



Nanotecnología en alimentos

G. Soto - Chilaca* y A. López-Malo

*Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental, Fundación Universidad de las Américas Puebla.
Exhacienda Sta. Catarina Mártir S/N, Cholula, Puebla. C.P.72810. México.*

Resumen

La nanotecnología ha sido definida como el arte de manipular la materia, átomo por átomo. Los materiales llamados “nano” tienen un tamaño entre 1 y 100 nanómetros. La nanotecnología en el área de los alimentos, tiene su aplicación en la calidad y la inocuidad alimentaria, el desarrollo de nuevos productos y el envasado, entre otros campos. La formación de nanopartículas, nanoemulsiones y nanocápsulas, permitirá mejorar el valor nutricional de los productos. En esta revisión se presenta el estado actual de la investigación y el desarrollo en la nanotecnología y su aplicación en la producción de alimentos. Despues de una breve explicación de qué es la nanotecnología, se discuten las aplicaciones presentes y futuras esperadas en la agricultura y los alimentos.

Palabras clave: nanotecnología, alimentos, nanomateriales, nanopartículas.

Abstract

Nanotechnology has been defined as the art of manipulating matter, atom by atom. Nano materials have a size between 1 and 100 nanometers. Nanotechnology in food environment has its application in areas as food quality and safety, development of new products, and packaging. The formation of nanoparticles, nanoemulsions and nanocapsules, will allow to improve the nutritional value of products. The aim of this review discusses the state of the arts and development in nanotechnology and its application in food production. After a brief explanation of what nanotechnology is, the present and expected future applications of nanotechnology in agriculture and food are discussed.

Keywords: nanotechnology, food, nanomaterials, nanoparticles.

Introducción

La Nanotecnología es entendida como la capacidad de observar, manipular y controlar las propiedades de la materia a escala nanométrica (1 a 100 nm). El

interés de la nanotecnología radica en el hecho de que ese pequeño tamaño conlleva propiedades físicas y químicas que difieren significativamente de las habituales a mayor escala. Con ello, muchos productos son más durables, resistentes, livianos, limpios o multifuncionales.

*Programa de Doctorado en Ciencia de Alimentos
Tel.: +52 222 229 2126, fax: +52 222 229 2727
Dirección electrónica: gerardo.sotocha@udlap.mx

La mayor parte de las aplicaciones comerciales se centran en ingeniería de materiales, informática y medicina. Sin embargo, las aplicaciones en alimentos y agricultura crecen aceleradamente, debido a que se pueden mejorar la calidad y la seguridad de los mismos (Takhistoy *et al.*, 2006). Hoy por hoy se puede ampliar su frontera de conocimiento gracias al desarrollo de instrumental novedoso, esto es, microscopios de fuerza atómica, microscopios de barrido, entre otros.

La Nanotecnología empieza a encontrar aplicaciones en el campo de los alimentos funcionales, modificando moléculas biológicas por medio de ingeniería, para proporcionarles funciones muy diferentes de las que tienen por naturaleza. Esto ha abierto todo un nuevo campo de investigación y desarrollo. Los alimentos son llamados nanoalimentos cuando se utilizan técnicas o herramientas nanotecnológicas o nanopartículas, durante su cultivo, producción, procesado o envasado (Paul *et al.*, 2003).

La mayor parte de la investigación sobre nanotecnología en alimentos se ha centrado en el área de envasado como una nueva alternativa para crear envases de mayor calidad y mejor uso por parte de los consumidores. Los envases interactúan con los productos que contienen, preservando mejor la calidad. Se están desarrollando dos nuevas áreas de implantación comercial: nanotecnología en envases que detectan contaminantes peligrosos y nano-aditivos que son incorporado al envase con la finalidad de ser disueltos después en el producto final para preservar la calidad (Torres-Martínez *et al.*, 2009).

