Chaudhry et al., 2008).

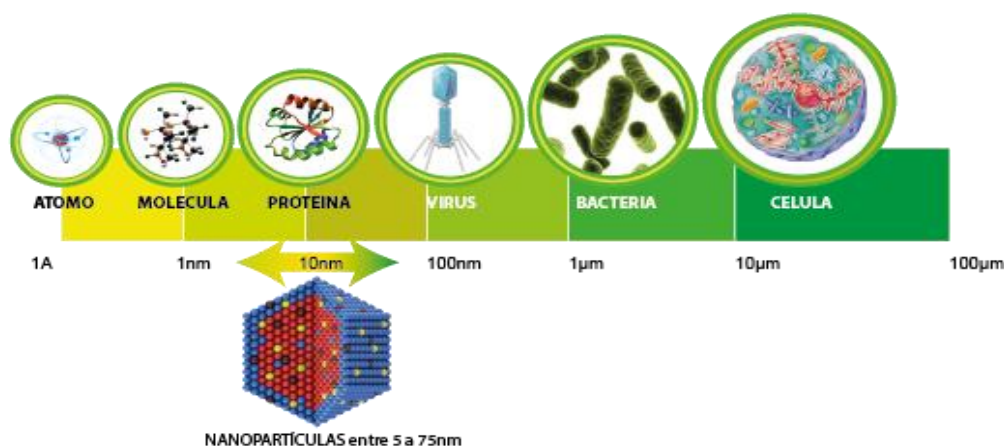
### **3.5.3 Nanopartículas**

Las nanopartículas son pequeñas porciones de material, típicamente de uno a diez nanómetros de diámetro, que pueden fabricarse a partir de diferentes tipos de materiales (oro, polímeros, materiales magnéticos, etc.) (Licda et al., n.d.).

Se clasifican en orgánicas o inorgánicas, en función de sus características químicas, su capacidad para transportar diferentes ingredientes y para reaccionar frente a diferentes condiciones medioambientales. Muchas de las nanopartículas inorgánicas son modificaciones de aditivos alimentarios como, por ejemplo, el dióxido de titanio, colorante alimentario que puede utilizarse como barrera de

protección en el envasado de alimentos, o las nanopartículas de plata utilizadas como agentes antimicrobianos en los paneles de los frigoríficos, en los recipientes de almacenamiento, líneas de envasado y otras superficies destinadas a entrar en contacto con los alimentos. Las nanopartículas orgánicas se emplean principalmente para mejorar el valor nutritivo de los alimentos, utilizándose como vehículo para la liberación de vitaminas y otros nutrientes (nanocápsulas) (Calculo, Phantom, Toma, & Media, 2004).

Las nanopartículas de plata debido a sus propiedades antimicrobianas son de las más estudiadas científicamente y de las más usadas para el envasado de alimentos. Se suelen utilizar de varias maneras, como por ejemplo en forma de partículas dispersas incrustadas en recipientes y recubrimientos. Las nanopartículas están ampliamente divididas en varias categorías según su morfología, tamaño y propiedades químicas. En función de las características físicas y químicas, algunas de las clases conocidas de nanopartículas (Ávalo Fúnez et al., 2016).



**Figura 10.**Tamaño de nanopartículas <https://mihperciberespacio.files.wordpress.com>

### **3.5.3.1 Nanopartículas basadas en carbono**

Los fullerenos y los nanotubos de carbono representan dos clases principales de nanopartículas basadas en carbono. Los fullerenos contienen nanomateriales que están hechos de una jaula globular hueca, como las formas alotrópicas de carbono. Han creado un interés comercial notable debido a su conductividad eléctrica, alta resistencia, estructura, afinidad electrónica y versatilidad. Estos materiales poseen unidades de carbono pentagonales y hexagonales dispuestas (Khan, Saeed, & Khan, 2017).

### **3.5.3.2 Nanopartículas de cerámica**

Son sólidos inorgánicos no metálicos, sintetizados por calor y enfriamiento sucesivo. Se pueden encontrar en formas amorfas, policristalinas, densas, porosas o huecas. Por lo tanto, estas nanopartículas reciben una gran atención de los investigadores debido a su uso en aplicaciones tales como catálisis, fotocatalisis y fotodegradación de colorantes (Khan et al., 2017).

