

ISSN: 1988-2688

<http://www.ucm.es/BUCM/revistasBUC/portal/modulos.php?name=Revistas2&id=RCCV&col=1>

http://dx.doi.org/10.5209/rev_RCCV.2016.v10.n2.53544



Revista Complutense de Ciencias Veterinarias 2016 10(2):1-17

NANOTECNOLOGÍA EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA I: APLICACIONES **NANOTECHNOLOGY IN THE FOOD INDUSTRY I: APPLICATIONS**

Alicia Ávalos Fúnez, Ana Isabel Haza Duaso y Paloma Morales Gómez*

Departamento de Nutrición, Bromatología y Tecnología de los Alimentos. Facultad de Veterinaria. Universidad Complutense de Madrid. 28040 Madrid (España).

*Corresponding author: Email: pmorales@vet.ucm.es.

RESUMEN

La nanotecnología es una ciencia multidisciplinar que está teniendo un gran auge en la actualidad, ya que proporciona productos con nuevas propiedades fisicoquímicas muy atractivas para multitud de aplicaciones. En la industria agroalimentaria, la nanotecnología brinda grandes oportunidades para la obtención de productos y aplicaciones innovadoras para la agricultura y la ganadería, el tratamiento de las aguas y la producción, elaboración, conservación y envasado de los alimentos. Para ello, se utilizan una gran diversidad de nanomateriales, que van desde metales y óxidos de metales inorgánicos a nanomateriales orgánicos que llevan ingredientes bioactivos. Esta revisión muestra una visión global de las actuales y futuras aplicaciones de la nanotecnología en la industria agroalimentaria. Los aditivos alimentarios y los materiales en contacto con los alimentos son actualmente las principales aplicaciones, mientras que se espera que en un futuro sean en el campo de los nanoencapsulados y de los nanocompuestos, en aplicaciones como nuevos alimentos, aditivos, biocidas, pesticidas y materiales en contacto con alimentos.

Palabras clave: nanotecnología, aplicaciones, industria alimentaria;

ABSTRACT

Nanotechnology is a multidisciplinary science that is having a boom today, providing new products with attractive physicochemical properties for many applications. In agri/feed/food sector, nanotechnology offers great opportunities for obtaining products and innovative applications for agriculture and livestock, water treatment and the production, processing, storage and packaging of food. To this end, a wide variety of nanomaterials, ranging from metals and inorganic metal oxides to organic nanomaterials carrying bioactive ingredients are applied. This review shows an overview of current and future applications of nanotechnology in the food industry. Food additives and materials in contact with food are now the main applications, while it is expected that in the future are in the field of nano-encapsulated and nanocomposites in applications as novel foods, additives, biocides, pesticides and materials food contact.

Keywords: nanotechnology, applications, food industry

INTRODUCCIÓN

Actualmente no existe un consenso sobre la definición de nanotecnología, sin embargo, una de las más ampliamente utilizadas es la adoptada por la Royal Society and the Royal Academy of Engineering (2004), la cual la define como el diseño, caracterización, producción y aplicación de estructuras, dispositivos y sistemas controlando el tamaño y la forma a escala nanométrica. La **Tabla 1** muestra una visión general de alguna de las definiciones de nanotecnología usadas por la comunidad científica, organismos de financiación y propiedades intelectuales del mundo.

Las ideas y conceptos de la nanotecnología surgieron tras una conferencia titulada “Hay mucho sitio al fondo” del físico Richard Feynman en una reunión de la Sociedad Americana de Física en el Instituto de Tecnología de California (Caltech), el 29 de diciembre de 1959. En ella, Feynman describió un proceso por el cual los científicos serían capaces de manipular y controlar átomos y moléculas individuales. Una década más tarde, el profesor Norio Taniguchi acuñó el término de nanotecnología, aunque no fue hasta 1981, con el desarrollo del microscopio de barrido de túnel donde se pudo “observar” los átomos individuales, cuando comenzó la nanotecnología moderna.

Tabla 1. Definiciones de nanotecnología.

Fuente	Definición
International patent classification (IPC) subclase B82B	<p>“Nanoestructura” es “un ordenamiento atómico preciso de la materia que tiene una configuración particular de la forma incluyendo al menos un elemento integral esencial que:</p> <ul style="list-style-type: none"> (i) está formada exclusivamente a partir de un átomo, una molécula o una colección muy limitada de átomos o moléculas, colección que en su totalidad es indetectable por un microscopio óptico; y (ii) se ha formado por tener sus átomos o moléculas manipuladas individualmente como discretas unidades durante su fabricación”
physics.about.com	“El desarrollo y la utilización de dispositivos que tienen un tamaño de sólo unos pocos nanómetros”
hyperdictionary.com	“La rama de la ingeniería que se ocupa de las cosas menores de 100 nm (especialmente con la manipulación de las moléculas individuales)”
NASA	“Nanotecnología es la creación de materiales funcionales, dispositivos y sistemas a través del control de la materia en la escala nanométrica (1-100 nm), y la explotación de nuevos fenómenos y propiedades (físicas, químicos, biológicos, mecánicos, eléctricos...) en esta misma escala”
International standard organization (ISO, 2010)	“Aplicación del conocimiento científico para manipular y controlar la materia a escala nanométrica con el fin de hacer uso de sus propiedades y fenómenos relacionados con su tamaño y estructura, a diferencia de los asociados con átomos o moléculas individuales o con materiales a granel”
Fundación española para la ciencia y tecnología (FECYT)	“Tecnología generada con objetos cuyo tamaño oscila desde una décima de nanómetro a una centena de nanómetro”