Las últimas investigaciones se están centrando en las posibles aplicaciones en alimentos funcionales, nutracéuticos, y la detección de patógenos empleando para ello nanosensores. (Chen *et al.*, 2006). Los

nanomateriales permiten una mejor encapsulación y liberación de los ingredientes activos en comparación con los agentes de encapsulación tradicionales. El desarrollo de nanoemulsiones, liposomas, micelas, biopolímeros complejos y cubosomas ha conducido al desarrollo de propiedades para la protección de compuestos bioactivos, sistemas de administración controlados, integración de matrices alimentarias y enmascaramiento de sabores no deseados (Takhistoy *et al.*, 2006).

De aquí que el objetivo de esta revisión sea describir las aplicaciones de la nanotecnología en el área de alimentos, así como resaltar su importancia y las técnicas nanotecnológicas como nuevas herramientas para la manipulación de los alimentos.

Revisión bibliográfica

1. Nanotecnología

La nanotecnología tiene su origen en 1982 cuando se desarrolla el "microscopio de efecto túnel", el cual permite visualizar átomos como entidades independientes. Este desarrollo tecnológico permitió una base real para la evolución posterior de la manipulación de materia a escala muy pequeña (entre 10^{-7} m y 10^{-9} m). El premio Nobel de Física de 1959, Feynman, a quien se considera el padre de la nanotecnología, mencionaba: "a medida que el ser humano tiene control de la disposición de moléculas y átomos, se pueden crear nuevos materiales con propiedades inimaginables" (Weiss *et al.*, 2006).

Sin embargo, el término "nanotecnología" fue acuñado en 1974 por el profesor N. Taniguachi de la Universidad de Tokio, quien publicó un artículo titulado "Concepto básico de nanotecnología". En este documento se habla por primera vez de la nanotecnología como la tecnología que permitiría separar,

consolidar y deformar materiales átomo a átomo o molécula a molécula.

El desarrollo de la nanotecnología a partir de la segunda mitad del siglo XX hasta nuestros días es evidente. La posibilidad de manipular la materia a una escala tan puntual como la atómica, sumada al descubrimiento de nuevas propiedades y funciones a ese nivel, genera un espectro inmenso de alternativas en la creación de dispositivos, materiales o sistemas, a todos los niveles industriales posibles. Muchas son las áreas de la ciencia que han estado, están y estarán involucradas en la nanotecnología; entre las actuales se encuentran: medicina, biología, farmacología y materiales, y en este campo, todas las aplicaciones en las áreas de ingeniería, como civil, construcción, electrónica, mecánica, química y alimentos, entre otras (Britton, 2008).

Los físicos, químicos, biólogos, ingenieros, científicos de materiales y otros científicos se unen en equipos interdisciplinarios para estudiar cómo se comporta la naturaleza a escala de átomos, y para tratar de integrar partículas de decenas de nanómetros de diámetro en potenciales productos. Otra utilización de esta tecnología es en la miniatura de chips micro-electrónicos, diseñados a escalas tan pequeñas que debe ser la mecánica cuántica la que determine su comportamiento electrónico para permitir, por ejemplo, la transmutación de un solo electrón (Nath y Chilkoti, 2007).

Los materiales y dispositivos con nanoestructuras tienen propiedades diferentes a los mismos materiales y dispositivos con mayor escala. Algunas de estas propiedades hacen posibles nuevos productos; por ejemplo el plástico nanoestructurado conduce electrones en lugar de ser un aislante (Roco, 2004). Se espera que esto permita microchips más baratos.

Existe un gran consenso en que la nanotecnología llevará a la humanidad hacia una segunda revolución industrial en el presente siglo. Supondrá numerosos avances para muchas industrias y nuevos materiales con propiedades extraordinarias (por ejemplo desarrollar materiales más fuertes que el acero), nuevas aplicaciones informáticas con componentes increíblemente más rápidos, o sensores moleculares capaces de detectar y destruir células cancerígenas en las partes más delicadas del cuerpo humano como el cerebro, entre otras muchas aplicaciones. Es posible afirmar que muchos progresos de la nanociencia estarán entre los grandes avances tecnológicos que cambiarán el mundo (Song *et al.*, 2009).