### **3.5.3.3 Nanopartículas metálicas**

Las nanopartículas metálicas están hechas exclusivamente de precursores metálicos. Las nanopartículas de los metales alcalinos y nobles, es decir, Cu, Ag y Au, tienen una amplia banda de absorción en la zona visible del espectro solar electromagnético. La síntesis controlada de facetas, tamaños y formas de las nanopartículas metálicas es importante en los materiales actuales de vanguardia. Debido a sus propiedades ópticas avanzadas, las nanopartículas de metales encuentran aplicaciones en muchas áreas de investigación. (Khan et al., 2017)

El dióxido de titanio se usa como blanqueador de alimentos para productos alimenticios como leche, queso y otros productos lácteos, el dióxido de silicio encuentra su uso como agente antiapelmazante y de secado. Ayuda a absorber las moléculas de agua en los alimentos, mostrando aplicaciones higroscópicas (Pradhan et al., 2015).

La plata triunfa principalmente sobre el resto de los antimicrobianos disponibles en el mercado porque la plata se puede incorporar fácilmente en los materiales de embalaje. También se ha comprobado que la plata tiene una menor propensión a hacer que los microbios sean resistentes a ella y, por lo tanto, en la actualidad es un medio preferible para el material de embalaje. (Amini et al., 2014)

Las nanopartículas de plata actúan como antibacterianos y, por lo tanto, protegen a los alimentos de la infestación microbiana. Las partículas de plata de tamaño nanométrico proporcionan una mayor área de superficie y se pueden dispersar fácilmente en los alimentos y se ionizan fácilmente y son químicamente activas, actuando como un potente agente antibacteriano. Las nanopartículas de plata resultan ser efectivas como antimicrobianos ya que tienen un espectro de actividad más amplio a diferencia de otras nanopartículas metálicas convencionales que actúan como antimicrobianos, Se sabe que la plata es bastante estable porque es un elemento y se ha informado que no representa una amenaza importante para el sistema biológico si se incorpora dentro de los límites que le asignan los estándares de la FDA. La plata se puede incorporar fácilmente en los materiales de embalaje. También se ha comprobado que la plata tiene una menor propensión a hacer que los microbios sean resistentes a ella y, por lo tanto, en la actualidad es un medio

preferible para el material de embalaje. La plata, según los informes, se infiltra dentro del sistema microbiano e interrumpe la actividad ribosomal y, por lo tanto, causa un obstáculo en la producción de varias enzimas importantes. Las nanopartículas de plata son más efectivas como bactericidas frente al organismo Gram-negativo que el organismo Gram-positivo, ya que es más fácil que las partículas penetren a través de la pared celular más delgada del organismo Gram-negativo (Pradhan et al., 2015).

### **3.6 Síntesis de nanopartículas**

Los métodos de síntesis de nanopartículas suelen agruparse en dos categorías, las aproximaciones «de arriba hacia abajo» y las «de abajo hacia arriba». La primera consiste en la división de sólidos máscicos en porciones más pequeñas. Este enfoque puede involucrar la molienda o el desgaste, métodos químicos, y la volatilización de un sólido seguido por la condensación de los componentes volatilizados. La segunda aproximación, «de abajo hacia arriba», consiste en la fabricación de nanopartículas a través de la condensación de átomos o entidades moleculares en una fase gaseosa o en solución. Este último enfoque es mucho más popular en la síntesis de nanopartículas. Las nanopartículas pueden ser soportadas o no. El soporte da estabilidad a las nanopartículas, además de que les puede conferir propiedades específicas (Zanella, 2012).

#### **3.6.1 De arriba hacia abajo**

##### **3.6.1.1 Evaporación térmica**

Consiste en el calentamiento hasta la evaporación del material que se pretende depositar. Se lleva a cabo en una cámara de vacío en la que se condensa el vapor sobre una lámina fría requiriendo en todo momento un control preciso de las condiciones de crecimiento para no producir una modificación de la morfología de la capa depositada (Zanella, 2012).

#### **3.6.1.2 Deposición química en fase vapor (CVD, por sus siglas en inglés)**

Que consiste en la descomposición de uno o varios compuestos volátiles, en el interior de una cámara de vacío (reactor), en o cerca de la superficie de un sólido para dar lugar a la formación de un material en forma de capa delgada o de nanopartículas (Silva de Hoyos et al., 2012).

