

Unidad de Investigaciones en Biomedicina. Zurita & Zurita Laboratorios. Ecuador

LA NANOTECNOLOGÍA EN LA PRODUCCIÓN Y CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS

Mónica Cartelle Gestal¹, Jeannete Zurita².

RESUMEN

El mejor conocimiento de las relaciones que sostienen entre sí los átomos dentro de las moléculas ha abierto la posibilidad de la manipulación directa de los mismos, y con ello, la obtención de nuevos materiales. Las nanociencias y las nanotecnologías se perciben entonces como herramientas imprescindibles para afrontar los nuevos desafíos en cuanto a la protección y saneamiento del medio ambiente, el tratamiento de las enfermedades, y la obtención de alimentos más nutritivos, inocuos y seguros. Las nanotecnologías también se han introducido en la industria alimentaria para el desarrollo de nuevos y superiores métodos de empaquetamiento y preservación de alimentos. Las aplicaciones de las nanotecnologías que se avizoran cubren desde embalajes que le avisarán al consumidor de la composición nutrimental del producto y le alertarán del deterioro inmediato, hasta alimentos que incorporan componentes con propiedades farmacéuticas. En la América Latina se asiste a un rápido avance de las nanotecnologías y las nanociencias, gracias a la voluntad de los gobiernos y las instituciones del área, la creación del parque tecnológico requerido, y la formación de especialistas e investigadores. Con todo y lo dicho anteriormente, todavía le quedan nuevos retos por delante a estas disciplinas, entre ellas, una mayor apreciación por los consumidores de las bondades que ofrecen los “nano-alimentos”, y un ambiente regulatorio mejor ordenado dentro del cual se inserten y actúen investigadores e instituciones. Con este artículo se revisa el estado del arte de la nanotecnología en la región latinoamericana, y su implicación en la prevención de las enfermedades transmitidas por alimentos. *Cartelle Gestal M, Zurita J. La nanotecnología en la producción y conservación de alimentos. RCAN Rev Cubana Aliment Nutr 2015;25(1):184-207. RNP: 221. ISSN: 1561-2929.*

Palabras clave: *Nanociencias / Nanotecnologías / Alimentos / Inocuidad.*

¹ Doctora en Ciencias. Investigadora principal.

² Médica Microbióloga. Directora de la Unidad de Investigaciones en Biomedicina.

Recibido: 29 de Abril del 2015. Aceptado: 5 de Junio del 2015.

Mónica Cartelle Gestal. Unidad de Investigaciones en Biomedicina. Zurita & Zurita Laboratorios. Avenida de la Prensa N49-221. Quito. Ecuador.

Correo electrónico: mcarges@gmail.com

INTRODUCCIÓN

Las enfermedades transmitidas por los alimentos (ETA) constituyen un importante problema de salud a nivel mundial.¹⁻² Las ETAs son causadas por el consumo de agua y/o alimentos contaminados con microorganismos o las sustancias tóxicas que ellos producen. Por consiguiente, una ETA puede representar desde una infección transmitida por alimentos, resultante de la ingestión de alimentos que contienen virus (como el de la hepatitis A), bacterias (*Salmonella* spp.) y parásitos vivos (*Triquinella spirallis*); hasta la intoxicación causada por alimentos debido a la ingestión de toxinas | venenos presentes en el alimento ingerido que han sido producidas por hongos o bacterias no importa que el microorganismo secretor de la toxina no esté presente físicamente en el alimento. Este sería el caso de las ETAs provocadas por la toxina botulínica (secretada por *Clostridium botulinum*), o la enterotoxina de *Staphylococcus aureus*.

Los síntomas clínicos de las ETA pueden ser sugestivos de la intoxicación alimentaria, como vómitos, dolores abdominales, diarrea y fiebre; pero también pueden expresarse a través de síntomas neurológicos como la inflamación de los ojos, la visión doble, o el fallo renal agudo. Estos síntomas pueden variar dependiendo de las cantidades de microorganismos | toxinas presentes en el alimento, las cantidades de alimento consumidas, y el estado de salud de la persona, entre otros factores.

Para las personas sanas, las ETAs en su mayoría son enfermedades autolimitadas que sólo duran unos días (a lo sumo) y que no dejan ninguna secuela | complicación. Sin embargo, en subpoblaciones vulnerables como los niños, los adultos mayores, las mujeres embarazadas, y los que sufren de alguna enfermedad de base crónica, las ETAs pueden presentarse con mayor

intensidad, dejando secuelas tras de sí, o incluso provocando hasta la muerte.

