



Facultad de Veterinaria
Universidad Zaragoza



Trabajo Fin de Grado en Ciencia y Tecnología de los Alimentos

LA NANOTECNOLOGÍA EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

NANOTECHNOLOGY IN THE FOOD INDUSTRY

Autor/es

JORGE CAMÓN CLAVERÍA

Director/es

EVA ROMEO SALAZAR
ANTONIO MONZÓN BESCOS

Facultad de Veterinaria

2019

Índice

Resumen/Abstract	4
1. Introducción	5
2. Justificación y objetivos	9
3. Metodología	9
4. Resultados y discusión	9
4.1 Producción primaria	9
4.1.1 Trazabilidad	10
4.1.2 Prevención de enfermedades	10
4.1.3 Erradicación de enfermedades	10
4.1.4 Agricultura de precisión	11
4.1.5 Herbicidas y fertilizantes	11
4.1.6 Uso del agua	11
4.2 Procesos de síntesis de nanopartículas	11
4.2.1 Métodos “up-down”	12
4.2.2 Métodos “down-up”	12
4.3 Procesado de alimentos	14
4.3.1 Elaboración de nuevos alimentos	15
4.3.2 Aplicaciones en aceites y grasas	15
4.3.3 Otros ejemplos del uso de la nanotecnología en el procesado de alimentos	17
4.4 Seguridad alimentaria	18
4.4.1 Eliminación de microorganismos	18
4.4.2 Nanosensores utilizados en la industria alimentaria	18
4.4.3 Biosensores	19
4.4.4 Envasado de alimentos	22
4.4.5 Nanopartículas utilizadas y aplicaciones en envases activos e inteligentes	25
4.4.6 Envase antimicrobiano	26
4.4.7 Almacenamiento mejorado de alimentos	26
4.4.8 Envases biodegradables	27
4.4.9 Seguimiento y rastreo	27
4.4.10 Nanorecubrimientos comestibles	27
4.4.11 Alimentos funcionales	28
4.5 Toxicidad de las nanopartículas	28
4.6 Legislación de la nanotecnología en la industria alimentaria	31

5.Conclusiones	33
6.Valoración personal	35
7.Bibliografía	36

Resumen/Abstract

Actualmente, debido a la existencia de un mercado alimentario competitivo, el uso de la tecnología es primordial para mantener el liderazgo en la industria alimentaria. La demanda por parte de los consumidores de nuevos productos, más duraderos, seguros y con mejores propiedades nutricionales y saludables, ha provocado que la Industria alimentaria siga investigando en el desarrollo de nuevas tecnologías que puedan responder a dicha demanda.

En este contexto, también se está haciendo uso de la nanotecnología entre otras áreas emergentes; esta herramienta está revolucionando en los últimos años la industria alimentaria, trabajando a escala nanométrica en el diseño, creación, síntesis, manipulación y aplicación de nuevas estructuras y materiales de tamaños entre 1 y 100 nanómetros. El interés de estos nuevos nanomateriales radica en que sus propiedades físicas, químicas, biológicas, etc son muy diferentes a los mostrados a mayor escala. La aplicación de la nanotecnología en la industria alimentaria, puede conseguir la modificación de diferentes características y propiedades de los alimentos tales como la textura, el sabor y el color, así como aumentar la estabilidad durante la vida útil del mismo.

Pese a todas estas características aparentemente tan positivas para los alimentos y los materiales destinados a estar en contacto con ellos, existe la necesidad de estudiar todavía más los efectos de la nanotecnología tanto en los alimentos como en los consumidores. Diferentes investigaciones realizadas han mostrado posibles efectos tóxicos que puede tener el uso de nanomateriales, lo que implica el desarrollo de un marco jurídico mucho más exigente y restrictivo para el uso de estas sustancias en la industria alimentaria.

Abstract

Currently, due to the existence of a competitive food market, the use of technology is essential to maintain leadership in the food industry. The demand by consumers of new products, more durable, safer and with better nutritional and healthy properties, has caused the food industry to continue researching the development of new technologies that can respond to this demand.

In this context, nanotechnology is also being used among other emerging areas; This tool is revolutionizing the food industry the last years, working at nanoscale in the design, creation, synthesis, handling and application of new structures and materials of sizes between 1 and 100 nanometers. The interest of these new nanomaterials is that their physical, chemical, biological, etc. properties are very different from those shown on a larger scale. The application of nanotechnology in the food industry, can achieve the modification of different characteristics and properties of food such as texture, taste and color, as well as increase the stability during the useful life of the same.

Despite all these apparently positive characteristics for food and materials intended to be in contact with them, there is a need to study even more the effects of nanotechnology on both food and consumers. Different investigations have shown possible toxic effects that the use of nanomaterials can have, which implies the development of a much more demanding and restrictive legal framework for the use of these substances in the food industry.

1. Introducción

El prefijo «nano» proviene del griego y significa «enano», y en ciencia y tecnología quiere decir 10^{-9} , es decir, una milmillonésima parte. Conceptualmente, la nanotecnología se refiere a las actividades científicas y tecnológicas llevadas a cabo a escala atómica y molecular, y a los principios científicos y a las nuevas propiedades que pueden ser comprendidos y controlados cuando se interviene a dicha escala. Estas propiedades pueden ser observadas y explotadas tanto a escala microscópica como macroscópica, por ejemplo, para el desarrollo de materiales e instrumentos con nuevas funciones y prestaciones (Comisión Europea, 2004).

Otra forma de definir la nanotecnología podría ser como la ciencia que trabaja a escala nanométrica, es decir, a niveles tan pequeños como moléculas y átomos. Es el diseño, creación, síntesis, manipulación y aplicación de estructuras y materiales que tienen generalmente un tamaño entre 1 y 100 nanómetros y su interés radica en que el pequeño tamaño de las partículas conlleva propiedades físicas y químicas que difieren significativamente de las habituales a mayor escala (ELIKA, 2012).

Un nanomaterial es un material natural, accidental o fabricado que contenga partículas, sueltas o formando un agregado o aglomerado, y en el que el 50 % o más de las partículas en la granulometría numérica presente una o más de las dimensiones externas en el intervalo de tamaños comprendido entre un nanómetro y 100 nanómetros. En casos específicos y cuando se justifique por preocupaciones de medio ambiente, salud, seguridad o competitividad, el umbral de la granulometría numérica del 50 % puede sustituirse por un umbral comprendido entre el 1 % y el 50 % (Comisión Europea, 2012).

Los nanomateriales se clasifican en diferentes tipos:

- Basados en carbono: se trata de los nanomateriales formados principalmente por carbono, y pueden encontrarse en forma de esfera (fullerenos), cilíndrica (nanotubos) o bidimensional (grafeno). Se utilizan en recubrimientos alimenticios y en la obtención de materiales menos pesados pero más resistentes (Environmental Protection Agency, 2017).
- Basados en metales: entre ellos destacan las nanopartículas de plata y de oro, y el dióxido de titanio (Environmental Protection Agency, 2017).
- Dendrímeros: son polímeros a escala nanométrica compuestos por diferentes unidades ramificadas. Cuentan con varios extremos de cadena en su superficie, lo que les permite realizar diferentes funciones químicas. Existen dendrímeros en los que se pueden introducir otras moléculas, algo de gran utilidad en la industria farmacéutica (Environmental Protection Agency, 2017).

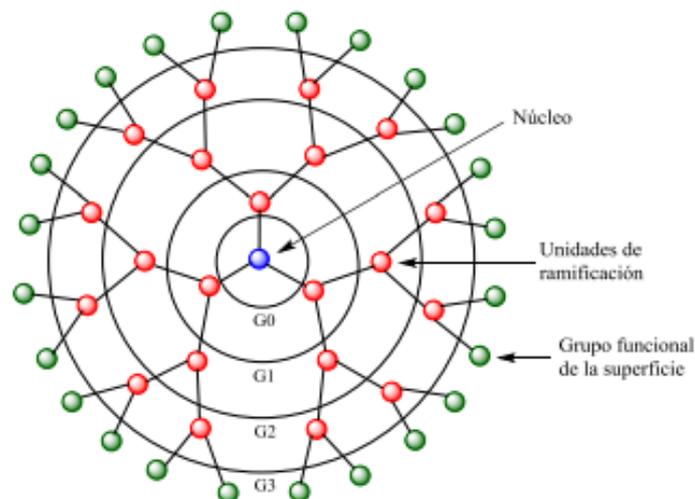


Figura 1. Representación esquemática de un dendrímero (Alonso *et al.*, 2016).

- Compuestos: son el resultado de la combinación de unas nanopartículas con otros materiales a mayor escala, o con otras nanopartículas. En la actualidad, ya se están utilizando en diferentes industrias como la mecánica o la alimentaria, donde mejora las características protectoras y térmicas del envasado de alimentos (Environmental Protection Agency, 2017).