#### **3.6.1.3 Clusters gaseosos**

Utiliza un láser pulsado de alta potencia para producir vapores atómicos metálicos que son acarreados en un gas inerte y posteriormente son depositados en un óxido monocristalino u otro sustrato, bajo condiciones de ultra- alto vacío (Chamé, 2013).

#### **3.6.1.4 Implantación de iones**

Consiste en que los iones de un material pueden ser implantados en un sólido, cambiando por tanto las propiedades físicas y químicas de este último, ya que el ion implantado puede ser de un elemento distinto al que lo compone, también se pueden causar cambios estructurales en el sólido implantado, puesto que la estructura cristalina del objetivo puede ser dañada. El equipamiento necesario para

la implantación de iones suele consistir en una fuente de iones que produce los iones del elemento deseado, un acelerador donde dichos iones son electrostáticamente acelerados hasta alcanzar una alta energía, y una cámara donde los iones impactan contra el objetivo. Cada ion suele ser un átomo aislado, y de esta manera la cantidad de material que se implanta en el objetivo es en realidad la integral respecto del tiempo de la corriente de ion. Esta cantidad es conocida como dosis. Las corrientes suministradas suelen ser muy pequeñas (microamperios), y por esto la dosis que puede ser implantada en un tiempo razonable es también pequeña. Por todo esto, la implantación de iones encuentra aplicación en los casos en que el cambio químico necesario es pequeño. Las energías típicas de ion se encuentran en el rango de 10 a 500 keV. La energía de los iones junto con la especie de ion y la composición del objetivo determina la profundidad de penetración de los iones en el sólido (Zanella, 2012).

#### **3.6.1.5 Molienda**

Las partículas de tamaño macro o micrométrico, por medio de molinos de alta eficiencia; las partículas resultantes son clasificadas por medios físicos, recuperándose las de tamaño nanométrico. Dado que la molienda enérgica y continua de los materiales iniciales puede inferir cambios energéticos en los sólidos, debido a la acumulación de defectos en situación de no-equilibrio, lo que puede causar una disminución de las energías de activación, activando los sólidos para llevar a cabo reacciones químicas en estado sólido (Zanella, 2012).



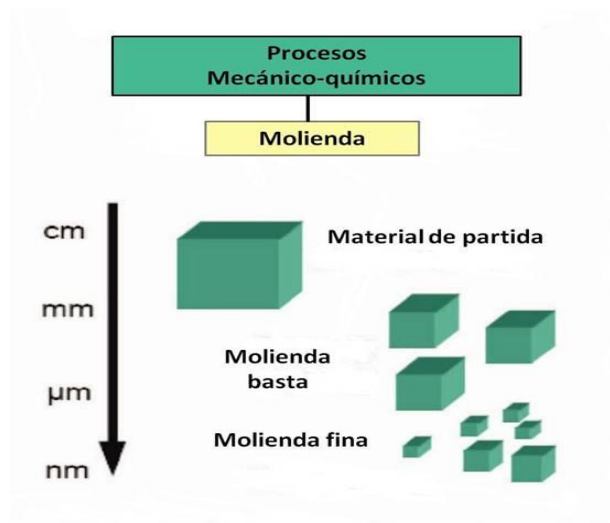


Figura 11. Molienda de nanopartículas <http://nuevastecnologiasymateriales.com>

## 3.6.2 Abajo hacia arriba

### 3.6.2.1 Método coloidal

Este método consiste en disolver una sal del precursor metálico o del óxido a preparar, un reductor y un estabilizante en una fase continua o dispersante. El tamaño de las partículas en una solución coloidal suele oscilar en el intervalo de nanómetros, por ello que es un método eficiente de producción de nanopartículas (Silvina & Ante, 2015).

### 3.6.2.2 Reducción fotoquímica y radioquímica

Se basan en la síntesis de nanopartículas metálicas modificando el sistema químico por medio de altas energías. La síntesis fotoquímica está caracterizada por energías por debajo de 60 eV, mientras que la radioquímica utiliza energías de 10<sup>3</sup>-10<sup>4</sup> eV. Debido a la ausencia de impurezas formadas cuando se usan reductores químicos, estos métodos producen nanopartículas de alta pureza (Silvina & Ante, 2015).

