



FACULTAD DE FARMACIA
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE

TRABAJO FIN DE GRADO

TÍTULO:

NANOTECNOLOGÍA Y ALIMENTACIÓN

Autor: María del Carmen Pardo de Santayana de Pablo

Tutor: María Luisa Pérez Rodríguez

Convocatoria: Febrero 2018

RESUMEN	3
ABSTRACT	3
INTRODUCCIÓN	4
OBJETIVOS	6
MATERIAL Y MÉTODOS	7
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	7
Aplicaciones de la nanotecnología	7
a) Aplicaciones en la producción agrícola	7
b) Aplicaciones en el procesado de alimentos, aditivos y suplementos alimentarios	9
c) Aplicaciones en materiales en contacto con alimentos. Envasado	10
Toxicología	14
Aspectos regulatorios	16
CONCLUSIONES	18
BIBLIOGRAFÍA	19

RESUMEN

La aplicación de la nanotecnología a la alimentación está revolucionando la industria agroalimentaria. Las nuevas propiedades que ofrece la escala *nano* permiten mejorar la calidad y seguridad de los alimentos desde el comienzo de su producción hasta llegar al plato. La optimización del uso de pesticidas en la agricultura y nuevas técnicas en la cadena de producción, como la reducción del contacto del alimento con patógenos y toxinas o la creación de materiales de envasado que alargan la vida útil del alimento e informan al consumidor, son buenos ejemplos que plasman los avances obtenidos. Sin embargo, el acceso al mercado y la aceptación de los nuevos productos no es total debido a que el conocimiento sobre sus efectos tóxicos y la legislación de los nanomateriales que tenemos actualmente es aún pobre.

ABSTRACT

The application of nanotechnologies in food has revolutionized the agrifood industry. The nano scale possesses new properties that improve food quality and safety from farm to fork. The optimization of pesticide use in the agricultural field together with the new techniques applied throughout the supply chain, such as minimizing toxin and pathogen-food contact, prolonging food shelf life and informing the consumer about it thanks to the procurement of new packaging materials are good examples to show the new advances achieved. Nevertheless, full market access and absolute consumer acceptance of the new products have not been reached yet. This is due to the poor control we have over the toxicological effects and regulation of nanomaterials at the present.

Palabras clave:

nanomaterial, alimentación, pesticidas, envasado, efectos tóxicos y aspectos regulatorios

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la nanotecnología ha supuesto avances muy prometedores en todos los sectores de la industria y uno de los más beneficiados ha sido la industria alimentaria (1). La palabra “nano” equivale a 10^{-9} m y el término general de **nanotecnología** es “la manipulación o auto-ensamblado de partículas muy pequeñas, entre 1 y 100 nm, incluyendo átomos individuales, moléculas o grupos de moléculas, para crear materiales, sistemas, dispositivos o procesos con nuevas o muy diferentes propiedades” (Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA), 2009) (2).

Según la Recomendación de la Comisión Europea (CE) sobre la **definición de “nanomaterial”** 2011/696/EU, término altamente discutido por las diferentes instituciones internacionales, se considera nanomaterial:

-Un material natural, incidental o manufacturado que contiene partículas, en un estado no unido o como un agregado o como un aglomerado y donde, para 50% o más de las partículas en la distribución de tamaño de número, una o más dimensiones externas están en el rango de tamaño 1 nm - 100 nm.

-En casos específicos y cuando lo justifique la preocupación por el medio ambiente, la salud, la seguridad o la competitividad, el umbral de distribución del tamaño del 50% puede ser reemplazado por un umbral entre 1 y 50% (3).

Los nanomateriales difieren de sus equivalentes a macro escala por las **nuevas características** que aportan, como generar una respuesta óptica diferente, diferente fuerza mecánica, conductividad, solubilidad, reactividad química, etc. En la escala “nano” la influencia de la gravedad está muy reducida y las fuerzas intermoleculares, como las fuerzas de Van de Waals o los enlaces de hidrógeno son muy dominantes. Todo esto se debe **al gran aumento de superficie** expuesta a interacciones de los nanomateriales gracias a su reducido tamaño. Aquí, toda interacción del material con otras superficies se incrementa de manera muy pronunciada (4).

Los nanomateriales se usan en la industria alimentaria para mejorar la calidad de los alimentos: prevenir la degradación microbiana en alimentos envasados, mejorar el color, sabor o textura del alimento y aumentar la biodisponibilidad de vitaminas y minerales.

Ha permitido incluso el estudio de nuevos materiales de envasado que mejoran la seguridad y vida útil de los productos. Estas nuevas investigaciones han llevado al desarrollo de técnicas muy innovadoras en los sectores agrícola y alimentario. Se explicarán las aplicaciones de la nanotecnología en la agricultura, producción y envasado de alimentos más adelante en el trabajo.