Los CDC (acrónimo del inglés *Center for Diseases Control and Prevention*) de los Estados Unidos han estimado que cada año entre 1 y 6 norteamericanos (lo que equivaldría a 48 millones de personas) adquieren una ETA.³ De éstos, 128,000 requieren hospitalización, mientras que 3,000 fallecen a causa de ella.³

De acuerdo con el reporte de los CDC para el año 2013, *Salmonella* y *Salmonella* serotipo *Enteritidis* fueron los patógenos más frecuentes en la ETAs.⁴ No obstante, no se debe olvidar que *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* y *Bacillus cereus* (entre otras bacterias) también han de incluirse en los estudios de las ETAs.⁴⁻⁵

Las nuevas tecnologías introducidas en la conservación de alimentos han hecho posible que las bacterias se hayan adaptado efectivamente a nuevos ambientes y entornos. Por lo tanto, hoy en día la salubridad de los alimentos puede verse amenazada por “nuevas” bacterias (desconocidas hasta ayer) como *Arcobacter* spp, *Arcobacter* spp, *Helicobacter pullorum*, *Enterobacter sakazakii*, *Mycobacterium avium* spp, y *Mycobacterium paratuberculosis*. Se tienen los reportes de la identificación en muestras de carne bovina de priones relacionados con la encefalopatía espongiiforme.⁶ Estos (y otros microorganismos) poco a poco han desplazado de las listas de agentes causales de las ETAs a los considerados como patógenos clásicos.

Hoy también se ha de tener en cuenta, además, como causa de las ETAs, a todos aquellos microorganismos no cultivables (y que en inglés se reconocen por el acrónimo VNB por *Viable but Non culturable Bacteria*) que pueden estar presentes en los alimentos,⁷⁻⁸ y con ello, comprometer la calidad de los mismos.

No solo las bacterias están implicadas en la causalidad de las ETAs. Parásitos como *Cyclospora cayetanensis*,⁹ y virus como el

Norovirus,¹⁰⁻¹¹ se han aislado en brotes de ETAs que han comportado una elevada mortalidad. Incluso los probióticos no están ajenos a la amenaza creciente que las ETAs representan para la salud humana. Por citar solo un ejemplo: *Saccharomyces cerevisiae* (levadura presente en las cervezas) puede convertirse en un patógeno alimenticio bajo condiciones especificadas de estrés microbiano mediante el sistema de *quorum sensing*, esto es: los modos y maneras que tienen las bacterias para comunicarse entre sí.¹² En virtud de todo lo anterior, surge entonces la imperiosa necesidad de enfatizar en la higiene de los alimentos desde la misma etapa de la producción primaria de los mismos, incluidos el suministro de agua potable y la aplicación de las buenas prácticas de manipulación.¹²⁻¹³

En la búsqueda de una mayor seguridad en el consumo de los alimentos (y con ello, la prevención de las ETAs), junto con la presión de responder a los reclamos de los consumidores de disponer siempre y de forma irrestricta de alimentos saludables, limpios, y que no representen riesgos para la salud humana, la industria ha recurrido a la nanotecnología como una herramienta que puede ser valiosa en la conservación de los alimentos mediante métodos percibidos como más naturales. Como resultado de todo ello, las nanopartículas se emplean cada vez más en la industria alimentaria.

La reacción de los consumidores a las nuevas tecnologías como la nanotecnología es siempre impredecible. Muchos esfuerzos se deben dedicar entonces a la comunicación de información objetiva, equilibrada, no sesgada, tanto a los productores de alimentos como a los consumidores. El conocimiento del consumidor, la observancia de una conducta ética en la producción e industrialización de los alimentos, la sostenibilidad de la presencia de los alimentos en los mercados, y una confianza incrementada en los alimentos que se consumen, son factores que pesan cada vez

más en el ánimo del consumidor. Por lo tanto, este artículo tiene como objetivo revisar el estado de la nanotecnología en la producción y elaboración de “nuevos alimentos”, así como en la conservación de los alimentos, y con ello, la prevención de las ETAs.

Una introducción a la nanotecnología

En la era presente que se vive de una incesante innovación tecnológica, la nanotecnología ha venido a ocupar un lugar especial. El término “nanotecnología” abarca toda una gama de tecnologías que operan a nivel de “nano-escala”. Luego, la nanotecnología ha sido provisionalmente definida como la tecnología de manipulación y producción de materiales, y de conducción de sistemas y procesos, que opera a la escala de 100 nanómetros (nm) o menos, lo que se correspondería entonces con tamaños $\leq 1 \times 10^{-9}$ metros. En concordancia con lo anterior, los nano-materiales han sido definidos como aquellos que tienen una o más dimensiones con una medida ≤ 100 nm.¹⁴⁻¹⁷