### **3.6.2.3 Método sol-gel**

Es un proceso químico en fase húmeda ampliamente utilizado en la ciencia de los materiales. Este método se utiliza principalmente para la fabricación de nanomateriales (normalmente un óxido metálico). Se parte de una solución química o sol que actúa como precursor de una red integrada ya sea de partículas discretas o de una red de polímeros. Los precursores típicos del proceso sol-gel son los alcóxidos metálicos y los cloruros metálicos, que sufren varias reacciones de hidrólisis y policondensación para formar una dispersión coloidal, que luego de una polimerización lenta forma un gel. El método sol-gel ha sido usado en los últimos años para preparar una amplia variedad de materiales nanoestructurados. El método es atractivo porque involucra procesos a baja temperatura. También la alta pureza y homogeneidad son atribuibles a su forma de preparación en sistemas multicomponente (Zanella, 2012).

### **3.7 Toxicidad de la nanotecnología**

Cada nueva tecnología viene con nuevas incógnitas para la sociedad. Las aplicaciones de la nanotecnología en la industria alimentaria son fundamentales para la evolución de las técnicas innovadoras de envasado; sin embargo, se necesita una comprensión integral de la probabilidad de interacciones entre los nanomateriales utilizados en los envases y la matriz alimentaria (Amini et al., 2014).

Se sabe que las nanopartículas tienen áreas superficiales mucho más grandes y pueden exhibir propiedades fisicoquímicas y biológicas sustancialmente diferentes

en comparación con sus formas convencionales. Hasta ahora, se han llevado a cabo muy pocos estudios sobre la toxicología de los nanomateriales y gran parte de la investigación publicada se refiere a la exposición por inhalación a nanopartículas modificadas genéticamente. Los efectos potenciales de las nanopartículas a través de la ruta gastrointestinal son en gran parte desconocidos. La aplicación de la nanotecnología en los alimentos tiene, por lo tanto, suscitó la preocupación de que la ingestión de ingredientes y aditivos de tamaño nano a través de alimentos y bebidas pueda plantear ciertos riesgos para la salud del consumidor. Tales inquietudes han surgido de un creciente cuerpo de evidencia científica que indica que las nanopartículas de ingeniería libre pueden cruzar barreras celulares y que la exposición a algunas formas puede conducir a una producción aumentada de oxígeno radical y, en consecuencia, daño oxidativo a la célula (Chaudhry et al., 2008).

La principal preocupación en este sentido es que el procesamiento de los ingredientes alimentarios para hacerlos de tamaño nanométrico puede hacerlos diferentes de los que existen de forma natural. Dado que es probable que los ingredientes y aditivos alimentarios de tamaño nano tengan una mayor capacidad para atravesar la pared intestinal, su mayor absorción y biodisponibilidad darían lugar a una mayor exposición interna, con concentraciones plasmáticas más elevadas (mayor tasa de absorción) o mayor área bajo la curva (de una mayor eficiencia de captación). En consecuencia, se prevé que surjan varias implicaciones para la salud del consumidor a partir del consumo de alimentos y bebidas que contienen ingredientes y aditivos de tamaño nano. Por ejemplo, una mayor absorción de ciertos nano-ingredientes puede cambiar el perfil de nutrientes

en el cuerpo, o una mayor absorción de nano-aditivos puede conducir a mayores consecuencias para la salud (Amini et al., 2014).

Varias nanopartículas causan daño celular a los sistemas biológicos cuando se acumulan dentro del sistema. A veces también interrumpen el funcionamiento normal de los componentes celulares dentro del sistema biológico porque hay informes de que se adhieren a los receptores celulares de las células del sistema inmune y los confunden. Las nanopartículas también a veces se recubren con proteínas y esto conduce a la degradación de la proteína y, por lo tanto, se interrumpe el mecanismo celular normal. Algunas nanopartículas diseñadas, como la nanoplata, son conocidas por tener una fuerte actividad antimicrobiana, pero en la actualidad no hay investigaciones publicadas sobre sus efectos potenciales sobre la microflora intestinal natural (**Tabla 5**) (Pradhan et al., 2015).