“Nano” es un prefijo griego que significa diminuto, enano, pequeño. Este prefijo se utiliza en el sistema internacional (S.I.) de unidades para indicar un factor de 10^{-9} es decir, la millonésima parte de algo. Por tanto, un nanómetro es la millonésima parte de un milímetro, una longitud 80.000 veces más pequeña que el diámetro de un cabello humano y 10 veces el diámetro de un átomo de hidrógeno (Corbertt et al., 2000). La **Figura 1** muestra diferentes objetos con sus tamaños característicos.

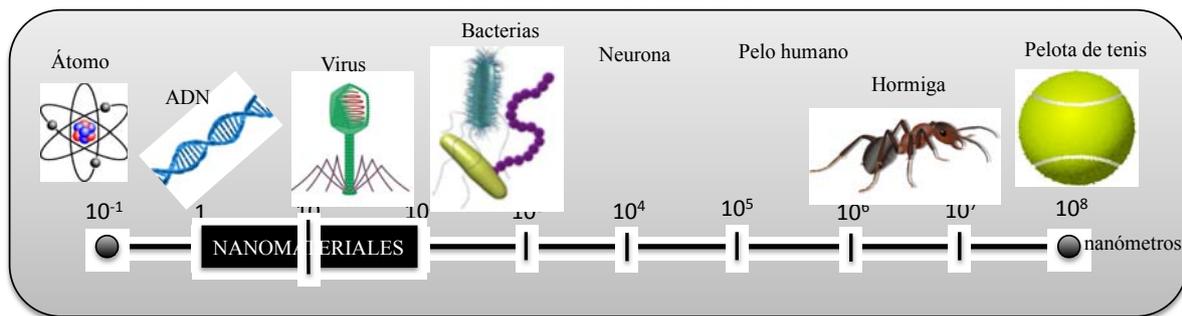


Figura 1. Escala comparativa de objetos macro, micro y nano.

Los nanomateriales (NMs) o nanopartículas (NPs) pueden, en teoría, ser procesados a partir de casi cualquier sustancia química (Dreher, 2004), por lo que su diversidad es muy extensa. Estos pueden ser fabricados a través de dos métodos principales; “top-down” moliendo materiales a granel o “bottom-up” mediante la síntesis química o auto-ensamblaje de compuestos más pequeños (Forough y Farhadi, 2010; Pal et al., 2011). Según la recomendación de la Comisión Europea del 18 de octubre de 2011 relativa a la definición de nanomaterial, los nanomateriales se definen como “*un material natural, secundario 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 dimensiones externas en el intervalo de tamaños comprendido entre 1 nm y 100 nm*”.

Los principales tipos de NMs son los basados en metales, carbono, dendrímeros y nanocompuestos (Gutierrez-Praena et al., 2009).

- Basados en metales: En ellos se incluyen los puntos cuánticos y NPs de plata, oro y óxidos de metales, tales como el dióxido de titanio. Los puntos cuánticos consisten en cristales semiconductores muy compactos compuestos por cientos o miles de átomos.
- Basados en carbono: Estos NMs están compuestos principalmente por carbono, generalmente formando esferas, elipses y tubos huecos. Los NMs de carbono esféricos y elipsoides se conocen como fullerenos, mientras que los cilíndricos son llamados nanotubos. Estos NMs tienen muchas aplicaciones potenciales, incluyendo películas mejoradas y recubrimientos, obteniendo materiales más fuertes y ligeros.
- Dendrímeros: Consisten en polímeros de tamaño nano construidos a partir de unidades ramificadas. La superficie de los dendrímeros tienen numerosos extremos de cadena, que pueden ser adaptados para realizar funciones químicas específicas. Además, debido a que

los dendrímeros tridimensionales contienen cavidades interiores se pueden introducir otras moléculas, útiles para la administración de fármacos.

- Nanocompuestos: Estos compuestos poseen NPs con otras NPs o con materiales más grandes. Un ejemplo son las nanoarcillas, las cuales se añaden a productos que van desde piezas de automóviles a materiales para el envasado, mejorando propiedades mecánicas, térmicas, barreras y retardantes de llama.

Las personas y el medio ambiente siempre han estado expuestos a NPs de origen natural como son los aerosoles de origen marino (O'Dowd et al., 2004), las nanopartículas resultantes de las erupciones volcánicas y los fullerenos o nanotubos generados por la combustión. Desde la llegada de la revolución industrial esta exposición se ha incrementado dramáticamente debido a la presencia de fuentes antropogénicas como la combustión interna de los motores de explosión, las centrales térmicas y otras fuentes de termodegradación (Oberdorster et al., 2005; Xia et al., 2009). Sin embargo, en la actualidad la fuente principal de exposición a NPs para los humanos se asocia con la existencia de nuevas NPs fruto del rápido desarrollo de la nanotecnología.

El interés de esta tecnología radica en el hecho de que su pequeño tamaño comporta propiedades físicas y químicas que difieren significativamente de las que presenta el mismo material a mayor escala. Por esta capacidad ventajosa que les otorga este distinto comportamiento, las NPs pueden formar parte de la composición de productos y aportarles nuevas propiedades. Sin embargo, esta diferencia de comportamiento puede igualmente inducir riesgos potenciales (Maurer-Jones et al., 2013).