Sin embargo, esta definición de los nano-materiales probablemente sea demasiado estrecha para los propósitos de la evaluación de la seguridad ambiental y la sanidad. En las próximas décadas la “siguiente generación nanotecnológica” prevé ir más allá de la utilización de partículas elementales e ingredientes encapsulados para lograr el desarrollo de los más complejos nano-aparatos, nano-máquinas y nano-sistemas.¹⁸ De forma similar, la fusión de la nanotecnología con la biotecnología hará posible la manipulación del material genético de los seres humanos, los animales y las plantas agrícolas, e incluso la incorporación de materiales sintéticos en las estructuras biológicas (y viceversa).¹⁹ Se ha pronosticado que la convergencia de las nano-tecnologías permitirá la creación de organismos artificiales totalmente nuevos,

los cuales serán usados en la producción y procesamiento de alimentos, otras actividades de la agricultura, y la producción de agro-combustibles, sin pretender agotar las incontables aplicaciones que se incluyen dentro de la ya reconocida como la biología sintética.²⁰

La nanotecnología es una ciencia multi-e inter-disciplinaria en la cual convergen las ingenierías química, de alimentos, y de materiales; y las tecnologías como la biotecnología, la tecnología de elaboración de alimentos, y la tecnología de los procesos industriales. La integración de todas estas disciplinas es un factor determinante para el afrontamiento y resolución de situaciones que se presentan a diario en la industria, como pudiera ser la conservación y envasado de productos.

La nanotecnología trata de entender los procesos químicos y físicos que ocurren a escala molecular e incluso atómica. Esto tendría repercusiones inmediatas. Para aprovechar las propiedades saludables de muchos compuestos bioactivos presentes en los alimentos, se requieren procesamiento y almacenamiento especificados de los productos alimenticios. Si el caso fuera de la fibra dietética soluble (integrada molecularmente por polisacáridos), mediante técnicas nanotecnológicas sería posible proteger estos compuestos bioactivos durante las diferentes etapas de procesamiento y almacenamiento de manera tal que se presenten intactos en el momento del consumo, transiten sin ser afectados por el tracto gastrointestinal, y sean liberados única y exclusivamente en el intestino grueso para, una vez allí, ejercer sus funciones nutricionales.

En una primera aproximación, la nanotecnología serviría para modificar la estructura de la matriz (en este caso, el alimento), y asegurar la inocuidad de la misma sin recurrir a métodos | sustancias químicas. Así, se lograría una conservación mucho más natural. La nanotecnología haría

posible también que la estructura del alimento se pudiera conservar y hacer más estable por más tiempo a diferentes temperaturas y grados de humedad. Luego, la conservación de los alimentos mediante métodos naturales permitiría eliminar de las cadenas de procesamiento, producción y envasado una enorme variedad de químicos que han sido puesto en entredicho en años recientes por supuestos temores de alteraciones y daños para el organismo, sobre todo cuando se trata de alimentos enlatados.

Estado de la nanotecnología en la América Latina

En el momento actual, las nanotecnologías están presentes en muchos países del mundo, incluso sin que el estado local del desarrollo socio-económico y científico-técnico se convierta en un factor que impida el arraigo y florecimiento de las mismas. La América Latina se destaca por la pujanza de las ciencias de la nanotecnología.²¹ Por lo tanto, solo es natural que se separe un espacio en esta comunicación para discutir los caminos que siguen las nanotecnologías en la región, al menos, en los países más representativos.

La nanotecnología en Chile

Los expertos chilenos en las ciencias de la ingeniería y la tecnología de los alimentos, los investigadores médicos, y los especialistas en la producción de nuevos materiales y la nanotecnología, prevén un gran futuro para esta innovadora tecnología en los terrenos de la producción, procesamiento y conservación de los alimentos.

Existen programas para la mejora de la nanotecnología en Chile a través del CONICYT Consejo Nacional de Investigación Científica y Tecnológica, entidad gubernamental que promueve

estudios en seis universidades diferentes del país en las áreas de la física, la biología, y la ciencia de los materiales. La Universidad de Santiago de Chile mantiene proyectos de investigación conjunta con instituciones homólogas de los Estados y Canadá.²² Pero a pesar de la mayor participación institucional, pocos investigadores chilenos están desarrollando aplicaciones de la nanotecnología en las áreas de la física, la química, y la biología.