Pese al desconocimiento que existe todavía sobre esta nueva tecnología, debido a la gran cantidad de investigaciones y estudios que se están realizando, la nanotecnología está en auge en la industria alimentaria. Cuenta con un gran número de aplicaciones tanto en la agricultura como en la industria alimentaria, entre las que destacan (ELIKA, 2012):

- Mejora de la calidad y la seguridad alimentaria mediante el uso de diferentes biosensores, como los nanochips, la lengua electrónica y la nariz electrónica.
- Mejora del envasado de los alimentos, debido al desarrollo de envases activos e inteligentes, que son capaces de tener propiedades antimicrobianas o cambiar sus propiedades en función de las diferentes condiciones en las que se encuentra el alimento, como la temperatura, la humedad o el índice de frescura. Además, la nanotecnología se utiliza para elaborar nanorecubrimientos, que mediante sensores, son capaces de detectar la frescura del alimento y poder retrasar su maduración y prolongar su vida útil.
- Desarrollo de nuevos productos como el desarrollo de nanoalimentos funcionales, gracias a la obtención de nanoingredientes que se añaden a los alimentos con el objetivo de mejorar sus propiedades, como la reducción de la cantidad de grasa o de sal. También se ha desarrollado la microencapsulación de sustancias activas para que liberen de forma gradual su contenido y consigan prolongar la vida útil del alimento o mantener sus características organolépticas intactas.
- Mejora del procesado de los alimentos sobre todo en la industria del aceite, donde diferentes nanoestructuras resultan determinantes en la estabilidad de las emulsiones.

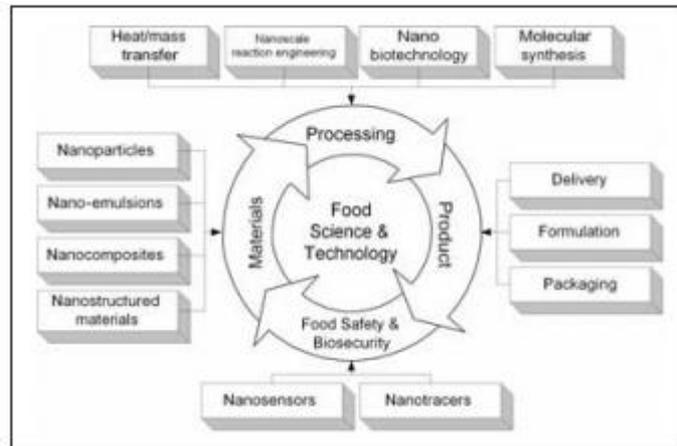


Figura 2. Aplicaciones de la nanotecnología en la industria alimentaria (Weiss *et al.*, 2006).

Como podemos ver, la nanotecnología presenta una gran cantidad de aplicaciones en la industria alimentaria en la actualidad. Sin embargo, al estar todavía en fase de experimentación y estudio, sus perspectivas futuras son mucho mayores.

Los expertos creen que mediante la fusión de distintas tecnologías nanométricas, se crearán equipos muy novedosos para su utilización tanto en la producción primaria como en el procesado de alimentos.

Según el Centro Tecnológico de Nutrición y Salud, en un futuro la alimentación será personalizada para cada persona según sus necesidades. Gracias a la nanotecnología, los consumidores podrán contar con dispositivos capaces de indicar la necesidad que tiene su organismo de diferentes ingredientes, tales como las vitaminas o los minerales; lo que les permitirá añadir dichos ingredientes a la dieta. Además, las personas que deben llevar una dieta más restrictiva como los diabéticos, podrán utilizar sensores de glucosa que les indiquen su necesidad de insulina (Centro Tecnológico de Nutrición y Salud, n.d.).

Debido al desconocimiento de la toxicidad de algunos nanomateriales y los efectos perjudiciales que pueden tener sobre los alimentos, el consumidor y el medio ambiente, en un futuro se necesitará una legislación más exigente con este tipo de sustancias para poder utilizarlas en la industria alimentaria.

2. Justificación y objetivos

Debido al aumento en los últimos años de la demanda por parte del consumidor de alimentos más saludables, más seguros y de mayor calidad, así como la búsqueda de la industria alimentaria de una mejora en el procesado, seguridad y envasado de los alimentos; ha hecho que la nanotecnología vaya contando cada vez con mayor importancia en la industria alimentaria.

La revisión bibliográfica realizada en este Trabajo de Fin de Grado tiene como objetivo analizar las principales aplicaciones de la nanotecnología en la industria alimentaria, tales como el envasado (envases activos y envases inteligentes), el desarrollo de nuevos productos (nanoalimentos funcionales, microcápsulas), la calidad y seguridad alimentaria (biosensores), la mejora de los procesos de los alimentos (gelatinización, espumas y emulsiones), entre otros.

3. Metodología

Se realizará una revisión bibliográfica sobre la aplicación de la nanotecnología en la industria alimentaria, recurriendo a diversas fuentes de información tales como libros, publicaciones científicas y portales web entre otros, utilizando los principales motores de búsqueda usando las palabras clave adecuadas.

A partir de la información obtenida se realizará una clasificación en función de las principales aplicaciones de los diversos nanomateriales y de su impacto tecnológico y/o económico. Este esquema permitirá evaluar el impacto real que tiene en la actualidad la nanotecnología en este área, y sobre todo el potencial de impacto futuro.

4. Resultados y discusión

4.1 Producción primaria

Se trata de la primera etapa de la cadena alimentaria en la que la nanotecnología, tiene una gran variedad de aplicaciones. Entre ellas destacan la trazabilidad, la prevención y erradicación de enfermedades y la optimización de la producción agrícola mediante la agricultura de precisión y el uso de herbicidas y fertilizantes.

4.1.1 Trazabilidad

Existen nanosensores biodegradables que se implantan en los animales de por ejemplo, un ganado, y permiten su localización en todo momento. Además, estos sensores son capaces de informar constantemente de la salud de los animales, ya que envían la información al ordenador al que estén conectados.

También se han creado nanotubos, estructuras tubulares cilíndricas de materiales como el carbono, cuyo diámetro es del tamaño del nanómetro, que implantados en los animales pueden identificarlo desde el momento en el que se produce el contacto con ellos hasta la obtención del producto final. Además, estos nanotubos no se utilizan solamente como sistema de trazabilidad, sino que sirven para conocer el estado del ciclo reproductivo del animal, ya que son sensores que reproducen los niveles de las hormonas a tiempo real (Coppo, 2009).

4.1.2 Prevención de enfermedades

La nanotecnología puede prevenir enfermedades en los animales gracias a la creación de nanopartículas que llegan al intestino de estos mediante vía oral. Una vez introducidas en los animales, cuando algún microorganismo se aproxima a ellas, se cierran y lo envuelven. Acto seguido, las diferentes nanopartículas forman uniones y se eliminan del organismo mediante la orina o las heces.

En las especies porcina y bovina, se está estudiando la introducción de antígenos a través de nanocápsulas y su dispersión mediante vía oral o intranasal para prevenir diferentes enfermedades, entre las que destaca la queratoconjuntivitis bovina. Se trata de una enfermedad ocular muy contagiosa provocada principalmente por *Moraxella bovis*, que puede llegar a provocar la pérdida de la visión (Coppo, 2009).

4.1.3 Erradicación de enfermedades

Aunque todavía en fase experimental, se está estudiando la erradicación de enfermedades en animales antes de que aparezcan los síntomas de dicha enfermedad. El proceso consiste en la implantación de un nanodispositivo en el animal, al que analiza su saliva constantemente y, como hemos dicho, antes de que aparezcan los síntomas, este sistema informaría sobre la presencia de la enfermedad y el veterinario podría realizar el tratamiento correspondiente.

Además, existen medicamentos para animales elaborados a partir de nanopartículas y otras sustancias en escala nanométrica, encargadas de actuar contra determinados

destinos del organismo. Se introducen nanotubos en los animales capaces de destruir células específicas (Coppo, 2009).

4.1.4 Agricultura de precisión

Consiste en la monitorización de todas las variables y de los recursos, tales como el agua, los pesticidas o fertilizantes, para aplicarlos en el sitio específico y en los niveles adecuados. Utilizando este tipo de agricultura, se ha conseguido que mediante sistemas que indican la salud de las plantas, puedan informar al agricultor de cualquier desorden incluso antes de que aparezca algún síntoma y el productor pueda enterarse. Una vez que el agricultor lo haya identificado, podrá suministrar nanocápsulas que eviten el desarrollo de la enfermedad y cualquier tipo de efecto secundario (Roel *et al.*, 2006).

4.1.5 Herbicidas y fertilizantes

En la agricultura de precisión se utilizan herbicidas nanoencapsulados con el fin de evitar una gran cantidad de efectos fitotóxicos. El hecho de que los herbicidas se apliquen mediante nanocápsulas, hace que mejore la aplicación de estos, ya que aumenta su penetración en las plantas.

Respecto a los fertilizantes, existen algunos que contienen nanopartículas y nanosensores que dan lugar a una aplicación muy eficaz del producto. Además, estas nanopartículas aumentan la velocidad de degradación y eliminación de los residuos tóxicos que producen los fertilizantes (Sekhon, 2014).