Los nanomateriales se dividen en tres categorías fuertemente marcadas: Los nanomateriales orgánicos, los combinados orgánicos/inorgánicos, y los nanomateriales inorgánicos:

Figura 1: Esquema de los tipos de nanomateriales utilizados para recipientes utilizados en contacto con alimentos(5).



-Los **nanomateriales orgánicos** se utilizan principalmente en la técnica de nanoencapsulación. Las nanocápsulas son micelas, liposomas o nanoesferas de naturaleza lipídica (la más común) polisacáridica o proteica, capaces de encapsular ingredientes con diferente solubilidad). Las nanocápsulas tienen el ingrediente activo (vitaminas, antioxidantes, conservantes, agroquímicos) atrapado en su interior protegiéndolo de cambios físicos no deseados y esto permite que lleguen intactos a su lugar de destino.

-Los nanomateriales que combinan materia orgánica con inorgánica (también llamados **nanomateriales de superficie modificada**) son nanomateriales que añaden funcionalidades a los materiales convencionales, como la adsorción de oxígeno para aumentar la preservación del alimento o aportar resistencia mecánica a los polímeros utilizados en el envasado

-El uso de **nanomateriales de origen inorgánico** en la industria alimentaria (en aditivos, suplementos alimenticios o envasado) está bastante limitado, aunque aquellos permitidos

se utilizan en grandes volúmenes. Aquí es importante mencionar metales como la plata, el hierro, el calcio, el magnesio, el silicio y el óxido de titanio. El envasado es el área que más aplicaciones ha desarrollado con estos materiales. Destacan la nanoplata por su actividad antibacteriana y el óxido de titanio, que protege de la radiación ultravioleta.

Las nuevas propiedades de los nanomateriales también han generado inquietud sobre su seguridad. El rápido desarrollo de las nuevas técnicas y, por lo tanto, la exposición de la población a los nanomateriales no es proporcional al nivel de conocimiento que se tiene sobre los efectos que las nanopartículas puedan tener en la salud humana y ambiental. Las instituciones trabajan actualmente para cubrir el hueco de información existente, materia a la que también se dedicará una sección en este trabajo.

Figura 2. Aplicaciones de la nanotecnología en el sector agroalimentario (6).



OBJETIVOS

Este trabajo tiene como objetivo presentar una visión general de las aplicaciones de la nanotecnología en el sector alimentario. Ofrece una descripción de las aplicaciones más generales y nanomateriales utilizados en la agricultura, producción y envasado de alimentos. En los últimos apartados se expone la situación y conocimiento actual de la toxicología de estas técnicas y su legislación, en especial a nivel europeo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para la realización de este trabajo se ha llevado a cabo una búsqueda bibliográfica con el fin de conocer las nuevas técnicas de base nanotecnológica aplicadas a la agricultura y la industria alimentaria, centrándose dentro de ésta en los materiales de contacto con el alimento para la producción de envasados y el uso de nano encapsulados. Así mismo, se ha hecho una búsqueda sobre los efectos toxicológicos de las nanopartículas contenidas en los nuevos alimentos y de la situación actual que hay alrededor de la legislación vigente que regula el uso de nanomateriales en este sector.

Para ello, se han consultado distintas bases de datos científicas, a destacar SCIENCE DIRECT (con acceso desde la plataforma de la Universidad Complutense de Madrid). Los artículos seleccionados datan de entre 2008 y 2017. También se consultaron las bases de datos de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA), el Reglamento 2011/696/EU de la Comisión Europea (CE) y el Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) en relación al uso de la nanotecnología en la industria alimentaria.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aplicaciones de la nanotecnología

a) Aplicaciones en la producción agrícola

La nanotecnología ha revolucionado las prácticas agrícolas. El uso de los ingredientes activos a escala nano mejora las técnicas convencionales y se dirige hacia una agricultura más sostenible que busca maximizar la producción y minimizar el uso de los agroquímicos gracias a las nanoformulaciones. Estas son en realidad reformulaciones de los productos ya existentes que solucionan las limitaciones de las anteriores. Destaca el desarrollo de los nanopesticidas, aunque también ha habido grandes mejoras en los promotores de crecimiento de cultivos y aditivos de piensos en ganadería.

Los pesticidas son sustancias químicas que se utilizan para prevenir, destruir o mitigar las plagas que amenazan el crecimiento de los cultivos y, por lo tanto, mejoran el rendimiento de las cosechas (5). La **nanoencapsulación** es actualmente la técnica más prometedora

en la mejora de la protección de plantaciones contra plagas de insectos. Con esta técnica se puede finalmente controlar la liberación e incluso se ha conseguido vehiculizar el destino de los compuestos activos (como la Imidacloprida) y reducir la dosis de aplicación, aumentando la eficacia. Esto ha optimizado más que nunca el uso de pesticidas porque se incrementa la actividad pesticida al mismo tiempo que se mantiene el impacto ambiental al mínimo cumpliendo con el propósito común de desarrollar nanopesticidas que sean menos dañinos para el medio ambiente (7).