La nanotecnología en Colombia

Investigadores de la Universidad de Antioquia han publicado en un importante artículo que mediante estructuras en forma de polímeros se obtienen valores de permeabilidad de alimentos | drogas al vapor de agua que aseguran la correcta conservación de los mismos.²³

La nanotecnología en México

Después de Brasil, México mantiene la segunda posición en la región latinoamericana como país impulsor del desarrollo de la nanotecnología, si se mira el número de instituciones que dedicadas a esta línea de investigación y desarrollo, la infraestructura existente, el número de publicaciones académico-científicas, los convenios internacionales, y el número de especialistas dedicados en el país a la nanotecnología.²⁴⁻²⁵ El interés del Gobierno y Estado mexicanos por el desarrollo de la nanotecnología en el país quedó registrado en el PECYT Programa Especial de Ciencia y Tecnología promulgado para el sexenio 2001-2006.²⁶⁻²⁷

Existen 56 instituciones en el país que investigan activamente en temas de nanotecnología, y que han creado para ello más de 159 laboratorios; y se estiman en 340 las líneas de investigación que se han registrado sobre nanotecnologías y nanociencias. Además, se han calculado en

449 los investigadores involucrados en distintos aspectos de estas tecnologías emergentes. Estos estimados son transitorios, y es probable que se hayan superado con la apertura de nuevos centros de investigaciones y nuevas líneas de desarrollo e innovación en estas ciencias.²⁸ La UNAM Universidad Nacional Autónoma de México (México Distrito Federal), el IMO Instituto de Materiales de Oaxaca, el CENAM Centro Nacional de Metrología, el CIMAV Centro de Investigación en Materiales Avanzados (Chihuahua), el IPICYT Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (San Luis de Potosí), y el CIQA Centro de Investigaciones en Química Aplicada, son las instituciones que marchan al frente en el desarrollo de conocimientos y aplicaciones en las nanotecnologías y las nanociencias.²⁹

Delgado ha revisado el impacto de la nanotecnología en varios aspectos de la economía y la sociedad mexicanas.³⁰ En el artículo mencionado se discute en particular el impacto de la nanotecnología en la agricultura, y por supuesto, en la conservación de los alimentos procesados. En este campo, la nanotecnología abarca desde el empaquetamiento “inteligente” hasta el nanodiseño de conservadores, nutracéuticos y otros aditivos para la elaboración de alimentos “a la medida” del consumidor. Se trata con estas nanotecnologías de producir “alimentos interactivos” cuyo sabor, color, y aroma, y la incorporación de suplementos alimenticios, se definan por y cuando el consumidor así lo decida según sus gustos, demandas y necesidades nutricionales. Adicionalmente, las nanoestructuras podrían tener también como función asegurar una mejor asimilación de los nutrientes una vez ingeridos los alimentos que los vehiculan, e incluso podrían funcionar como vectores para la administración de vacunas al estilo de algunas variedades de alimentos transgénicos.

Soto Chilaca y López Malo revisaron en el año 2011 el estado corriente de la nanotecnología en México, y describieron las aplicaciones desarrolladas en el área de la producción y conservación de alimentos.³¹ Además, estos autores discutieron la creación de un Centro Nacional dedicado a las nanotecnologías, y los esfuerzos que el Gobierno y Estado mexicanos han desplegado para impulsar todos estos proyectos.

El CIATEJ Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco es una institución pionera en el país en el desarrollo de las nanotecnologías aplicadas a la alimentación*. El CIATEJ ha desarrollado técnicas y procedimientos para nano-encapsular los principios activos presentes en diversos alimentos, en particular, aquellos que por su sabor, olor y/o cualidades nutraceuticas son de interés creciente. A partir del nano-encapsulado se facilitará entonces el manejo y la dosificación de aquellas sustancias cuya manipulación es complicada; su estructura química y propiedades nutraceuticas será protegida de la agresión por agentes externos como la luz, el oxígeno, las variaciones en el pH, y la presencia de radicales libres y sustancias incompatibles por contacto; y se asegurará la liberación controlada de los nutrimentos deseados en el momento y lugar programados según las condiciones ambientales, o el tiempo deseado.

Las técnicas desarrolladas por el CIATEJ permitirán nano-encapsular todos aquellos compuestos bioactivos identificados en los alimentos que sean de interés tanto para el consumidor como la industria farmacéutica y de elaboración de alimentos y

* Para información adicional sobre la labor del CIATEJ se puede acudir a este vínculo: <http://www.informador.com.mx/suplementos/2013/50/3269/6/jalisco-desarrolla-nanotecnologia-en-alimentos.htm>. Fecha de última visita: 23 de Enero del 2014.

farmacéutica, como colorantes naturales, flavonoides, péptidos, limonoides, y compuestos con actividad anticancerígena. Los investigadores del CIATEJ aplicarán estas nanotecnologías al desarrollo de nuevos productos que contengan nano-encapsulados de compuestos activos obtenidos de los arándanos, de los que Jalisco es el primer productor nacional.