La rápida evolución y crecimiento de la nanotecnología se ha convertido en una pieza clave para el fomento de la innovación competitiva, la aparición de nuevos negocios y perspectivas de progreso para muchos sistemas económicos. Representan una revolución de dispositivos con precisión atómica, a través del tratamiento de átomos y moléculas, teniendo aplicaciones en medicina y diversos tipos de industria como la automoción, textil y alimentaria entre otras (Ávalos et al., 2013). En la actualidad, el inventario de productos para el consumo indica que hay 1814 productos que contienen nanomateriales (Vance et al., 2015), siendo la categoría de salud y belleza la mayoritaria (42% del total de los productos), mientras que la de alimentos y bebidas representa solo el 6.5% (**Figura 2**).

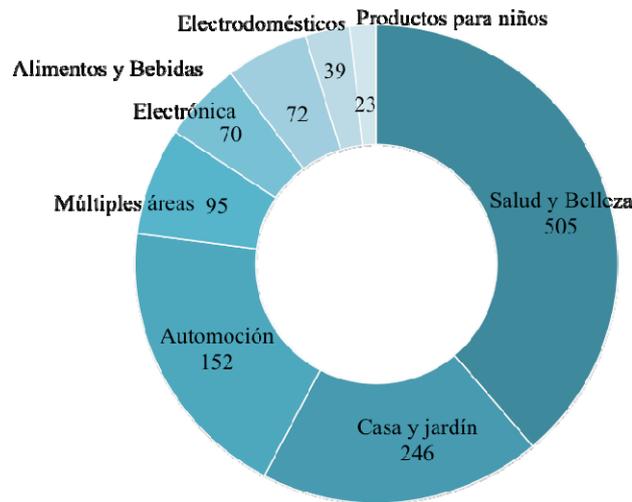


Figura 2. Productos para el consumo con nanomateriales. (Vance et al., 2015).

Las aplicaciones en el sector agroalimentario son a su vez de las más recientes comparadas con sus usos en la industria farmacéutica y médica. La liberación inteligente de nutrientes, la bioseparación de proteínas, el rápido muestreo de contaminantes químicos y biológicos, el envasado inteligente y la nanoencapsulación de nutraceuticos son algunos de los temas emergentes de la nanotecnología en la industria agroalimentaria (Sozer y Kokini, 2009).

Nanotecnología en la Industria Alimentaria

La nanotecnología brinda grandes oportunidades para la obtención de productos y aplicaciones innovadoras en el sector agroalimentario. Estas aplicaciones se están estudiando, desarrollando e incluso utilizando en las diferentes etapas de la cadena de producción de alimentos, desde la agricultura, el procesamiento y embalaje de alimentos, los proveedores/minoristas y por último los consumidores (Berekaa, 2015).

Generalmente, los NMs usados para la alimentación se dividen en 3 grupos (RIKILT y JRC, 2014): NMs orgánicos, NMs combinando orgánico/inorgánico (superficie modificada) y los NMs inorgánicos (**Figura 3**). La mayoría de las aplicaciones con NMs orgánicos se debe a la encapsulación de aditivos (vitaminas, antioxidantes, colorantes...) y, en menor medida a pesticidas y fármacos veterinarios. Estos nanoencapsulados consisten generalmente en micelas, liposomas o nanoesferas, y suelen ser considerados como materiales seguros (Peters

et al., 2011). El principio fundamental en el que se basa la obtención de sustancias orgánicas de tamaño nanométrico es su mayor ingestión y absorción y la mejor biodisponibilidad en el organismo, en comparación con los homólogos ordinarios a escala micro o macroscópica. Los NMs combinados, también llamados NMs funcionalizados de superficie son NMs que añaden cierto tipo de funcionalidad a la matriz, como puede ser cierta actividad antimicrobiana. Un ejemplo de este material son las nanoarcillas, usadas para el desarrollo de envases alimentarios (Singla et al., 2012). Finalmente, los NMs inorgánicos constan de metales, principalmente NPs de metales oxidados cuya aplicación mayoritaria consiste en el desarrollo de envasado de alimentos. Entre los metales más usados encontramos las NPs de plata, hierro, calcio y magnesio, selenio, dióxido de silicio y dióxido de titanio (Weir et al., 2012).