Los nano encapsulados consiguen también aumentar la solubilidad de los ingredientes activos (la mayoría poco solubles, como la permetrina) reforzando su dispersión en medios acuosos, consigue una liberación retardada o controlada de estos o los protege contra su degradación prematura (8). También, hay nanopartículas que permiten que el producto se absorba sólo en la superficie de la planta y se libere poco a poco o en un tiempo más prolongado. Otros pesticidas solo se abren en las condiciones alcalinas del intestino del insecto diana o dentro de un rango específico de temperatura o de luz (9).

Los nanomateriales se presentan bajo múltiples formas, desde partículas sólidas (<100nm) hasta estructuras poliméricas o bases oleosas. Los materiales más utilizados para estas nuevas fórmulas son la **plata**, el **óxido de titanio**, el **aluminio**, y el **silicio**, además de **materiales orgánicos** (5). Un buen ejemplo de estos últimos es la **policaprolactona**, utilizada para encapsular etiprol. Se ha visto que su uso refuerza la penetración del pesticida en la planta en comparación con la suspensión tradicional.

Otra aplicación de uso de materiales orgánicos es el desarrollo de **nanogel**s a base de eugenol, una feromona útil en el control de la mosca de la fruta, responsable de la reducción del rendimiento y calidad de las cosechas. El nanogel se forma a partir del nanoensamblaje de las feromonas entre sí, proporcionando estabilidad a las moléculas en espacios abiertos, reduciendo su evaporación y liberación. Se facilita así su transporte sin refrigeración y se disminuye la frecuencia de su aplicación en el huerto. Las feromonas son productos semiquímicos volátiles considerados “ecofriendly”, por lo que esta técnica ha sido un paso más allá hacia unas prácticas agrícolas más sostenibles.

También se ha optimizado el uso de fertilizantes y herbicidas reformulados en forma de nanoemulsión, mejorando aún más la producción agrícola (10). Para esto, las nanoarcillas

han sido muy útiles en la liberación retardada de estimulantes de crecimiento y agentes de biocontrol.

Respecto al sector ganadero, se ha estudiado la encapsulación de nutrientes como la vitamina A o ácidos grasos omega-3 para uso veterinario. Una aplicación podría reemplazar el uso antibióticos en el control de bacterias y toxinas de los piensos. Se están estudiando la **nanoplata**, como antibacteriano capaz de ejercer el mismo efecto que un antibiótico en aguas para pollos para reducir la toxicidad de la aflatoxina, y las nanoarcillas, como eliminadores de micotoxinas en piensos, lo que podría aumentar la producción ganadera de numerosos países en general.

b) Aplicaciones en el procesado de alimentos, aditivos y suplementos alimentarios

Las nuevas propiedades de la escala nano también se aprovechan a la hora de trabajar los alimentos. La industria alimentaria ha invertido en nanotecnología para mejorar su producción. El recubrimiento de las superficies de la maquinaria con nanomateriales antimicrobianos o el uso de nanotamices para filtrar bacterias ha aumentado de manera muy eficaz el nivel de seguridad y la higiene de los procesos de producción, evitando sobretodo la formación de biofilms. Esta aplicación ha llegado también a nuestras casas, puesto que ya pueden encontrarse instrumentos de cocina recubiertos de antimicrobianos. Estas superficies antibacterianas están hechas principalmente de óxidos de metales como el óxido de plata, titanio o zinc.

El desarrollo de la nanotecnología en los aditivos es el más extenso en este campo. Ha mejorado su estabilidad durante la producción y almacenaje de los alimentos mejorando sus características o aumentando la biodisponibilidad de los nutrientes de los productos/alimentos tratados. Entre los componentes que más se han mejorado con la escala nano más dentro de la industria destacan:

-Óxido de silicio, o silicio amorfo sintético (E551): Este material se encuentra a tamaño nano de manera natural en muchos alimentos. Las nanopartículas forman agregados que llegan a 100nm de tamaño. Se usa como anti-aglomerante en alimentos y piensos en polvo.

-**Óxido de titanio** (E171): refuerza el color blanco de los lácteos y ciertos dulces, es también potenciador del sabor en legumbres, cereales y ciertos frutos.

- **Óxido de hierro** (E172): se usa como colorante alimenticio y como componente enriquecedor de muchos alimentos que poseen hierro de manera natural.

- La **plata** (Ag) a escala nano es bien conocida y muy utilizada por sus propiedades antibacterianas y se introduce tanto en materiales de recubrimiento como en los propios ingredientes de los alimentos como gelatinas, el agar-agar o polvo de plátano. Combinado con óxido de grafeno, ha demostrado inhibir casi el 100% de adherencia de baterías en las superficies. También se ha combinado con cristal de violeta (tinte antimicrobiano fotoactivado) en silicona para inactivar bacterias por exposición a la luz.