La nanotecnología en Brasil

El desarrollo de las nanotecnologías y las nanociencias se inició en el Brasil en el año 2001 con el instrumento federal *Llamado CNPq Nano n° 01/2001* promulgado por el Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico con el objetivo primario de constituir cuatro redes de investigación en nanotecnología, y que fue dotado de un presupuesto inicial de 3'000,000.00 R\$ (unos 1'500,00.00 USD aproximadamente).³² No obstante, el propio Consejo ya había hecho inversiones en equipamientos para el crecimiento epitaxial de semiconductores ya en 1987, y algunas tesis en el campo de la nanotecnología habían sido defendidas en la Universidad Estadual de Campinas desde el año 1992[†]. De hecho, algunos investigadores brasileños, a título individual o integrando grupos de trabajo, ya se dedicaban a la investigación en esta área antes de la existencia de las cuatro redes cooperativas de investigación.

En 2004, el Gobierno y Estado brasileños anunciaron el Programa de Nanociencia y Nanotecnología dentro del marco del Plan Pluri Anual de Desarrollo para el período 2004 – 2007, con una dotación de 39 millones de dólares.³³⁻³⁴ Las

[†] La relación de las tesis defendidas entre 1992 – 2005 en la Unicamp que han estado dedicadas a las ciencias de la nanotecnología se encuentra disponible en: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/33353.html>. Fecha de última visita: 12 de Septiembre del 2014.

investigaciones sobre nanotecnologías y nanociencias se financian adicionalmente mediante varios fondos provenientes de fuentes federales, provinciales e internacionales. Muchos de esos recursos son manejados centralmente por el Ministerio de Ciencia y Tecnología de Brasil con el objetivo de avanzar la investigación en nanotecnología.

Las redes de investigación en nanotecnología han constituido un hito en el desarrollo de la nanotecnología en Brasil, tal vez el más importante en cuanto a articular recursos humanos y financieros en pos de constituir y consolidar redes cooperativas integradas de investigación básica y aplicada en nanociencias y nanotecnologías organizadas como centros virtuales de carácter multidisciplinario y alcance nacional de apoyo a proyectos de investigación científica y/o de desarrollo tecnológico[‡].

Brasil es el país del área que más ha invertido en el desarrollo de las nanotecnologías. El gobierno brasileño invirtió 110 millones R\$ (unos 55 millones USD) en un proyecto orientado a apoyar aquellas empresas y laboratorios que actúen en el área de la nanotecnología, y equiparlos con la infraestructura necesaria para que estas empresas puedan investigar y desarrollar productos innovadores a escala nanométrica.³⁵

Sin embargo, todavía los beneficios de las nanotecnologías no se han visibilizado ante el consumidor local. El Congreso de Brasil rechazó un proyecto de ley que pretendía introducir el etiquetado obligatorio en todos los alimentos, fármacos y cosméticos que contienen nanoestructuras, bajo los argumentos de que solo sembraría la

alarma en la población, y que todavía no existen bases científicas para advertir a la gente sobre aplicaciones nanotecnológicas en los productos.³⁶ Un informe del Senado brasileño sobre el proyecto rechazado enunció que el etiquetado propuesto podría haberse interpretado como una “advertencia”, incluso para los productos mejorados mediante nanotecnología, lo que potencialmente causaría pérdidas a las empresas y afectaría las inversiones para investigación y desarrollo en el sector. De todas formas, el rechazo del proyecto antes mencionado constituyó el segundo fracaso en los esfuerzos federales para regular un sector que ha vivido un rápido crecimiento en los últimos años.

Todavía en 2005 un proyecto de ley más ambicioso que el primero, y que comprendía provisiones para una política nacional de nanotecnología que incluyera el etiquetado, la evaluación de riesgos, y otras decisiones, fue evaluado por las comisiones de industria, ciencia y finanzas de la Cámara brasileña de Diputados. Los diputados dictaminaron que aún era muy temprano para una legislación de este tipo.

La nanotecnología en Argentina

El Gobierno y el Estado argentinos crearon en 2005 la FAN Fundación Argentina para la Nanotecnología[§] como una entidad de derecho privado y sin fines de lucro con un presupuesto inicial de diez millones de dólares para fomentar y promover el desarrollo de la infraestructura humana y técnica en los campos de la micro- y la nano-tecnología por los primeros cinco años.³⁷⁻³⁸ La FAN también debe ocuparse de articular la colaboración en estas disciplinas

[‡] Las informaciones oficiales sobre el estado de estas redes están disponibles en el sitio del Ministerio brasileño de Ciencia y Tecnología: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/727.html>. Fecha de última visita: 12 de Septiembre del 2014.