4.1.6 Uso del agua

Mediante el uso de la nanotecnología, se han conseguido beneficios en el tratamiento de agua. La reutilización segura del agua es posible gracias a la filtración y desalinización de esta usando la nanotecnología. Existen nanopartículas de aluminio que se utilizan para la filtración del agua, así como nanopartículas de lantano que son capaces de absorber los fosfatos (Sekhon, 2014).

Debido a que muchos procesos nanotecnológicos en la industria alimentaria conllevan el uso de nanopartículas, en el siguiente apartado se comentan los principales métodos de síntesis de dichas nanopartículas.

4.2 Procesos de síntesis de nanopartículas

Existen diferentes métodos para la síntesis de nanopartículas, entre los que destacan el cambio de tamaño “up-down” y “down-up”. Para el primer método se dividen diferentes masas sólidas en otras más pequeñas y, el segundo método, consiste en la formación de

nanopartículas mediante la condensación de átomos o de moléculas en fase gaseosa (Sanguansri *et al.*, 2006).

4.2.1 Métodos “up-down”

- Evaporación térmica: se trata de calentar el material que se quiere depositar hasta que evapore. Se realiza en una cámara de vacío mediante la condensación del vapor sobre una película fría y en la que hay que controlar las condiciones para evitar cambios en la morfología de la lámina (Zanella, 2012).
- Depósito químico en fase vapor: al igual que el anterior, se realiza en una cámara de vacío y consiste en la descomposición de compuestos volátiles sobre un sólido, con el fin de elaborar un material en forma de nanopartículas (Zanella, 2012).
- Implantación de iones: consiste en la generación de iones sobre un sólido, al que puede cambiar sus características físicas, químicas y su estructura. Este método se utiliza en casos en lo que se necesita un cambio químico pequeño (Zanella, 2012).
- Molienda: como el propio nombre indica, consiste en moler partículas micrométricas mediante la acción de unos molinos, para dar lugar a partículas nanométricas. Se trata del método más sencillo y de menor coste, debido a que no se necesitan equipos tan complejos como para el resto de procesos (Zanella, 2012).

4.2.2 Métodos “down-up”

Debido al elevado coste que tienen los equipos e instrumentos que se utilizan en los métodos “up-down”, los métodos “down-up” se utilizan más en la síntesis de nanopartículas. Existen diferentes métodos, pero los más utilizados son los que se realizan mediante procesos químicos, debido a que son con los que se obtienen las nanopartículas de menor tamaño y más uniformes. Entre ellos destacan (Saravanakumar *et al.*, 2017):

- Método coloidal: se realiza mediante la disolución de una sal del óxido que se quiere preparar, un estabilizante y un reductor. Tanto el tamaño como la morfología de las nanopartículas puede controlarse mediante la concentración del reductor y del estabilizante. La ventaja de este método es que pueden

formarse dispersiones estables durante mucho tiempo, más de 100 años (Zanella, 2012).

- Reducción fotoquímica y radioquímica: este método consiste en modificar las características químicas mediante el uso de energía. Estos tipos de reducción se diferencian en la cantidad de energía utilizada, ya que la reducción fotoquímica utiliza energías inferiores a 60 eV, y la radioquímica superiores a 100 eV. Las ventajas de estos métodos son que se obtienen nanopartículas de un elevado nivel de pureza, y se pueden conseguir en estado sólido y a temperaturas muy bajas. El proceso de radiólisis se está utilizando cada vez más gracias a su reproducibilidad y disponibilidad (Zanella, 2012).
- Irradiación con microondas: con esta técnica se consiguen nanopartículas con un tamaño muy pequeño y similar entre ellas, pero suele haber cambios en la morfología, algo que también ocurre con los demás métodos. Estas ondas funcionan como un campo eléctrico y tienen la capacidad de calentar cualquier sustancia mediante cargas eléctricas, ya sean iones conductores en un sólido o moléculas polares en un disolvente. Se trata de un método que se está utilizando mucho actualmente para la síntesis de nanopartículas, gracias a su rapidez, uniformidad y efectividad, además de aumentar las cinéticas de reacción. La irradiación con microondas se ha utilizado mucho para preparar nanopartículas coloidales de plata (Zanella, 2012).
- Dendrímeros: se trata de moléculas ramificadas compuestas por un núcleo y grupos funcionales terminales, que se pueden modificar mediante grupos carboxilos o hidróxidos. Los dendrímeros tienen un elevado peso molecular y un tamaño menor a 15 nanómetros. Mediante su uso, al igual que ocurre con las micelas y las emulsiones, se pueden sintetizar las nanopartículas, para lo que habrá que alterar la naturaleza de los dendrímeros. Se han utilizado en la síntesis de nanopartículas de platino y oro, con un tamaño de entre uno y tres nanómetros (Zanella, 2012).
- Síntesis solvotermal: este método es un conjunto de técnicas en el que se disuelve un metal en un líquido, generalmente agua, se calienta a una temperatura superior a la de su punto de ebullición y se genera una presión superior a la atmosférica. Para ayudar a la capacidad de disolución del agua, se añaden mineralizadores básicos, como los carbonatos, o mineralizadores ácidos,

como las sales amónicas, dependiendo de cuál sea el soluto. En condiciones de sobrepresión y 100°C de temperatura el agua actúa como reductor y libera oxígeno, por lo que se producen cambios en la oxidación de los compuestos utilizados en la síntesis (Saravanakumar *et al.*, 2017).

- Sol-gel: se trata de una técnica para la síntesis de nanopartículas que consiste en una solución química (sol) que funciona como precursor de una red de pequeñas partículas o de polímeros. Los precursores más utilizados en este método son los alcóxidos y los cloruros metálicos que forman dispersiones coloidales para dar lugar a un gel, después de un proceso de polimerización lenta. La mayoría de los alcóxidos son sensibles a la humedad y se descomponen, por lo que se utilizan alcoholes como solventes para los líquidos inmiscibles en la hidrólisis de la formación del gel. Un gel consiste en una red macromolecular hinchada por un solvente, que queda atrapada en la red de partículas impidiendo que el líquido se separe. Se produce una deshidratación parcial del gel para dar lugar a un residuo elástico que, posteriormente, se deshidrata totalmente y se le trata térmicamente para obtener el compuesto nanoestructurado. Esta técnica se utiliza en una gran cantidad de síntesis de nanopartículas debido a la pureza, homogeneidad y la posibilidad de trabajar a bajas temperaturas (Saravanakumar *et al.*, 2017).

4.3 Procesado de alimentos

La nanotecnología tiene un papel fundamental en esta fase, ya que cuenta con una gran variedad de aplicaciones. Existen los biosensores (nanochips, lengua y nariz electrónicas) de gran importancia en el control de la calidad y seguridad de los alimentos mediante el análisis de su composición, la estimación de su vida útil y el estado de frescura, así como la detección de microorganismos alterantes y patógenos entre otros. La lengua y nariz electrónicas también tienen gran importancia en el control de procesos.

Otra de sus aplicaciones afecta al envasado de los alimentos, ya que se pueden elaborar nanoenvases y nanoetiquetado, envases activos y nuevos alimentos más saludables y con mejores características organolépticas, además de reducir los costes de producción de estos (Ravichandran, 2010).

A continuación se van a explicar estas aplicaciones más detalladamente.

4.3.1 Elaboración de nuevos alimentos

El uso de diferentes nanomateriales en la elaboración de alimentos da lugar a una mejor absorción y biodisponibilidad de nutrientes, vitaminas y minerales. Estos alimentos a los que se denomina funcionales, son aquellos que además de sus propiedades nutricionales normales, contienen compuestos biológicos, con un efecto añadido sobre alguna de las funciones del organismo y que presentan efectos beneficiosos para la salud.

Entre estos nanomateriales destacan las nanopartículas y los nanotubos, con funciones gelificantes y espesantes, que tienen la capacidad de fijar y eliminar de manera selectiva diferentes componentes patógenos de los alimentos. Las nanoemulsiones, por ejemplo, tienen un papel muy importante en la dispersión de los nutrientes, y las nanocápsulas destacan por mejorar la biodisponibilidad de compuestos activos, como los potenciadores del sabor (Sekhon, 2010).

Las nanocápsulas consisten en el recubrimiento de principios activos, tales como vitaminas, minerales, enzimas o conservantes, en cápsulas nanoscópicas. Las nanocápsulas tienen las siguientes ventajas (Aguilera, 2004):

- Aumento de la estabilidad de los ingredientes activos
- Protección frente a la luz y la humedad en el caso de las vitaminas
- Mantenimiento de los caracteres organolépticos
- Evitar la evaporación de los compuestos volátiles en los aceites esenciales

4.3.2 Aplicaciones en aceites y grasas

En la industria de aceites y grasas, la nanotecnología está en pleno auge tanto en la investigación como en la producción de estos alimentos. La tecnología a nanoescala permite a esta industria elaborar productos más saludables y con una mayor vida útil, así como disminuir los costes de su producción.

En la actualidad, ya hay ejemplos de los beneficios que aporta la nanotecnología a este tipo de industria en la aplicación de antioxidantes, el nivel de frescura y en la elaboración de productos más saludables (Mihai *et al.*, 2018).

