

# **Nano-encapsulación: usos y aplicaciones en la industria de los alimentos**

Nicolás Mauricio Guzmán Robayo

Asesora

July Alexandra Hernández López

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingenierías - ECBTI

Ingeniería de Alimentos

2024

---

July Alexandra Hernández López

Director de Trabajo de Grado

---

Jurado

---

Jurado

### **Dedicatoria**

Esta monografía está dedicada a Dios por las múltiples bendiciones que he recibido durante mi vida de las cuales en este momento estoy recolectando frutos, permitiendo llegar a estas instancias en mi formación profesional. También está dedicada a mi núcleo familiar y en quienes no han dejado de confiar en mí a pesar de las adversidades y mis defectos.

### **Agradecimientos**

En este largo trayecto de la vida universitaria agradezco principalmente a Dios por brindarle la oportunidad a mis padres de ofrecerme el estudio, a mi padre que fue el que me implantó la ingeniería, a mi madre testaruda que no me permitió rendirme, a la tutora July Alexandra Hernández López que desde V semestre demostró ser una docente con una enorme pasión por su profesión y que hasta el día de hoy me apoyo con el desarrollo de esta monografía, recalcando que su ayuda ha sido incondicional. Nuevamente a Dios porque me dio los valores necesarios para finalizar este proceso de vida tan importante de la mejor manera posible en el tiempo perfecto.

## Resumen

La nano-encapsulación es un proceso novedoso derivado de la nanotecnología donde se encapsulan micropartículas en un recubrimiento. En la industria de alimentos esto podemos verlo aplicado encapsulando microorganismos dentro de una cápsula con la característica, que esta se desintegre para que el contenido realice su trabajo en el momento óptimo o deseado. Teniendo en cuenta que las industrias de alimentos siempre tienen como objetivos mejorar la calidad de sus productos, alargar su vida útil y reducir costos en la producción para obtener mejores ganancias. Esta tecnología es una alternativa para alcanzar estas metas.

El proceso de nano encapsulación requiere conocer su aplicación final para seleccionar el método y el tipo de liberación para que su uso sea efectivo.

Dichas cápsulas tienen sus propias nanopartículas que se usarán según la industria. Estas tienen beneficios y contradicciones que pueden ocasionar alteraciones en las características del producto. Por esta razón se busca encontrar los usos y aplicaciones más adecuados antes, durante y después de cualquier producción en la industria alimentaria.

***Palabras clave:*** Nanotecnología, Nanopartículas, Nano-encapsulación, Alimentos.

### **Abstract**

Nano-encapsulation is a novel process derived from nanotechnology where microparticles are encapsulated in a coating. In the food industry we can see this applied by encapsulating microorganisms inside a capsule that, with certain characteristics, will break down so that the content can do its job at the optimum or desired time. Taking into account that food industries always have as objectives to improve the quality of their products, extend their shelf life and reduce production costs to obtain better profits. This technology is an alternative to achieve these goals.

To apply this process it is necessary to know that there are different methods of operation, but all depend on the type of capsule and this is due to the time required to dissolve in the medium by some factors such as: acidity, temperature or time. These capsules have their own nanoparticles that will be used according to the industry. These have benefits and contradictions that can cause alterations in the quality of the product. For this reason it is sought to find the most appropriate uses and applications before, during and after any production in the food industry.

***Keywords:*** Nanotechnology, Nanoparticles, Nano-encapsulation, Food.

**Tabla de contenido**

Introducción	14
Problema	16
Justificación	18
Objetivos	20
Objetivo General	20
Objetivos Específicos	20
Aspectos Metodológicos	21
Marco Teórico	22
Generalidades de la Nanotecnología	22
Técnicas de la Nanotecnología	24
Técnicas de Arriba Hacia Abajo (Top-down)	24
Técnicas de Abajo Hacia Arriba (Bottom-up).	25
Nanotecnología y el Medio Ambiente	26
Nanopartículas	28
Nanopartículas Más Usadas en la Industria de Alimentos	31
Nanopartículas de Sílice.	31
Nanopartículas de Óxido de Titanio.	32
Nanopartículas de Óxido de Zinc.	33
Nanopartículas de Óxido de Hierro.	34
Nanopartículas de Liposomas.	35
Nanopartículas de Aluminio.	35
Nanopartículas de Plata.	35

	8
Nano-encapsulación	36
Características de la Nanoencapsulación	40
Principales Materiales de la Nanoencapsulación	41
Principales Técnicas de Encapsulación	44
Encapsulación por Coacervación Simple y Compleja	45
Secado por Aspersión.	45
Aspersión en Frío o Congelación.	46
Emulsión	47
Liofilización	48
Gelificación Iónica	48
Usos de la Nanoencapsulación en la Industria Alimentaria	49
Impacto de la Nanoencapsulación de los Alimentos en el Medio Ambiente	51
Aplicaciones Desarrolladas en la Industria de Alimentos	52
Nanoencapsulación de Plaguicidas	52
Nanoencapsulación en Alimentos	55
Nanoencapsulación en Envases de Alimentos	57
Beneficios de la Nanoencapsulación	60
Desventajas de la Nanoencapsulación	62
Regulaciones y Normativas para la Nanoencapsulación en la Industria de los Alimentos	62
General	62
Internacionales	63
Consideraciones	65
Producción de Alimentos Antes y Después de la Nanoencapsulación	65

	9
El Futuro de la Industria Alimentaria	66
Ética y Seguridad	66
Retos de la Nanoencapsulación en la Industria de Alimentos	67
Conclusiones	68
Referencias	70

**Lista de Tablas**

<b>Tabla 1</b> <i>Nano Agroquímicos en Desarrollo</i>	53
<b>Tabla 2</b> <i>Principales Compuestos Bioactivos (CB).</i>	55
<b>Tabla 3</b> <i>Ejemplos de Alimentos en Envases Bioactivos que Contienen Agentes Antimicrobianos Encapsulados.</i>	58

**Lista de Figuras**

<b>Figura 1</b> <i>Nanotecnología</i>	22
<b>Figura 2</b> <i>Obleas Fotolito Grafiadas</i>	25
<b>Figura 3</b> <i>Esquema de la Estrategia de Autoensamblaje Molecular.</i>	25
<b>Figura 4</b> <i>Partículas de Plata</i>	29
<b>Figura 5</b> <i>Representación en Dos Dimensiones de un Dendrímero</i>	30
<b>Figura 6</b> <i>Nano-partículas Revestidas</i>	31
<b>Figura 7</b> <i>Nanopartículas de Sílice.</i>	32
<b>Figura 8</b> <i>Nanopartículas de Óxido de Titanio</i>	33
<b>Figura 9</b> <i>Nanopartículas de Zinc</i>	34
<b>Figura 10</b> <i>Nanopartículas de Óxido de Hierro</i>	34
<b>Figura 11</b> <i>Nanopartículas de Liposomas</i>	35
<b>Figura 12</b> <i>Nanopartículas de Plata.</i>	36
<b>Figura 13</b> <i>Nano-encapsulación</i>	37
<b>Figura 14</b> <i>Encapsulación</i>	38
<b>Figura 15</b> <i>Nanoescala</i>	40
<b>Figura 16</b> <i>Características de Nanomateriales Usados en Aplicaciones Biológicas e Industriales</i>	43
<b>Figura 17</b> <i>Nanocápsulas, Nanocargadores o Sistemas de Liberación Controlada</i>	43
<b>Figura 18</b> <i>Formas de las Nanocapsulas.</i>	44
<b>Figura 19</b> <i>Proceso Secado por Asperción</i>	46
<b>Figura 20</b> <i>Nanoencapsulación por Emulsión</i>	48
<b>Figura 21</b> <i>Diagrama Representativo de Gelación Iónica Externa (A) e Interna (B).</i>	49

**Figura 22** *Aplicaciones Potenciales de la Nanotecnología*

**Lista de Apéndices****Apéndice A** *Linea de Tiempo de la Nanotecnología*

78

## Introducción

El hombre desde hace muchos años ha estado evolucionando gracias a las apariciones tecnológicas; sin embargo, esto sigue en un constante avance a tal punto que la nanotecnología es una propuesta entregada a la comprensión y el control de las propiedades de la materia a una escala nanométrica según (Schulenburg, s.f.). Todo esto llevando a la humanidad a la nanotecnología.

La nanotecnología como la nanociencia existen porque hace aproximadamente medio siglo algunos científicos cuánticos generaron la concepción de la física tradicional y desarrollaron la física cuántica, donde los átomos fueron desarrollándose hasta la comprensión del funcionamiento de los electrones y los fotones. De esta manera, llegamos a comprender que son los responsables de generar vida a través de una forma de energía invisible a simple vista (Quintili, 2012). Por esta razón la nanotecnología tiene un amplio campo de aplicación como en la alimentación, salud, cosmetología, agricultura, tratamiento de agua entre otros. En el caso de la nanoencapsulación de igual manera tiene gran versatilidad en cuanto a su aplicación.

La nanoencapsulación es básicamente el envasado de nanopartículas mediante el uso de un agente encapsulante dicho por (García 2018), es decir, la nanoencapsulación consiste en la adición de bioactivos en cualquier estado de la materia dentro de cápsulas nanométricas.

La nano encapsulación puede ser un gran aliado para la industria de alimentos ya que esta buscando continuamente la optimización de procesos, reducir el uso de materia prima generando más ganancias sin perder calidad y evitando el desperdicio o usándolo para obtener nuevos productos.

La nanoencapsulación es de gran importancia en la industria de los alimentos debido a que es una tecnología innovadora y fascinante que ha revolucionado en esta industria en las

últimas décadas. Esta técnica permite la protección, mejora y liberación controlada de componentes bioactivos en productos alimenticios, ofreciendo una amplia gama de beneficios que van desde la prolongación de la vida útil de los alimentos hasta la mejora de su calidad nutricional y sensorial. En esta monografía, comprenderemos el funcionamiento de la nanoencapsulación, aplicaciones más destacadas en la industria alimentaria y los impactos que tiene en la salud, ventajas y desventajas de esta tecnología entre otras cosas. A través de un análisis bibliográfico de diferentes artículos que se encuentran actualmente, descubriremos cómo esta tecnología está transformando nuestra forma de producir, consumir y cómo está allanando el camino hacia un futuro más industrial, saludable y sostenible en la alimentación.

## Problema

En la vida encontramos múltiples problemas en la industria alimentaria desde el cultivo hasta la obtención de la materia prima como punto de partida para la producción.

En la industria de los alimentos a gran escala es de vital importancia mejorar la producción que se desarrolla en la empresa además de reducir los gastos de producción aumentando la ganancia, aprovechando todos los recursos y residuos. Además de esto mantener la calidad y la estabilidad de un producto, teniendo en cuenta lo anterior se sigue indagando sobre la nano-encapsulación para hallar las soluciones.

Según Valdiviezo-Morales et al. (2017) dice que nano-encapsulación es el proceso en que se envasa un activo por medio de una cápsula usualmente es un polímero que tiene ciertas propiedades o características diferentes que permiten la liberación bajo condiciones deseadas o necesarias, que genera un alargamiento de la vida útil del producto.

Minimizar riesgos es de gran ayuda para cualquier tipo de industria sin embargo la industria de alimentos siendo específica en la agricultura los trabajadores que aplican pesticidas no tienen la protección adecuada sea por escasez económica, desinformación o negligencia. Además, de ser nocivos para los seres humanos también lo son para los animales y para el medio ambiente por esta razón se ven varios desarrollos en cuanto a la nanoencapsulación de diferentes pesticidas para que con los parámetros adecuados estos se liberen de una manera efectiva y certera contra lo que se quiere combatir evitando contaminación al medio ambiente, animales y por supuesto minimizando el riesgo de los trabajadores (Quiroz & Aguilar, 2013).

Es necesario tener en cuenta que la nano encapsulación es un derivado de la nanotecnología que es una tecnología nueva que nos permite seguir explorando e innovando en

diferentes ámbitos de aplicación en este caso queremos conocer, comprender y entender ¿cuáles son los usos y las aplicaciones de la nanoencapsulación en la industria de los alimentos?

## Justificación

La desinformación es uno de los problemas más grandes que afrontan las personas de las zonas rurales lejanas de la ciudad no adquieren información que puede ayudar a resolver diversos problemas que afectan el sector agrícola como: las plagas, uso excesivo de pesticidas, fungicidas y daños ambientales que estos generan, liberación directa de abonos, desperdicios de producciones, falta de nutrientes en los alimentos, cambios en la calidad y propiedades organolépticas, entre otros.

Como alternativa para mitigar o solucionar estos problemas, la nano encapsulación tiene muchos beneficios ya que es una tecnología emergente y está en ascenso por su amplia aplicación en la industria de alimentos. Uno de estos es que puede mejorar los procesos de los alimentos que utilizan enzimas para producir beneficios para la salud y nutricionales (Almengor, 2009).

Por otro lado, la nano encapsulación también puede ser aplicada en la agricultura permitiéndole ser más sostenible buscando aumentar la producción y reducir el uso de agroquímicos, también puede ser usada para mejorar la protección de las cosechas contra las plagas. La nanoencapsulación logra controlar la liberación y hasta dirigir el lugar de destino aumentando la efectividad (Pardo de Santayana, 2018).

Podemos ver que genera un gran impacto en la industria alimentaria la nanoencapsulación y tecnología. Teniendo un valor adicional de gran escala es que la nanoencapsulación ha optimizado el uso de pesticidas ya que hay una aplicación dirigida y una liberación controlada bajo circunstancias definidas ocasionando un mínimo impacto al medio ambiente (Lugo-Medina et al., 2010).

Con lo mencionado anteriormente es de gran importancia brindar y otorgar información acertada sobre los usos, beneficios y aplicaciones de la nanoencapsulación en la industria alimentaria para que los campesinos, agricultores y microempresas relacionadas al sector de la agricultura puedan comprender que hay una tecnología innovadora que puede generar una mayor eficiencia, efectividad y eficacia en sus productos con una disminución en el impacto ambiental.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Realizar un análisis de la información referente a los usos y aplicaciones de la nano encapsulación en la industria de los alimentos.

### **Objetivos Específicos**

Identificar el funcionamiento de la nano encapsulación antes, durante y después de la aplicación en la industria de los alimentos.

Establecer cuáles son los usos y aplicaciones más destacables de la nano-encapsulación en los alimentos.

Definir ventajas y desventajas que tiene la nano-encapsulación siendo aplicada en el campo de los alimentos.

### **Aspectos metodológicos**

La elaboración de esta monografía se basó en la consulta de diversas fuentes bibliográficas, como tesis, artículos, revistas científicas y libros, entre otros. El objetivo fue comprender la nano encapsulación en la industria alimentaria, analizar su tecnología, explorar sus aplicaciones en la alimentación y examinar sus ventajas y desventajas. Se trata de un trabajo de investigación literaria.

El enfoque metodológico adoptado para esta monografía fue no experimental, ya que se centró en la recopilación y análisis de información proveniente de diversas fuentes bibliográficas. Además, se incluyeron investigaciones relacionadas con el tema, asegurándose de que las referencias bibliográficas utilizadas estuvieran comprendidas entre los años 1993 y 2022. Esto permitió obtener una amplia gama de información relevante y seguir el desarrollo de la tecnología de nano encapsulación a lo largo de esos años.

Y para la recopilación de esta información se utilizó (nanotechnology) AND (Nanoparticles) AND (Nano-encapsulation) AND (Food OR Meal) AND (Industry OR Factory OR Company) como ecuación de búsqueda.