[§] Se puede encontrar información adicional sobre la Fundación Argentina para la Nanotecnología en: <http://www.mincyt.gob.ar/ministerio/fundacion-argentina-de-nanotecnologia-fan-29>. Fecha de última visita: 16 de Febrero del 2014.

entre los organismos públicos, las empresas y las organizaciones de la ciencia, la tecnología y la innovación. Desde el 2007 la FAN está subordinada al MINCyT Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la República Argentina.

La FAN sostiene relaciones de colaboración en las áreas de las nanotecnología y las nanociencias con centros prestigiosos de todo el mundo, para de esta manera abarcar los diferentes aspectos de esta nueva ciencia. Además, la FAN ha auspiciado jornadas dedicadas a la aplicación de la nanotecnología en los alimentos, como una forma de informar a la sociedad sobre los desarrollos y avances en esta ciencia. Asimismo, la FAN ha conducido cursos de verano sobre las aplicaciones de las nanotecnologías en la salud y la alimentación en universidades públicas de la nación en los que han intervenido prestigiosos investigadores de estas disciplinas.

El sistema científico argentino de investigación y desarrollo en las nanotecnologías y las nanociencias comprende cuatro redes de actividades que reúnen cerca de 250 científicos:³⁹ *Física y Materiales*: Red MMES de Sistemas Microelectromecánicos donde participan el CAB Centro Atómico Bariloche y la CNEA Comisión Nacional de Energía Atómica; *Química y Materiales*: INIFTA Instituto de Investigaciones Fisicoquímicas Teóricas y Aplicadas de la Universidad de La Plata; y *Biología*: Universidad Nacional de Córdoba y el Centro de Investigaciones en Química Biológica de Córdoba.

También se ha creado el Centro Interdisciplinario de Nanociencia y Nanotecnología, del cual participan el INIFTA, el CONICET Consejo Nacional de Investigaciones Científicas, la CNEA y el CAB, el Centro Atómico Constituyentes, y el Instituto de Química Física de los Materiales, Medio Ambiente y Energía de la

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA Universidad de Buenos Aires.

Cabe destacar también las actuaciones del INTI Instituto Nacional de Tecnología Industrial que cuenta con grupos de investigación y desarrollo en las áreas de la electrónica, la informática, la metrología, la mecánica y la química; y del INTA Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, que se ha dedicado al desarrollo de materiales nanoestructurados para usos espaciales o en áreas relacionadas con la seguridad del medio ambiente, el diagnóstico médico y la industria farmacéutica.

El INTA y el INTI celebraron conjuntamente en el 2014 las primeras jornadas internacionales sobre las nanotecnologías en las agroindustrias y la producción de agroalimentos^{**}. Estas jornadas, que fueron tituladas como “Estado del Arte y Perspectivas de las Micro y Nano Tecnologías en Argentina”, trataron sobre los avances acaecidos en el país en esta área del conocimiento y el desarrollo, como los sensores y dispositivos de diagnóstico para el monitoreo de condiciones ambientales, el estado de salud del ganado y los cultivos, el control de plagas y enfermedades, y la trazabilidad, seguridad y autenticación de productos alimenticios, entre otros. Uno de los trabajos expuestos recalcó la importancia que tiene para el país la integración del conocimiento y los recursos en un eje común para, de este modo, estar a la altura de otros de la región como el Brasil. El trabajo reveló, además, que se espera un desarrollo tecnológico en estas áreas superior al 75% partir del año 2020, y que gran parte de este porcentaje estaría ocupado por la mejora de los alimentos.

^{**} En la página del INTI se pueden consultar las ponencias presentadas durante las jornadas: [http://www.inti.gob.ar/jornada_nanotecnologia/documentos.htm](http://www.inti.gob.ar/jornada_nanotecnologia/documentos). Fecha de última visita: 13 de Septiembre del 2014.

El Gobierno argentino también ha creado el CITSE Centro de Investigaciones y Transferencia de Santiago del Estero como una unidad de responsabilidad compartida (léase también de doble dependencia) entre el CONICET Consejo Nacional de Investigaciones Científicas del país y la UNSE Universidad Nacional de Santiago del Estero a los fines de potenciar el desarrollo de las nanotecnologías a la vez que trabajar en la transferencia de las tecnologías alcanzadas.

El gobierno argentino se encuentra actualmente enfrascado en la regulación de las investigaciones relacionadas con las nanotecnologías y las nanociencias mediante el control fiscal y presupuestario y la implementación de los procedimientos de supervisión.