Nanotecnología en México

En el caso de México se están haciendo esfuerzos para crear un programa nacional de nanotecnología, además de que existen grupos de trabajo y algunas redes de investigación en las principales universidades públicas y privadas que trabajan en nanomateriales, nanotubos, nanopartículas, nanocatalizadores e ingeniería molecular.

De acuerdo al reporte de nanotecnología de la Secretaría de Economía, en el periodo 1998-2004 se invirtió un total aproximado de \$14.4 millones de dólares, el cual se distribuyó entre 152 proyectos de investigación administrados por 58 institutos. El 53% del presupuesto se asignó a investigación de nano materiales, 14% a química, 14% a electrónica, 12% a física y 7 % a otros. Por otro lado, en el 2008 México reportó 449 investigadores, 157 laboratorios, 17 plantas piloto y 340 líneas de investigación dedicados a la nanotecnología (SE, 2008).

No obstante, en comparación con lo que invirtieron los países que están a la vanguardia, es una cantidad muy pequeña. En la Tabla I se muestra el gasto estimado en

Tabla I. Inversión en investigación y desarrollo en nanotecnología en países líderes (2008) ^a

Región	Inversión en millones de dólares (estimado)
Mundo	7,849
Unión Europea	2,440
Estados Unidos	1,821
Japón	1,128
Rusia	1,076
Alemania	541
China	510
Corea del Sur	350
Reino Unido	184
Taiwán	97
India	50

^a Záyago y Foladori (2010)

nanotecnología sólo en 2008 por parte de algunos países.

Esto da una idea de los países que son los grandes inversionistas en nanotecnología y los que determinan las tendencias competitivas en el mercado mundial. Es de resaltar que a diferencia de México, varios de estos países líderes en nanotecnología cuentan con iniciativas nacionales en la materia, lo que les permite identificar sectores de oportunidad y espacios de mercado a explotar (Ulloa, 2002).

También se puede observar la diferencia de México con respecto a otras economías emergentes, que han incluido a la investigación y el desarrollo de la nanotecnología en una iniciativa nacional y que, de manera paralela, han incrementado el financiamiento en este rubro. En la Tabla II se muestra la cantidad de artículos publicados entre los años 2000 y 2007, relacionados con la nanotecnología, lo cual sirve como un indicador de producción académico-científica al respecto (Záyago y Foladori, 2010).

2. Nanotecnología en alimentos

La nanotecnología alimentaria se encuentra aún en fase de crecimiento, tiene aplicaciones en la calidad, la seguridad alimentaria, el desarrollo de nuevos productos y el envasado, entre otras, aportando propiedades funcionales mejoradas, por ejemplo, un alimento con bajo contenido de sodio de sabor salado (Takhistoy *et al.*, 2006).

La nanotecnología también puede mejorar los procesos de alimentos que utilizan enzimas para producir beneficios para la salud y nutricionales. La investigación y el desarrollo de la ciencia a escala nano ha tenido grandes descubrimientos, desde envases para alimentos con menor riesgo de migración de toxinas al alimento hasta técnicas para la detección de patógenos.

La aplicación de la nanotecnología en el campo de la alimentación permite la elaboración de alimentos más saludables, más resistentes y de mayor durabilidad. La

Tabla II. Artículos publicados acerca de nanociencia y nanotecnología en países en economías emergentes ^a

Región	Periodo 2000 -2003	Periodo 2004 -2007	Crecimiento (%)
México	877	1,505	71.6
China	12,870	36,910	186.8
Corea del Sur	4,532	11,003	142.8
India	2,652	6,778	155.6
Brasil	1,930	3,203	66.0
Argentina	607	898	47.9

^a Záyago y Foladori (2010)

nanotecnología está adquiriendo cada vez más importancia y debido a sus numerosas y diversas aplicaciones en este campo seguirá innovando productos.

2.1 Aplicaciones de la nanotecnología en alimentos

Las aplicaciones de los materiales nanoestructurados y de las nanotecnologías para producirlos se están desarrollando con extrema rapidez, si bien desde hace mucho tiempo existen técnicas que permiten actuar a nivel nanoestructural, como son algunas áreas de la materia condensada, ciencia de coloides, crecimiento de películas, entre otros. El gran desarrollo en los campos de la biología molecular y la biotecnología a partir de los años 80, ha favorecido su expansión hacia todo tipo de materiales: metálicos, no metálicos, plásticos y compuestos, y a través de ello hacia los más diversos campos científicos, tecnológicos e industriales (Nguyen *et al.*, 2007).