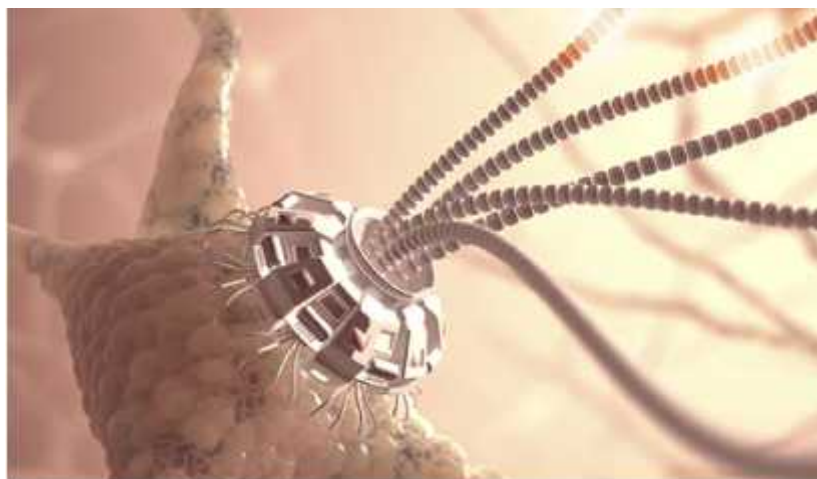
## **Marco teórico**

### **Generalidades de la Nanotecnología**

La nanotecnología existe aproximadamente desde hace medio siglo cuando algunos cuánticos desecharon los conceptos de la física clásica seguido de esto crearon la física cuántica escudriñando en los átomos para conocerlos al desnudo para comprender el funcionamiento del núcleo de los electrones y los fotones (Quintili, 2012). El nombre Nanotecnología fue atribuido en el año de 1974 por el Profesor 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 (Infobae, 2015).

## Figura 1

### *Nanotecnología*



*Fuente.* Infobae (2015)

La nanotecnología está dividida en dos según la técnica de aplicación técnicas de arriba hacia abajo en inglés (Top-Down) y las técnicas de abajo hacia arriba (Botton up). Para la técnica Top-Down es utilizada para diseñar y minimizar el tamaño de estructuras para desarrollar a nanoescala sistemas funcionales, pero siendo la nanoelectrónica se usa para miniaturizar sistemas electrónicos. Por otro lado, la técnica Botton up es aplicada en la construcción de estructuras y objetos más grandes comenzando desde sus componentes moleculares es decir que permite controlar la materia de manera exacta (Infobae, 2015).

La nanotecnología es la aplicación de tecnologías y técnicas en el mundo molecular o atómico buscando el acceso al control de estos. En cuanto en la industria alimenticia la nanotecnología es aplicada para controlar las moléculas y realizar procesos de manera más efectiva y dirigida conservando o mejorando la calidad de los productos.

Según la revista Soc Quím Perú la nano tecnología aplica los mismos principios de liberación controlada de los medicamentos para contribuir en las propiedades de los compuestos alimenticios como solubilidad, absorciones eficientes y suministro. Para esto se está usando

sistemas de encapsulamiento para ciertos tipos de compuestos como lo son los lipídicos que son efectivos para mejorar la absorción (Quintili, 2012).

No solo la nanotecnología está siendo aplicada directamente en los alimentos, también se desarrollan investigaciones, estudios y proyectos con respecto a los envases y empaques de nuestros productos y alimentos. Actualmente la mayoría de las industrias dedicadas a la producción de alimentos trabajan con envases que no son biodegradables, pero en la aplicación de la nanotecnología podemos producir películas comestibles o biodegradables que generan cambios favorables o mantengan el alimento en óptimas condiciones.

Los empaques inteligentes para ser más exactos cuando entran en contacto con el alimento cumplen alguna función como, por ejemplo: mejorar, mantener o monitorear la calidad del producto. Cuando nos referimos a monitorear la función que cumplen los empaques inteligentes es permitirnos conocer el estado del producto que se pretende consumir esto es posible gracias a los nano sensores que nos indican por medio de un cambio de color del empaque o algún tipo de señal cuando se han generado cambios químicos que hay en el medio ambiente del alimento. También estos nano sensores pueden responder a la humedad, temperatura, niveles de oxígeno, o la degradación por microorganismos además pueden detectar ciertas sustancias químicas y patógenas en los alimentos (Santiago, 2014).

### **Técnicas de la Nanotecnología**

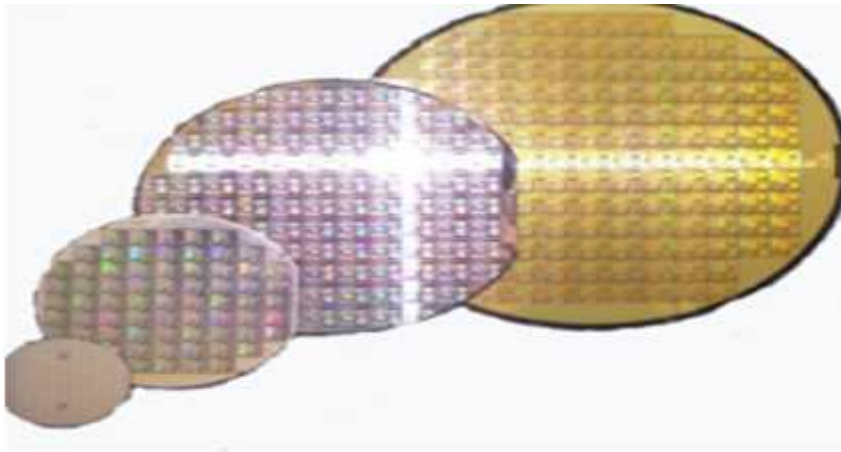
La nanotecnología se clasifica en dos principales categorías según el método de aplicación:

### ***Técnicas de Arriba Hacia Abajo (Top-down)***

Estos métodos se fundamentan en la disminución del tamaño de estructuras ya existentes. Por ejemplo, la fotolitografía se emplea para generar estructuras a escala nanométrica en materiales semiconductores.

### **Figura 2**

#### *Obleas Fotolito Grafiadas*



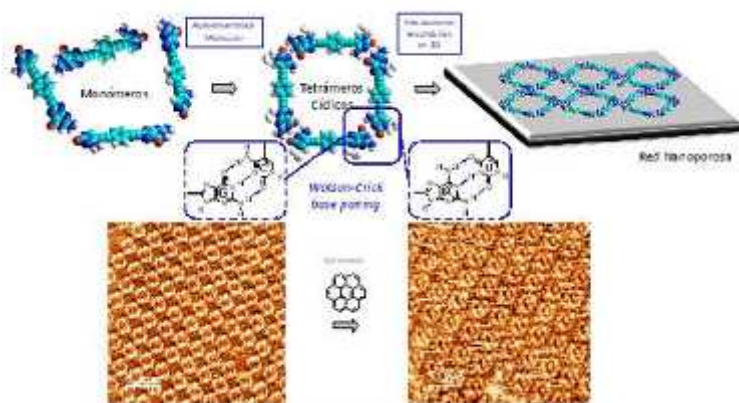
*Fuente.* Robust adaptive exponentially weighted moving average control charts with applications of manufacturing processes (2019)

### ***Técnicas de Abajo Hacia Arriba (Bottom-up).***

Estas técnicas se basan en la construcción de estructuras a partir de sus componentes moleculares. Por ejemplo, el autoensamblaje se utiliza para crear estructuras nanométricas a partir de moléculas que se unen entre sí de forma espontánea.

### Figura 3

*Esquema de la Estrategia de Autoensamblaje Molecular.*



*Fuente.* Sinc Ciencia Contada en Español (2016)

Nota: Diagrama del enfoque de autoensamblaje molecular utilizado para la creación de redes bidimensionales (arriba) y fotografías microscópicas de las redes de tetrámeros cíclicos producidas. / UAM.

### Nanotecnología y el Medio Ambiente

Según Hernández (2022), la nanotecnología ofrece la posibilidad de eliminar los residuos de pesticidas presentes en el agua, el aire y el suelo mediante el uso de fotocatalizadores de óxidos metálicos. Estos fotocatalizadores, fabricados con materiales como el óxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) y el óxido de zinc ( $\text{ZnO}$ ), tienen la capacidad de absorber fotones e iniciar procesos de oxidación-reducción (redox) que descomponen moléculas orgánicas complejas en compuestos más simples. De esta manera, a través de la fotocatalisis, los residuos de pesticidas pueden convertirse en minerales inofensivos para el medio ambiente. (Matsuno y Adachi, 1993).

La nanotecnología se puede utilizar para abordar una amplia gama de problemas ambientales, entre los que se incluyen:

- **Contaminación:** Los nanomateriales se pueden utilizar para limpiar la contaminación atmosférica, hídrica y de la tierra. Por ejemplo, los nanofiltros se pueden utilizar para eliminar partículas contaminantes del agua, y los nanosensores se pueden utilizar para detectar y rastrear la contaminación.
- **Reducción de residuos:** Los nanomateriales se pueden utilizar para desarrollar nuevos materiales y procesos que permitan reducir la cantidad de residuos generados. Por ejemplo, los nanomateriales se pueden utilizar para fabricar envases más ligeros y duraderos con el fin de mejorar la eficacia de los procesos de manufactura.
- **Energía renovable:** Los nanomateriales pueden emplearse para potenciar el rendimiento de las fuentes de energía renovable, como la solar y la eólica. Por ejemplo, los nanomateriales se pueden utilizar para fabricar células solares más eficientes y turbinas eólicas más potentes.
- **Cambio climático:** Los nanomateriales se pueden utilizar para mitigar el cambio climático. Por ejemplo, los nanomateriales se pueden utilizar para atrapar y retener el dióxido de carbono de la atmósfera, y para desarrollar nuevos materiales que sean más resistentes a las repercusiones del cambio climático.

En cuanto a aplicaciones puntuales de la nanotecnología en el medio ambiente tenemos los siguientes:

- **Nanofiltros:** Los nanofiltros se utilizan para eliminar partículas contaminantes del agua, como bacterias, virus y metales pesados. Estos filtros son más eficientes que los filtros tradicionales, pueden ser empleados para purificar el agua potable, los cuerpos de agua dulce como ríos y lagos, y también el agua tratada en sistemas de tratamiento de aguas residuales.

- **Nanosensores:** Los nanosensores se utilizan para detectar y rastrear la contaminación. Estos sensores son muy sensibles, y pueden utilizarse para detectar contaminantes en el aire, el agua y el suelo.
- **Nanomateriales para el tratamiento de residuos:** Los nanomateriales se utilizan para desarrollar nuevos procesos para tratar los residuos. Por ejemplo, los nanomateriales se pueden utilizar para convertir los residuos orgánicos en biocombustibles, y para reciclar materiales como el plástico y el vidrio.
- **Nanomateriales para la energía renovable:** Los nanomateriales se utilizan para mejorar el rendimiento de las fuentes de energía renovable. Por ejemplo, los nanomateriales se utilizan para fabricar células solares más eficientes y turbinas eólicas más potentes.
- **Nanomateriales para la mitigación del cambio climático:** Los nanomateriales se utilizan para mitigar el cambio climático. Por ejemplo, los nanomateriales se utilizan para atrapar y retener el dióxido de carbono atmosférico y para desarrollar nuevos materiales que sean más resistentes a los efectos del cambio climático.

### **Nanopartículas**

Los nanomateriales son una clase muy moderna de partículas microscópicas con dimensiones menores a 100 nanómetros aproximadamente, esta tecnología está siendo estudiada e investigada por la nanotecnología ya que puede ser aplicada en diferentes industrias como medicina, electricidad, cosmética, alimentos entre otras (Landa-Salgado et al., 2017).

Las nanopartículas tienen múltiples propiedades y estas dependen del material en el que están desarrolladas así mismo las encontramos clasificadas:

Base de carbón

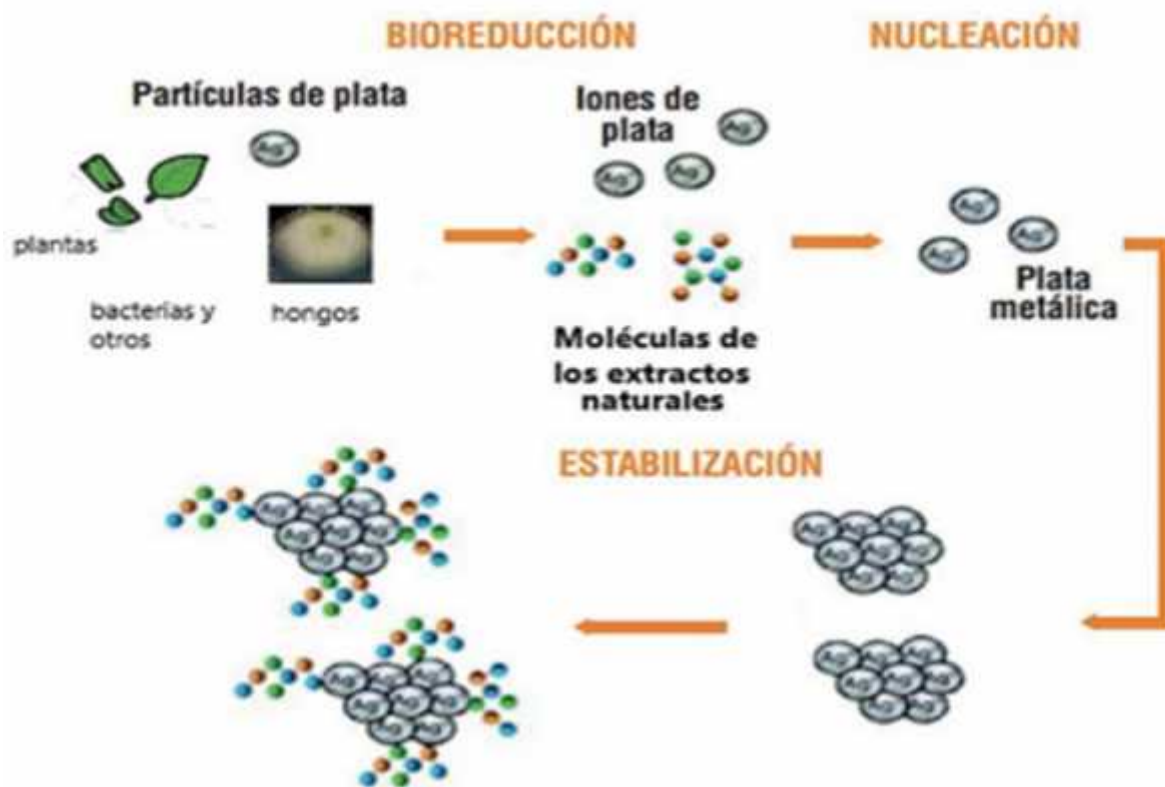
Base de metálicas

## Dendrímeros

Las nanopartículas de base de carbón pueden tener forma esférica, elipsoidal o tubular entre sus propiedades podemos resaltar que el peso es reducido, tiene mayor dureza con una gran capacidad elástica y es conductora térmica. Estas nano partículas actualmente se están utilizando de manera tubular puesto que las condiciones que ofrece esta figura son variadas ya que pueden ser nanotubos de pared sencilla o de pared múltiple. Estos nanotubos son encontrados en transporte de fármacos como biosensores y agentes con propiedades antibacterianas (Solmeclas, 2022).

No obstante, se encuentra un problema en este tipo de nanopartículas y es la escasa solubilidad en agua y su toxicidad llevando investigaciones y desarrollos a modificar la superficie de estos para que su dispersión en el agua sea mayor es decir mejorando la biocompatibilidad (Andrade et al., 2012).

Por otro lado, quantum dots, nanopartículas de oro y plata, de metales reactivos son las nanopartículas que se desarrollan con base metálica tienen una forma coloidal inestable y muestran una tendencia aglomerarse y se deben estabilizar para hacer uso de ellas (Andrade et al., 2012).