Aplicación de antioxidantes

Diferentes empresas han desarrollado sistemas para la aplicación de antioxidantes utilizando nanocápsulas, con los que se ayuda a evitar la oxidación

de aceites y grasas. Este sistema puede aplicarse a cualquier alimento que contenga aceites o grasas y se aplica de una manera sencilla y eficaz tanto en alimentos como en bebidas. El proceso consiste en una solución ya preparada para utilizarse y disolverse ya sea en agua o en aceite. El producto consiste en una micela que es una nanopartícula con un diámetro inferior a 30 nanómetros y da lugar a una solución estable de micelas, quienes pueden distribuir cualquier tipo de vitamina con poder antioxidante.

Además, este sistema es capaz de elaborar productos hidrofílicos solubles en grasas y productos lipofílicos solubles en el agua. Por ello, está diseñado principalmente para aquellas empresas que quieren incluir el ácido ascórbico o Vitamina C y tocoferol o Vitamina E en sus productos. Estas dos sustancias son capaces de unir sus características antioxidantes para tener un mayor efecto, pero como la Vitamina C es hidrofílica y el tocoferol lipófilo, necesitarían de este sistema para elaborar una micela nanoestructurada con ambos componentes (Almengor, 2009).

Prolongación de la frescura

Otra de las aplicaciones de la nanotecnología en la industria del aceite y de las grasas, consiste en un sistema diseñado para alargar la frescura de los aceites que se utilizan en grandes freidoras en las empresas alimentarias. La idea surgió debido a que los aceites se van deteriorando al ser sometidos a altas temperaturas en freidoras, ya que la grasa reacciona con el oxígeno y se polimeriza, dando lugar a un aceite viscoso.

El sistema consiste en una placa metálica creada con nanocerámica con características protectoras, que se coloca en la freidora para evitar la polimerización del aceite y el proceso anteriormente comentado. Con esta placa metálica se consigue que los alimentos fritos tengan una mayor consistencia y el procedimiento sea más barato.

La nanocerámica impide que el oxígeno pase a través de sus partículas, por lo que no llega a entrar en contacto con el aceite y hace que este sea más estable. La mejor textura de los alimentos se debe a que este producto hace que los fritos se elaboren más rápidos y a una temperatura menor. Además, la placa

simplemente hay que limpiarla sumergiéndola en agua hirviendo (Almengor, 2009).

Alimentos más saludables

Por último, la nanotecnología ha logrado la elaboración de alimentos más saludables, como por ejemplo, los helados. Se ha conseguido la fabricación de helados con un bajo contenido en grasa gracias a la disminución del tamaño de las partículas de emulsión, que son las encargadas de aportar la textura al helado. Al reducir más de la mitad el tamaño de las partículas de la emulsión, se puede utilizar menos emulsión y, como resultado, obtener un helado con un porcentaje de grasa inferior al 1%, siendo lo habitual entre 10% y 20% (Almengor, 2009).

Además, en la industria del aceite, se han creado gotas a escala nanoscópica que contienen antioxidantes, vitaminas y minerales que se agregan al aceite con el objetivo de aumentar su valor nutritivo y conseguir una mayor estabilidad (Mihai *et al.*, 2018).

4.3.3 Otros ejemplos del uso de la nanotecnología en el procesado de alimentos

- Los alimentos curados y el embutido se elaboran con una gran cantidad de aditivos con el fin de acortar el tiempo de producción, conseguir un color estable y un sabor natural. Por ello, se han desarrollado procesos nanotecnológicos en el que se usan micelas para encapsular ingredientes como las vitaminas o los ácidos grasos, y que sirven como conservantes y coadyuvantes en la producción. Estas partículas nanoscópicas aumentan la biodisponibilidad de estos ingredientes para nuestro organismo. Diferentes estudios sobre estos procesos nanotecnológicos, han demostrado que son capaces acelerar el proceso de elaboración del alimento, reduce los costes de fabricación, además consigue una gran estabilidad del color y sabor del alimento (Invernizzi *et al.*, 2011).
- Otro de los aspectos en los que la nanotecnología ha supuesto un gran avance, es en el consumo de sal. La Organización Mundial de la Salud recomienda consumir unos cinco gramos de sal por persona al día, sin embargo, en España se consume el doble de la dosis diaria recomendada según un estudio de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (2010). Diferentes investigaciones han demostrado que mediante la nanotecnología se puede disminuir el tamaño de los granos de sodio, lo que aumentaría la relación de

superficie expuesta. Con este proceso, se consigue obtener el mismo sabor salado, pero con una menor cantidad de sal, algo con grandes beneficios en la salud del consumidor.

4.4 Seguridad alimentaria

La evolución de la nanotecnología da lugar a nuevas formas de control en el campo de seguridad alimentaria, donde ya se han creado destructores de microorganismos y biosensores para detectar la presencia de cualquier contaminante.

4.4.1 Eliminación de microorganismos

La nanotecnología ha conseguido grandes avances en la destrucción y eliminación de microorganismos tales como bacterias y virus, gracias a las características de diferentes nanomateriales:

- Nanopartículas de dióxido de titanio: son capaces de destruir las células bacterianas de una manera muy sencilla, gracias a que producen la peroxidación de los fosfolípidos de la membrana de las células, interrumpiendo la respiración celular. Permiten la destrucción de bacterias de 5 nanómetros y descartar olores (Carbone *et al.*, 2016).
- Nanopartículas de plata: tienen una gran actividad antimicrobiana frente a las bacterias Gram negativas, produciendo perforaciones en su pared bacteriana, cambiando la morfología de la membrana, haciéndola más permeable y dando lugar a la muerte celular. Además, la plata favorece la desnaturalización y la oxidación de la pared celular, lo que produce la ruptura de sus componentes y la muerte bacteriana. Son capaces de inhibir hasta el 90% del crecimiento microbiano en los alimentos (Carbone *et al.*, 2016).

Las nanopartículas de dióxido de titanio y las de plata son las dos más estudiadas y utilizadas como antimicrobianos, pero también existen las nanopartículas de zinc que se utilizan como parte de revestimiento en material quirúrgico, las nanopartículas de oro usadas como antifúngico y las nanopartículas de óxido nítrico que se utilizan para tratar las heridas infectadas (Cagri *et al.*, 2004).

4.4.2 Nanosensores utilizados en la industria alimentaria

Existen diferentes nanosensores que se han desarrollado recientemente o están todavía en desarrollo para controlar la seguridad y la calidad de los alimentos, como los utilizados en la nariz o en la lengua electrónica. Entre ellos, destacan los siguientes:

- Sensores basados en nanopartículas: como los sensores basados en nanopartículas metálicas de oro de unos 20 nanómetros conjugadas con estreptavidina, ya que son capaces de adsorber diferentes moléculas, enzimas o toxinas, lo que les confiere capacidad de ser marcadores biológicos. La unión de nanopartículas con biomoléculas permite la fusión de sus propiedades, como la fluorescencia de las nanopartículas y la capacidad de las biomoléculas para reconocer un lugar específico (Rojas *et al.*, 2016).
- Nanocantilevers: el método de detección de estos sensores está basado en su capacidad para realizar interacciones entre el sustrato y el cofactor enzimático, el receptor y el ligando o el anticuerpo y el antígeno; lo que da lugar a una señal física o electromecánica. Están formados por pequeños fragmentos de materiales a base de sílice que tienen la capacidad de reconocer proteínas, detectar virys y bacterias patógenas. La detección de estos organismos patógenos se basa en su potencial de vibración en distintas frecuencias y depende de la biomasa de los patógenos (Mihai *et al.*, 2018).
- Tiras reactivas de nanotecnología: por ejemplo, en el caso de la diabetes, existen tiras reactivas formadas por biosensores de glucosa elaborados a partir de nanohilos de óxido de zinc, unidos con enzimas de glucosa oxidasa que se encargan de la detección del carbohidrato. Puede utilizarse en diferentes fluidos, como el sudor o la saliva, lo que supondría el relevo de la técnica actual de pinchar para obtener sangre (Fundación Argentina de Nanotecnología, 2019).

4.4.3 Biosensores

Para la detección de sustancias en los alimentos, se han desarrollado los biosensores, también llamados nanoanalistas de los alimentos. Se trata de unos nanodispositivos de análisis integrado por un compuesto de reconocimiento biomimético (polímeros o ácidos nucleicos peptídicos) o biológico (células, enzimas o anticuerpos, entre otros) unido a un sistema que es capaz de procesar las señales ópticas, térmicas, eléctricas o nanométricas producidas por la interacción entre el sensor y el analito (Sozer *et al.*, 2009).

Principales ventajas de los biosensores:

- Corto tiempo de análisis
- Elevada sensibilidad, especificidad y fiabilidad

- Capacidad para realizar varios análisis a la vez
- Facilidad de automatización
- Trabajar a tiempo real
- Versatilidad y manejo sencillo
- Bajo coste de producción y mantenimiento

Dentro del grupo de los biosensores utilizados en la industria alimentaria que utilizan los nanosensores comentados anteriormente, se encuentran los nanochips, la lengua electrónica, la nariz electrónica y los sensores químicos (Sozer *et al.*, 2009).