De nuevo, la **nanoencapsulación** tiene un gran papel en la mejora de los alimentos. Es una herramienta explosiva para conseguir alimentos más sanos, nutritivos y sabrosos. La encapsulación de nutrientes permite poder incorporarlos en medios no semejantes, liberarlos de manera controlada, protegerlos de degradación prematura mejorando la estabilidad y solubilidad de los alimentos que los contienen (11) ya que quedan protegidos de cambios químicos o ambientales externos (cambios enzimáticos, de temperatura o pH). Destacan los avances en la investigación de encapsulación de vitaminas (A, B₁₂, C, D, E), que ha aumentado la disponibilidad y valor nutritivo de los alimentos de manera muy eficaz.

También se ha conseguido volver a usar los **extractos naturales** con propiedades antimicrobianas en las superficies dando resultados eficaces que permitirán reducir el uso de productos químicos en los alimentos en el futuro. Un ejemplo es la nanoencapsulación e inmovilización de cinaldehído o el uso de aceite esencial de timol emulsionado contra *E.coli*.

c) Aplicaciones en materiales en contacto con alimentos. Envasado

La incorporación de las técnicas nano y de los nano materiales en los recipientes de envasado es la aplicación de la nanotecnología a la alimentación más importante de todas en el presente y futuro más próximo (5). Hoy en día, el envasado no solo es esencial para

la distribución y preservación de los alimentos sino que también debe satisfacer a un consumidor más exigente que exige una información clara y completa del alimento.

La nanotecnología ha conseguido cubrir las lagunas que presentaban las técnicas tradicionales de embalaje. La mayoría de los materiales utilizados para envasar en la industria alimentaria son plásticos derivados del petróleo, lo que se considera como una producción no-sostenible. Esto ha supuesto la búsqueda e investigación de nuevas técnicas que mejoren los materiales termoplásticos y cumplan a la vez con la protección de los alimentos frente al vapor de agua y otros factores. A este reto se le añade el de prolongar la calidad y seguridad que requieren los alimentos.

Los **biopolímeros**, generalmente compuestos base de polisacáridos, se presentaban como una buena alternativa para remplazar a los derivados del petróleo y su uso aspiraba a una producción más respetuosa con el medio ambiente. Sin embargo, estos biomateriales no cubrían la función mecánica de protección como los plásticos lo hacen. El uso de **nanocompuestos** dio con la solución a este problema. Con la introducción de materiales como TiO_2 , la celulosa nanofibrilada (utilizado para la liberación controlada de antimicrobianos (12)), el alginato o las nanoarcillas (las más abundantes), se ha demostrado reforzar las propiedades mecánicas de los biopolímeros como la rigidez, la fuerza tensora, la resistencia o la estabilidad química de los biopolímeros. Estas matrices nuevas tienen las propiedades “barrera” que se buscaban y si son ahora la alternativa a los materiales derivados del petróleo (13).

La nanotecnología ha abierto las puertas al envasado inteligente y activo que asegura una protección más potente de los alimentos. Se ha avanzado un paso más allá en la mejora de los biopolímeros con el **envasado activo**, potenciando aún más la función de preservación y protección del envasado. El envasado activo incorpora al propio envase (mediante encapsulación, nanofabricación, agregación, etc.) compuestos activos como antimicrobianos, agentes conservantes, agentes absorbentes de oxígeno, etileno, etc. Se denomina “activo” porque estos compuestos interactúan con el alimento según las señales internas o externas que reciban, aumentando la vida propia, la calidad o seguridad del producto. Las nanopartículas metálicas dotan a los materiales de embalaje con actividad microbiana que evita la proliferación de microorganismos patógenos o mohos

y levaduras. Por ejemplo, se ha demostrado que la incorporación de nanopartículas Plata (Ag) en envases aumentan la seguridad alimentaria, al ser eficaces contra bacterias Gram positivas y negativas, ya que son capaces de inhibir la respiración celular de las membranas de estas.

Por otro lado, muchos efectos provocados por el contacto del alimento con el oxígeno exterior disminuyen la vida útil de este, como el enranciamiento, la formación de etileno durante la preservación de fruta fresca o la pérdida de las características organolépticas del alimento. Para evitar estos efectos, se han desarrollado técnicas para eliminación de oxígeno u otros gases con nanotecnología. Destaca el uso de óxido de titanio nanocristalino (TiO₂), que presenta propiedades fotocatalíticas. Este, integrado en láminas de acetato y vidrio, ha demostrado ser un potente agente eliminador de oxígeno y etileno que retarda el deterioro de alimentos e incluso la maduración de frutas frescas.