**Figura 4***Partículas de Plata*

*Fuente.* Síntesis biológica de nanopartículas de plata: revisión del uso potencial de la especie *Trichoderma* (2020)

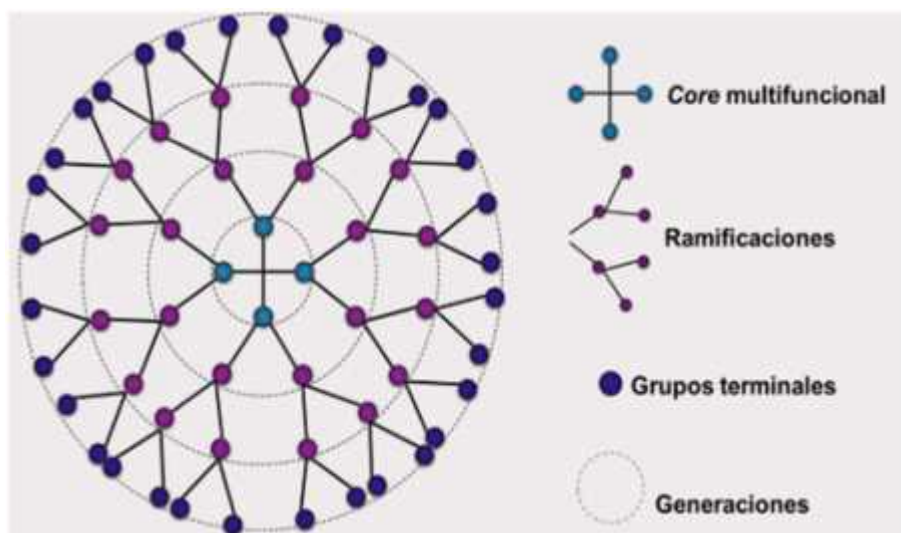
Las nanopartículas de base metálica son aplicadas en electrodos como baterías, celdas de combustible. Catalizadores aumentando las reacciones químicas sin ser consumido durante el proceso. En la medicina son prometedoras para realizar una administración dirigida gracias a las nanopartículas magnéticas que se llevan al objetivo por medio de un campo magnético externo (Gómez, 2012).

Los dendrímeros son un tipo de nanopartículas a base de polímeros nanómetros que se construyen en modo de árbol para que cada cadena de rama sea diseñada para realizar alguna

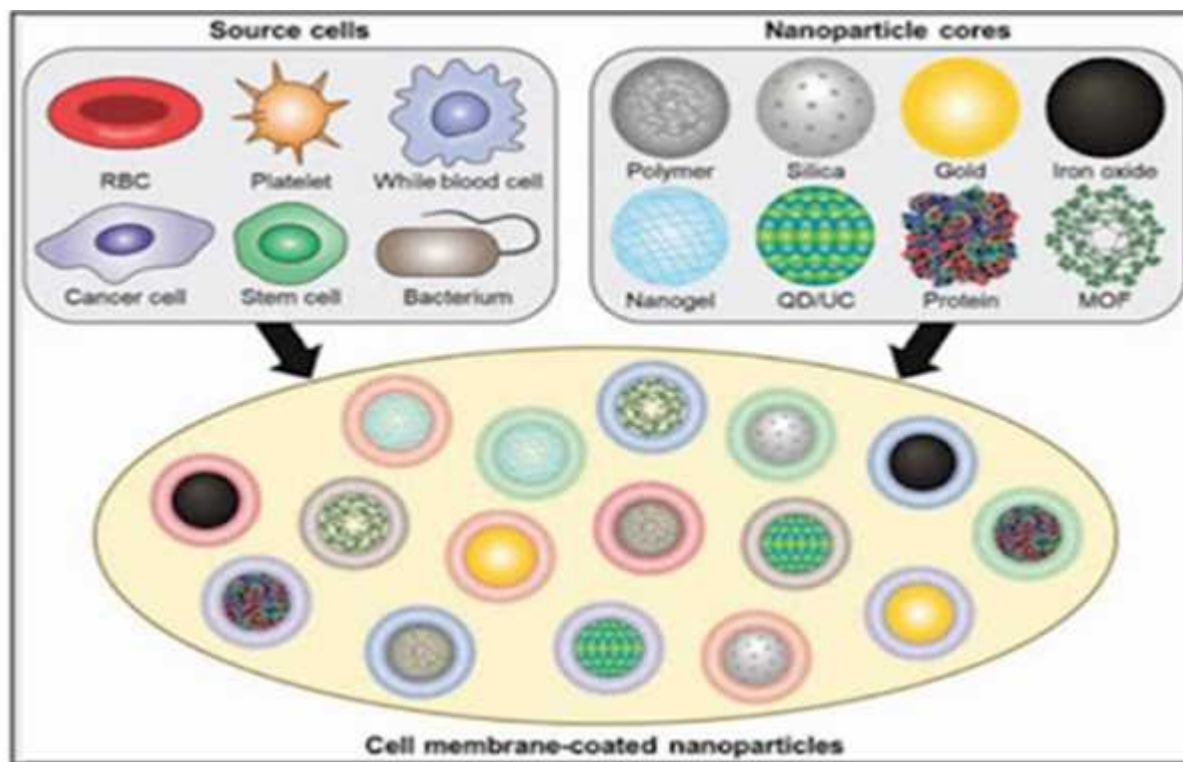
función en específico por esa razón tienen mayor cabida en la medicina. Los dendrímeros se caracterizan por tener una estructura muy exacta con baja polidispersidad y con un exterior multivalente esto les da la capacidad de interactuar con multitud de especies de esta manera amplía el campo de aplicación gracias a su versatilidad. En la medicina son muy útiles como agentes transportadores de fármacos y material genético (Gómez, 2012).

### Figura 5

#### *Representación en Dos Dimensiones de un Dendrímero*



*Fuente.* Igartúa (2020)

**Figura 6***Nano-partículas Revestidas*

*Fuente.* Advanced Nano-Drug Delivery Systems in the Treatment of Ischemic Stroke (2024)

### Nanopartículas más Usadas en la Industria de Alimentos

Las nanopartículas se utilizan en la industria de alimentos para diversas aplicaciones, como mejorar la textura, estabilidad y propiedades sensoriales de los productos alimenticios. Algunas de las nanopartículas más utilizadas en la industria alimentaria son las nanopartículas de sílice, óxido de zinc, óxido de hierro, de liposomas, de aluminio, óxido de titanio y de plata.

Cada una de estas nanopartículas tiene una utilidad específica:

#### *Nanopartículas de Sílice.*

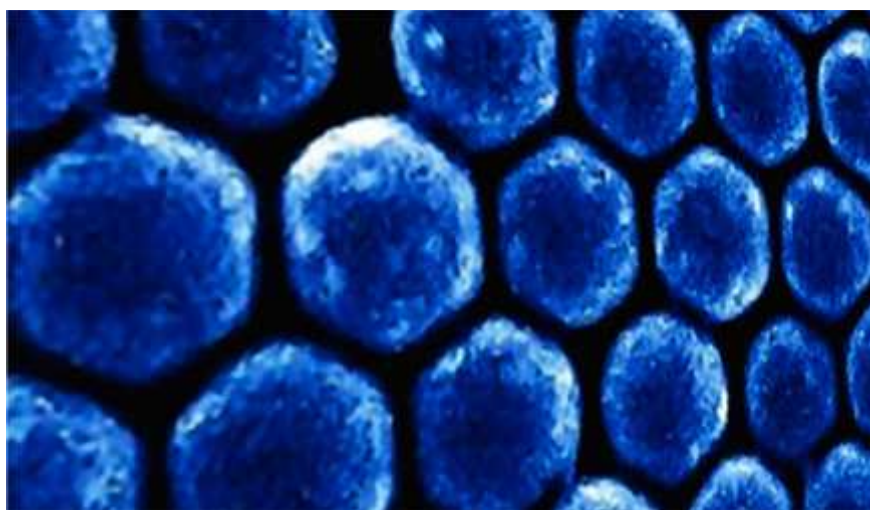
Siendo las de sílice las más usadas en la industria alimentaria se emplean para mejorar la transparencia y la durabilidad de los productos líquidos, como los jugos, las bebidas deportivas y

las salsas. Esto se debe a que las nanopartículas de sílice tienen una alta capacidad de dispersión y estabilización.

Las nanopartículas de sílice también se utilizan para mejorar la textura de los alimentos. Por ejemplo, se pueden utilizar para aumentar la viscosidad de los alimentos líquidos, lo que puede mejorar su estabilidad y el sabor.

### **Figura 7**

*Nanopartículas de Sílice.*



*Fuente.* Argentina Investiga (s.f)

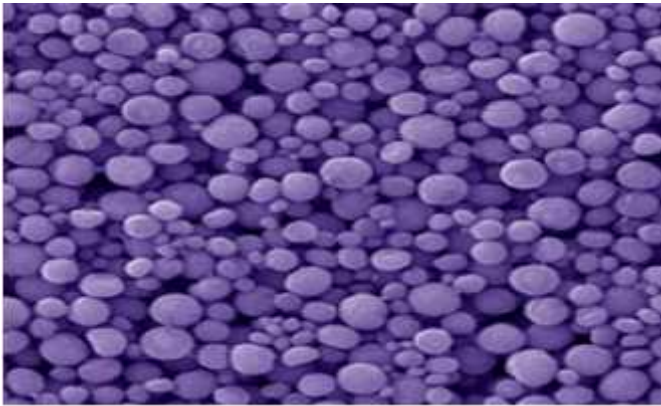
### *Nanopartículas de Óxido de Titanio*

Estas nanopartículas se aplican como agentes blanqueadores en alimentos como las salsas, los aderezos y los productos horneados. Esto se debe a que las nanopartículas de óxido de titanio tienen una alta reflectividad de la luz visible, lo que puede hacer que los alimentos parezcan más brillantes y atractivos. También las nanopartículas de óxido de titanio también se utilizan como aditivos antimicrobianos. Esto se debe a que las nanopartículas de óxido de titanio

tienen propiedades fotocatalíticas, lo que les permite destruir las bacterias y otros microorganismos.

### **Figura 8**

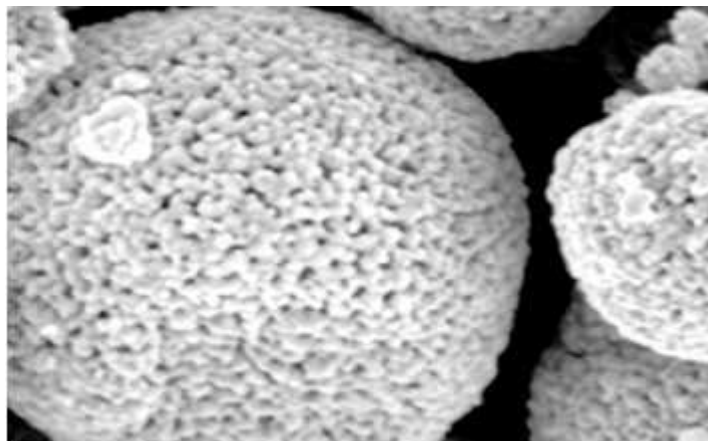
#### *Nanopartículas de Óxido de Titanio*



*Fuente.* Nanociencia Informa (s.f)

#### *Nanopartículas de Óxido de Zinc.*

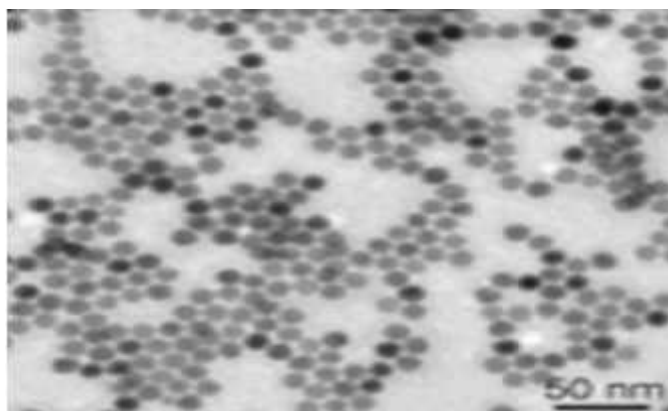
Las nanopartículas de óxido de zinc son usadas para fortificar los alimentos con zinc, un nutriente esencial para el sistema inmunitario. También tienen una alta biodisponibilidad, lo que significa que se absorben y se utilizan por el cuerpo de manera más eficiente que las formas de zinc tradicionales.

**Figura 9***Nanopartículas de Zinc*

*Fuente.* Saberes y Ciencias

*Nanopartículas de Óxido de Hierro.*

El óxido de hierro como nanopartícula se utiliza para aumentar o aumentar los pigmentos de la confitería o los productos de planificación. Esto se debe a que este tipo de nanopartículas tienen un color rojo, amarillo o naranja intenso.

**Figura 10***Nanopartículas de Óxido de Hierro*

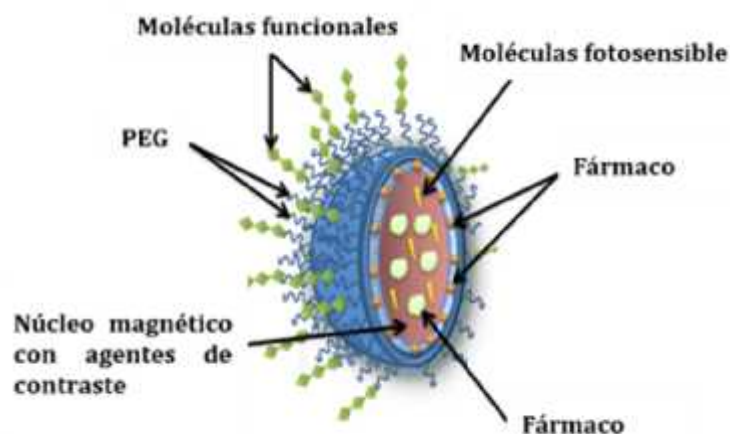
*Fuente.* Revista Química PUP

### *Nanopartículas de Liposomas.*

Las nanopartículas de liposomas se utilizan para encapsular y liberar ingredientes activos, como vitaminas, antioxidantes o sabores, de manera controlada en la industria de alimentos. Esto puede ayudar a mejorar la absorción y la biodisponibilidad de estos ingredientes.

### **Figura 11**

#### *Nanopartículas de Liposomas*



*Fuente.* Blog Nanofarmacomedicina.

### *Nanopartículas de Aluminio.*

Las nanopartículas de aluminio se utilizan como aditivos antiaglomerantes en productos como la sal y el azúcar. Esto se debe a que las nanopartículas de aluminio tienen una alta capacidad para repeler el agua, lo que puede ayudar a evitar que estos productos se peguen.

### *Nanopartículas de Plata.*

Las nanopartículas de plata se utilizan para prolongar la vida útil de los productos mediante el envase con propiedades antimicrobianas. Esto se debe a que las nanopartículas de plata tienen propiedades antimicrobianas, lo que puede ayudar a prevenir la contaminación microbiana de los alimentos.