Nanochips

Se trata de dispositivos que tienen una gran cantidad de moléculas biológicas, entre las que se encuentran las proteínas, los ácidos nucleicos, los tejidos o los anticuerpos, de manera ordenada en dos dimensiones y colocadas sobre un soporte sólido.

En estos nanochips se pueden inmovilizar fragmentos de material genético monocatenarios (secuencias cortas de ADN, ADN complementario sintetizado a partir de ARNm o fragmentos de ADN como resultado de una replicación *in vitro*). Los ácidos nucleicos de las muestras que se quieren analizar se marcan mediante métodos enzimáticos, fluorescentes... y se incuban sobre el nanochip.

Una vez terminada la incubación, se procede al reconocimiento entre las moléculas complementarias, que se detectará mediante fluorímetros, escáneres y otros equipos de laboratorio (Sozer *et al.*, 2009).

Lengua electrónica

Es un instrumento que analiza un medio líquido y es capaz de detectar su sabor de una manera artificial. El proceso se realiza mediante nanosensores que permiten reconocer y cuantificar los cuatro sabores básicos. Entre las funciones de la lengua electrónica destacan (Baldwin *et al.*, 2011):

- Estimación tanto de la vida útil como del nivel de frescura del alimento
- Análisis de todos los componentes del alimento

- Detección de sustancias indebidas en el alimento, tales como aditivos, plaguicidas o fármacos, además de indicar la presencia de microorganismos alterantes y patógenos, toxinas y metales pesados
- Detección de alérgenos y factores antinutricionales en el alimento.

Nariz electrónica

Este dispositivo olfativo permite realizar análisis cuantitativos y cualitativos de manera artificial, de diferentes mezclas de gases y olores hasta en concentraciones de partes por billón, es decir, concentraciones muy bajas.

La nariz electrónica está formada por un instrumento que entra en contacto con el aroma, una cámara en la que se encuentran los nanosensores de medida y un sistema capaz de registrar y procesar los resultados.

Se trata de un avance tecnológico muy importante, ya que dan resultados objetivos, reproducibles y eficaces, algo que antes era difícil debido a la subjetividad de medir el sentido del olfato (Baldwin *et al.*, 2011).



Figura 3. Nariz electrónica (PDM, 2015).

Nanosensores químicos

Estos nanosensores funcionan de una manera similar al sistema gustativo de las personas, donde el gusto ácido está relacionado con los protones que liberan los alimentos ácidos, el gusto salado detecta los iones de sodio y potasio o el gusto dulce las moléculas de glucosa del alimento, por ejemplo.

Los sensores químicos perciben de igual manera estos compuestos que reaccionan con la membrana del dispositivo para producir una señal eléctrica. Con todas estas señales que el sensor produce tras el contacto con los diferentes compuestos, se elabora una huella de dicho sabor.

Para medir cada sabor, se necesitan varios sensores que cuenten con una sensibilidad diferente y sean específicos para los distintos componentes. Esta nueva tecnología es capaz de medir la intensidad de los sabores, así como la calidad de los compuestos que forman parte de una sustancia, principio que comparten con la lengua electrónica.

Estos sensores están formados por una membrana formada por diferentes receptores para cada compuesto que se quiere detectar, reaccionan entre sí y originan una señal química. Esta señal llega a un transductor que la convierte en una señal eléctrica u óptica para posteriormente, amplificarla y leerla en un instrumento de medida, que irá conectado a un ordenador (Neethirajan *et al.*, 2010).

Los biosensores no son simplemente dispositivos que puedan detectar sabores u olores, sino que son unas tecnologías capaces de colaborar en el control de la calidad y la seguridad alimentaria. Esto es una característica a destacar, ya que en la actualidad, la legislación alimentaria es muy estricta con la seguridad y la calidad alimentaria, por lo que se necesita de nuevas tecnologías como los biosensores, para comprobar el cumplimiento de la legislación alimentaria.

De hecho, ya se están utilizando en diferentes etapas como en la trazabilidad alimentaria, en el análisis de la vida útil y el nivel de frescura de los alimentos, la detección de fraudes como la sustitución de una especie por otra o la adición de alérgenos, así como la detección de plaguicidas, metales pesados, biotoxinas y otros microorganismos alterantes y patógenos.

En lo que respecta a la detección de microorganismos alterantes y patógenos, ya existen biosensores capaces de detectar *Listeria monocytogenes*, *E.coli* o *Staphylococcus aureus* y sus toxinas (Rashidi *et al.*, 2011).

4.4.4 Envasado de alimentos

La nanotecnología ha permitido la creación de diferentes materiales capaces de disminuir el peso de los envases de los alimentos y, sobre todo, materiales con características antimicrobianas, barreras frente a los gases, temperaturas y golpes.

Además, estas barreras son más elásticas y resistentes que el envasado común. También aportan una mayor transparencia para que el consumidor vea de una manera más clara el alimento envasado, algo muy importante a la hora de decidirse por un producto o por otro. Algunas de estas barreras están formadas por recubrimientos anti-suciedad, ya sea

gracias a superficies hidrófobas que repelen el agua o nanopartículas de dióxido de titanio que eliminan la suciedad de los envases (Dingman, 2008).

Los materiales más utilizados en el envasado de los alimentos son los polímeros, que se utilizan tanto en botellas, bolsas o cajas gracias a su gran versatilidad. Mediante el uso de diferentes nanoestructuras los polímeros pueden cambiar sus propiedades, llegando a variar su permeabilidad frente a líquidos y gases, su resistencia a la luz, sus propiedades físicas y cumplir con las condiciones de conservación de los alimentos que contiene.

Para modificar estas propiedades de los polímeros se pueden utilizar diferentes métodos, entre los que destacan los nanocompuestos. Se trata de sustancias formadas por dos o más componentes; el que se encuentra en mayor porcentaje se denomina matriz y el que se encuentra en menor cantidad se denomina carga, que debe estar en tamaño nanométrico (Mehar *et al.*, 2012).

Como se ha comentado anteriormente, existen diferentes métodos de síntesis de nanopartículas, pero el más utilizado en el ámbito del envasado de alimentos es el sol-gel. Con esta técnica se pueden conseguir nanopartículas de elevada pureza, homogéneas y con distintas morfologías, características indispensables para su utilización en la industria alimentaria; una de las más exigentes en la legislación.

La creación de nanopartículas para su uso en el envasado de alimentos, está muy relacionada con las exigencias de los consumidores. En la actualidad, está aumentando la demanda de alimentos más seguros, con una mayor información y con una elevada relación entre el coste y la calidad del producto. Por ello, se están elaborando envases que permitan al consumidor conocer en todo momento el estado del producto, incluyendo si ha sido contaminado física, química o microbiológicamente. Además, estos envases ayudan al productor del alimento a controlar de una manera más sencilla y eficaz tanto la producción, como el transporte y almacenamiento de los alimentos.

El propósito del envasado de los alimentos es aumentar su vida útil al evitar su deterioro, el desarrollo de bacterias o la pérdida de nutrientes. Con la ayuda de la nanotecnología se ha conseguido obtener una prolongación de la vida útil de los alimentos gracias a un envasado más seguro, además de unos alimentos más saludables y un aumento de la trazabilidad de los productos alimenticios. (Neethirajan, 2011)

La utilización de nanocompuestos está siendo indispensable en la elaboración de envases más flexibles, activos e inteligentes, que tienen propiedades de autoreparación de roturas y fugas, y son capaces de responder a cambios de temperatura y humedad. Entre los envases de alimentos en los que participa la nanotecnología destacan los envases activos y los envases inteligentes, que cuentan con nanosensores capaces de detectar los parámetros anteriormente comentados. Cabe destacar que los envases activos e inteligentes pueden utilizarse de manera conjunta para obtener un envase mucho más seguro (Ravichandran, 2010).

El envasado inteligente es el que es capaz de detectar cuándo el alimento está empezando a deteriorarse y alerta al consumidor, mientras que el envase activo libera agentes antimicrobianos, sabores o suplementos nutricionales al alimento al comenzar su deterioro.



Figura 4. Indicador de frescura en envases inteligentes (Muller *et al.*, 2019).

El envasado activo se divide en absorbedores y emisores. Los primeros, alargan la vida útil de los alimentos mediante la absorción o eliminación de compuestos específicos que se forman en el envase, ya sea oxígeno, humedad u olores entre otros.

En estos envases existe transferencia de sustancias del envase al sistema activo que absorbe las sustancias pero no se produce la migración de sustancias sobre el alimento, aunque pueda dar lugar a efectos sobre su vida útil u otras características del alimento.

Los emisores consisten en envases que tienen o forman sustancias que migran a la atmósfera del alimento o al propio alimento con un objetivo específico. Estas sustancias pueden tener efecto biocida, aportar aromas o aditivos alimentarios, compuestos que el consumidor ingeriría junto con el alimento (Mihindukulasuriya *et al.*, 2014).