La producción, uso y disposición de alimentos, empaques alimenticios y productos agrícolas que contienen nanomateriales manufacturados resultaran inevitablemente en la liberación de nanomateriales dentro del medio ambiente. Los nanomateriales también serán liberados intencionalmente dentro del medio ambiente, como por ejemplo plaguicidas agrícolas o en tratamientos para el crecimiento de las plantas. El limitado número de estudios que analizan los efectos ecológicos de los nanomateriales, ya sugieren que los nanomateriales en uso comercial por la industria agrícola y alimentaria pueden causar daños ambientales, algunos organismos acuáticos parecen concentrar nanomateriales (Calculo et al., 2004).

**Tabla 5.** Riesgos para la salud de nanopartículas

	<b>Componente peligroso</b>	<b>Ventaja</b>	<b>Riesgo para la salud</b>
<b>Nanopartículas inorgánicas no digeribles</b>	Nanopartículas de plata	Envasado de alimentos Procesamiento de alimentos Conservación de los alimentos	Reducir el contenido de ATP. Aumento de la producción de ROS. Dañando las mitocondrias y el ADN.
<b>Nanopartículas orgánicas digeribles</b>	Tensioactivos, lípidos, proteínas y carbohidratos	Envasado de alimentos Procesamiento de alimentos Conservación de los alimentos Envasado de alimentos	Daño celular Degradación de proteínas. Enfermedades cardiovasculares. Obesidad Causa enfermedad de la piel y los pulmones

**Fuente:** (Pradhan et al., 2015)

## 4 CONCLUSIÓN

La nanotecnología como tecnología emergente en la industria de los alimentos nos trae consigo muchas ventajas al usarlas durante el procesamiento de los alimentos se puede utilizar para mejorar el sabor y la textura de los alimentos, reducir el contenido de grasa o encapsular nutrientes, como las vitaminas y durante su conservación para garantizar que no se degraden durante la vida útil de un producto, ya que cada vez es mayor la demanda del consumidor por adquirir productos más frescos, cómodos y con mayor sabor. Para ello se debe tener mayor investigación para que la nanotecnología se convierta en una de las principales tecnologías que se apliquen en la industria, Los sensores son los menos problemáticos y pueden advertir antes de que la comida se pudra o nos pueden informar el estado nutricional exacto haciendo que la nanotecnología cambie la fabricación de toda la industria del embalaje a futuro beneficiando el medio ambiente y la salud de los consumidores, ya que algunas aplicaciones traen consigo problemas toxicológicos para las personas como el uso de algunas nanopartículas o en el uso de nanoingredientes o nanoaditivos que como consecuencias puede traer problemas a la salud.

## 5 BIBLIOGRAFIA

- Amini, S. M., Gilaki, M., & Karchani, M. (2014). Safety of nanotechnology in food industries. *Electronic Physician*, 6(4), 962–8. <https://doi.org/10.14661/2014.962-968>
- Ávalo Fúnez, A., Haza Duaso, A. I., & Morales Gómez, P. (2016). Nanotecnología en la industria alimentaria I: Aplicaciones. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*, 10(2), 1–17. [https://doi.org/10.5209/rev\\_RCCV.2016.v10.n2.53544](https://doi.org/10.5209/rev_RCCV.2016.v10.n2.53544)
- Calculo, P., Phantom, D. E. L., Toma, T., & Media, T. (2004). Universidad Politecnica De Madrid, 45–61. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(92\)90099-Q](https://doi.org/10.1016/0009-2541(92)90099-Q)
- Chamé, K. F. (2013). Síntesis y Caracterización de Nanopartículas Magnéticas. *Tesis de Maestría*, 87. Retrieved from <http://biblioteca.cio.mx/tesis/15611.pdf>
- Chaudhry, Q., Scotter, M., Blackburn, J., Ross, B., Boxall, A., Castle, L., ... Watkins, R. (2008). Applications and implications of nanotechnologies for the food sector. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 25(3), 241–258. <https://doi.org/10.1080/02652030701744538>
- CIMAV, FUNTEC, & Secretaría de Economía. (2008). Diagnóstico y Prospectiva de la Nanotecnología en Mexico, 190. Retrieved from [http://www.nanored.org.mx/documentos/Diagnostico y Prospectiva Nanotecnologia en Mexico.pdf](http://www.nanored.org.mx/documentos/Diagnostico_y_Prospectiva_Nanotecnologia_en_Mexico.pdf)
- Hamad, A. F., Han, J. H., Kim, B. C., & Rather, I. A. (2018). The intertwine of