La nanotecnología ha conducido también al desarrollo de **envases inteligentes** cuyo distintivo es la capacidad de comunicar al consumidor el estado de seguridad y calidad de los alimentos. Esto también ayuda al fabricante a intervenir y mejorar los procesos de producción y distribución. El envasado inteligente se basa en **nanosensores**. La detección de patógenos y deterioro de los alimentos puede durar desde horas hasta días con las técnicas convencionales. La combinación de la nanotecnología con las técnicas de bio-sensores ha posibilitado respuesta rápida y sensible ante estos cambios en el alimento.

Los biosensores son dispositivos compactos y efectivos que detectan de manera no invasiva un elemento biológico (ácidos nucleicos, enzimas, anticuerpos, receptores, tejidos, proteínas) que en combinación con sistemas de transducción producen señales sobre el cambio de las propiedades fisicoquímicas medibles (pH, electrones, calor, potencial, propiedades ópticas). El sensor interactúa con los factores internos del alimento o con los externos ambientales y genera una respuesta correlacionada con el estado del producto. La gran ventaja de llevar esto a la escala nano ha sido conseguir detectar cantidades muy pequeñas y así proporcionar una

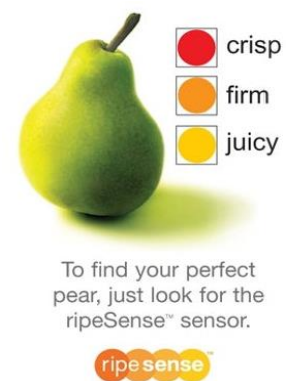


Figura 3. Anuncio ejemplo de envasado inteligente ("Para conseguir la pera perfecta, simplemente compruebe el sensor RipeSense®") Obtenido de la revista online NEW ATLAS (20).

detección casi instantánea de toxinas, contaminantes, compuestos adulterantes, químicos alérgenos y enzimas, patógenos o bacterias (4). La mayoría de los sensores advierten sobre cambios mediante reacciones de colorimetría. Las aplicaciones más frecuentes se usan para detectar oxígeno, humedad y temperatura, la presencia de microorganismos o compuestos de deterioro.

- De nuevo, las propiedades fotocatalíticas del nano TiO_2 son útiles para indicar la concentración de oxígeno en envases con atmósfera modificada. Se ha desarrollado un indicador activado por radiación Ultra-Violeta (UV) con nanopartículas compuestas por TiO_2 , glicerol y azul de metileno (MB). La radiación UV excita los electrones de TiO_2 , volviéndolo semiconductor, de tal manera que sus electrones excitados son capaces de reducir el azul de metileno dejándolo transparente. La exposición a oxígeno colorea de azul de nuevo el indicador activado de manera proporcional a la cantidad de oxígeno. Se detalla el proceso en la Figura 4.

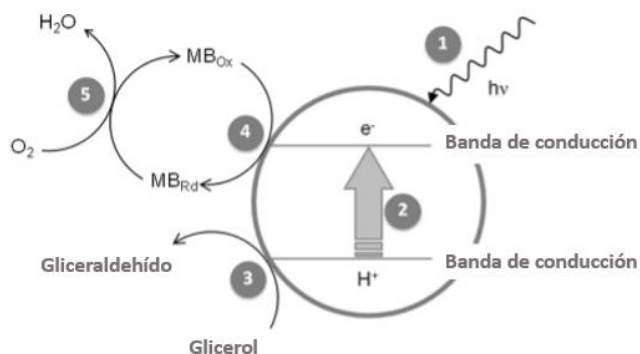


Figura 4. Mecanismo del indicador de oxígeno a base de nanopartículas de TiO_2 . MB_{ox} y MB_{rd} corresponden a azul de metileno oxidado y reducido respectivamente (21).

-Para la detección de microorganismos (bacterias, mohos o levaduras) se han desarrollado nanomateriales con anticuerpos conjugados que cambian de color en contacto con la superficie de bacterias específicas. Destaca la detección de anticuerpos de *E. coli* y *Salmonella* por conjugación de sus anticuerpos específicos con puntos cuánticos de CdSe/ZnS , nanopartículas semiconductoras emisoras de fluorescencia.

-En el control de la integridad del contenido de los envases, se ha aumentado la vida útil de los alimentos ya que ahora es posible tener un seguimiento de los cambios de temperatura durante los procesos de distribución y preservación. Nuevamente, las

nanopartículas de plata, gracias a su inestabilidad termodinámica han servido para desarrollar indicadores colorimétricos de tiempo y temperatura y existen láminas de nanocelulosa como indicadores de humedad.

Existen además indicadores de **madurez de los alimentos** que proporcionan información a tiempo real sobre la calidad del alimento. Estos se basan en la detección de marcadores (la mayoría a base de nanofibras) de deterioro del alimento como metabolitos microbianos o compuestos que se forman conforme el alimento se estropea. Cabe mencionar el sensor a base de receptores peptídicos para detectar trimetilamina, compuesto que produce cuando se deteriora el pescado, o las nanopartículas de selenio y celulosa integradas en los envases de alimentos para retardar o inhibir la formación de especies reactivas de oxígeno (ROS).