Por otro lado, los envases inteligentes son aquellos capaces de indicar diferentes características del envase, como la temperatura, el estado del envase, el crecimiento de microorganismos e incluso la detección de fraudes en el alimento envasado. Se trata de indicadores que pueden encontrarse tanto dentro como fuera del envase, y nos informan de la calidad del alimento y de los gases que lo rodean, además de las condiciones de almacenamiento de dicho producto.

Dentro de los envases inteligentes, existen algunos tipos que entran en contacto con el alimento o con el espacio de cabeza, y otros que no hace falta que interactúen con el alimento. Este tipo de envases están en auge en la actualidad, y pueden indicar el tiempo y temperatura, la frescura del alimento y detectar fugas (Mihindukulasuriya *et al.*, 2014).

La nanotecnología está revolucionando los envases debido a su capacidad de modificar la permeabilidad del envase, aumentar sus propiedades químicas, mecánicas y microbianas, así como aumentar su resistencia al calor.

4.4.5 Nanopartículas utilizadas y aplicaciones en envases activos e inteligentes

En la industria alimentaria actual, las nanopartículas más utilizadas son el óxido de zinc, como agente adherente para obtener un mejor envoltorio de los alimentos y, sobre todo, las nanopartículas de plata. Algunas de sus aplicaciones en el mercado son (Neethirajan *et al.*, 2011):

- Bolsas de plástico para guardar los alimentos.
- Refrigeradores de alimentos.
- Recipientes de plástico para almacenar los alimentos.
- Biberones, cafeteras y teteras.
- Tablas para picar alimentos y otros utensilios de cocina.

Otros ejemplos de envases activos e inteligentes

- Polímero a escala nano con la capacidad de liberar ingredientes a los alimentos cuando recibe algún estímulo externo. Es capaz de controlar la humedad, la concentración de oxígeno, el olor y el sabor y el crecimiento de bacterias.
- Biosensor constituido a base de nanotubos de pared múltiple con la capacidad de detectar componentes tóxicos y microorganismos patógenos en los alimentos.

- Películas compuestas por nanopartículas de carbón negro, de unos 50 nanómetros, capaces de detectar la descomposición de los alimentos y producir un viraje de color
- Sensores de oxígeno formados por nanopartículas de dióxido de titanio, capaces de detectar fraudes y manipulaciones no permitidas.
- Biosensores nanotecnológicos capaces de detectar la contaminación en los alimentos producida por microorganismos patógenos.

4.4.6 Envase antimicrobiano

Los sistemas de envases antimicrobianos están siendo de gran importancia en la industria alimentaria, debido a que pueden prolongar la vida útil del alimento y mantener su seguridad, gracias a la reducción del crecimiento microbiano. Estos recubrimientos antimicrobianos de nanopartículas colocados en la matriz del material de envasado, reducen el desarrollo de bacterias tanto en el alimento como a su alrededor, lo que permite mantener la esterilidad de los alimentos pasteurizados o inhibir el crecimiento microbiano en alimentos no esterilizados (Rojas *et al.*, 2006).

Las nanopartículas con carácter antimicrobiano que más se están utilizando en este tipo de envases son nanopartículas de óxido de plata, óxido de zinc, óxido de magnesio y nanopartículas de nisina obtenidas a partir de la fermentación de la bacteria *Lactococcus lactis* (Rojas *et al.*, 2006).

4.4.7 Almacenamiento mejorado de alimentos

La causa principal del deterioro de los alimentos envasados es la presencia de oxígeno, ya que provoca la oxidación de grasas y aceites y el crecimiento de microorganismos aerobios. Además, el oxígeno acelera las reacciones que ocurren en el interior del envase, como los cambios de textura, color y olor. Por ello, la nanotecnología ha desarrollado eliminadores de oxígeno que puedan aplicarse a diferentes alimentos, como la carne, las bebidas y la pasta, así como absorbedores de humedad en carnes y pescados frescos o absorbedores de etileno en frutas y verduras (Ohtman, 2014).

Ya existen en el mercado envases con películas de nanopartículas de sílice que reducen la entrada del oxígeno y de otros gases, la salida de humedad y evita que el alimento se deteriore tempranamente. También se ha creado un nanocompuesto formado por nanopartículas de arcilla que se utilizan en las botellas de plástico para aportarles

dureza, reducir la permeabilidad de los gases y evitar la pérdida de dióxido de carbono en bebidas como la cerveza (Sozer *et al.*, 2009).

4.4.8 Envases biodegradables

En los últimos años, se han desarrollado materiales de envasado basados en biopolímeros naturales, que tienen un gran potencial para mejorar la seguridad, calidad y estabilidad de los alimentos. Un ejemplo son los envases biodegradables elaborados a partir de quitina, que se solubiliza y se hace pasar a través de un pequeño orificio con electricidad aplicada para dar lugar a nanofibras. Estas nanofibras son muy resistentes y naturalmente antimicrobianas, perfectas para un envase biodegradable. Además, se han desarrollado bolsas y sobres de envasado de alimentos a partir de ácido poliláctico biodegradable, con propiedades semejantes a las del tereftalato de polietileno (PET), obtenido a partir de polímeros de nanocompuestos de plantas de maíz (Ohtman, 2014).

4.4.9 Seguimiento y rastreo

La nanotecnología también ayuda a la industria alimentaria en la trazabilidad, ya que puede rastrear las características de un alimento para evitar su falsificación. Para ello, la nanotecnología utiliza nanocompuestos invisibles con información del lote al que corresponde cada sustancia del envasado, lo que garantiza la seguridad alimentaria. Principalmente, se utilizan nanopartículas de oro, plata y platino de diferente tamaño para crear franjas de diferente reflectividad. Estas franjas crean códigos que se asignan a cada alimento.

Otro ejemplo, son los nanodiscos de oro y níquel que se han desarrollado con el objetivo de detectar ADN y elaborar etiquetas para el seguimiento de los productos alimenticios. Estos nanodiscos se unen con moléculas de tinta, cromóforos, que emiten diferentes espectros de luz al ser iluminados por un rayo láser (Nam *et al.*, 2003).

4.4.10 Nanorecubrimientos comestibles

Desde hace mucho tiempo, existen materiales cerosos que se utilizan como recubrimientos en alimentos como la manzana. En la actualidad, gracias a la nanotecnología, se han desarrollado recubrimientos comestibles a nanoescala con un grosor inferior a 5 nanómetros, por lo que es imposible ser apreciado por el consumidor.

Estos recubrimientos se están utilizando ya en diferentes alimentos, como en la carne, las frutas, la comida rápida y el embutido. Entre sus principales funciones destacan (ELIKA, 2012):

- Protección del alimento frente a la humedad y el intercambio de gases
- Aumentar la estabilidad del color y del sabor
- Retrasar o evitar la oxidación del alimento
- Prolongar la vida útil del alimento

4.4.11 Alimentos funcionales

Se consideran alimentos funcionales a aquellos que además de contar con las propiedades nutritivas básicas del alimento, aportan un efecto beneficioso en la salud del consumidor.

Los alimentos funcionales, también llamados nutraceuticos debido a la relación entre nutrición y farmacéutico, no necesitan receta médica para ser consumidos; por ello los consumidores sienten atracción por estos alimentos ya que piensan que son más saludables y pueden prevenir enfermedades.

Para la producción de estos alimentos, se utilizan nanopartículas con el objetivo de conseguir una mejor absorción por parte de nuestro organismo, así como mejorar la biodisponibilidad y estabilidad de estos. Los micelios son una de las formas más utilizadas, ya que son capaces de encapsular diferentes sustancias como los agentes antimicrobianos, lípidos o vitaminas.

Las nanopartículas que se añaden de forma más común a los alimentos funcionales, sobre todo en productos lácteos y cereales, son las vitaminas, minerales, antioxidantes y esteroides vegetales (Kaya *et al.*, 2012).

4.5 Toxicidad de las nanopartículas

En la actualidad, se han realizado una gran cantidad de estudios *in vitro* e *in vivo* para evaluar las consecuencias que tienen los nanomateriales en los organismos que entran en contacto con ellos, con el objetivo de conocer los efectos sobre la salud al exponerse a sustancias en escala nanométrica.

Cabe destacar que la interacción de los nanomateriales con otras sustancias de los alimentos, influye en su nivel de toxicidad. Esto quiere decir que los efectos conseguidos en las investigaciones realizadas *in vivo* o *in vitro*, pueden aparecer a distinto nivel o de diferente forma al consumir ese nanomaterial en la dieta (AESAN, 2010).

Con los conocimientos actuales, es difícil concluir tanto ciertas propiedades de las nanopartículas, como su toxicidad. En la mayoría de los casos, no es posible extrapolar los datos de toxicidad de un nanomaterial, mediante los datos obtenidos a una mayor escala. Además, la mayor parte de datos sobre toxicidad en estudios *in vivo* de los nanomateriales son bastante limitados, en lo que puede influir las técnicas de evaluación de toxicidad, que pueden no ser las adecuadas.