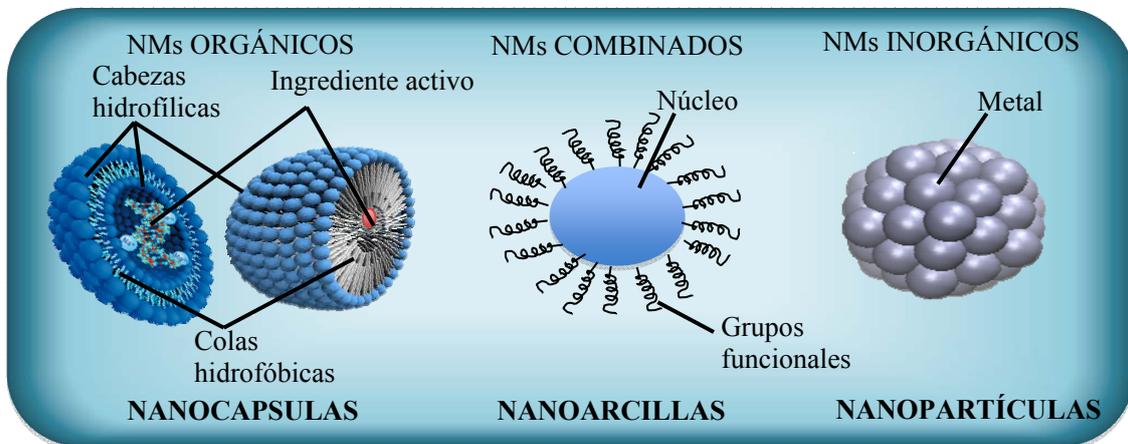


Figura 3. Principales tipos de nanomateriales usados para la alimentación y las aplicaciones relacionadas.

En la actualidad la mayoría de los NMs empleados en la industria agroalimentaria se basan en NMs orgánicos (nano-encapsulados), mientras que en el estudio y desarrollo de nuevas aplicaciones los NMs inorgánicos (principalmente la plata) son los mayoritarios, sugiriendo su amplia aplicación en un futuro (RIKILT y JRC, 2014). Dentro de las aplicaciones en la industria agroalimentaria, los aditivos alimentarios y los materiales en contacto con los alimentos son los más utilizados.

Los NMs son utilizados en la industria agroalimentaria para prevenir el deterioro microbiano de los alimentos envasados, para mejorar los colores, sabores y texturas y aumentar la biodisponibilidad de vitaminas y minerales. Además, la aplicación de NMs también ha permitido el desarrollo de materiales de embalaje innovadores que pueden mejorar

la seguridad y la vida útil de los productos. Estas perspectivas han llevado a desarrollos innovadores en la agricultura, alimentación y sectores relacionados. La **Tabla 2** muestra diferentes ejemplos de futuras aplicaciones del uso de NMs en el sector agroalimentario.

Tabla 2. Potenciales aplicaciones del uso de nanomateriales en la industria agroalimentaria (RIKILT y JRC, 2014).

Campo de aplicación	Potenciales aplicaciones
Agricultura	<ul style="list-style-type: none"> ✧ Nanocápsulas para una mayor eficiencia de distribución de pesticidas, fertilizantes y otros agroquímicos. ✧ Nanomateriales para detección de animales y plantas patógenos. ✧ Nanomateriales para identificar conservación, seguimiento y localización.
Alimentos y piensos	<ul style="list-style-type: none"> ✧ Nanocápsulas para mejorar la dispersión, biodisponibilidad y absorción de nutrientes. ✧ Nanomateriales como potenciador de color. ✧ Nano-encapsulado como potenciadores de sabor. ✧ Nanotubos y nanopartículas como agentes de gelificación y viscosificantes. ✧ Nanopartículas para una unión y extracción selectiva de productos químicos y agentes patógenos de los alimentos.
Envases de alimentos	<ul style="list-style-type: none"> ✧ Nanopartículas para detectar sustancias químicas de patógenos alimentarios. ✧ Nanosensores biodegradables para monitorizar temperatura y humedad. ✧ Nanoarcillas y nanofilms como materiales de barrera para prevenir el deterioro y la absorción de oxígeno. ✧ Nanopartículas para recubrimientos superficiales antimicrobianos y antifúngicos.
Suplementos alimentarios	<ul style="list-style-type: none"> ✧ Suspensión de nanopartículas como antimicrobianos. ✧ Nano-encapsulación para la entrega selectiva de nutraceuticos.

1. Producción agrícola

En referencia a la aplicación de la nanotecnología en la producción agrícola destacan: la mejora de la productividad (principalmente en el uso de fertilizantes), optimizando el uso del agua, los fertilizantes y los productos fitosanitarios y la protección. Sin embargo, en la actualidad solo unos pocos productos están comercializados, y la mayoría de las aplicaciones se encuentran en la etapa de desarrollo (Perlatti et al., 2012).

Una de las principales aplicaciones son los pesticidas, como por ejemplo el uso de nano-encapsulados para liberación de pesticidas y otras sustancias químicas (Kah et al.,

2012), con la consecuente ventaja de controlar mejor su liberación en el medio ambiente y su movimiento. Es decir, los recubrimientos pueden permitir que las partículas no se adhieran a las plantas debido a su afinidad y así no se produzca la acumulación de esta sustancia tóxica en la planta. También la liberación del compuesto se produce más lentamente y por tanto no hay problemas de sobredosis temporal, minimizando la contaminación. Actualmente algunos de estos pesticidas ya están siendo aplicados, como por ejemplo, Nanocid® (Gholami-Ahangaran y Zia-Jahromi, 2013) y Quitosano (Cota-Arriola et al., 2013).

Además, la nanotecnología no solo puede proteger los cultivos y productos alimenticios de plagas, sino que también se emplea para aumentar la producción y calidad de los cultivos (Kole et al., 2013; Wang et al., 2012). Fertilizantes en forma de nanoemulsiones se utilizan para aumentar la potencia de ingredientes activos o para reducir potencialmente la cantidad de fertilizante que debe ser aplicado (Barati et al., 2010). Otras de las aplicaciones de los NMs en la agricultura son la gestión de residuos agrarios (mediante nanofibras de algodón), el proceso de purificación del agua y la limpieza de suelos (FAO, 2010).