**Figura 12**

*Nanopartículas de Plata.*



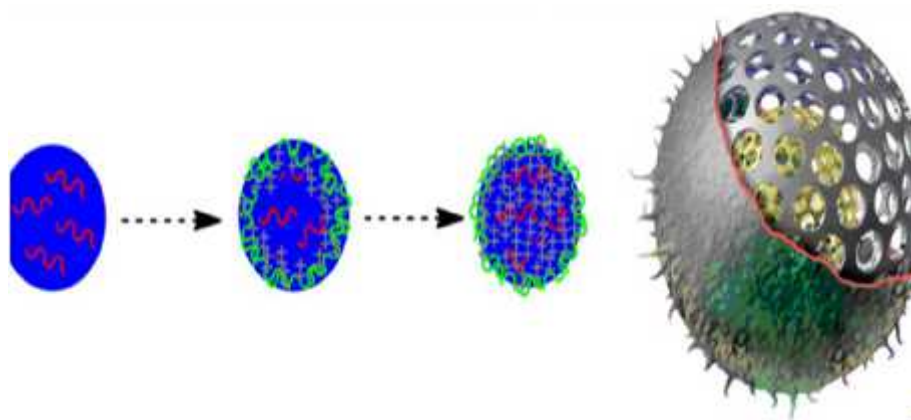
*Fuente. Actualidad.aimme*

**Nano-encapsulación**

La nano-encapsulación consiste en la incorporación, absorción o dispersión de combinaciones de bioactivos en cualquier estado de la materia ya sea sólido, líquido o gaseoso dentro de pequeñas cápsulas en escala nanométrica dichas encapsulaciones pueden ser más resistentes a la degradación aparte de esto también mejora la estabilidad y la solubilidad. Las nano-cápsulas están diseñadas a base de polímeros usualmente como almidones, gomas o gelatinas de esta manera se puede manipular con mayor facilidad la conducción de estas puesto que podrán activarse cuando es apropiado o más efectivo para el alimento o la producción (García, 2018).

### Figura 13

#### *Nano-encapsulación*



*Fuente.* Food News Latam (2015)

La nanoencapsulación busca proteger las partículas o una sustancia dentro de una barrera o cápsula manométrica logrando un aislamiento total del medio en donde será aplicado.

Actualmente se encapsula sabores, lípidos y carotenoides.

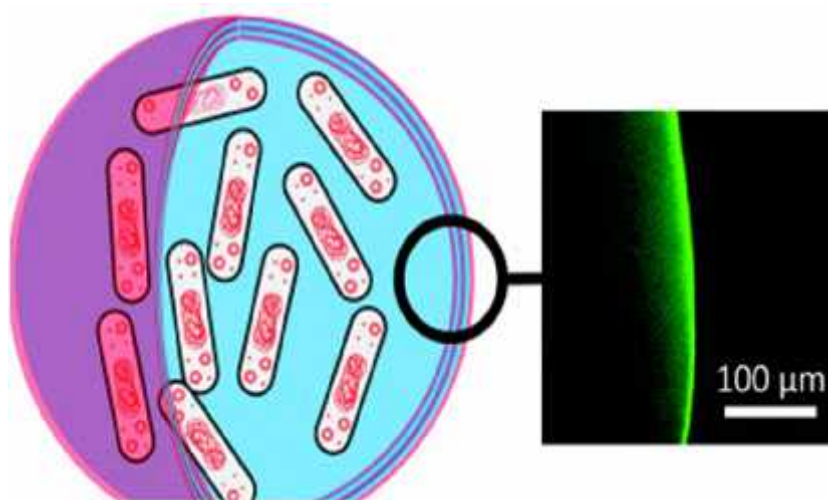
Los lípidos son los compuestos más favorables para trabajar en la nano-encapsulación ya que tiene algunas ventajas como retrasar la autooxidación, mejorar la estabilidad, controlar la liberación de sabor, enmascarar el sabor amargo de sustancias liposolubles y proteger contra las hidrólisis enzimáticas por estas ventajas los lípidos son un excelente material para encapsular especialmente los que tiene un alto contenido de ácidos grasos insaturados (Biotecnología y nanotecnología al instante, 2018).

Para realizar la nanoencapsulación hay gran variedad de técnicas las más aplicadas en la industria alimenticia está el secado por aspersión, la coacervación compleja y los liposomas. Pero esta última usualmente es considerada como un proceso de deshidratación, el secado por aspersión también es considerado un método de encapsulación (Assis et al., 2012) este último

siendo un método muy económico y versátil puesto que es adaptable a equipos de uso común y produce partículas de buena calidad.

## Figura 14

### *Encapsulación*



*Fuente.* Food News Latam (2015)

Podemos decir que la nanoencapsulación implica la utilización de tecnologías a escala nanométrica para encapsular compuestos activos dentro de partículas diminutas. Las medidas en la nanoencapsulación son extremadamente pequeñas, típicamente en el rango de nanómetros (nm), donde 1 nanómetro es igual a  $1 \times 10^{-9}$  metros.

Las medidas de las partículas nano encapsuladas pueden variar significativamente según la aplicación específica y los materiales utilizados, pero generalmente se encuentran en un rango de tamaño muy pequeño:

- Nanoescala: Las partículas de la nanoencapsulación generalmente tienen tamaños que van desde unos pocos nanómetros hasta varios cientos de nanómetros.

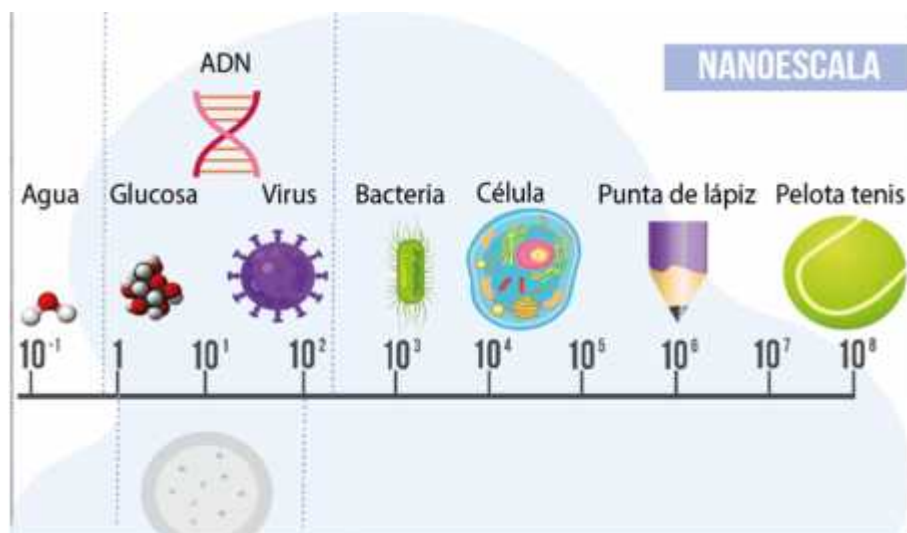
- Diámetro de partícula: Por ejemplo, algunas nanopartículas pueden tener un diámetro de 10 nm, 50 nm, o incluso hasta 200 nm, dependiendo del propósito y la aplicación específica.

Es importante tener en cuenta que, debido a la escala tan pequeña de las partículas en la nanoencapsulación, se requieren técnicas y equipos especializados para su fabricación, caracterización y evaluación.

Estas técnicas son:

- Microscopía electrónica de transmisión (TEM): Permite observar las partículas a una escala nanométrica y determinar su tamaño y morfología con alta resolución.
- Microscopía electrónica de barrido (SEM): Otra técnica que permite visualizar y analizar las características de las partículas a nivel micro y nano.
- Análisis de tamaño de partícula dinámica (DLS): Se emplea para la evaluación del tamaño y la dispersión de partículas en suspensión, incluyendo partículas nano encapsuladas.
- Espectroscopía y técnicas espectroscópicas: Estas técnicas ayudan a estudiar las propiedades químicas y físicas de las nanopartículas encapsuladas.

La medición precisa del tamaño de las nanopartículas encapsuladas es crucial, ya que influye en sus propiedades y comportamiento en aplicaciones específicas como la liberación regulada de compuestos activos en alimentos, la durabilidad de los nutrientes entre otros aspectos relevantes para la industria alimentaria y otras áreas de aplicación.

**Figura 15***Nanoescala**Fuente.* Tena y Garnica (s.f.)**Características de la Nanoencapsulación**

**Tamaño reducido:** Las nanoestructuras tienen un tamaño diminuto, generalmente en el rango de nanoescala (1-100 nanómetros), lo que les confiere propiedades únicas y les permite penetrar en lugares o células que otras estructuras más grandes no pueden alcanzar.

**Mayor estabilidad:** La encapsulación protege el compuesto encapsulado de la degradación química, física o biológica, aumentando su estabilidad y prolongando su vida útil.

**Control de liberación:** Facilita la regulación y distribución controlada de la sustancia activa encapsulada en el momento y lugar específico deseado. Esto puede ser gradual, sostenido o controlado por factores externos como temperatura, cambios de pH, entre otros.

**Mejora de la solubilidad:** Puede incrementar la capacidad de disolución de compuestos que son poco solubles en agua u otros solventes, lo que facilita su administración o aplicación en diferentes medios.

**Protección del compuesto:** Ayuda a proteger el compuesto encapsulado de la interacción con otros componentes del medio, evitando su degradación o inactivación prematura.

**Mayor eficacia terapéutica:** En el campo farmacéutico, la nanoencapsulación puede aumentar la eficacia terapéutica al dirigir los fármacos a áreas específicas del cuerpo, reduciendo la dosis necesaria y minimizando los efectos secundarios.

**Posibilidad de combinación de compuestos:** Permite la combinación de diferentes compuestos en una única nanoestructura, lo que puede potenciar sus efectos terapéuticos o funcionales.

**Versatilidad de aplicaciones:** Debido a sus propiedades, la nanoencapsulación se puede aplicar en una gran gama de materias, desde la liberación controlada de fármacos hasta la mejora de la estabilidad de nutrientes en alimentos o la protección de fragancias en cosméticos.

Estas características hacen que la nanoencapsulación sea una técnica muy prometedora en varios campos, ofreciendo soluciones innovadoras para mejorar la efectividad y la aplicabilidad de una amplia gama de compuestos y productos.

### ***Principales Materiales de la Nanoencapsulación***

**Polímeros biodegradables:** PLGA (poli(láctido-co-glicólido)) Es un polímero es muy común en la nanoencapsulación debido a su biocompatibilidad y capacidad de degradación. Otros polímeros como poli-ε-caprolactona (PCL), polihidroxialcanoatos (PHA) y poliésteres poliácidos también se utilizan en la encapsulación de compuestos (Makadia y Siegel, 2011).

**Lípidos y fosfolípidos:** Liposomas son estructuras vesiculares formadas por bicapas lipídicas utilizadas en la encapsulación de fármacos y otros compuestos. También Fosfolípidos tales como fosfatidilcolina y fosfatidiletanolamina, que forman estructuras lipídicas como

liposomas o micelas para la encapsulación de compuestos lipofílicos e hidrofílicos. (Bangham et al., 1965).

**Proteínas:** La caseína es una proteína que se encuentra en la leche, empleada en la nanoencapsulación de nutrientes y fármacos como también la BSA (albúmina de suero bovino) otra proteína común utilizada para encapsular compuestos bioactivos (Xu et al., 2023).

**Ciclodextrinas:** -Ciclodextrina: Utilizada para formar inclusiones con compuestos hidrofóbicos, mejorando su solubilidad y estabilidad (Loftsson & Duchene, 2007).

**Nanopartículas metálicas:** Nanopartículas de oro son utilizadas en aplicaciones biomédicas, como vehículos para la entrega de fármacos. Por otro lado, las nanopartículas de sílice se emplean como agentes encapsulantes para proteger compuestos activos y mejorar su solubilidad (Dreaden, 2012).

**Emulsiones y microemulsiones:** Tensioactivos y surfactantes son agentes se utilizan para formar emulsiones y microemulsiones, encapsulando compuestos en gotas de tamaño nanométrico.

**Dendrímeros:** Polímeros dendríticos son estructuras ramificadas con múltiples sitios para la encapsulación de compuestos.

**Figura 16**

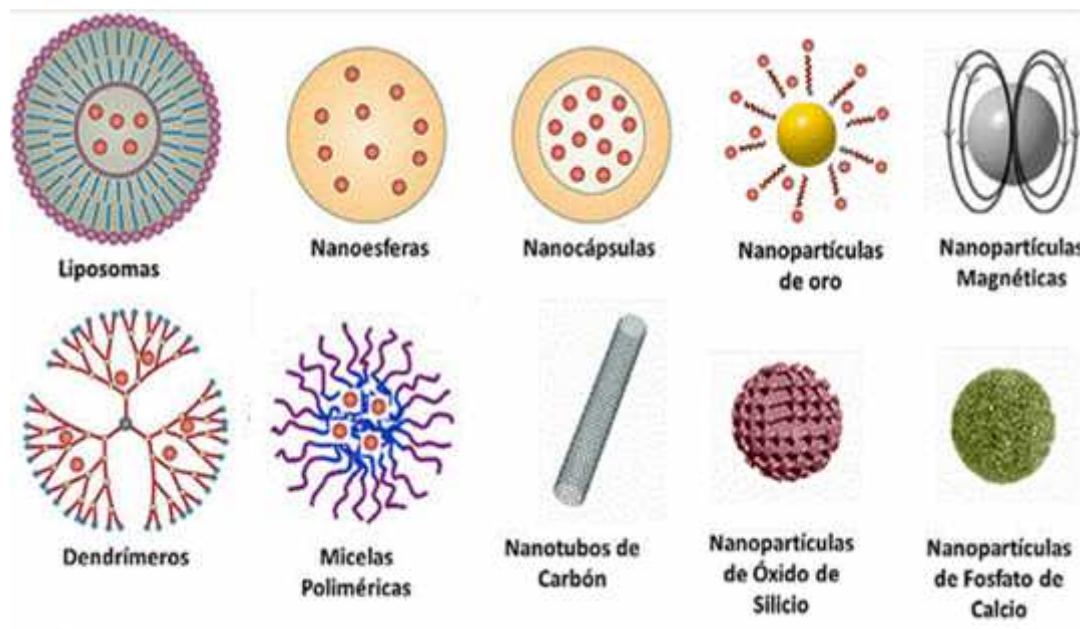
*Características de Nanomateriales Usados en Aplicaciones Biológicas e Industriales*



*Fuente.* Lira (2018)

**Figura 17**

*Nanocápsulas, Nanocargadores o Sistemas de Liberación Controlada*



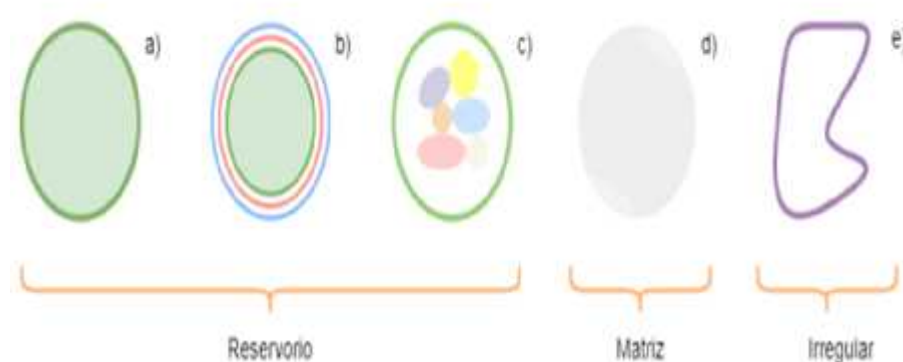
*Fuente.* Alcalá – Alcalá y Quintanar - Guerrero (2014)

Estos agentes encapsulantes se seleccionan según las propiedades del compuesto a encapsular, las condiciones de aplicación y las características requeridas para la liberación controlada de los compuestos encapsulados.

Según el material y el método de encapsulación empleado, los sistemas encapsulados experimentaron variaciones en su estructura. Comúnmente, se encuentran sistemas tipo reservorios que consisten en un núcleo rodeado por una o varias capas de material encapsulante, dentro de las cuales se encuentra la sustancia activa. A menudo, estos sistemas adoptan una forma esférica, aunque también pueden presentar formas no esféricas o irregulares (Fernández, 2022).