Además de la toxicidad aguda causada por la ingesta de nanomateriales, es muy preocupante la toxicidad crónica o a largo plazo. Diferentes estudios han demostrado que, en el caso de que nanopartículas no degradables no provoquen una respuesta tóxica aguda, puede ser debido a que se acumulen en el organismo y den lugar a lesiones en las células y tejidos, coágulos sanguíneos o cáncer. A continuación, se muestran algunos ejemplos de la toxicidad de nanopartículas en estudios realizados *in vivo* e *in vitro* (Ziarati *et al.*, 2018).

Fullereno C60	Aplicación mediante nanoesferas. Ausencia de efectos tóxicos a bajas concentraciones.
Nanotubos de carbono	Aplicación mediante nanotubos. Administración vía oral. Efectos tóxicos en hígado y pulmones.
Carbono negro	Aplicación mediante nanoesferas. Administración por instilación. Produce daños en el ADN.
Óxido de titanio	Partículas de 20 nanómetros. Administración mediante diferentes concentraciones de agua. Produce daños en el ADN.
Plata	Partículas de 60 nanómetros. Administración vía oral en ratas durante 28 días. Ausencia de efectos tóxicos observables.

Tabla 1. Toxicidad en estudios *in vivo* (Cheng-teng *et al.*, 2010).

Carbono 60	Aplicación mediante nanoesferas en ratones. Incremento de las mutaciones e induce deleciones en el material genético.
Nanotubos de carbono	Aplicación mediante nanotubos en linfocitos humanos. No produce efectos tóxicos pero induce la inhibición de la mitosis.
Carbono negro	Partículas de tamaño medio de 1 nanómetro. Aplicación en células epiteliales de ratones. No produce la muerte celular pero ralentiza su proliferación y el ciclo celular.
Óxido de aluminio	Aplicación en fibroblastos humanos. Incremento de micronúcleos en células binucleadas y pérdida de cromosomas.
Cobalto	Nanopartículas de entre 20 y 500 nanómetros. Aplicación en leucocitos. Induce daños en el ADN y efectos genotóxicos.
Óxido de titanio	Nanopartículas de 100 nanómetros. Aplicación en fibroblastos de ratones. Incrementa las mutaciones e induce deleciones en el material genético.
Óxido de zinc	Aplicación mediante nanoesferas en células epidérmicas de humanos. Produce daños significantes en el ADN e induce el estrés oxidativo.
Plata	Aplicación mediante nanoesferas de 30 nanómetros en células de peces. Produce aneuploidía y daño en los cromosomas.

Oro	Aplicación de nanopartículas de 20 nanómetros en fibroblastos humanos. Produce daños significantes en el ADN.
Platino	Aplicación de nanopartículas de entre 5 y 8 nanómetros en células humanas. Incrementa el daño en el material genético.
Dióxido de cerio	Aplicación de nanopartículas en células epiteliales humanas. No produce daños en el ADN.

Tabla 2. Toxicidad en estudios in vitro (Chen-teng *et al.*, 2010).

Los nanomateriales pueden ser ingeridos de diferentes formas por el consumidor, ya sea mediante el consumo de alimentos constituidos por nanopartículas, por la migración de estas sustancias del envase al alimento, residuos de nanomateriales que forman parte de fertilizantes o medicamentos veterinarios que permanecen en los alimentos tras su uso en la producción agrícola, o por la ingesta de animales capturados directamente por el consumidor mediante la pesca o caza.

Como hemos visto, los nanomateriales pueden dar lugar a una gran variedad de efectos perjudiciales sobre la salud de las personas. Por ello, es muy importante establecer las medidas adecuadas para evitar niveles de exposición demasiado altos a estas partículas. Sobre todo, es indispensable en los productores y manipuladores de alimentos y envases que contienen nanomateriales, ya que su nivel de exposición es mucho mayor que el del resto de la población, por lo que los efectos nocivos se acentuarán más en estos trabajadores.

4.6 Legislación de la nanotecnología en la industria alimentaria

La Unión Europea cuenta con una legislación específica que garantiza la seguridad tanto de los alimentos como de todos los productos puestos en mercados, y que implica a los productores, distribuidores y consumidores. Por ello, las nanopartículas también forman parte de esta legislación y están reguladas por diferentes reglamentos, ya sea de manera directa o indirecta.

El Reglamento (CE) nº 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo sobre el registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados

químicos (REACH), no abarca explícitamente a los nanomateriales, que estarían incluidos en la definición de sustancia contenida de este reglamento. Sin embargo, en la última actualización de la guía REACH sobre los requisitos de información y evaluación de la seguridad producida en el año 2012, sí que abarca de manera directa las nanopartículas.

Según esta guía, se exige al productor de los nanomateriales el registro de dichos materiales a escala nano antes de su puesta en el mercado. Con ello, se consigue que la etiqueta del producto contenga la información necesaria para que la empresa que vaya a utilizar esos materiales, pueda realizar una adecuada prevención de riesgos laborales. Esta información es importante, ya que las características de los mismos materiales a escala normal no son válidos.

Los aditivos tanto para alimentos como para piensos, así como los materiales destinados a estar en contacto con los alimentos, están regulados por diferentes reglamentos en la Unión Europea (Monahan *et al.*, 2016). Las nanopartículas, incluidas en estos materiales, se abordan principalmente en los siguientes reglamentos:

- Reglamento (CE) nº 450/2009 de la Comisión sobre materiales y objetos activos e inteligentes destinados a entrar en contacto con los alimentos.
- Reglamento (UE) nº 10/2011 de la Comisión sobre materiales y objetos plásticos destinados a entrar en contacto con los alimentos.
- Reglamento (UE) nº 1169/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo sobre la información alimentaria facilitada al consumidor.
- Reglamento (UE) nº 528/2012 del Parlamento Europeo y del Consejo relativo a la comercialización y el uso de los biocidas.
- Reglamento (UE) nº 2283/2015 del Parlamento Europeo y del Consejo relativo a los nuevos alimentos.
- Reglamento (CE) nº 1333/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo sobre aditivos alimentarios.
- Reglamento (CE) nº 767/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo sobre la comercialización y utilización de los piensos.

Además de estos reglamentos, existen diferentes guías que también abarcan a los nanomateriales. Por ejemplo, desde 2012 está en vigor una guía para evaluar el riesgo

de la aplicación de la nanociencia y la nanotecnología en alimentos y en la cadena alimentaria, que fue publicada por la EFSA (European Food Safety Authority). En ella, se indican varias prácticas con las que se pueden evaluar los riesgos derivados del uso de la nanotecnología en aditivos alimentarios, sustancias en contacto con los alimentos o nuevos alimentos, entre otros. En esta guía se indican distintas técnicas físicas y químicas, así como técnicas *in vivo* e *in vitro* para poder caracterizar los peligros que causan los materiales en escala nanométrica.

Debido a la demanda de una mayor transparencia y claridad de los nanomateriales y los riesgos de su exposición, distintos Estados Miembros y el Parlamento Europeo, han solicitado una mayor información de las nanopartículas en la etiqueta de los productos que están formados por ellas, o con la elaboración de registros de dichos productos.

En la actualidad, la legislación europea indica que es obligatorio añadir en la etiqueta de los productos que contienen nanomateriales, la palabra nano entre paréntesis al lado del nombre del material en la lista o tabla de ingredientes. Además de añadir estos datos al etiquetado del producto, se están creando registros para recopilar información sobre las nanopartículas utilizadas en dichos productos. Estos registros indican tanto la aplicación de estos nanomateriales como la exposición que pueden padecer los consumidores y el medio ambiente. De hecho, ya existen países en los que se han publicado una lista de los nanomateriales autorizados para estar en contacto con los alimentos o para ser utilizado en ellos, como ocurre en Reino Unido (Chau *et al.*, 2007).

5.Conclusiones

Los estudios analizados en esta revisión bibliográfica muestran unos resultados bastante prometedores sobre el uso de la nanotecnología en la industria alimentaria. Como hemos visto, ya existen numerosas aplicaciones de esta nueva tecnología a escala nanométrica, además de muchas otras que están investigando. Entre ellas, destaca el procesado de alimentos, donde se utilizan nanopartículas y nanotubos con el fin de obtener alimentos más saludables, retrasar su oxidación y prolongar su nivel de frescura. También, su aplicación en la seguridad alimentaria está mostrando numerosas ventajas en la industria de los alimentos actual, donde mediante el uso de nanopartículas de plata y de dióxido de titanio principalmente, se están obteniendo envases activos e

inteligentes, que cuentan con propiedades antimicrobianas e indicadores de temperatura, frescura y fugas.

Pese a los efectos genotóxicos que presentan ciertas nanopartículas, se puede decir que las predicciones futuras sobre la aplicación de la nanotecnología en la industria alimentaria son muy buenas. Para lograrlo, se necesitará la elaboración de una legislación restrictiva y exigente en la que se indiquen todos los nanomateriales permitidos, sus límites máximos, así como la obligación de incluir en el etiquetado de los productos la cantidad que contiene.

Además, será necesario desarrollar nuevas técnicas o modificar las actuales para determinar las nanopartículas que componen los alimentos, con el objetivo de poder realizar análisis para evaluar la exposición tanto de los consumidores, como la del medio ambiente.