2. Procesado de alimentos, aditivos y suplementos alimentarios

En la actualidad, muchas empresas están invirtiendo en estudios sobre la nanotecnología para lograr alimentos más saludables, nutritivos y de más sabor. Su principal uso en la alimentación es la incorporación de aditivos alimentarios. Entre los aditivos más empleados se encuentran:

El óxido de silicio (E551), principalmente usado en forma de precipitado con un tamaño primario entre 30 y 50 nm. Estas NPs de SiO₂ se unen mediante fuerzas de van der Waal's formando agregados con un tamaño de 100 nm a 100 µm. Este aditivo es usado como agente anti-aglomerante en productos alimenticios en polvo y en piensos de animales. Recientes estudios han observado que al menos una parte de este material se encuentra en un tamaño nano en los alimentos (Peters et al., 2012; Athinarayanan et al., 2014).

El óxido de titanio (E171), frecuentemente usado para mejorar el color blanco de ciertos alimentos, como los productos lácteos y dulces. Además, también es usado como aditivo alimentario para mejorar el sabor en una variedad de alimentos que no son blancos, incluyendo legumbres, nueces, semillas, mostaza, así como cerveza y vino. Al igual que con

el silicio, las partículas se agregan con un tamaño medio de 200-300 nm, sin embargo se ha observado que hasta un 36% del óxido de titanio presente en productos alimenticios contienen partículas con un tamaño inferior a 100 nm (Weir et al., 2012).

El óxido de hierro (E172), usado como colorante alimenticio. Las nanoestructuras de hierro son útiles para enriquecer ciertos alimentos y compuestos con este metal, ya que la deficiencia de este micronutriente en la salud humana es una de las más comunes (Hilty et al., 2011). Otros muchos metales en forma de nanopartículas están también disponibles como aditivos alimentarios, entre los que se incluyen el nano-selenio (Xu et al., 2007), el nano-calcio (Hanning y Hanning, 2010) y suspensiones coloidales de partículas metálicas (cobre, oro, plata, platino, etc.) (Park et al., 2006).

A largo plazo, se prevé que el uso de la nanotecnología se dirija a la liberación controlada de ingredientes alimentarios o nutrientes encapsulados. La nano-encapsulación supone la incorporación, absorción o dispersión de compuestos bioactivos en o sobre pequeñas vesículas a escala nano. La incorporación de estos biocompuestos puede proteger contra la degradación, mejorando la estabilidad y solubilidad y por tanto puede aumentar la biodisponibilidad y liberación a células y tejidos (Magnuson et al., 2011; Taylor et al., 2005). Los nanoencapsulados consisten generalmente en un núcleo formado por uno o varios compuestos rodeados de una pared o membrana (Antunes et al., 2013). La mayoría de los nanoencapsulados son micelas o liposomas orgánicos con un rango de tamaño de 10-100 nm y de 100-300 nm, respectivamente (Peters et al., 2011). En el caso de las aplicaciones para la industria alimentaria, solo polímeros aptos para uso alimentario basados en lípidos, proteínas y polisacáridos pueden ser utilizados (Graveland-Bikker y de Kruif, 2006). De estos tres tipos, las NPs basadas en lípidos son de las NPs orgánicas más utilizadas ya que se pueden producir usando ingredientes naturales o a una escala industrial y tienen la habilidad de encapsular compuestos de diferentes solubilidades.

Además de aditivos y suplementos alimenticios, los NMs están siendo empleados en los recubrimientos de equipos de producción de alimentos. También se emplean nanomateriales con propiedades antimicrobianas en los útiles de cocina como cacerolas, sartenes, vajillas, así como en los sistemas de filtrado de aire de algunos frigoríficos (Chen et al., 2010).

3. Materiales en contacto con alimentos

Las aplicaciones de la nanotecnología en los materiales en contacto con los alimentos y en el envasado de alimentos constituyen el porcentaje más elevado del mercado actual y del previsto a corto plazo por lo que se refiere a las aplicaciones al sector alimentario (Chaudhry et al., 2008). Si bien, la mayor parte de las aplicaciones de la nanotecnología a los sectores alimentario y agropecuario están actualmente en fase de investigación y desarrollo, o están a punto de comercializarse, las aplicaciones al envasado de alimentos se están convirtiendo rápidamente en una realidad comercial.

El uso de la nanotecnología en este área permite desarrollar nuevos materiales dotados de propiedades antimicrobianas, barreras gas/UV, láminas reforzadas mecánicamente y frente a la temperatura, etc. Todo esto permite, a su vez, reducir el espesor y peso de los materiales utilizados manteniendo, o mejorando, sus propiedades. También permite el desarrollo de barreras poliméricas más flexibles, más resistentes y de mayor transparencia óptica con diversas aplicaciones (Wang et al., 2009), así como el desarrollo de recubrimientos que repelen la suciedad, mediante el uso de superficies hidrófobas formadas por nanopirámides de cera que repelen el agua (Uriarte y Bald, 2008). Además, también se están desarrollando nanosensores biodegradables para controlar la temperatura y humedad y así hacer un seguimiento durante el transporte y almacenamiento de los alimentos envasados. Con respecto a los NMs más usuales, destacan las nanoarcillas y las NPs de plata.