Toxicología

La innovación siempre trae consigo beneficios y desventajas y las nuevas propiedades de los nanomateriales suponen a la vez un riesgo para la salud. El uso generalizado y alta capacidad de difusión de los nuevos productos hace que estemos altamente expuestos a los nanomateriales. La acumulación de nanopesticidas en suelos y aguas podría tener un impacto negativo en los ecosistemas y, respecto a la salud humana, es necesario tener en cuenta que el comportamiento particular de los nanomateriales ocurre igualmente dentro del cuerpo humano (14).

Tras la ingestión, las nanopartículas viajan con el alimento que las contiene a través de diferentes ambientes y pHs dentro del tracto gastro-intestinal (TGI), área más susceptible de sufrir toxicidades. El cambio de dimensión de las partículas que liberan sustancias bioactivas puede alterar su liberación, transporte, absorción y metabolismo en el TGI, alterando su concentración y destino en la circulación sistémica generando por lo tanto toxicidad. Muchos de los efectos dependen del nivel de exposición a las nanopartículas, (al estar altamente difundidas, pueden llegar a niveles fisiológicos altos) (5).

El tamaño reducido de los nanomateriales posibilita su paso a través de las membranas celulares e incrementa la posibilidad de su bioacumulación (a veces prolongada) en las células de los diferentes órganos y tejidos, siendo éste es su mecanismo más dañino. Tanto

su presencia como comportamiento, pueden interferir en las funciones del TGI y producir citotoxicidad como alteraciones en el ADN o genotoxicidad (14) (15).

Igualmente, hay una alta preocupación sobre la seguridad del envasado. La escala nano también permite en muchos casos la migración de nanopartículas de los materiales de contacto modificados al alimento, como en el caso de la nanoplata (12).

Sobre los dos nanomateriales inorgánicos de uso más común:

- Las múltiples aplicaciones previamente mencionadas de la nanoplata han requerido estudios sobre su toxicidad. Estudios con animales han revelado que las **nanopartículas de plata** pueden acumularse en el organismo y provocar efectos tóxicos cuando son ingeridas en grandes cantidades. Se ha observado un aumento de la infiltración de linfocitos en la mucosa intestinal expuesta. Los órganos de preferencia para su acumulación son el hígado y los riñones, llegando incluso a la circulación sistémica a través del intestino delgado. Sin embargo, la mayor parte de las nanopartículas se excreta por las heces y la orina. Aun así la información disponible es aún muy limitada y con resultados muy variados. Se necesitarán estudios a largo plazo con niveles similares a los existentes en los alimentos para saber si realmente superamos el umbral de seguridad solo con su consumo en los alimentos(16).
- El **óxido de titanio** está presente en gran cantidad de alimentos que contienen partículas de tamaños, formas y propiedades muy variadas. Se estima que la exposición diaria a nanopartículas de TiO_2 llega a 1,1-1,2 mg/kg en países como Reino Unido (más presente en niños que en adultos en muchos casos ya que se añade a las golosinas). Estas nanopartículas tienen un efecto un poco más tóxico que las de plata. Estudios recientes en animales concluyeron que las nanopartículas de TiO_2 , no solo se concentran, acumulan y agrandan en los tejidos de los mamíferos, sino que tiene una eliminación reducida. A altas dosis, se han observado daños causados en el hígado y desequilibrio de la hemostasia y del sistema inmune (15).

Aún con todos los estudios actuales, no se disponen de suficientes datos que den conclusiones totalmente relevantes sobre la toxicidad de los nanomateriales y su destino

a través del TGI, por lo que no ha sido aún posible hacer buenas recomendaciones sobre la seguridad de las nanopartículas. Hasta el momento, la seguridad de las nanopartículas se ha ido valorando caso por caso dependiendo de la naturaleza de éstas y de su matriz portadora. Se necesita mucha más investigación acerca de los efectos de las nanopartículas en el ser humano y medio ambiente (17).

Aspectos regulatorios

La aplicación de la nanotecnología e incorporación de nanomateriales en el sector alimentario ha desarrollado numerosos nuevos productos, aunque su **acceso al mercado** se ha visto en muchos casos **entorpecido** (10). La Organización de Naciones Unidas, la Organización Mundial de la Salud y la Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (ONU/OMS/FAO) indicaron la necesidad de abordar los riesgos potenciales de los nanomateriales llamando a los países e instituciones a crear un **marco regulatorio** para gestionarlos de manera correcta y controlada. En 2009, la EFSA informó a la CE en su informe anual sobre los posibles riesgos de las aplicaciones de las nanotecnologías en la industria alimentaria, indicando la incertidumbre de la evaluación de riesgo debido a la información limitada que tenemos sobre ello. Consecuentemente, en 2011 la CE publicó una revisión de los usos de los nanomateriales con el objetivo de fomentar el desarrollo de nuevos tipos de alimentos y técnicas de producción de éstos utilizando la nanotecnología. En 2013, OMS y FAO publicaron una “Revisión sobre las iniciativas actuales y actividades relevantes para la evaluación de riesgos y la gestión de riesgos de las nanotecnologías en los sectores de la alimentación y la agricultura”. La FDA y otros organismos y países en el mundo también han examinado de manera activa su regulación de nanomateriales (5).