### **Figura 18**

*Formas de las Nanocápsulas.*



*Fuente.* Fernández (2022)

### **Principales Técnicas de Encapsulación**

Como se conoce esta es una práctica poco usual por su falta de conocimiento y además por ser costosa gracias a los equipos necesarios para realizarla, sin embargo, existen diferentes técnicas para realizar una encapsulación a continuación mostraremos las principales.

### ***Encapsulación por Coacervación Simple y Compleja***

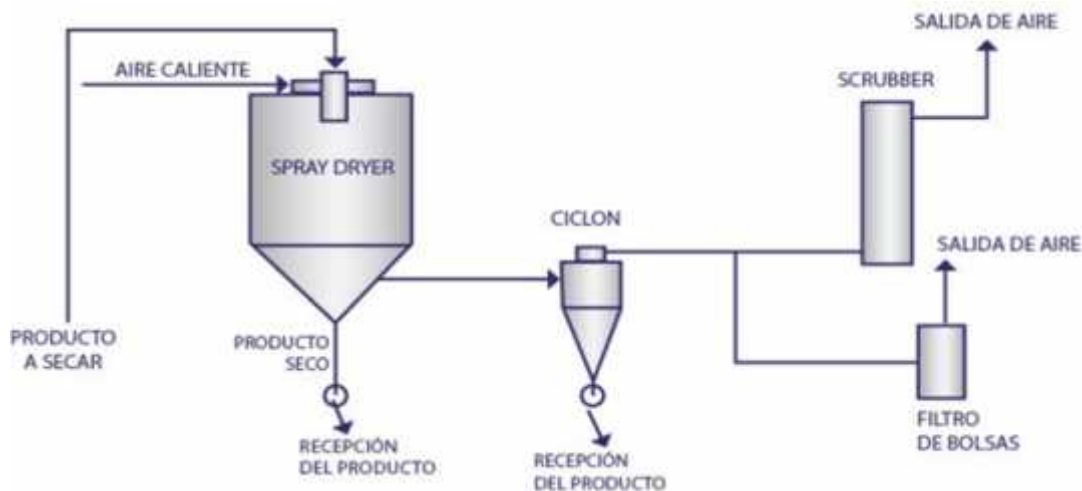
En la técnica de encapsulación por coacervación simple de un polielectrolito, se induce la segregación de fases mediante la neutralización automática de cargas, generalmente con la adición de sal o alcohol. Por otro lado, en la coacervación compleja, se requiere la interacción de al menos dos biopolímeros con cargas opuestas. Es necesario equilibrar diversos parámetros, como la concentración, proporción relativa entre los biopolímeros, temperatura, pH, fuerza iónica y densidad de carga, para lograr una separación de fases eficiente. (Solmeglas, 2022).

### ***Secado por Aspersión***

Esta técnica de encapsulación es una de las más tradicionales y comúnmente empleadas en la industria alimentaria. Es un método versátil, continuo y rentable que genera partículas de alta calidad. Esta cualidad es muy valorada en términos de la percepción sensorial y la textura del producto final. Además, esta técnica es ideal para materiales sensibles al calor ya que la exposición a altas temperaturas es breve (5-30 segundos).

En este proceso, la evaporación del solvente es veloz y la captura de los compuestos de interés sucede prácticamente al instante. El secado por aspersión se define como una operación unitaria en la cual un líquido se atomiza en una corriente de gas caliente para transformarse instantáneamente en polvo. El gas utilizado generalmente es aire, aunque ocasionalmente puede ser un gas inerte como el nitrógeno. El líquido inicial alimentado al atomizador puede ser una solución, emulsión o suspensión. El secado por aspersión tiene la capacidad de generar tanto polvos finos, con partículas de 10 a 50  $\mu\text{m}$ , como partículas de mayor tamaño, llegando incluso a 2 a 3 mm. (Sandoval-Peraza et al., 2017, p. 191)

Todo lo anterior es tenido en cuenta para que el microencapsulado sea el óptimo.

**Figura 19***Proceso secado por Aspersión*

*Fuente.* CIMA. Industries Inc. (s.f.).

***Aspersión en Frío o Congelación.***

Las tecnologías de aspersión a temperaturas reducidas son métodos que generan agentes activos recubiertos con lípidos. Estas técnicas pueden ser utilizadas en las siguientes situaciones:

La dispersión de ingredientes solubles en agua en una grasa fundida o cera.

La disolución del agente en el lípido.

La suspensión del principio activo como partículas sólidas o como emulsión acuosa.

La discrepancia que hay entre las 2 aspersiones es que el punto en el cual los lípidos se funden puede cambiar. Es decir, la aspersión por frío se hace por medio de inyectores con un punto de fusión de 32-42°C y se somete a la temperatura ambiente a través de una cámara de calor con el punto de fusión a 45 y 122°C

Por otro lado, las temperaturas de congelación implican la mezcla del material a encapsular con el transportador y su atomización mediante aire frío. Las microcápsulas se

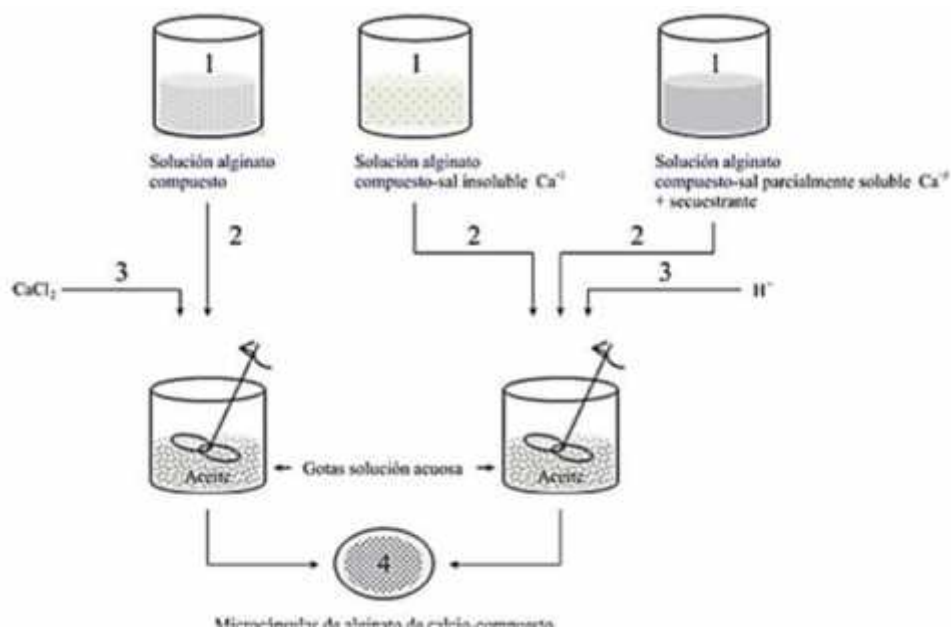
generan al nebulizar la emulsión o suspensión que contiene el material de la pared, siendo la sustancia activa tanto sólida como líquida. Generalmente, se utilizan aceites vegetales como revestimiento. La disminución de la temperatura provoca la solidificación del líquido de recubrimiento y la retención de la sustancia activa en el núcleo de la cápsula. (Sandoval-Peraza et al., 2017, p. 192)

Este método es muy aplicado sin embargo tiene algunos problemas como que las partículas son grandes para una micro o nano encapsulación además de que su morfología no puede ser controlada por esta razón se busca el siguiente método.

### ***Emulsión***

Esta técnica puede emplearse para micronizar y encapsular compuestos sensibles a nivel micro y nano, como fármacos (para su protección y/o liberación controlada), nutrientes, ingredientes bioactivos y probióticos (para su inclusión en alimentos funcionales).

Esta técnica aprovecha el CO<sub>2</sub> supercrítico para extraer la fase orgánica de una emulsión acuosa que contiene el compuesto a micronizar. Al eliminar el solvente, las partículas se precipitan y quedan suspendidas en el agua. Para producir encapsulados, se utiliza una variante de este método. Tanto el compuesto activo como el material de recubrimiento se disuelven en la fase orgánica. Al retirar el solvente orgánico, el material de recubrimiento precipita junto con el compuesto, dando lugar a una suspensión de micro y nanocápsulas en agua.

**Figura 20***Nanoencapsulación por Emulsión*

Fuente. Lupo et al. (2012)

**Liofilización**

La técnica de liofilización es idónea para encapsular microorganismos sensibles al calor. Consiste en congelar el producto y luego eliminar el agua mediante sublimación bajo vacío, lo que resulta en una pasta seca que ayuda a preservar el producto con el paso del tiempo. (Rodríguez-Barona et al., 2016, p. 136)

La liofilización posibilita la encapsulación de una amplia gama de materiales biológicos al reducir la velocidad de las reacciones químicas y prevenir la degradación debido a las temperaturas.

**Gelificación Iónica**

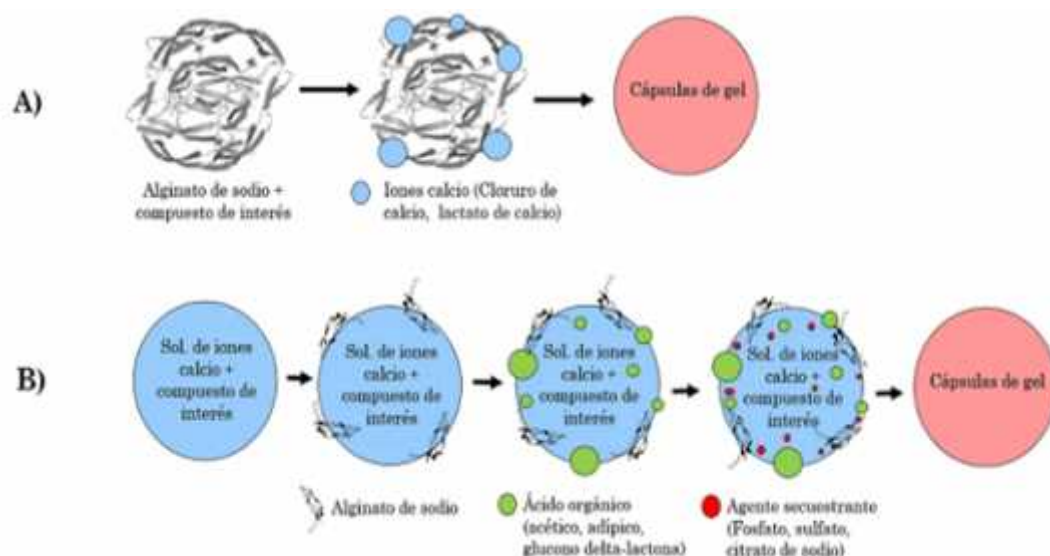
La gelificación iónica es un procedimiento en el que un polisacárido como el alginato, la pectina o el quitosano, disuelto en agua o en un medio ácido, se incorpora gradualmente

mediante goteo mientras se agita constantemente, en una solución que contiene un contraión, como  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{BaCl}_2$  u otros. Debido a la complejización entre especies de cargas opuestas, el polisacárido sufre una gelificación iónica y precipita formando partículas esféricas.

Este método, que ha sido objeto de amplia investigación, tiene ventajas sobre otros en la medida en que prescinde del uso de altas temperaturas, solventes orgánicos o procedimientos drásticos. (Salgado, 2019, p.13).

**Figura 21**

*Representación Gráfica de Gelificación Iónica Externa (A) e Interna (B)*



Fuente. Ortiz-Romero et al. (2021)

### Usos de la Nano encapsulación en la Industria Alimentaria

“La nanotecnología puede ser usada para preparar, producir, transformar, envasar alimentos innovadores además de adicionar nuevos ingredientes o aditivos con una función determinada ya sea como antimicrobianos, antioxidantes, mejoradores de textura y enmascaradores de sabores” (Ojeda et al., 2019, p. 4e).

También se puede generar o crear un alimento con perfiles específicos desde la parte nutricional hasta sabores y olores determinados. Todo esto para responder a una necesidad específica individual. No obstante, también puede hacerse a nivel industrial elaborando alimentos interactivos según la demanda del consumidor.

La nanotecnología está introduciendo una nueva generación de plaguicidas, reguladores del crecimiento vegetal y fertilizantes químicos que potencialmente podrían ser más efectivos que los utilizados en la actualidad. Además, es probable que la nanotecnología se extienda a la ingeniería genética de cultivos al proporcionar nuevas herramientas de manipulación genética. Las compañías agroquímicas han reducido el tamaño de las partículas de las emulsiones químicas existentes a dimensiones nanoscópicas o han encapsulado los ingredientes activos en nanocápsulas diseñadas para liberarse bajo condiciones específicas. (Lugo-Medina et al., 2010, p. 64)

Como antes se nombran los plaguicidas también este recurso de la nanoencapsulación se usa para retrasar la germinación de semillas, procesos de tratamiento de aguas dirigidos a mejorar la estabilización, encapsulación y absorción de contaminantes como el petróleo. (Rodríguez, 2016).

En el ámbito culinario, se emplea para producir combustible biodiésel a partir del aceite vegetal usado. (García-Díaz et al., 2013).

Por otro lado, en el envasado de alimentos también es relevante la nano encapsulación, pero antes debemos conocer qué es un envase; su principal objetivo es brindar protección y la conservación de la calidad y las propiedades del alimento desde la producción hasta el consumo final. También hace de contenedor que facilita el transporte del producto y éste debe ser atractivo y de uso sencillo para el consumidor.

Hasta el día de hoy la adición de nanodispositivos en el envasado busca optimizar sus funciones mediante el uso de nanocompuestos como material para envases o recubrimientos. Esto permite regular el intercambio de gases, temperatura, humedad, flexibilidad, resistencia mecánica, entre otros aspectos. En términos generales, los nanocompuestos no alteran la fluidez o densidad de la película, ni afectan su transparencia, lo que conlleva la ventaja adicional de ser reciclables y contribuir a la reducción de la contaminación ambiental. Además de admitir “la incorporación de compuestos antimicrobianos, antioxidantes, absorbedores de O<sub>2</sub> y vapor de agua y detectar información importante acerca del alimento como su frescura, temperaturas, entre otros” (Ojeda et al., 2019, p. 6e).

### ***Impacto de la Nano encapsulación de los Alimentos en el Medio Ambiente***

Puede ayudar a reducir el desperdicio de alimentos. La nano encapsulación puede proteger los ingredientes alimenticios de la oxidación, la degradación y la contaminación, lo que puede ayudar a extender la vida útil de los alimentos. Esto podría contribuir a disminuir la cantidad de alimentos que se desperdician.

También puede ayudar a mejorar la productividad de alimentos, es decir, puede ayudar a los fabricantes de alimentos a utilizar ingredientes de manera más eficiente. Por ejemplo, la nano encapsulación se puede utilizar para encapsular nutrientes, lo que puede ayudar a los fabricantes de alimentos a utilizar menos nutrientes en sus productos.

Esta tecnología podría contribuir a disminuir la cantidad de aditivos utilizados que se liberan al medio ambiente. Por ejemplo, la nano encapsulación se puede utilizar para encapsular conservantes, lo que también ayudaría a la disminución de la cantidad de conservantes que se utilizan en los alimentos.

## **Aplicaciones Desarrolladas en la Industria de Alimentos**

### ***Nano encapsulación de Plaguicidas***

En el ámbito de los agroquímicos, la nanotecnología está presentando nuevas opciones de fertilizantes, plaguicidas y reguladores del crecimiento vegetal que podrían ser potencialmente más efectivos que los que se utilizan en la actualidad. Esto sugiere que la nanotecnología podría expandirse hacia la ingeniería genética de cultivos al proporcionar nuevas herramientas de manipulación genética.