Las nanoarcillas son usadas como capas impermeables en materiales de envasado, especialmente para botellas de plástico, ya que debido a su morfología en forma de plaquetas ofrece una resistencia mecánica, formando una barrera frente a los gases, componentes volátiles (como aromatizantes) o humedad. El principal mineral de las nanoarcillas es la montmorillonita, una arcilla natural obtenida de cenizas y piedras volcánicas (AESAN, 2009).

Las NPs de plata debido a sus propiedades antimicrobianas, son de las más estudiadas científicamente (Ávalos et al., 2014; Mateo et al., 2015) y de las más usadas para el envasado de alimentos (De Azeredo, 2013). Se suelen utilizar de varias maneras, como por ejemplo en forma de partículas dispersas incrustadas en recipientes y recubrimientos (Martinez-Abad et al., 2012). Estos envases permiten que el alimento se mantenga durante más tiempo en óptimas condiciones para su consumo. Un ejemplo son los comercializados por la empresa DokDo Co, Ltd (<http://salsalebs.com>).

Tabla 3. Ejemplos de productos comercializados con nanomateriales en la industria agroalimentaria (www.centerforfoodsafety.org).

Nombre del producto	Subcategoría del producto	Empresa	País de origen	Nanomaterial	Forma/ Dimensión	Localización del nanomaterial
Papel de aluminio de toppits	Almacenamiento	Melitta	Alemania	Carbón	NPs	Suspendido en un sólido
Botella de plástico	Almacenamiento	Voridian	EE.UU.	Arcilla	Nd	Suspendido en un sólido
Frigorífico Daewoo®	Almacenamiento	Daewoo	Korea	Plata	NPs de 15-300 nm	En la superficie
24 horas Microactive® CoQ10	Suplemento	Genceutic Naturals	EE.UU.	Calcio y Magnesio	Nd	Suspendido en un sólido
Aquanova® Novasol®	Suplemento	Aquanova	Alemania	Nano micelas	NPs de 30 nm	Suspendido en un líquido
MesoCopper®	Suplemento	Purest Colloids, Inc.	EE.UU.	Cobre	NPs de 20 nm	Suspendido en un líquido
MesoGold®	Suplemento	Colloids for life LLC	EE.UU.	Oro	NPs de 0.65 nm	Suspendido en un líquido
LifePak® Nano	Suplemento	Pharmanex	EE.UU.	Cobre, silicio y óxido de zinc	NPs	Suspendido en un líquido
Tabla de cortar Nano- Silver	Cocina	Pro-Idee GmbH & Co. KG	Alemania	Plata	NPs	En la superficie
Utensilios de cocina anti-bacterianos	Cocina	Nano Care Technology, Ltd..	China	Plata	NPs	Nd
Aceite de canola activo	Aditivo	Shemen Industries	Israel	Nano micelas	NPs	Suspendido en un líquido
m&m's	Aditivo	Mars	EE.UU.	TiO ₂	NPs	Suspendidas en un sólido
Old el Paso Taco Seasoning Mix	Aditivo	General Mills	EE.UU.	SiO ₂	NPs	Polvo
Envases Airlight	Envase	e.Window	Corea del Sur	Plata	NPs	Nd
Envases Everin	Envase	NewLife Co. LTD.	Corea del Sur	Plata	NPs	Nd

La **Tabla 3** muestra algunos ejemplos de productos comerciales con NMs en la industria agroalimentaria.

CONCLUSIÓN

Las aplicaciones de la nanotecnología y la incorporación de NMs en la industria agroalimentaria están creciendo, destacando a corto plazo su uso mayoritario en los materiales en contacto con los alimentos, mientras que a largo plazo se espera el uso de nanoencapsulados. Debido al aumento de estas nuevas aplicaciones la población está cada vez más expuesta a estos NMs, por lo que es primordial una correcta evaluación del riesgo así como la elaboración de un marco legislativo específico con el fin de garantizar la seguridad a los consumidores.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Ministerio de Ciencia e Innovación (España) la financiación del proyecto AGL2010-16561.

BIBLIOGRAFÍA

- AESAN. 2009. Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición. 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. AESAN-2009-014. Disponible en:
http://www.aecosan.msssi.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/seguridad_alimentaria/evaluacion_riesgos/informes_comite/NANOTECNOLOGIA_I.ALIMENTARIA.pdf
- Antunes, A, Fierro, I, Guerrante, R, Mendes, F y Alencar MSM. 2013. Trends in Nanopharmaceutical. *Patents Int J Mol Sci* 14: 7016-7031.
- Athinarayanan, J, Periasamy, VS, Alsaif, MA, Al-Warthan, AA y Alshatwi AA. 2014. Presence of nanosilica (E551) in commercial food products: TNF-mediated oxidative stress and altered cell cycle progression in human lung fibroblast cells. *Cell Biol Toxicol* 30(2): 89-100. doi: 10.1007/s10565-014-9271-8.
- Ávalos, A, Haza, AI, Mateo, D y Morales P. 2013. Aplicaciones y riesgos tóxicos por exposición a nanopartículas de plata. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*, 7 (2): 1-23.
- Ávalos, A, Haza, AI, Mateo, D y Morales, P. 2014. Cytotoxicity and ROS production of manufactured silver nanoparticles of different sizes in hepatoma and leukemia cells. *J Appl Toxicol* 34: 413–423. doi: 10.1002/jat.2957.
- Barati A. 2010. Nano-Composite Superabsorbent Containing Fertilizer Nutrients Used in Agriculture. U.S. patent application publication. Pub. No.: US 2010/0139347 A1.