Se dan a continuación algunos ejemplos de las innumerables aplicaciones de esta tecnología, ya presentes en los mercados o cercanas a su comercialización:

- Sensores destinados a detectar la presencia de compuestos específicos en diferentes

ambientes cerrados o abiertos, o aromas que caracterizan la calidad de bebidas y productos alimenticios.

- Sistemas fotovoltaicos de alta eficiencia para conversión de la energía solar.
- Nuevos materiales con una elevada relación resistencia/masa, para aplicaciones aeroespaciales, biomédicas y en medios de transporte.
- Técnicas diagnósticas basadas en el sistema denominado “lab-on-a-chip”, para la realización de análisis clínicos y genéticos con mínimas cantidades de muestra y en tiempo real.
- Cosméticos, en especial para la protección de la radiación solar.
- Materiales para la filtración y catálisis de hidrocarburos y otras sustancias.
- Revestimientos superficiales con resistencia a la corrosión, al rayado y al desgaste, notablemente mejorados.
- Herramientas de corte de altísima tenacidad y fragilidad reducida.
- Pantallas de video más livianas y funcionales, basada en la electrónica de polímeros.
- Nuevas prótesis e implantes para colocación *in vivo*.
- Técnicas de trabajo de piezas para micromecánica y microelectrónica en escala de 100 nm.

Algunas otras aplicaciones de la nanotecnología en las diferentes áreas se pueden observar en la Tabla III.

Estos materiales nanoestructurados se pueden obtener de dos maneras: una denominada “top down”, en la cual las nanoestructuras se esculpen sobre un bloque de material, y otra llamada “bottom up”, en la que los materiales nanoestructurados se obtienen a partir de nanopartículas. Las técnicas “top down” tienen similitud con las actuales técnicas de producción de microprocesadores electrónicos. Por su parte, las técnicas “bottom up” se basan en procesos similares a los utilizados en tecnología de materiales y pueden dar lugar a polvos, objetos compactos o capas delgadas, con propiedades profundamente cambiadas respecto a los mismos materiales obtenidos por tecnologías convencionales (Dutta y Hofmann, 2004).

Una de las primeras aplicaciones comerciales de la nanotecnología en el sector alimenticio fue en el envasado. Se estima que actualmente se están usando en el comercio entre 400 y 500 nano productos, y se prevé que en el año 2017 se utilizará nanotecnología en la manufactura del 25 % de todo el material

de envase de alimentos (Scrinis y Lyons, 2007).

Uno de los fines principales del nano envasado es lograr un mayor tiempo de conservación a través de la mejora de las funciones de barrera del material utilizado, a fin de reducir el intercambio de gases, la humedad y la exposición a los rayos ultravioleta. Por ejemplo, DuPont anunció que lanzaría al mercado un aditivo para plásticos compuesto por nanopartículas de dióxido de titanio, que reduciría el daño causado por los rayos ultravioleta a los alimentos en envases transparentes (Chaudhry *et al.*, 2008).

También se están desarrollando nanomateriales de envasado que utilizan nanotubos de carbono y que tienen la capacidad de extraer oxígeno o dióxido de carbono (Roberts, 2007). En muchos casos, los envases pueden liberar agentes antioxidantes, sabores, fragancias o nutracéuticos en los alimentos y bebidas, a fin de prolongar su vida útil o mejorar su sabor y/o aroma o su valor nutricional (Chen *et al.*, 2006).