- nanotechnology with the food industry. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25(1), 27–30. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.09.004>
- Khan, I., Saeed, K., & Khan, I. (2017). Nanoparticles: Properties, applications and toxicities. *Arabian Journal of Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2017.05.011>
- Licda, P., Almengor, L., La, R., Nanotecnologia, D., Alimentaria, I., Nanotechnology, A., ... Industry, F. (n.d.). Nanotecnología, (13), 35–52.
- Maestro, J. Ma. A., & CArbajo, J. I. Ma. (2012). Aplicaciones Industriales de la Nanotecnología. *Universidad de Oviedo*, 92.
- Maubert, Marisela and Soto, Laura and Le{\'o}n, Ana Mar{\'i}a and Flores, J. (2009). Nanoturbos de carbono: La era de la nanotecnología. *Razon y Palabra*. Retrieved from [http://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No5-Vol-1/TSIA-5\(1\)-Soto-Chilaca-et-al-2011.pdf](http://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No5-Vol-1/TSIA-5(1)-Soto-Chilaca-et-al-2011.pdf)
- Molins, R. (2008). Oportunidades y amenazas de la nanotecnología. *Comuniic4*, 38–53. Retrieved from [ricardo.molins@iica.int](mailto:ricardo.molins@iica.int)
- Noormans, A. G. (2010). Impact of Nanotechnology in Food Production Impacto de la Nanotecnología en la Producción de Alimentos. *Lámpsakos*, (4), 2145–4086.
- Palacio, F. (1998). Nanomateriales, 18.
- Pathakoti, K., Manubolu, M., & Hwang, H. M. (2017). Nanostructures: Current uses and future applications in food science. *Journal of Food and Drug Analysis*, 25(2), 245–253. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2017.02.004>



- Pradhan, N., Singh, S., Ojha, N., Shrivastava, A., Barla, A., Rai, V., & Bose, S. (2015). Facets of nanotechnology as seen in food processing, packaging, and preservation industry. *BioMed Research International*, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/365672>
- Prospectiva, E. D. E. (2010). Nanotecnologías En España En El Horizonte 2020, 1–5. Retrieved from <http://www.opti.org/publicaciones/pdf/resumen10.pdf>
- Quintili, M. (2012). Nanociencia y Nanotecnología... un mundo pequeño. *Cuaderno*, 42, 125–155. Retrieved from <http://www.scielo.org.ar/pdf/ccedce/n42/n42a10.pdf>
- Sekhon, B. S. (2010). Food nanotechnology - an overview. *Nanotechnology, Science and Applications*, 3(1), 1–15. <https://doi.org/10.2147/NSA.S8677>
- Silva de Hoyos, L. E., Sánchez Medieta, V., Rico Moctezuma, A., Vilchis Nestor, A. R., Camacho López, M. A., & Avalos Borja, M. (2012). Silver nanoparticles biosynthesized using. *Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales*, 25(1), 31–35.
- Silvina, A., & Ante, F. (2015). Síntesis de nanoestructuras metálicas depositadas sobre grafito pirolítico altamente Estudio de sus propiedades electrocatalíticas.
- Vance, M. E., Kuiken, T., Vejerano, E. P., McGinnis, S. P., Hochella, M. F., & Hull, D. R. (2015). Nanotechnology in the real world: Redeveloping the nanomaterial consumer products inventory. *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 6(1), 1769–1780. <https://doi.org/10.3762/bjnano.6.181>
- Weiss, J., Takhistov, P., & McClements, D. J. (2006). Functional materials in food

nanotechnology. *Journal of Food Science*, 71(9), 107–116.  
<https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00195.x>

Zanella, R. (2012). Metodologías para la síntesis de nanopartículas: controlando forma y tamaño. *Www.Mundonano.Unam.Mx*, 5(1), 69–81. Retrieved from [www.mundonano.unam.mx](http://www.mundonano.unam.mx)