Por otro lado, gracias a la investigación y al continuo avance tecnológico, las empresas agroquímicas han logrado reducir el tamaño de las partículas de las emulsiones existentes, llevándolas a una escala nanométrica. Además, han comenzado a encapsular los ingredientes activos en nano cápsulas que pueden activarse bajo ciertas condiciones, como la exposición a la luz solar, el calor, condiciones alcalinas en el tracto digestivo de un insecto o simplemente al contacto con el agua. (Lugo-Medina et al., 2010)

Según Mousavi y Rezaei (2011), varias compañías han generado nuevas formulaciones donde sus nanopartículas oscilan de 100 a 250 nm esto generando una mayor efectividad en su disolución en líquidos aún más que las formulaciones tradicionales existentes. Algunas empresas utilizan nanoemulsiones, que pueden ser a base de agua o aceite y contienen suspensiones homogéneas de nanopartículas de pesticidas o herbicidas en un rango de tamaño que va desde los 200 a los 400 nanómetros.

Hay diferentes empresas que desarrollan químicos agroindustriales o que en su defecto se encuentran investigando la adición de nanomateriales manufacturados a plaguicidas, fertilizantes y tratamientos a semillas sin embargo esto sigue siendo un riesgo a largo plazo al desconocer las consecuencias del uso de estos. En el cuadro vemos el desarrollo de los nano agroquímicos.

**Tabla 1***Nano Agroquímicos en Desarrollo*

<b>Producto</b>	<b>Fabricante</b>	<b>Componente</b>	<b>Finalidad</b>
<b>Fertilizante - plaguicida</b>	Programa de cooperación científico técnico Pakistán EE.UU	Cápsula de nano arcilla que contiene estimulantes de crecimiento y agentes de biocontrol	Liberación lenta de ingrediente activo
<b>Herbicida</b>	Universidad Agrícola Tamil Nadu (India) y Tecnológico de Monterrey (México)	Nano formulado	Degrada el revestimiento de semillas de malezas en suelo, evitando su generación
<b>Plaguicida - herbicida</b>	Organización de Investigación Científica e Industrial del Commonwea Ith de Australia	Nano cápsulas	Mejora su potencia y permite la liberación controlada del ingrediente activo

*Fuente.* Lugo-Medina et al. (2010)

En cuanto a las ventajas y desventajas podemos encontrar que la aplicación de las nano formuladas en comparación a las convenciones es que, las nano formuladas tienen:

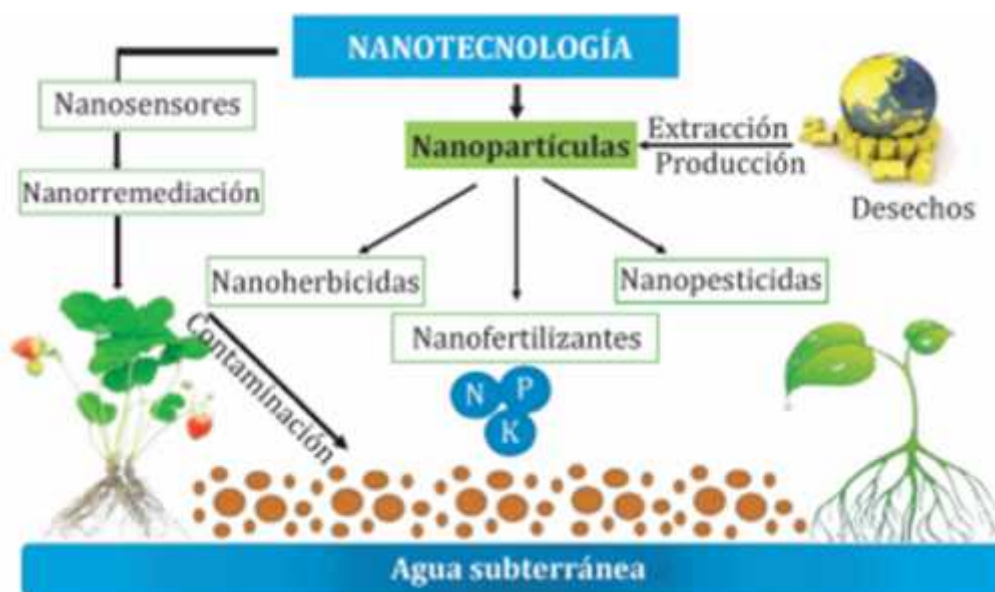
- Mayor capacidad de control de la liberación a condiciones específicas.
- Conservación del medio ambiente.
- Mayor toxicidad.
- Mayor biodisponibilidad para llegar a plagas determinadas.
- Mayor resistencia al terreno.

Por otro lado, las convencionales desarrollan más fácilmente una contaminación en los suelos y fuentes hídricas donde se aplican.

La nanotecnología tiene un papel fundamental en el mucho de la agroindustria haciendo ramificaciones en la encapsulación de nano herbicidas (permiten la eliminación de diferentes plantas que pueden dañar el cultivo), nano fertilizantes (aumentan las capacidades de crecimiento de los cultivos) y nano pesticidas (eliminan las plagas)

## Figura 22

### Aplicaciones Potenciales de la Nanotecnología



Fuente. Lira et al. (2018)

Nota: Posibles usos de la nanotecnología y las nanopartículas en la agricultura abarcan la producción de nanosensores, nanofertilizantes, nanopesticidas y nanoherbicidas.

En la imagen se muestra un mapa de los usos de aplicación de la nanotecnología en la industria agrícola.

### *Nano encapsulación en Alimentos*

Los alimentos catalogados como funcionales son aquellos que de manera natural o procesada están enriquecidos con actividad biológica es decir tienen capacidad de producir efectos antimicrobianos, antiinflamatorios, antioxidantes o inmunomoduladores. De esta manera podemos decir que pueden mejorar el estado de salud del consumidor tiempo después de ser ingeridos (Zare et al., 2021).

**Tabla 2**

*Principales Compuestos Bioactivos (CB).*

<b>Categoría</b>	<b>Fuente de comida</b>	<b>Ejemplos</b>	<b>Algunos beneficios de salud asociados</b>
<b>Probióticos</b>	Yogur, masa madre, kimchi, chucrut, suero orgánico, pan, leche, queso.	Lactobacillus plantarum, lactobacillus sp, lactobacillus casei y bifidobacterium	Modulación de firmas microbianas de salud y enfermedad, mejora del estado inmunitario y salud intestinal
<b>Péptidos bioactivos</b>	Pescado, carne, leche, plantas	Péptidos en leche, huevos y sardinas	Propiedades antihipertensivas
<b>Lípidos dietéticos</b>	Pescado, linaza, canola, calamares, krill, algas, plantas y semillas genéticamente modificadas	Ácido alfa-linolénico, ácido eicosapentaenoico	Reducción del riesgo aterosclerosis, mejora de la salud cardiovascular, mejora de la cognición y la salud cerebral, reducción del riesgo de ciertos tipos de cáncer

<b>Categoría</b>	<b>Fuente de comida</b>	<b>Ejemplos</b>	<b>Algunos beneficios de salud asociados</b>
	Gasa de leche	Ácido linolénico conjugado	Reducción del riesgo aterosclerosis, propiedades anticancerígenas, inmunomoduladores y antiinflamatorias
<b>Vitaminas</b>	Frutas, productos lácteos, verduras y carne	Vitamina A, C, D, E, K, B1, B3, B6, B9, B11	Gama de beneficios para la salud
<b>Minerales</b>	Usualmente disponibles como sales	Zinc, calcio, hierro, magnesio, fósforo	Gama de beneficios para la salud
<b>Compuestos fenólicos y polifenoles</b>	Vino, aceitunas, te, granadas, cacao, verduras, semillas de uvas y semillas	Flavonas, flavonoles, catequinas, curcuminoides, ácidos fenólicos de resveratrol	Reducción del estrés oxidativo, protección frente a enfermedades cardiovasculares, neurodegenerativas, metabólicas y cáncer
<b>Carotenoides</b>	Verduras de hoja verde, microalgas, caléndula, zanahorias, tomates.	Antoxantina luteína, licopeno, betacaroteno	Protección contra el cáncer, enfermedades cardíacas y degeneración macular relacionada con la edad y cataratas

*Fuente.* Fernández (2022)

Nota: Los principales compuestos bioactivos (CB) de importancia para la industria alimentaria y sus efectos beneficiosos para la salud. Adaptada con permiso de Zare *et al.*, 2021.

En la figura anterior se hace mención de la tabla que muestra los principales CB (compuestos bioactivos) que se usan en las industrias de alimentos y sus respectivos beneficios a la salud.

Tampoco es prudente decir que no tiene consecuencias puesto que al utilizar estos CB en los alimentos trae consigo:

Los compuestos bioactivos (CB) tienden a volverse inestables cuando se exponen a la luz, altas temperaturas u otros factores ambientales durante el procesamiento, almacenamiento o consumo de alimentos.

Cuando los compuestos bioactivos se degradan o se añaden a los alimentos, pueden provocar sabores u olores no deseados.

También pueden surgir problemas relacionados con la solubilidad en agua de los CB o con su biodisponibilidad limitada.

Los alimentos tratados para incorporar CB pueden cambiar la estructura del alimento o los CB que ya contienen naturalmente.

### ***Nano encapsulación en Envases de Alimentos***

La forma más directa de mantener las propiedades organolépticas es mediante el envasado de los alimentos, es decir, mantiene la seguridad y la calidad de los alimentos puesto que proporciona una defensa contra los efectos ambientales, la contaminación microbiana y agentes físicos o químicos (Munteanu & Vasile, 2021).

Un claro ejemplo de la nano encapsulación aplicada en los envases de alimentos fue la adición cápsulas de té verde que es un antioxidante captador de radicales libres en un envase bioactivo de carne fresca donde luego de pasar varios días se comprobó significativamente por

medio de una evaluación sensorial que era mejor conservada en este envase que en el convencional (Barrios, 2019).

En la siguiente tabla se encuentran ejemplos de alimentos que fueron envasados con agentes antimicrobianos encapsulados.

**Tabla 3**

*Ejemplos de Alimentos en Envases Bioactivos que Contienen Agentes Antimicrobianos Encapsulados.*

<b>Alimento</b>	<b>Agentes antimicrobianos</b>	<b>Encapsulante</b>	<b>Microorganismos Diana</b>	<b>Principales hallazgos</b>
<b>Queso</b>	Aceites esenciales de dos especies: <i>Rosmarinus officinalis</i> y <i>Laurus nobilis</i>	Nano fibras de zeína	<i>Staphylococcus aureus</i> y <i>Listeria monocytogenes</i>	Ambos mostraron actividad microbiana
<b>Carne de pollo</b>	Liposoma de aceite de árbol de té	Quitosano	<i>Salmonella enteritidis</i> y <i>S. typhimurium</i>	Se observaron elevadas reducciones de Salmonella en la carne por el tratamiento con liposomas de nano fibras de quitosano, sin variaciones en las propiedades organolépticas
<b>Filetes de pechuga de pollo</b>	Aceite de oliva virgen, aceite de pepita de uva y aceite esencial de ajedrea	Gelatina-Pectina	<i>Staphylococcus aureus</i> y <i>salmonella typhimurium</i> y <i>pseudomonas fluorescens</i>	El aceite esencial de ajedrea presentó mayor actividad antimicrobiana y la mezcla de ellos reveló una actividad antimicrobiana de 12 días de almacenamiento

<b>Alimento</b>	<b>Agentes antimicrobianos</b>	<b>Encapsulante</b>	<b>Microorganismos Diana</b>	<b>Principales hallazgos</b>
<b>Carne de cordero</b>	Aceite de romero al 2%	Nanofibras de celulosa/Matriz de proteína de suero que contiene partículas de dióxido de titanio	<i>Escherichia coli</i> , <i>salmonella</i> <i>enteritidis</i> , <i>listeria</i> <i>monocytogenes</i> y <i>staphylococcus aureus</i>	El envase activo redujo significativamente el crecimiento microbiano y la lipólisis de la carne de cordero durante el almacenamiento
<b>Tomates cherry</b>	Canela	Quitosano en la capa exterior y alginato de sodio y almidón en la capa intermedia	<i>Escherichia coli</i> y <i>staphylococcus aureus</i>	Presentó altas tasas de inhibición de ambos microorganismos. también aumentó la frescura y disminuyó la tasa de pérdida de peso en dos semanas
<b>Pepino</b>	Aceite de clavo	Quitosano	<i>Escherichia coli</i>	Mostró reducciones de las biopelículas de <i>E. coli</i> manteniendo el color y el sabor durante más de 4 días
<b>Fresas</b>	Tomillo	Nano fibras porosas de ácido poli láctico recubiertas con mezclas de alcohol	<i>Escherichia coli</i> y <i>staphylococcus aureus</i>	Las fresas envasadas con esta película exhibieron una mejor frescura y más del 99% de actividad antimicrobiana contra estas bacterias

*Fuente.* Fernández (2022).

Nota: Ejemplos de productos alimenticios en envases bioactivos que incluyen agentes antimicrobianos encapsulados. *Adaptada con permiso de Baghi et al., 2022*

Según la Zimet (2019), se desarrolló la incorporación de nanopartículas de nisina a películas alimentarias con el fin de desarrollar envases alimentarios activos de nueva generación.

Indicó que hay estudios posteriores donde los liposomas de NIS y nanoarcilla a películas de gelatina y caseinato muestran una actividad antimicrobiana contra *L. monocytogenes*, *C. perfringens* y *B. cereus* (Boelter & Brandelli, 2016).

En este estudio se obtuvieron como resultados que:

Las nanopartículas cargadas con NIS no solo retrasaron el crecimiento de *L. monocytogenes* sino que también mostraron una actividad sostenida a lo largo del tiempo.

La aplicación de nanopartículas conteniendo NIS permitiría utilizar concentraciones de NIS más bajas respecto a la que se requeriría si ésta estuviera sin encapsular, para obtener el mismo efecto antibacteriano en carne vacuna.

Podemos decir que la adición de NIS (nisina) en nanocápsulas a películas de quitosano es una gran entrada a los envases bioactivos de nueva generación y podrán tener una gran repercusión en la duración de los alimentos cárnicos.

También el desarrollar envases biodegradables gracias a la nano encapsulación de *Rhizobium gumi philus* en el plástico de las botellas haciéndolas más amigables con el ecosistema, además de nuevos empaques para llevar como bolsas, sobres, cubiertos entre otros.

### **Beneficios de la nano encapsulación**

Cuando discutimos los beneficios de la nanotecnología y la nano encapsulación en la agricultura, nos referimos a la optimización del rendimiento del suelo al reducir la necesidad de fertilizantes y pesticidas. La aplicación de la nano encapsulación en los fertilizantes permite un control preciso sobre la liberación de los nutrientes contenidos en ellos. En otras palabras, solo se

liberan los nutrientes que los cultivos realmente absorberán, evitando pérdidas de nutrientes. (Food News Latam, 2015).

Por otro lado, en cuanto al uso de pesticidas con ayuda de la nanoencapsulación permitirá que de igual manera como con los nutrientes estos hagan efecto en las zonas necesarias y en el momento adecuado para evitar afectaciones en el cultivo, tierra o el alimento.

La estabilidad y protección de los alimentos es fundamental en la industria alimentaria. La nanoencapsulación permite proteger los ingredientes activos sensibles, como vitaminas, antioxidantes, aceites esenciales y compuestos bioactivos, de las condiciones adversas, como la oxidación, la luz, el calor y la humedad. Los materiales de encapsulación actúan como una barrera protectora, lo que aumenta la vida útil de los ingredientes y mantiene su calidad y eficacia. Como el ejemplo anterior se menciona que hay una liberación controlada de los ingredientes o aditivos encapsulados permitiendo que se liberen gradualmente en el momento y lugar acordado generando una biodisponibilidad acertada. Otro ejemplo es que ciertos nutrientes pueden liberarse en el intestino gradualmente para mejorar la asimilación del organismo.