Existen otros materiales de envasado y materiales en contacto con alimentos que, a

Tabla III. Aplicaciones de nanotecnología en diferentes áreas^a

Producto	Componente nano	Finalidad
Pinturas	Nanotubos de carbono	Los nanotubos de carbono son agregados a las pinturas para bloquear transmisiones de radio y señales de celulares.
Refrigeradores y lavadoras	Nanopartículas de plata	Las partículas de plata de tamaño nano, confieren un fuerte efecto antimicrobiano que se aplica para el revestimiento del interior de las superficies de los refrigeradores y la lavadoras.
Bloqueadores solares	Nanopartículas de dióxido de titanio	Las nanopartículas de dióxido de titanio brindan protección a los rayos ultravioletas.
Ropa	Nanofibras	Las nanofibras brindan resistencia a derrames, repelen manchas, eliminan la humedad y son resistentes a la estática.
Raquetas de tenis	Nanotubos de carbono	La raqueta de tenis tiene tejidos de nanotubos de carbono y titanio, el cual ofrece una mayor rigidez y proporciona una devolución de la pelota con mayor energía.
Cremas nutritivas (uso cosmético)	Nanopartículas de oro	Las nanopartículas de oro tienen una buena compactibilidad biológica. El uso de este tipo de partículas en los productos cosméticos pueden mejorar la absorción de los ingredientes activos.

^a Adaptado de Paul *et al.* (2003)

diferencia de los materiales de envasado que liberan sustancias químicas en función de determinadas circunstancias desencadenantes, tienen nanomateriales antimicrobianos incorporados de manera que el envase mismo actúa como agente antimicrobiano. Estos productos generalmente utilizan nanopartículas de plata, aunque algunos usan nanopartículas de óxido de zinc o dióxido de cloro. También se prevé que en el futuro se utilizarán nanopartículas de óxido de magnesio, óxido de cobre y nanotubos de carbono como materiales antimicrobianos para el envasado de alimentos (Bowman y Hodge, 2006).

Actualmente existen en el mercado diversos ingredientes activos no encapsulados que se utilizan para el procesamiento y conservación de bebidas, carnes, quesos y otros alimentos. A muchos alimentos se les agregan nanopartículas con el fin de mejorar las propiedades de flujo (por ejemplo, la facilidad de vertimiento), el color y la estabilidad durante el procesamiento, o de aumentar el tiempo de conservación de los productos.

Otra fuente creciente de nanopartículas en los alimentos son los aditivos nutricionales. La nanoencapsulación supone colocar ingredientes activos como vitaminas, hierro, magnesio, zinc y otros minerales, probióticos, péptidos bioactivos, antioxidantes, esteroles vegetales y enzimas, como fortificantes en productos lácteos, cereales, panes y bebidas (Chen *et al.*, 2006).

La seguridad alimentaria es otra preocupación importante para los productores de alimentos. En la actualidad se están desarrollando nanosensores en el área de análisis químicos para ayudar a la seguridad alimentaria, permitiendo realizar pruebas rápidas de análisis en el producto terminado y mejorando el tiempo de respuesta, no sólo en la industria, sino también en los estantes (Alocilja y Radke, 2003).

Empresas como Kraft en conjunto con los investigadores de la Universidad Rutgers en Estados Unidos, están desarrollando una tira electrónica que se pueda incluir en los envases de los alimentos. Esta tira contiene nanosensores que son extremadamente sensibles a la liberación de gases del alimento. Haciendo que la tira cambie de color al contacto con los gases, el consumidor puede saber si el alimento está fresco o no (Wu *et al.*, 2009). También se han creado nanosensores comestibles similares a un holograma que cambia de color indicando la presencia de microorganismos y la contaminación de frutas y vegetales (Britton, 2008).

Otra aplicación de nanotecnología en alimentos incluye nanopartículas que contienen antioxidantes encapsulados, lo cual ayuda a protegerlos de la destrucción en el tracto gastrointestinal, haciendo que lleguen en concentraciones hasta 70 % superiores al torrente sanguíneo, aumentando su capacidad benéfica para la salud. (Bowman y Hodge, 2007). En la Tabla IV se presentan más aplicaciones actuales de la nanotecnología en los alimentos.