- Berekaa MM. 2015. Nanotechnology in Food Industry; Advances in Food processing, Packaging and Food Safety. *Int J Curr Microbiol App Sci* 4(5): 345-357.
- Chaudhry, Q, Scotter, M, Blackburn, J, Ross, B, Boxall, A, Castle, L, Aitken, R y Watkins R. 2008. Applications and implications of nanotechnologies for the food sector. *Food Addit Contam Part. A Chem Anal Control Expo Risk Assess* 25, 241-258.
- Chen, L, Zheng, L, Lv, Y, Liu, H, Wang, G, Ren, N, Liu, D, Wang, J y Boughton RI. 2010. Chemical assembly of silver nanoparticles on stainless steel for antimicrobial applications. *Surf Coat Technol* 204: 3871-3875. doi:10.1016/j.surfcoat.2010.05.003
- Comisión Europea. 2011. Recomendación de la Comisión de 18 de octubre de 2011 relativa a la definición de nanomaterial. *Diario Oficial de la Unión Europea* L275: 38-40.
- Corbett, J, McKeown, PA, Peggs, GN y Whatmore R. 2000. Nanotechnology: International Developments and Emerging Products. *CIRP Annals - Manufac Techn* 49 (2): 523-545.
- Cota-Arriola, O, Cortez-Rocha, MO, Burgos-Hernández, A, Ezquerro-Brauer, J y Plascencia-Jatomea M. 2013. Controlled release matrices and micro/nanoparticles of chitosan with antimicrobial potential: Development of new strategies for microbial control in agriculture. *J Sci Food Agric* 93: 1525-1536.
- De Azeredo MCH. 2013. Antimicrobial nanostructures in food packaging, *Trends Food Sci Technol* 30: 56-69.
- Dreher KL. 2004. Health and Environmental Impact of Nanotechnology: Toxicological Assessment of Manufactured Nanoparticles. *Toxicol Sci* 77: 3-5 doi: 10.1093/toxsci/kfh041.
- FAO/WHO, 2010. FAO/WHO Expert meeting on the application of nanotechnologies in the food and agriculture sectors: potential food safety implications. Meeting report. Rome 2010.
- FECYT, 2009. Fundación española para la ciencia y tecnología. Nanociencia y nanotecnología. Entre la ciencia ficción del presente y la tecnología del futuro.
- Forough, M y Farhadi, K. 2010. Biological and green synthesis of silver nanoparticles. *Turkish J Eng Env Sci* 34: 281-287. doi:10.3906/muh-1005-30
- Gholami-Ahangaran, M y Zia-Jahromi N. 2013. Nanosilver effects on growth parameters in experimental aflatoxicosis in broiler chickens. *Toxicol Ind Health* 29(2): 121-125. doi: 10.1177/0748233711425078.
- Graveland-Bikker JF y de Kruif CC. 2006. Unique milk protein-based nanotubes: Food and nanotechnology meet. *Trends Food Sci Technol* 17: 196-203.

- Gutiérrez-Praena, D, Jos, A, Pichardo, S, Puerto, M, Sánchez-Granados, E, Grilo, A y Cameán AM. 2009. Nuevos riesgos tóxicos por exposición a nanopartículas. *Rev Toxicol* 26: 87-92.
- Hannig M y Hannig C. 2010. Nanomaterials in preventive dentistry. *Nature Nanotech* 5: 565–569.
- Hilty, FM, Knijnenburg, JT, Teleki, A, Krumeich, F, Hurrell, RF, Pratsinis, SE y Zimmermann MB. 2011. Incorporation of Mg and Ca into nanostructured Fe₂O₃ improves Fe solubility in dilute acid and sensory characteristics in foods. *J Food Sci*, 76: N2-10. doi: 10.1111/j.1750-3841.2010.01885.x.
<http://physics.about.com/cs/glossary/g/nanotechnology.htm>.
<http://www.hyperdictionary.com/dictionary/nanotechnology>.
<http://www.ipt.arc.nasa.gov/nanotechnology.html>.
- IPC, 2013. International patent classification. Nano-structures formed by manipulation of individual atoms, molecules, or limited collections of atoms or molecules as discrete units, manufacture or treatment thereof. Subclase B82B.
- ISO, 2010. ISO nanotechnologies- Vocabulary part 1: Core terms. International Organization for Standardization, DD ISO/TS 80004-1:2010.
- Kah, M, Beulke, S, Tiede, K y Hofmann T. 2012. Nanopesticides: State of Knowledge, Environmental Fate, and Exposure Modeling. *Crit Rev in Environ Sci Technol* 43: 1823-1867.
- Kole, C, Kole, P, Manoj Randunu, K, Choudhary, P, Podila, K, Chun Ke, P, Rao, AM y Marcus RK. 2013. Nanobiotechnology can boost crop production and quality: first evidence from increased plant biomass, fruit yield and phytomedicine content in bitter melon (*Momordica charantia*). *BMC Biotechnol*, 13:37. doi: 10.1186/1472-6750-13-37.
- Magnusson, BA, Jonaitis, TS y Card JW. 2011. A brief review of the occurrence, use, and safety of food-related nanomaterials. *J Food Sci* 76: R126-R133.
- Martínez-Abad, A, Sánchez, G, Lagaron, JM y Ocio MJ. 2012. Development and characterization of silver-based antimicrobial ethylene-vinyl alcohol copolymer (EVOH) films for food-packaging applications. *J Agric Food Chem* 60: 5350-5359.
- Mateo, D, Morales P, Ávalos, A y Haza AI. 2015. Comparative cytotoxicity evaluation of different size gold nanoparticles in human dermal fibroblasts. *J Experiment Nanosci* 10 (18): 1401-1417. doi:10.1080/17458080.2015.1014934.
- Maurer-Jones, MA, Gunsolus, IL, Murphy, CJ y Haynes CL. 2013. Toxicity of engineered nanoparticles in the environment. *Anal Chem* 85(6): 3036-3049.