En el área regulatoria, merecen destacarse los esfuerzos del CIATI Centro de Investigación y Asistencia Técnica a la Industria Agroalimentaria. El CIATI se aboca a la investigación, análisis y asesoramiento de la industria agroalimentaria en las áreas del control y el aseguramiento de la calidad, entre otros aspectos. Para ello, el CIATI provee asistencia técnica y servicios analíticos certificados de alta calidad a las empresas relacionadas con la producción, procesamiento y comercialización de agroalimentos.

No obstante lo dicho, ni Argentina ni Brasil han creado paneles de discusión para examinar los impactos políticos, sociales y las implicaciones económicas del uso de la nanotecnología. En ambos países, el intercambio de ideas acerca del uso de la nanotecnología sólo puede ser asociada con la idea de incrementar la competitividad productiva, tecnológica y económica.

La nanotecnología en Cuba

En Noviembre del 2008, el diario argentino “La Nación” publicó un artículo que exponía la apuesta de Cuba por la nanotecnología como vía del desarrollo de la industria alimentaria.⁴⁰ En una entrevista que acompañaba el artículo, Fidel Castro Díaz-Balart, quien fuera secretario de la Comisión Ejecutiva de Asuntos Nucleares de Cuba, y que en la actualidad funge como asesor de la Presidencia del país en temas de investigación científica e innovación tecnológica, afirmaba que: “(...) un país como Cuba, pequeño, subdesarrollado, en condiciones difíciles, ha podido adentrarse” en el mundo de las nanociencias debido a la obra pretérita de la revolución en el campo educacional (...).⁴¹

En el 2009, la Revista Cubana de Salud Pública acomodó un artículo firmado por Mejías Sánchez (en unión de otros colaboradores),⁴² que abordaba el tema de la nanotecnología y las posibilidades que ésta encerraba para el desarrollo científico-técnico del país. Sin embargo, esta revisión no contempló las aplicaciones de la nanotecnología en las ciencias de la alimentación y la nutrición.

La nanotecnología en el Ecuador

Por mucho tiempo Ecuador ha estado fuera del conjunto de países que se destacan por los avances tecnológicos que realizan, pero gracias a un intercambio cada vez mayor de expertos, conocimientos y experiencias con los centros de punta del mundo, el país ha comenzado a aventurarse en las áreas de la nanotecnología. Así, y como expresión de lo anterior, se puede mencionar la celebración en el año 2013 del Primer Congreso Internacional de Nanotecnología, en el *campus* de la Escuela Politécnica (Extensión Latacunga) del

Ejército del Ecuador^{††}, si bien las aplicaciones de la nanotecnología en la industria de los alimentos no fueron contempladas en el programa científico del evento.

Ecuador es hoy miembro de la Red NanoAndes que está integrada por científicos de Francia y de los países latinoamericanos, y cuyo objetivo principal es el desarrollo de las cooperaciones regionales en la investigación científica relacionada con las nanociencias. Durante el mes de Noviembre del 2012 Ecuador fue sede de la Segunda Escuela de NanoAndes, incentivando así esta área en el país.

El Grupo Ecuatoriano *GETNano* para el Estudio Experimental y Teórico, junto con varias instituciones universitarias del país, ha incursionado en el campo de la nanotecnología con proyectos de estudio y desarrollo de nanomateriales y sistemas moleculares a escala nanoscópica. Dentro de estos proyectos se destacan el estudio de posibles aplicaciones para almacenamiento de hidrógeno molecular y metano,⁴³ el desarrollo de nanosistemas de identificación de moléculas para diagnóstico clínico,⁴⁴ y la construcción de nanofibras de ADN con posibles aplicaciones industriales.⁴⁵

La Universidad San Francisco de Quito ha auspiciado cursos^{‡‡}, talleres y eventos^{§§} científicos orientados a examinar

la apertura de nuevas áreas de desarrollo y producción de nanomateriales.

También se ha destacar que algunas empresas privadas ecuatorianas, como la Tarpuq (en el mundo de los aparatos electrónicos) y la Cóndor (en el área de las pinturas) ya han incorporado aplicaciones nanotecnológicas en sus líneas de trabajo.

Hasta el momento en que se redacta este ensayo, no se tiene noticia de la existencia de trabajos dedicados a la introducción de la nanotecnología en la producción y conservación de los alimentos, aunque se debe reconocer que los primeros esfuerzos en esta dirección estarían en la búsqueda de empaques “activos” que absorberían oxígeno a fin mantener frescos los alimentos por mucho más tiempo. A los fines de la consecución de este (y otros) proyecto(s), se ha aprobado la creación de la carrera de Nanotecnología en la Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay, ubicada en la ya reconocida por todos como la Ciudad del Conocimiento.