Entre los métodos nanotecnológicos que se están empleando en el área de alimentos se encuentran:

a) *Nanomicelas*. Son partículas esféricas de 5 a 100 nanométricos de diámetro. Se forman espontáneamente por la disolución de surfactantes en agua a concentraciones que exceden un nivel crítico, conocido como “concentración crítica de la micela”. Permiten encapsular moléculas no polares como lípidos, saborizantes, antimicrobianos, antioxidantes y vitaminas (Weiss *et al.*, 2006).

Entre algunas aplicaciones exitosas de microemulsiones se incluyen la encapsulación de limoneno, licopeno, luteína y ácidos grasos omega 3. También la encapsulación de alfa-tocoferol para reducir la oxidación de los

Tabla IV. Aplicaciones de nanotecnología en alimentos ^a

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

^a Adaptado de Sanguansri *et al.* (2006)

lípidos en el aceite de pescado. Aquanova patentó en Europa una solución de isoflavonas, que consiste en isoflavonas de la soya encapsuladas dentro de micelas de alrededor de 30 nm de diámetro; las micelas mejoran la absorción y biodisponibilidad de estas isoflavonas (Takhistoy *et al.*, 2006).

b) *Liposomas*. Son formados por lípidos polares abundantes en la naturaleza, principalmente fosfolípidos. Éstos son esféricos con una configuración de concha de dos capas, pueden ser uni o multilamelares, conteniendo una o más conchas. Su tamaño varía entre 20 nm y unos cientos de micrómetros; su interior es acuoso por naturaleza. A diferencia de las nanomicelas, son usados para encapsular compuestos solubles en agua y en grasa (Paul *et al.*, 2003).

El interior del liposoma tiene propiedades que se asemejan a las de un disolvente orgánico; proveen un micro-ambiente que permite mantener funcionalidad proteica. Algunos ejemplos son: liposomas que encapsulan lactoferrina para incrementar la vida media de los productos lácteos; fosvitina atrapada en liposomas para inhibir la oxidación de lípidos en una variedad de productos lácteos y carne molida de cerdo; la vitamina C encapsulada en liposomas para retener su actividad después de 50 días de almacenamiento refrigerado (por métodos tradicionales su actividad se pierde después de los 19 días) (Sanguansri y Augustin, 2006).

c) *Nanoemulsiones*. Son dispersiones muy finas de dos líquidos inmiscibles (generalmente de aceite en agua) con uno de

los líquidos siendo dispersado en el otro en forma de gotas; el diámetro de las gotas varía entre 50 y 200 nm. Se utilizan normalmente en el desarrollo de productos bajos en grasa. Un ejemplo son las mayonesas que incluyen nanopartículas de aluminio y silicona (Roco, 2004).

d) Nanopartículas biopoliméricas. Estas nanopartículas consisten de una matriz de biopolímeros que están conectados a través de fuerzas intermoleculares de atracción o de enlaces covalentes para formar partículas sólidas. Las nanopartículas pueden consistir de un biopolímero simple o tener una estructura de concha interior (Sanguansri y Augustin, 2006).

Existe una amplia variedad de biopolímeros naturales y sintéticos que han sido usados para encapsular y transportar compuestos, entre los que se encuentran: el quitosano un polímero antimicrobiano y antioxidante obtenido de las conchas de crustáceos, y el poli-láctico que se utiliza por su capacidad para inhibir el crecimiento bacteriano y de hongos (Des Rieux *et al.*, 2006).

2.2 Aplicaciones de la nanotecnología en agricultura

La nanotecnología está introduciendo toda una nueva gama de plaguicidas, reguladores de crecimiento vegetal y fertilizantes químicos. Las compañías agroquímicas han reducido el tamaño de las partículas de las emulsiones químicas existentes, llevándolas a dimensiones nanoscópicas, o han encapsulado los ingredientes activos en nanocápsulas diseñadas para abrirse bajo ciertas condiciones, por ejemplo, en respuesta a la luz solar, el calor o las condiciones alcalinas en el estómago de un insecto (Luykx *et al.*, 2008). De igual manera que con las nanocápsulas y nanoemulsiones que se están desarrollando en los sectores de alimentos y envasado, la finalidad de reducir el tamaño de las

nanopartículas y emulsiones usadas en agroquímicos es hacerlas más potentes (Fang *et al.*, 2009).