- Oberdörster, G, Oberdorster, E y Oberdorster J. 2005. Nanotoxicology: An emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. *Environ Health Perspect* 113: 823-839.ss
- O'Dowd, CD, Aalto, PP, Yoon, YY y Hämeri K. 2004. The use of the pulse height analyser ultrafine condensation particle counter (PHA-UCPC) technique applied to sizing of nucleation mode particles of differing chemical composition. *J Aerosol Sci* 35 (2): 205–216.
- Pal, SL, Utpal, JPK, Manna, GP y Mohanta, MR. 2011. Nano- particle: an overview of preparation and characterization. *J Appl Pharma Sci* 1(6): 228–234.
- Park, JY, Li, SFY y Kricka LJ. 2006. Nanotechnologic Nutraceuticals: Nurturing or Nefarious?. *Clin Chem* 52: 331-332.
- Perlatti, B, de Souza Bergo, PL, das Graças, MF, da Silva, F, Batista Fernandes, J y Rossi Forim M. 2012. Polymeric Nanoparticle-Based Insecticides: A Controlled Release Purpose for Agrochemicals. InTech publishers. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.5772/53355>.
- Peters, R, ten Dam, G, Bouwmeester, H, Helsper, JPF, Allmaier, G, van den Kammer, F, Ramsch, R, Solans, C, Tomaniova, T, Hajslova, J y Weigel S. 2011. Identification and characterization of organic nanoparticles in food. *Trac-Trend Anal Chem*, 30: 100-112.
- Peters, R, Kramer, E, Oomen, AG, Herrera Rivera, ZE, Oegema, G, Tromp, PC, Fokkink, R, Rietveld, A, Marvin, HJP, Weigel, S, Peijnenburg, AACM y Bouwmeester H. 2012. Presence of Nano-Sized Silica during In vitro Digestion of Foods Containing Silica as a Food Additive. *ACS Nano*, 6: 2441-2451.
- RIKILT y JRC, 2014. Inventory of nanotechnology applications in the agricultural, feed and food sector. EFSA supporting publication 2014:EN-621, 125 pp. Disponible online: www.efsa.europa.eu/publications.
- Royal Society and the Royal Academy of Engineering. 2004. Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties. Royal Society and Royal Academy of Engineering, London.
- Singla, P, Mehta, R y Upadhyay, SN. 2012. Clay Modification by the Use of Organic Cations. *Green and Sustainable Chemistry* 2: 21-25.
- Sozer, N y Kokini JL. 2009. Nanotechnology and its applications in the food sector. *Trends Biotechnol* 27(2):82-9. doi: 10.1016/j.tibtech.2008.10.010.
- Taylor, TM, Davidson, PM, Bruce, BD y Weiss J. 2005. Liposomal nanocapsules in food science and agriculture. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 45: 587-605.

- Uriarte M y Bald C. 2008. Nanotecnología en la industria alimentaria. *Alimentación, equipos y tecnología*, 27 (235): 50-54.
- Vance, ME, Kuiken, T, Vejerano, EP, McGinnis, SP, Hochella, MF, Rejeski, D y Hull MS. 2015. Nanotechnology in the real world: Redeveloping the nanomaterial consumer products inventory. *Beilstein J Nanotechnol* 6:1769-1780.
- Wang, H, Keum, JK, Hiltner, A, Baer, E, Freeman, B, Rozanski, A and Galeski A. 2009. Confined crystallization of polyethylene oxide in nanolayer assemblies. *Science*, 323: 757-760.
- Wang, Q, Ma, X, Zhang, W, Pei, H y Chen Y. 2012. The impact of cerium oxide nanoparticles on tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and its implications for food safety. *Metalomics*, 4: 1105-1112.
- Weir, A, Westerhoff, P, Fabricius, L, Hristovski, K y van Goetz N. 2012. Titanium dioxide nanoparticles in food and personal care products. *Environ Sci Technol* 46: 2242-2250.
www.centerforfoodsafety.org/issues/682/nanotechnology/food-and-nanotechnology.
Nanotechnology in food. Interactive tool.
- Xia, T, Li, N y Nel A. 2009. Potential health impact of nanoparticles. *Annu Rev Public Health* 30:137–150.
- Xu, J, Yang, F, An, X y Hu Q. 2007. Anticarcinogenic Activity of Selenium-Enriched Green Tea Extracts in vivo. *J Agric Food Chem* 55: 5349–5353.