Aun así, no hay un marco regulatorio común global que aborde el uso de nanomateriales en el sector agroalimentario. La **falta de datos consistentes** sobre los efectos toxicológicos y la farmacocinética de los nanomateriales ha obstaculizado altamente el establecimiento de un acuerdo común internacional regulatorio. Igualmente, la alta diversidad de las nuevas propiedades de los nanomateriales existentes no ha ayudado a la creación de una definición de nanomaterial para el uso agroalimentario clara y común a nivel internacional. Todo esto también se ha traducido en rechazo de los productos por parte del consumidor (4). No parece haber todavía consenso entre la legislación de la

Unión Europea y la de los países de fuera. Los países de la Unión Europea junto con Suiza, son por ahora los únicos donde la presencia y uso de nanomateriales y nanotecnología en los sectores de agricultura y alimentación debe ser aprobada en los productos antes de salir al mercado. De igual manera, ha añadido provisiones a la regulación existente sobre estos nuevos productos, como la directiva sobre los nuevos alimentos “novel food” (EU 257/87) con el objetivo de demostrar la seguridad de éstos para el consumidor y medio ambiente. También ha implementado cambios en la ley de etiquetado en 2014 obligando a incluir todos los nanomateriales en las listas de ingredientes bajo el término de nano para fomentar la transparencia (18). Son los únicos que han querido remarcar una **definición vinculante** en su legislación donde el tamaño de la partícula es el identificador principal de nanomaterial en la definición (3).

La Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA), (al igual que las instituciones de Asia) no ha querido regular los nanomateriales de una manera tan exigente y se ha limitado a publicar las “Guías recomendadas” pero no obligatorias para la industria. Aunque aquí si se considera que hay otras propiedades de los nanomateriales dentro de sus requisitos para considerar un producto como “nanotecnológico”, no llega a estar realmente legislado (19).

Por todo esto, se ha dificultado un acceso fácil y fluido a la comercialización de muchos nano productos (4).

Se necesita una colaboración más activa de los países para lograr un intercambio de información que asegure un alto nivel de protección del ser humano y del medio ambiente que, a su vez, no impida un desarrollo óptimo y beneficioso de los nuevos productos y su comercialización global (12). En 2010, la EFSA creó una red de estados miembros de la EU de evaluación de riesgo de la nanotecnología en la alimentación con el objetivo de crear una plataforma común de intercambio de opiniones y conocimientos científicos la evaluación de riesgos. Ese foro apunta hacia conseguir diálogo, transparencia entre los miembros y más confianza del consumidor (2).

CONCLUSIONES

La nanotecnología muestra un gran potencial en la mejora de toda la cadena de producción de los alimentos y permite unas prácticas industriales más sostenibles. El uso de nanomateriales permite crear estructuras con propiedades funcionales únicas gracias al control del tamaño y forma de materiales específicos a escala nano. La nanotecnología ofrece grandes beneficios en la mejora la calidad y seguridad de los alimentos a lo largo de las etapas de su producción optimizando el uso de los pesticidas y otros agroquímicos, disminuyendo el contacto del alimento con patógenos y toxinas y acelerando su detección en el alimento. Tiene el potencial de transformar los materiales de envasado para generar recipientes activos e inteligentes que alargan la vida útil del alimento y proporcionan información a tiempo real de éste al consumidor. Sin embargo, los datos sobre los efectos tóxicos de los nanomateriales en la salud humana y medio ambiente son todavía poco consistentes. El conocimiento y control del comportamiento farmacocinético y destino de los nanomateriales en el cuerpo humano es clave para una buena evaluación de riesgo de los nanoprodutos. Esto, junto con la gran diversidad de las nuevas propiedades descubiertas, ha dificultado el acceso al mercado de los nanoalimentos y su aceptación por el consumidor. Esto es debido a que no ha sido posible crear una definición común de nanomaterial y, por lo tanto, no hay un marco regulatorio internacional que gestione de manera común la aplicación de la nanotecnología en este sector. La Unión Europea, junto con Suiza, lleva ventaja respecto a otros países al haber introducido el control de nanomateriales en su legislación, junto con una definición vinculante de éste. La FDA, sin embargo, incluye los nanomateriales en guías recomendadas para la industria de no obligado cumplimiento.