Así se tiene a los pesticidas inteligentes o nanocidas de las empresas Syngenta, Monsanto y BASF que han sido aprobados en Inglaterra y Estados Unidos. Los nanocidas usan un sistema de liberación controlada, ya que se encuentran en pequeñas cápsulas de polímeros, que son modificadas para que se adhieran específicamente a las partes de la planta que necesitan ser protegidas de los insectos. Estas nanocápsulas se mantienen inertes hasta que el insecto empieza a consumir la planta, son los jugos digestivos específicos del insecto los que liberan el pesticida dentro del cuerpo, aniquilándolo (Scrinis y Lyons, 2007).

Otras compañías emplean dispersiones de nanopartículas (nonoemulsiones) que pueden tener base hídrica o de aceite, y que contienen suspensiones uniformes de nanopartículas pesticidas o herbicidas en el espectro de los 200 a 400 nm (Joseph y Morrison, 2006). En la Tabla V se presenta información sobre nanoagroquímicos que se están desarrollando.

Conclusiones

Las aplicaciones socioeconómicas, científicas, industriales, tecnológicas, agroalimentarias y sanitarias de la nanotecnología sólo están limitadas a mediano y largo plazo por la imaginación y capacidad creativa de los científicos. En varios países, los gobiernos y las empresas están invirtiendo en cientos de proyectos de desarrollo de nanotecnología en los alimentos y la agricultura.

La nanotecnología puede ser aplicada en todos los aspectos de la cadena alimentaria, tanto para mejorar la seguridad y el control de

Tabla V. Nanoagroquímicos desarrollados ^a

Producto	Componente nano	Finalidad
Super fertilizante con plaguicida	Cápsulas de nano arcilla que contiene estimulantes de crecimiento y agentes de biocontrol	Debido a que puede diseñarse para liberar lentamente los ingredientes activos, el tratamiento requiere una sola aplicación a lo largo de toda la vida del cultivo.
Herbicida	Nano formulado	Diseñado para atacar el revestimiento de semillas de malezas, destruir los bancos de semilla en el suelo y evitar la germinación de malezas.
Plaguicida y herbicidas	Nanocápsulas	El tamaño muy pequeño de las nanocápsulas aumenta su potencia y permite la liberación dirigida de ingredientes activos

^a Adaptado de Scrinis y Lyons (2007)

calidad, como en nuevos ingredientes alimentarios o complementos.

No obstante, se requiere más investigación para comprender el modo en que las nanopartículas se pueden emplear en la industria de los alimentos. Se sabe poco acerca de la forma en que estas partículas son absorbidas y excretadas por el organismo y sobre todo de cómo se desplazan por el mismo.

Agradecimientos

A la Universidad de las Américas Puebla y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT, México) por el financiamiento recibido para la realización de este trabajo.

Referencias

Alcilja, E.C. y Radke, S.M. 2003. Market analysis of biosensors for food safety. *Biosensors and bielectronics*. 18:841-846

Britton, S. 2008. High cost of nanotechnology means manufacturers miss out. *Food Manufacture* 24:657-659

Bowman, D. y Hodge, G. 2006. Nanotechnology: mapping the wild regulatory frontier. *Futures* 38:1060-1073.

Bowman, D. y Hodge, G. 2007. A small matter of regulation: An international review of nanotechnology regulation. *Columbia Science Technology Law Rev.* 8:1-32.

Chaudhry, Q., Scotter, M., Blackburn, J., Ross, B., Boxal, A. L., Castl, L. 2008. Applications and implications of nanotechnologies for the food sector. *Food Additives & Contaminants: Part A*. 25: 241-258,

Chen, H., Weiis, J. y Shahidi, F. 2006. Nanotechnology in nutriceuticals and functional foods. *Food Technology*. 60:3-8.

Des Rieux, A., Fievez, V., Garinot, M., Schneider, Y.J. y Preat, V. 2006. Nanoparticles as potential oral delivery systems of proteins and vaccines: a mechanistic approach. *Journal of Control Release*. 116 (1):1-27.