La solubilidad y dispersión son mejoradas al encapsular ingredientes hidrofóbicos en partículas nanoestructuradas, la nano encapsulación puede mejorar su solubilidad en medios acuosos y su dispersión en sistemas alimentarios. Esto facilita su incorporación en una gama de productos alimentarios y mejora la apariencia, textura y sabor de los alimentos fortificados.

Las interacciones no deseadas son un problema del pasado gracias a esta técnica ya que ciertos bioactivos entrando en contacto con algunos componentes de los alimentos pueden reaccionar alterando las características organolépticas como olor, sabor, textura e incluso el tiempo de vida de estos también nos permite evitar el contacto de los manipuladores con respecto a aditivos nocivos para la salud como pueden serlo los pesticidas.

La nano encapsulación tiene el potencial de mejorar la estabilidad y la disponibilidad biológica de los ingredientes bioactivos lo que potencialmente aumenta su actividad en el cuerpo humano, es decir mejora la bioactividad. Esto puede tener beneficios para la salud, ya que los ingredientes encapsulados pueden tener una mayor eficacia en la prevención de enfermedades o en la mejora de funciones fisiológicas específicas.

### **Desventajas de la Nano encapsulación**

También existen grandes contras que hacen ver la nano encapsulación como algo no viable ya que el costo de esta tecnología es muy elevado ya que es necesario hacer uso de equipos y procesos especializados. Limitando la viabilidad económica para realizar esta técnica a gran escala.

De la mano de viabilidad económica viene la escalabilidad limitada en donde el generar nano cápsulas a gran escala es un desafío puesto que no se puede comprometer la calidad y estabilidad de las nano cápsulas.

La consistencia de las nano cápsulas puede cambiar fácilmente ya que son sensibles a factores ambientales como temperatura, humedad y la luz generando que no sea controlada la liberación de la sustancia, aditivo o ingrediente encapsulado. Se ha demostrado que las nanopartículas son seguras, pero a largo plazo podrían ser tóxicas generando efectos adversos para la salud.

### **Regulaciones y Normativas para la Nano encapsulación en la Industria de los Alimentos**

#### ***General***

Los ingredientes nano encapsulados deben cumplir con las regulaciones generales de seguridad alimentaria establecidas por las agencias que son asignadas por los gobiernos, como la FDA (Administración de Alimentos y Medicamentos) en Estados Unidos, la EFSA (Autoridad

Europea de Seguridad Alimentaria) en la Unión Europea o la CFIA (Agencia Canadiense de Inspección de Alimentos) en Canadá. Esto incluye la evaluación de riesgos para garantizar los materiales utilizados.

Las regulaciones suelen requerir que los fabricantes etiqueten los productos alimenticios que contienen ingredientes nanoencapsulados de manera clara y precisa. Esto puede incluir la lista de ingredientes con la designación específica de "nanoencapsulado" o información sobre el proceso de encapsulación si se considera relevante para la seguridad o la calidad del producto.

Algunos países tienen listas de ingredientes aprobados para su uso en alimentos, y la nanoencapsulación puede implicar nuevos ingredientes o formulaciones que requieran exámenes y autorización por parte de las entidades reguladoras.

Los fabricantes pueden necesitar proporcionar datos e investigaciones que respalden la seguridad y la efectividad de la nanoencapsulación en alimentos. Esto puede incluir estudios de toxicidad, estabilidad y cualquier efecto sobre la calidad nutricional del alimento (Casa de su Majestad el Rey, 2014).

### ***Internacionales***

En la Unión Europea, la nanoencapsulación de alimentos está regulada por la Reglamentación (UE) 2015/2283 sobre la aplicación de nanomateriales. Esta reglamentación define un nanomaterial como "una partícula con una o más dimensiones externas comprendidas entre 1 y 100 nanómetros". La reglamentación establece que los nanomateriales utilizados en alimentos deben ser evaluados para garantizar su seguridad antes de su comercialización (Diario Oficial de la Unión Europea, 2015).

En los Estados Unidos, la nanoencapsulación de alimentos está regulada por la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA). La FDA ha desarrollado un marco para la

regulación de los nanomateriales en alimentos. Este marco establece que los nanomateriales utilizados en alimentos deben cumplir con los mismos requisitos de seguridad que los materiales a gran escala (Merck, s.f.).

En otros países, las regulaciones para la nano encapsulación de alimentos están en desarrollo. Sin embargo, en general, las regulaciones de estos países se basan en las regulaciones de la Unión Europea o de los Estados Unidos.

Además de las regulaciones gubernamentales, también existen algunas pautas voluntarias que se aplican a la nano encapsulación de alimentos. Estas pautas son desarrolladas por organizaciones internacionales, como la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Las pautas de la FAO/OMS para la nano encapsulación de alimentos establecen que los fabricantes de alimentos deben proporcionar información sobre la seguridad de los nanomateriales utilizados en sus productos. Esta información debe incluir los datos de toxicidad, los estudios de exposición y los resultados de las evaluaciones de riesgos (Gobierno de México, s.f.).

## Consideraciones

### Producción de Alimentos Antes y Después de la Nano encapsulación

Antes de la nano encapsulación la consistencia y durabilidad era limitada. Algunos ingredientes activos o compuestos sensibles, como vitaminas, antioxidantes o aceites esenciales, pueden ser inestables y propensos al deterioro cuando se exponen al oxígeno, la luz o la humedad durante la producción, el almacenamiento o la manipulación de alimentos.

En algunos casos la incorporación de ingredientes activos en la matriz de alimentos puede ser complicada debido a su incompatibilidad con otros ingredientes o a la necesidad de altas concentraciones.

Lograr la liberación oportuna y precisa de ingredientes activos puede ser un desafío, lo que restringe su capacidad para mejorar la calidad del producto final.

Después de la nano encapsulación la estabilidad mejora protege los ingredientes activos de variables externas como la humedad, la luz y el oxígeno, lo que aumenta significativamente su estabilidad y vida útil. Esto permite la producción de alimentos con ingredientes más sensibles sin preocuparse tanto por la degradación.

Los ingredientes nano encapsulados suelen ser más fáciles de incorporar en la formulación de alimentos debido a su naturaleza encapsulada, lo que facilita su mezcla con otros ingredientes y evita problemas de incompatibilidad.

La nano encapsulación permite una liberación controlada de los ingredientes activos en el producto final. Esto puede ser especialmente útil en alimentos funcionales, donde se busca una liberación gradual de nutrientes o compuestos beneficiosos en el organismo.

En algunos casos, la nano encapsulación puede aumentar la biodisponibilidad de los ingredientes activos, lo que significa que el organismo puede absorber y utilizar mejor estos

compuestos. Esto puede tener beneficios para la salud en alimentos enriquecidos con nutrientes esenciales.

En resumen, la nano encapsulación ha revolucionado la producción de alimentos al mejorar la estabilidad de ingredientes sensibles, facilitar su incorporación en productos alimenticios y permitir una liberación controlada lo que ha dado lugar a una mayor diversidad de alimentos funcionales y enriquecidos en el mercado. Esta tecnología continúa siendo objeto de investigación y desarrollo en la industria alimentaria con el propósito de mejorar aún más la calidad y la eficacia de los alimentos que consumimos.

### **El Futuro de la Industria Alimentaria**

Es importante destacar que la nano encapsulación también plantea desafíos y preocupaciones, como la seguridad de los nanomateriales utilizados y la regulación de estos productos. Los reguladores de alimentos deben abordar estas situaciones antes de que la nano encapsulación se generalice en la industria de alimentos.

El futuro de esta industria con la nano encapsulación es prometedor, dado que esta tecnología tiene la capacidad de mejorar la calidad de los alimentos, la nutrición y la experiencia del consumidor. Sin embargo, también es necesario abordar cuestiones de seguridad y regulación para garantizar que los beneficios superen los posibles riesgos mediante capacitaciones, estudios, prácticas y normas que generen parámetros de producción.

### **Ética y Seguridad**

Una de las principales cuestiones éticas relacionadas con la nanoencapsulación de alimentos es la transparencia y la información al consumidor. Los consumidores tienen el derecho a conocer si los alimentos que adquieren o consumen contienen nanomateriales. Esto es

importante para que los consumidores puedan tomar decisiones conscientes sobre su salud y su bienestar.

También es importante el impacto ambiental. Los nanomateriales pueden ser liberados al medio ambiente durante la producción, el procesamiento, el consumo y la eliminación de los alimentos. Así que es importante evaluar el impacto ambiental de los nanomateriales antes, durante y después de su uso en la industria de alimentos.

En cuanto a la seguridad de la nanoencapsulación de alimentos se debe considerar que los nanomateriales pueden tener propiedades diferentes a las de los materiales a gran escala, lo que puede dar lugar a riesgos potenciales para la salud.

Por ejemplo, los nanomateriales pueden ser más absorbidos por el cuerpo que los materiales a gran escala. Esto puede aumentar el riesgo de efectos tóxicos a corto, mediano o largo plazo. Además, los nanomateriales pueden atravesar las barreras biológicas con mayor facilidad, lo que puede aumentar el riesgo de que lleguen a cualquier parte del cuerpo.

### **Retos de la Nanoencapsulación en la Industria de Alimentos**

La seguridad sigue siendo uno de los principales desafíos de la nanoencapsulación en la industria alimentaria. Los nanomateriales pueden ser tóxicos, por lo que es importante garantizar que sean seguros para el consumo humano. Para ello, es necesario realizar estudios de seguridad para evaluar la toxicidad de los nanomateriales y sus posibles efectos en la salud. Por otra parte, la escalabilidad es otro reto puesto que la producción de nanocápsulas a escala industrial es un desafío, ya que requiere procesos eficientes y de bajo costo. Por último, la nanoencapsulación puede ser costosa. Los materiales y procesos utilizados para la nanoencapsulación pueden elevar el precio de los alimentos así que es necesario realizar un buen costeo de los procesos y los materiales que se usarán para desarrollar esta técnica.

## Conclusiones

Al identificar la información y datos referentes a los usos y aplicaciones de la nano encapsulación en la industria de alimentos logramos comprender el funcionamiento de esta que implica en la encapsulación de ingredientes activos en nanoestructuras como nano cápsulas, nanopartículas o nano emulsiones que traen consigo diferentes reacciones que favorecen la industria de alimentos.

Esta tecnología permite aumentar la calidad de los productos puesto que facilita la interacción de componentes activos en el momento que sea necesaria su liberación. Los aromas, sabores, nutrientes, vitaminas y minerales pueden ser liberadas en el momento que se determine para mejorar la palatabilidad, adición de aditivos entre otros.

La nano encapsulación tiene como principales usos en la industria alimentaria la liberación exacta de diferentes activos viéndose aplicada en este gremio como en los pesticidas para cultivos, la industria láctea con sus lactobacillus, industrias de aditivos de uso alimentario y sin olvidar que toda la industria alimentaría ha mejorada por la calidad de producto con una mejoría en la obtención de estos.

En cuanto a las ventajas de esta tecnología aplicada en la industria de alimentos donde mejora la estabilidad, mayor biodisponibilidad para los cuerpos, gran control de la liberación de las cápsulas, mejoras en la palatabilidad y reducción de aditivos gracias a su control efectivo. Por otro lado, en las desventajas tenemos que la aplicación de esta técnica es costosa, es necesario tener buenos conocimientos ya que su aplicación es compleja, problemas de seguridad alimentaria ya que no hay muchas normativas que regulen el uso de esta técnica.

En conclusión, la nanoencapsulación de alimentos posee un enorme potencial para elevar la calidad y la funcionalidad de los productos alimenticios, así como para ofrecer soluciones

innovadoras en términos de formulación y desarrollo de productos. A medida que la tecnología avanza y se resuelven los desafíos relacionados con la escalabilidad, la seguridad y la regulación, es probable que veamos un aumento en su adopción en la industria alimentaria. Sin embargo, es fundamental continuar investigando y desarrollando esta tecnología de manera responsable para asegurar la seguridad de los productos finales para su consumo y cumplan con los estándares de calidad y regulación pertinentes.

## Referencias

- Alcalá-Alcalá, S., y Quintanar-Guerrero, D. (2014). La terapia a nano escala: ensamblaje de estructuras liberadoras de fármacos. *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología*, 7(12), 32-48.  
[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2448-56912014000100032&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2448-56912014000100032&script=sci_arttext)
- Almengor, L. (2009). Nanotecnología en la industria alimentaria. *Revista electrónica Facultad de Ingeniería - Universidad Rafael Landívar*. h
- Andrade, M. L., López, L. I., Sáenz, A. (2012). Nanotubos de carbono: funcionalización y aplicaciones biológicas. *Revista mexicana de ciencias farmacéuticas*, 43(3), 9-18.
- Assis, L. M. D., Zavareze, E. D. R., Prentice-Hernández, C., Souza-Soares, L. A. D. (2012). Revisão: características de nanopartículas e potenciais aplicações em alimentos. *Brazilian Journal of Food Technology*, 15, 99-109.  
<https://www.scielo.br/j/bjft/a/LKt5hYRHMhgQrzHZ4WdWxCp/?format=pdf&lang=pt>
- Bangham, A. D., Standish, M. M., & Watkins, J. C. (1965). Diffusion of univalent ions across the lamellae of swollen phospholipids. *Journal of molecular biology*, 13(1), 238-IN27.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022283665800936>
- Barrios, F. (2019). Estudios de encapsulación de polifenoles del té: Propiedades y estabilidad.  
<https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/36905/TFG-M-N1614.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Biotecnología y Nanotecnología al Instante. (2018). Nanopartículas revestidas de membranas celulares.

- Boelter, J. F., & Brandelli, A. (2016). Innovative bionanocomposite films of edible proteins containing liposome-encapsulated nisin and halloysite nanoclay. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 145, 740-747.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0927776516304179>
- Bondonno, M. (2019). BBC NEWS. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-49347782>
- Calvo, L. (s.f.). Formación de nanopartículas y nanoencapsulados mediante extracción supercrítica de emulsiones (ESE). Universidad Complutense de Madrid.
- Casa de su Majestad el Rey. (2014). Reunión de trabajo preparatoria sobre la conferencia internacional conjunta FAO/WHO sobre nutrición.  
[https://casareal.es/ES/Actividades/Paginas/actividades\\_actividades\\_detalle.aspx?data=11975](https://casareal.es/ES/Actividades/Paginas/actividades_actividades_detalle.aspx?data=11975)
- CIMA. Industries Inc. (s.f.). Secado por aspersion. <https://www.cimaindustries.com/wp-content/uploads/assets/pdf/es/alimentos/secador.pdf>
- Diario Oficial de la Unión Europea. (2015). Reglamento (UE) 2015/2283 del parlamento europeo y del consejo. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex%3A32015R2283>
- Dreaden, E. C., Alkilany, A. M., Huang, X., Murphy, C. J., & El-Sayed, M. A. (2012). The golden age: gold nanoparticles for biomedicine. *Chemical Society Reviews*, 41(7), 2740-2779. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5876014/>
- Enciclopedia Libre Wikipedia. (2022). Fotolitografía.  
<https://es.wikipedia.org/wiki/Fotolitograf%C3%ADa>
- Fernández, V. (2022). La micro-nanoencapsulación en la mejora de la calidad y seguridad alimentaria. <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/31811/La%20micro->

nanoencapsulacion%20en%20la%20mejora%20de%20la%20calidad%20y%20seguridad  
%20alimentaria.pdf?sequence=1

Food News Latam. (2015, 8 de noviembre). La aplicación de Nano-encapsulación en la  
Tecnología de los Alimentos.

García, M. (2018). Nuevas aplicaciones de los dendrímeros en el campo de la biomedicina.