Para poder beneficiarnos plenamente de las aplicaciones de la nanotecnología a los alimentos, es necesario fomentar la investigación sobre la toxicidad de los nanomateriales, así como la comunicación entre las diferentes instituciones reguladoras. Esto facilitaría la obtención de datos relevantes y el diálogo, lo que conduciría a una gestión clara de los nanoalimentos y a una alta aceptación por parte del consumidor.

BIBLIOGRAFÍA

1. Gallochio F, Belluco S, Ricci A. Nanotechnology and Food: Brief Overview of the Current Scenario. *Procedia Food Sci* . 2015;5:85–8.
2. The European Food Safety Authority. Annual report of the EFSA scientific network of risk assessment of nanotechnologies in food and feed for 2013. *EFSA J*. 2013;EN-531(January):1–58.
3. Potočník J. Commission recommendation of 18 October 2011 on the definition of nanomaterial (2011/696/EU). *Off J Eur Union* . 2011;L275(June 2010):38–40.
4. Sun-Waterhouse D, Waterhouse GIN. 2 – Recent advances in the application of nanomaterials and nanotechnology in food research. *Novel Approaches of Nanotechnology in Food*. Elsevier Inc. Auckland, New Zealand; 2016. 21-66 p.
5. Peters R, Brandhoff P, Weigel S, Marvin H, Bouwmeester H, Aschberger K, et al. Inventory of Nanotechnology applications in the agricultural, feed and food sector. *EFSA Support Publ* . 2014;11(7).
6. He X, Hwang HM. Nanotechnology in food science: Functionality, applicability, and safety assessment. *J Food Drug Anal*. 2016;24(4):671–81.
7. Kah M, Beulke S, Tiede K, Hofmann T. Nanopesticides: State of knowledge, environmental fate, and exposure modeling. *Crit Rev Environ Sci Technol*. 2013;43(16):1823–67.
8. A, Ivo Iavicoli VL a, B DHB, Shvedova AA. Nanotechnology in agriculture: Opportunities, toxicological implications, and occupational risks. *Toxicol Appl Pharmacol*. 2017;329:96–111.
9. Phata J. Nanotechnology in Agricultural Diseases and Food Safety. *J Phytol*. 2010;2(4):83–92.
10. Peters RJB, Bouwmeester H, Gottardo S, Amenta V, Arena M, Brandhoff P, et al. Nanomaterials for products and application in agriculture, feed and food. *Trends Food Sci Technol* . 2016;54:155–64.
11. Fúnez AÁ, Isabel A, Duaso H, Gómez M. Nanotecnología en la industria alimentaria i: aplicaciones. 2016;1–18.
12. Eleftheriadou M, Pyrgiotakis G, Demokritou P. Nanotechnology to the rescue: using nano-enabled approaches in microbiological food safety and quality. *Curr Opin Biotechnol*. 2017;44:87–93.
13. Dufey W, Villares A, Peyron S, Moreau C, Ropers M, Gontard N, et al. NU SC

- Nanoscience and materials , packaging and food. *Innov Food Sci Emerg Technol* . 2017.
14. Couch LM, Wien M, Brown JL, Davidson P. Food nanotechnology: Proposed uses, safety concerns and regulations. *Agro Food Ind Hi Tech*. 2016;27(1):36–9.
 15. McClements DJ, Xiao H. Is nano safe in foods? Establishing the factors impacting the gastrointestinal fate and toxicity of organic and inorganic food-grade nanoparticles. *npj Sci Food*. 2017;1(1):6.
 16. Myung KC-WH-GCJLHP-KCR. Comparison of acute responses of mice livers to short-term exposure to nano-sized or micro-sized silver particles. *Biotechnol Lett* . 2008;30(11):1893–9.
 17. Científico C. Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) sobre los criterios de seguridad aplicables al contenido de ácido domoico en la vieira (*Pecten maximus*). 2009;2002(March 2002).
 18. GRIEGER KD, HANSEN SF, MORTENSEN NP, CATES S, KOWALCYK B. International Implications of Labeling Foods Containing Engineered Nanomaterials. *J Food Prot* . 2016;79(5):830–42.
 19. Amenta V, Aschberger K, Arena M, Bouwmeester H, Botelho Moniz F, Brandhoff P, et al. Regulatory aspects of nanotechnology in the agri/feed/food sector in EU and non-EU countries. *Regul Toxicol Pharmacol*. 2015;73(1):463–76.
 20. © GIZMAG PTY LTD 2017. New fruit label indicates ripeness. health and wellbeing. 2005. 21. Mihindukulasuriya SDF, Lim LT. Nanotechnology development in food packaging: A review. *Trends Food Sci Technol*. 2014;40(2):149–67.
 21. Mihindukulasuriya SDF, Lim LT. Nanotechnology development in food packaging: A review. *Trends Food Sci Technol*. 2014;40(2):149–67.