Dutta, J. y Hofmann, H. 2004. Self-Organization of colloidal nanoparticles. *Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology*, 9: 617-640.

Fang, G., J. He, C. Zhang, K. Qian and S. Wang. 2009. Carbon nanotubes as matrix solid-phase dispersion extraction absorbents to determine 31 pesticides in

- samples by gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 10: 1021-1029.
- Joseph, T. y Morrison, M. 2006. Nanotechnology in agriculture and food. *Nanoforum Report*. <http://www.nanoforum.org/dateien/temp/nanotechnolog%20in%20agriculture%20and%20food.pdf?08122006200524>, accesada 7/02/2011.
- Luykx, D., Peters, J.B., Saskia M. y Bouwmeester, H. 2008. A review of analytical methods for the identification and characterization of nano delivery systems in food. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56: 8231-8247.
- Nath, N., y Chilkoti, A. 2007. A colorimetric gold nanoparticle sensor to interrogate biomolecular interactions in real time on a surface. *Analytical Chemistry*. 74: 504-509
- Nguyen, B.T., Gautrot, J.E., Nguyen, M.T. y Zhu, X.X. 2007. Nitrocellulose-stabilized silver nanoparticles as low conversion temperature precursors useful for inkjet printed electronics. *Journal of Materials Chemistry*. 17: 1725- 1730.
- Paul, W., Hebert, F. y Sinkula G. 2003. Investing in nanotechnology. *Nature Biotechnology*. 21: 10-16.
- Roberts, R. 2007. The role of nanotechnology in brand protection. *Packaging Digest*. Enero de 2007. <http://www.packagingdigest.com/articles/200701/34.php>, accesada 8/02/2011.
- Roco, M. 2004. Nanoscale science and engineering: unifying and transforming tools. *Journal American Institute of Chemical Engineers*. 50 (5): 1023 -1031.
- Sanguansri, P., y Augustin, M. 2006. Nanoscale materials development: A food industry perspective. *Trends Food Science Technology*. 17: 547-556.
- Sanguansri, P., Augustin, M.A., Weiss, J., Takhistov P., McClements D.J. 2006. Functional materials in food nanotechnology. *Journal of Food Science*. 72: R107-R116.
- Scrinis, G. y Lyons, K. 2007. The emerging nano-cooperate paradigm: nanotechnology and the transformation of nature, food and agrifood systems. *International Journal of Sociology of Food and Agriculture*. 15 (2): 22-44.
- SE (Secretaría de Economía). 2008. Diagnóstico y prospectiva de la nanotecnología en México. www.economia.gob.mx/pics/pages/944_base/Nanotecnologia.pdf, accesada 10/02/2011.
- Song, Y.Y., Schmidt-Stein, F., Bauer, S. y Schmuki P. 2009. Amphiphilic TiO₂ nanotube arrays: An actively controllable drug delivery system. *Journal of the American Chemical Society*. 131: 4230-4232.
- Takhistov, P., Weiss, J. y McClements, J. 2006. Food nanotechnology. *Journal of Food Science*. 71: 9-14.
- Torres-Martínez, T.C., Nguyen, L. R., Kho M. 2009. Biomolecularly capped uniformly sized nanocrystalline materials: glutathione-capped ZnS nanocrystals. *Nanotechnology*. 10: 340-354.
- Ulloa, S.E. 2002. Nanoscience in Latin America. *Journal of Nanoparticles Research*. 4 (3): 175-177.
- Weiss, J., Takhistov, P. y McClements D.J. 2006. Functional materials in food nanotechnology. *Journal of Food Science*. 71: R107- R116.
- Wu, Y., Na, N., Zhang S., Wang, X., Liu, D. y Zhang, X. 2009. Discrimination and identification of flavors with catalytic nanomaterial based optical chemosensor array. *Analytical Chemistry*. 81: 961-966.
- Záyago., L. y Foladori, G. 2010. La nanotecnología en México: un desarrollo incierto. *Economía, Sociedad y Territorio*. 32: 143-178.