Una vez se hayan conseguido todos estos avances, seguramente la nanotecnología pueda utilizarse en todas las etapas de la cadena alimentaria para la obtención de alimentos mucho más saludables y estables que los que tenemos actualmente.

Conclusions

The studies analyzed in this literature review show some very promising results on the use of nanotechnology in the food industry. As we have seen, there are already numerous applications of this new technology at the nanometer scale, in addition to many others that are investigating. Among them, highlights the food processing, where nanoparticles and nanotubes are used in order to obtain healthier foods, delay their oxidation and prolong their level of freshness. Also, its application in food safety is showing numerous advantages in the current food industry, where through the use of silver nanoparticles and titanium dioxide mainly, active and intelligent containers are being obtained, which have antimicrobial properties and indicators of temperature, freshness and leakage.

Despite the genotoxic effects of certain nanoparticles, it can be said that future predictions about the application of nanotechnology in the food industry are very good. To achieve this, it will be necessary to develop a restrictive and demanding legislation in which all the permitted nanomaterials are indicated, their maximum limits, as well as the obligation to include in the labeling of the products, the quantity that it contains.

In addition, it will be necessary to develop new techniques or modify current ones to determine the nanoparticles that compose the food, with the aim of being able to perform analyzes to evaluate the exposure of both consumers and the environment.

Once all these advances have been achieved, surely nanotechnology can be used in all stages of the food chain to obtain much healthier and more stable food than we currently have.

6. Valoración personal

La realización de este Trabajo de Fin de Grado me ha servido para conocer la importancia que tiene el desarrollo de nuevas tecnologías, en este caso la nanotecnología, en la evolución de la industria alimentaria. Gracias a todos los estudios y libros que he consultado acerca de la nanotecnología, he podido darme cuenta de todas las aplicaciones que tiene y tendrá tanto en el procesado de alimentos, en la conservación de estos y en la seguridad alimentaria. Aunque todavía falte investigación acerca de su toxicidad, estoy seguro de que en un futuro las nanopartículas serán claves en la alimentación.

Respeto a la lectura de diversos estudios en inglés, me ha servido para conseguir una mayor fluidez con el idioma, además de familiarizarme con un lenguaje más científico que seguramente sea de gran utilidad en el mundo laboral.

7. Bibliografía

- Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición. (2010). *Más control, mayor seguridad* (online). Disponible en:

<https://www.diba.cat/documents/713456/1561316/Mem%C3%B2ria+AESAN+2010.pdf?version=1.0> (Consultado el 2 de mayo 2019)

- Aguilera, J. (2004). *Why food microstructure*. Journal of food engineering, 67, 3-11.

- Almengor, L. (2009). *Nanotecnología en la industria alimentaria*, 13, 35-52.

- Alonso, B. and Casado, C. (2016). *Dendrímeros: macromoléculas versátiles con interés interdisciplinar*.

- Baldwin, E., Bai, J., Plotto, A. and Dea, S. (2011). *Electronic Noses and Tongues: Applications for the Food and Pharmaceutical Industries*. Sensors, 11, 4744-4766.

- Cagri, A. and Ustunol, Z. (2004). *Antimicrobial edible films and coatings*. Journal of Food Protection, 67, 833-848.

- Carbone, M., Tomasa, D., Sabbatella, G. and Antiochia, R. (2016). *Silver nanoparticles in polymeric matrices for fresh food packaging*. Journal of King Saud University-Science.

- Centro Tecnológico de Nutrición y Salud. *Nutrición personalizada* (online). Disponible en: <http://www.ctns.cat/nutricion-personalizada> (Consultado el 1 de junio 2019)

- Chau, C., Wu, S. and Yen, G. (2007). *The development of regulations for food nanotechnology*. Trends in Food Science and Technology, 18, 269-280.

- Cheng- Teng, N., Jasmine, J., Boon, B. and Lin-Yue, L. (2010). *Current Studies into the Genotoxic Effects of Nanomaterials*. Journal of Nucleic Acids, 2010, 1-12.

- Comisión de las Comunidades Europeas. (2004). *Hacia una estrategia europea para las nanotecnologías*, 338.

- Comisión de las Comunidades Europeas. (2012). *Segunda revisión de la normativa sobre los nanomateriales*, 572.

- Coppo, J. (2009). *Nanotecnología, medicina veterinaria y producción agropecuaria*, 1, 61-71.
- Dingman, J. (2008). *Nanotechnology: its impact on food safety*. Journal of Environmental Health, 70, 47-70.
- ELIKA (2012). *La nanotecnología en la industria alimentaria* (online). Disponible en: <http://www.elika.net>. (Consultado el 20 de abril 2019)
- Fundación Argentina de Nanotecnología (2019). *Biosensores basados en nanotecnología*. Disponible en: <https://www.fan.org.ar/portfolios/biosensores-basados-en-nanotecnologia/> (Consultado el 20 de abril 2019).
- Invernizzi, N. and Foladori, G. (2011). *Implicaciones de las nanotecnologías en el empleo*, 2, 54-71.
- Kaya, H. and Mallikarjuna, K. (2012). *Better nutrients and therapeutics delivery in food through nanotechnology*. Food Engineering Review, 4, 114-123.
- Mehar, Q., Swaminathan, K., Pervez, K., Sudhir, U. and Umesh, M. (2012). *Application of nanotechnology in food and dairy processing*. Pakistan Journal of Food Sciences, 22, 23-31.
- Mihai, A. and Holban, A. (2018). *Impact of Nanoscience in the Food Industry*, 12, 45-46.
- Mihindukulasuriya, S. and Lim, L. (2014). *Nanotechnology development in food packaging*. Trends in Food Science and Technology, 40, 149-167.
- Monahan, L., Wien, M., Lynne, J. and Davidson, P. (2016). *Food Nanotechnology: Proposed uses, safety concerns and regulations*. Agro-food industry, 27, 36-38.
- Muller, P. and Schmid, M. (2019). *Intelligent Packaging in the Food Sector: A Brief Overview*. Foods, 8, 1-12.
- Nam, J., Thaxton, C. and Mirkin, C. (2003). *Nanoparticle-based bio-bar codes for the ultrasensitive detection of proteins*.
- Neethirajan, S. and Jayas, D. (2010). *Nanotechnology for the food and bioprocessing industries*. Food Bioprocess Technol, 4, 39-47.

- Ohtman, S. (2014). *Bio-nanocomposite Materials for Food Packaging Applications: Types of Biopolymer and Nano-sized Filler*. Agriculture and Agricultural Science Procedia, 2, 296-303.
- Productos Digitales Móviles (PDM). (2015). *Desarrollan biosensores que distinguen olores para crear la nariz electrónica* (online). Disponible en: <https://pdm.com.co/desarrollan-biosensores-que-distinguen-olores-para-crear-la-nariz-electronica/>. (Consultado el 5 de junio 2019)
- Rashidi, L: and Darani, K. (2011). *The applications of nanotechnology in food industry*. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 8, 723-730.
- Ravichandran, R. (2010). *Nanotechnology applications in food and food processing: inovative Green approaches, opportunities and uncertainties for global market*. International Journal of Green Nanotechnology: Physics and Chemistry, 2, 72-96.
- Roel, A., Best, S., Mantovani, E. and Bongiovanni, R. (2006). *Agricultura de precisión: integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable*.
- Rojas, J., Ochoa, V., Ocampo, S: and Muñoz, J. (2006). *Screening for antimicrobial activity of ten medicinal plants used in Colombian folkloric medicine: A possible alternative in the treatment of non-nosocomial infections*. BMC Complementary and Alternative Medicine.
- Rojas, M. and Arcila, L. (2016). *Desarrollo de un nano-inmunosensor basado en nanopartículas metálicas de oro*.
- Sanguansri, P. and Augustin, M. (2006). *Nanoscale materials development a food industry perspective*. Trends in Food Science and Technology, 17, 547-556.
- Saravanakumar, M. and Mary, A. (2017). *A review on the classification, characterisation, synthesis of nanoparticles and their application*, 263.
- Sekhon, B. (2010). *Food nanotechnology – an overview*. Nanotechnology, Science and Applications, 3, 1-15.
- Sekhon, B. (2014). *Nanotechnology in agri-food production: An overview*, 7, 31-53.

- Sozer, N. and Kokini, J. (2009). *Nanotechnology and its applications in the food sector*.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2017). *Classification of Nanomaterials, The Four Main Types of Intentionally Produced Nanomaterials* (online). Disponible en: <https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=1872>. (Consultado el 17 de mayo 2019).
- Weiss, J., Takhistov, P. and Clements, J. (2006). *Functional Materials in Food Nanotechnology*. Scientific Status Summary, 71, 107-116.
- Zanella, R. (2012). *Metodologías para la síntesis de nanopartículas: controlando forma y tamaño*, 5, 69-81.
- Ziarati, P., Shiirkhan, F., Mostafidi, M. and Tamaskani, M. (2018). *A Comprehensive Review: Toxicity of Nanotechnology in the Food Industry*.