García-Díaz, M., Gandón-Hernández, J., y Maqueira-Tamayo, Y. (2013). Estudio de la obtención  
de biodiesel a partir de aceite comestible usado. *Tecnología Química*, 33(2), 162-169.

Gobierno de México. (s.f.). Fomenta Agricultura inversiones apícolas productivas y amigables  
con el medio ambiente. [https://www.gob.mx/agricultura/prensa/fomenta-agricultura-  
inversiones-apicolas-productivas-y-amigables-con-el-medio-ambiente?idiom=es](https://www.gob.mx/agricultura/prensa/fomenta-agricultura-inversiones-apicolas-productivas-y-amigables-con-el-medio-ambiente?idiom=es)

Gómez, F. (2012). Nanopartículas metálicas y sus aplicaciones.

[https://innovacionyciencia.com/documentos/nanoparticulas\\_metalicas\\_y\\_sus\\_aplicacione  
s.pdf](https://innovacionyciencia.com/documentos/nanoparticulas_metalicas_y_sus_aplicaciones.pdf)

Hernández, D. (2022). Utilización de la nanotecnología En el Desarrollo de Fertilizantes  
Orgánicos y Pesticidas. *International Journal of Science and Society*, 4(1), 26-35.

Igartúa, D. E. (2020). Dendrímeros como nanotransportadores de drogas y como drogas per  
se. *Divulgatio. Perfiles académicos de posgrado*, 4(11), 48-74.

<https://ojs.unq.edu.ar/index.php/divulgatio/article/view/130/163>

Infobae. (2015, 13 de octubre). Nanotecnología: la ciencia que cambiará la vida de todos.

Landa-Salgado, P., Cruz-Monterrosa, R.G., Hernández-Guzmán, F., Reséndiz-Cruz, V. (2017).  
Nanotecnología en la industria alimentaria: bionanocompuestos en empaques de  
alimenticios. *Agro Productividad*, 10(10).

- Lira, R. H., Méndez, B., Vera, I., & De los Santos, G. (2018). Agronotecnología: una nueva herramienta para la agricultura moderna. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 50(2), 395-411.  
<http://www.scielo.org.ar/pdf/refca/v50n2/v50n2a29.pdf>
- Loftsson, T., & Duchene, D. (2007). Cyclodextrins and their pharmaceutical applications. *International journal of pharmaceutics*, 329(1-2), 1-11.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378517306009665?via%3Dihub>
- Lugo-Medina, E. L., García-Gutiérrez, C. G., y Ruelas-Ayala, R. D. R. (2010). Nanotecnología y nanoencapsulación de plaguicidas. *Ra Ximhai: revista científica de sociedad, cultura y desarrollo sostenible*, 6(1), 63-68.
- Lugo-Medina, E., García-Gutiérrez, C., Ruelas-Ayala, R. D. (2010). Nanotecnología y nanoencapsulación de plaguicidas. *Ra Ximhai*, 6(1), 63-67.
- Lupo, B., Azón, C. G., y Garriga, A. M. (2012). Microencapsulación con alginato en alimentos. *Técnicas y aplicaciones. Revista venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3(1), 130-151.  
[https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/41304205/Lupo-Pasin\\_et\\_al.\\_RVCTA-V3N1-libre.pdf?1453117970=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DMicroencapsulacion\\_con\\_alginato\\_en\\_alime.pdf&Expires=1700872554&Signature=dTHs9K5wZlzEUF6~RpYKgkEgAOQQGLTeJ-rH3qVFM2A~-ZFnqrAb7ezDhSpPPs-j8bjUfJm39MUVdWAZd7HtHCMwTbDTxlTgMhnQ5bKDz0fl2x5fv7Bb4EfMorKpI1bw~BJiFk7IIaDJoK5IODVNFbSCbDJsNaH5Qqnh1Dke38FQ1Ae41D1FOtNtc9uRqK7aI1Rw7SPeGOEv15ca4RruPvG-zWHeq2XM27lOXG4IrjBWsdCWFzfT6OR7LekvudqZ3iX9ro681tCUk3ABrPZFX0bKp](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/41304205/Lupo-Pasin_et_al._RVCTA-V3N1-libre.pdf?1453117970=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DMicroencapsulacion_con_alginato_en_alime.pdf&Expires=1700872554&Signature=dTHs9K5wZlzEUF6~RpYKgkEgAOQQGLTeJ-rH3qVFM2A~-ZFnqrAb7ezDhSpPPs-j8bjUfJm39MUVdWAZd7HtHCMwTbDTxlTgMhnQ5bKDz0fl2x5fv7Bb4EfMorKpI1bw~BJiFk7IIaDJoK5IODVNFbSCbDJsNaH5Qqnh1Dke38FQ1Ae41D1FOtNtc9uRqK7aI1Rw7SPeGOEv15ca4RruPvG-zWHeq2XM27lOXG4IrjBWsdCWFzfT6OR7LekvudqZ3iX9ro681tCUk3ABrPZFX0bKp)

lq3wcQI-

hBK045FqIRcHybCHkXJfH1MQXe4MVGikNDt9Ca6YvumRnrzylrkw\_\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

Makadia, H. K., & Siegel, S. J. (2011). Poly lactic-co-glycolic acid (PLGA) as biodegradable controlled drug delivery carrier. *Polymers*, 3(3), 1377-1397.

<https://www.mdpi.com/2073-4360/3/3/1377>

Matsuno, R., Adachi, S. (1993). Lipid encapsulation technology-techniques and applications to food. *Trends in Food Science & Technology*, 4(8), 256-261.

Merck. (s.f.). Normativas que rigen los alimentos sólidos y líquidos por país.

<https://www.sigmaaldrich.com/CO/es/applications/food-and-beverage-testing-and-manufacturing/regulatory-compliance-for-food-and-beverage/country-regulations-for-food-and-beverage>

Mousavi, S. R., & Rezaei, M. (2011). Nanotechnology in agriculture and food production. *J Appl Environ Biol Sci*, 1(10), 414-419. [https://www.researchgate.net/profile/Sayed-Roholla-Mousavi/publication/216346568\\_Nanotechnology\\_in\\_Agriculture\\_and\\_Food\\_Production/links/09e41504705a329946000000/Nanotechnology-in-Agriculture-and-Food-Production.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Sayed-Roholla-Mousavi/publication/216346568_Nanotechnology_in_Agriculture_and_Food_Production/links/09e41504705a329946000000/Nanotechnology-in-Agriculture-and-Food-Production.pdf)

Munteanu, B. S., & Vasile, C. (2021). Encapsulation of natural bioactive compounds by electrospinning—Applications in food storage and safety. *Polymers*, 13(21), 3771.

<https://www.mdpi.com/2073-4360/13/21/3771>

Nazir, H.Z., Hussain, T., Akhtar, N. et al. Robust adaptive exponentially weighted moving average control charts with applications of manufacturing processes. *Int J Adv Manuf Technol* 105, 733–748 (2019). <https://doi.org/10.1007/s00170-019-04206-y>

- Ojeda, G. A., Arias Gorman, A. M., y Sgroppo, S. C. (2019). Nanotecnología y su aplicación en alimentos. *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología*, 12(23), 0-0.
- Ortiz-Romero, N., Ochoa-Martínez, L. A., González-Herrera, S. M., Rutiaga-Quiñones, O. M., & Gallegos-Infante, J. A. (2021). Avances en las investigaciones sobre la encapsulación mediante gelación iónica: una revisión sistemática. *TecnoLógicas*, 24(52), 262-280.  
<https://revistas.itm.edu.co/index.php/tecnologicas/article/view/1962/2133#figures>
- Pardo de Santayana, M. (2018). Nanotecnología y alimentación. (Doctoral dissertation, Universidad Complutense).
- Quintili, M. (2012). Nanociencia y Nanotecnología... un mundo pequeño. *Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. Ensayos*, (42), 125-155.
- Quiroz, C. N., y Aguilar, A. (2013). Nanoencapsulación de flavonoides procedentes de grano de cacao (*Theobroma cacao* L.).
- Rodríguez, M. P. (2016). Molecular nanoencapsulation of stilbenes by cyclodextrins: study of biochemical, chromatographic and antioxidant applications= Nanoencapsulación molecular de estilbenos por ciclodextrinas: aplicaciones bioquímicas, cromatográficas y antioxidantes. Proyecto de investigación.
- Rodríguez-Barona, S., Giraldo, G. I., y Montes, L. M. (2016). Encapsulación de alimentos probióticos mediante liofilización en presencia de prebióticos. *Información tecnológica*, 27(6), 135-144.
- Salgado, D. A. (2019). Elaboración de nanopartículas de quitosano-timol mediante el método pulverización-congelación en nitrógeno líquido, evaluación de su capacidad antifúngica

frente a micelio de *Botrytis cinerea* y comparación con nanopartículas obtenidas por gelificación iónica.

Sandoval-Peraza, V. M., Cu-Cañetas, T., Peraza-Mercado, G., y Acereto-Escoffié, P. O. M. (2017). Introducción en los procesos de encapsulación de moléculas nutraceuticas. *OmniaScience Monographs*.

Santiago, J. (2014). Nanotecnología y alimentos funcionales. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 80(3), 155-155.

Schulenburg, M. (s.f.). Comisión Europea. La nanotecnología. Innovaciones para el mundo del mañana. Investigación comunitaria. Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF, Berlin.

Sinc. *Ciencia Contada en Español*. (2016). Autoensamblaje molecular bioinspirado en el ADN. <https://www.agenciasinc.es/Noticias/Autoensamblaje-molecular-bioinspirado-en-el-ADN>

Solmeclas. (2022). ¿Qué son las Nanopartículas? Tipos y propiedades de estas partículas.

Tena, K. F., y Garnica, M. G. (s.f.). Nanocápsulas: Su uso nutraceutico.

<https://www.sabermas.umich.mx/archivo/articulos/516-numero-58/1005-nanocapsulas-su-uso-nutraceutico.html>

Valdiviezo-Morales, L., Ortega-Cerrilla, M. E., Vaquera-Huerta, H., Kawas-Garza, J. R., Zetina-Córdoba, P., & Miranda-Jiménez, L. (2017). Micro y nanoencapsulación: una perspectiva biotecnológica en la producción animal. *AGROProductividad*, 10(5).

Xu, Y., Sun, L., Zhuang, Y., Gu, Y., Cheng, G., Fan, X., ... & Liu, H. (2023). Protein-Stabilized Emulsion Gels with Improved Emulsifying and Gelling Properties for the Delivery of Bioactive Ingredients: A Review. *Foods*, 12(14), 2703. <https://www.mdpi.com/2304-8158/12/14/2703>

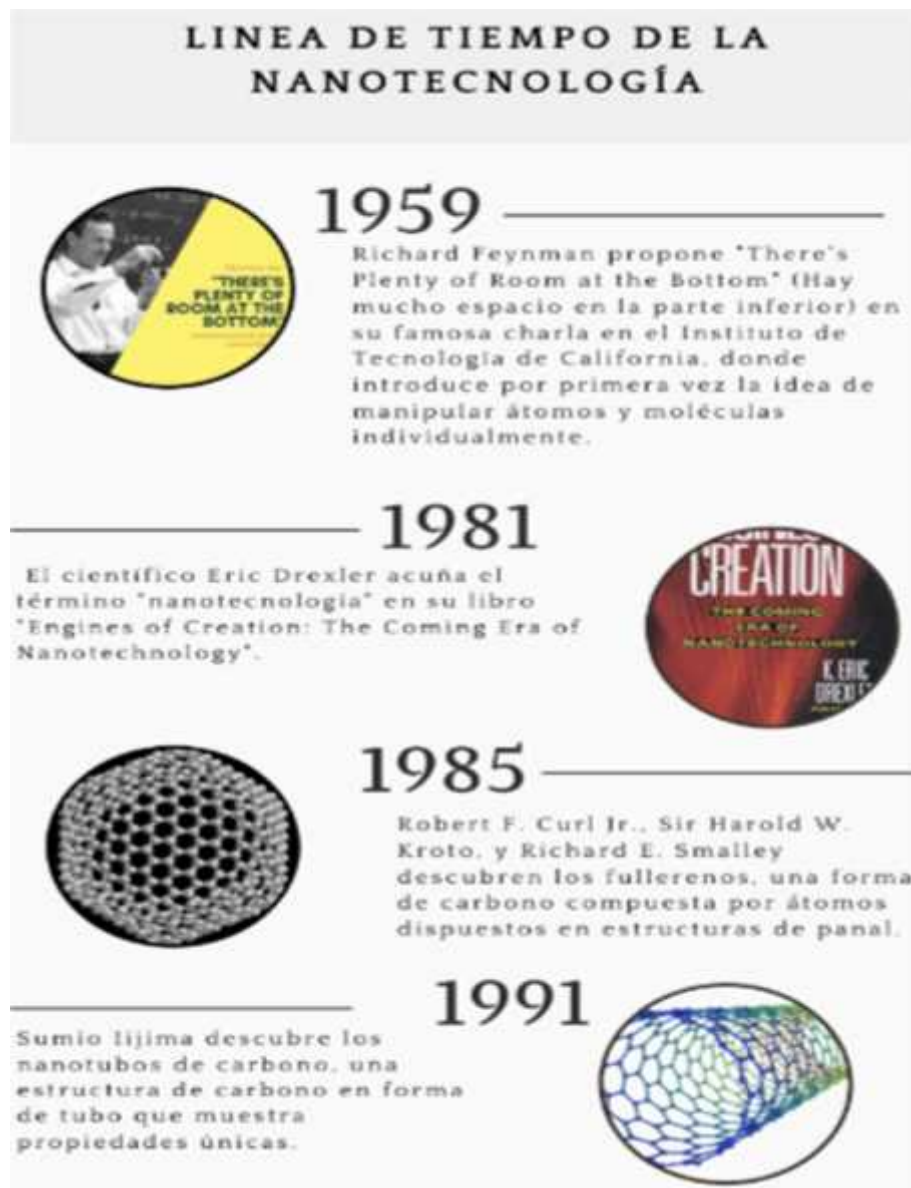
Zare, M., Dziemidowicz, K., Williams, G. R., & Ramakrishna, S. (2021). Encapsulation of pharmaceutical and nutraceutical active ingredients using electrospinning processes. *Nanomaterials*, 11(8), 1968. <https://www.mdpi.com/2079-4991/11/8/1968>

Zimet, P. (2019). Desarrollo de película comestible biopolimérica con incorporación de nanopartículas bioactivas de potencial aplicación en productos alimentarios. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/32218/1/TD%20Zimet%2c%20Patricia.pdf>

## Apéndices

### Apéndice A

#### *Línea de Tiempo de la Nanotecnología*





## 1999

Roco, M. C., y Bainbridge, W. S. publican un informe para la National Science Foundation (NSF) titulado "Converging Technologies for Improving Human Performance", que explora la convergencia de nanotecnología, biotecnología, tecnología de la información y ciencias cognitivas.

## 2000

El Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) establece el Programa de Nanotecnología.

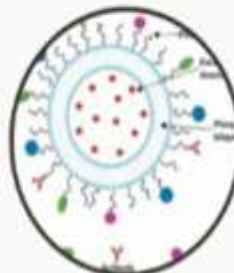


## 2004

El Gobierno de los Estados Unidos lanza la Iniciativa Nacional de Nanotecnología (NNI) para coordinar la investigación y el desarrollo en nanotecnología en todo el país.

## 2010

Desarrollo significativo en nanomedicina con la aprobación de la primera terapia basada en nanotecnología, el liposomal doxorubicin (Doxil).





## 2016

---

IBM crea un microscopio de fuerza atómica (AFM) que puede manipular átomos individuales.

---

## 2021

Avances en la nanotecnología aplicada a la energía, como el desarrollo de celdas solares de perovskita y baterías de litio basadas en nanotecnología.