Aplicaciones de la nanotecnología en la industria alimentaria

Empacado y envasado de alimentos

De lo expuesto hasta esta parte, se comprende que la nanotecnología sería determinante en el logro de métodos cualitativamente superiores de envasado, empaquetado y conservación de los alimentos. Desde los orígenes de las civilizaciones humanas, y con mayor fuerza, como producto de la Revolución Industrial, la humanidad se ha preocupado por la conservación de alimentos durante tiempos prolongados. La salazón, la pasterización, la deshidratación, la congelación a bajas temperaturas, el enlatado, y la conservación al vacío (entre otros tantos métodos) han aparecido, se han desarrollado y mejorado en respuesta a este desafío.

^{††} Las actas del Congreso pueden examinarse aquí: <https://nanotecnologiaymedioambiente.wordpress.com/2015/01/30/ecuador-en-la-industria-nanotecnologica/>. Fecha de última visita: 23 de Marzo del 2014

^{‡‡} Las actas de la Segunda Escuela de Química Computacional de las Américas PREFALC 2014 están disponibles en: <http://www.usfq.edu.ec/eventos/prefalc/>. Fecha de última visita: 23 de Marzo del 2014.

^{§§} Los resúmenes de los trabajos presentados en el XL Congreso de Químicos Teóricos de Expresión Latina QUITEL 2014 se pueden consultar en: <http://www.usfq.edu.ec/eventos/quitel2014/>. Fecha de última visita: 23 de Marzo del 2014.

Tabla 1. Algunas aplicaciones de los nanomateriales en la producción de “nanoalimentos” y “nanoenvases”.

Producto	Nanocomponente	Finalidad
Suplemento nutricional	Nanopartículas de 1 – 5 nm elaboradas a partir de hidruro de sílice	Antioxidante
Bebida nutricional	Partículas de Fe de 300 nm	Como adhesivo requieren menos tiempo y energía para secarse
Envase de alimentos	Nano partículas de silica en nano polímeros	En el plástico impiden que penetre el gas y por lo tanto se alarga la vida media del alimento
	Nanocompuestos de nylon	Barrera para oxígeno, CO ₂ , sabor y olor
	Nanocompuestos de arcilla	Botellas menos propensas a roturas
	Nano-óxido de Zinc	Bactericida, anti-UV, resistente a temperatura y no inflamable
	Biopolímeros	Biodegradables, solubles en agua y no contaminan
	Nanopolímeros	Estos nanopolímeros se han desarrollado principalmente para comida rápida, alimentos secos y nueces
	Nano-dióxido de titanio	Envases de plástico para alimentos con protección UV
	Micelas	Máxima reabsorción intestinal y cutánea
Aditivo alimentario	Nanopartículas de 50 nm	Para adición de ácidos grasos ω3

Fuente: Referencia [29].

Sin embargo, se ha de tener en cuenta que, si bien estos métodos han impedido efectivamente la contaminación microbiana, y por ende, la perecibilidad de los alimentos, no es menos cierto que algunos de ellos han propiciado un ambiente óptimo para la propagación y adaptación de bacterias extraordinariamente patógenas como *Clostridium botulinum* a través de los productos enlatados.

Por otro lado, y a pesar de la enorme variedad de métodos de preservación de alimentos de los que la industria dispone hoy en día, éstos pueden afectar el valor nutrimental del alimento, y además, puede que no sean la mejor opción tecnológica para alimentos especificados.

El empleo de polímeros como material de envasado de alimentos ha sustituido a los sistemas convencionales de empaquetado, en vista de que pueden obtener mejores cualidades de preservación del alimento. Los polímeros biodegradables (PBDs) son los más empleados, y se descomponen en sustancias simples gracias a la actividad enzimática de los microorganismos.⁴⁶

Los PBDs comprenden 3 grandes categorías, a saber: biopolímeros basados en proteínas, biopolímeros sintetizados a partir de monómeros, y biopolímeros producidos naturalmente por microorganismos. Los polímeros basados en proteínas constituyen parte de los seres vivos, y por su origen natural se están estudiando intensamente. Algunos de ellos ya se emplean en la

industria alimentaria, como el almidón y sus derivados. El colágeno es una proteína de origen animal que se usa desde hace algún tiempo como envoltorio de salchichas.

Los bioplásticos basados en gluten del trigo son totalmente degradables mediante fermentación aeróbica en un proceso que dura entre 36 – 50 días. Hasta el momento no se ha descrito ningún efecto tóxico después del uso de los mismos.⁴⁷ Lo mismo sucede con biopolímeros termoplásticos derivados de la proteína de soja, pero se emplean menos debido a la rigidez del material biológico, y las dificultades que ello trae en la manipulación y uso del mismo.

El uso de proteínas es un método mucho más prometedor para el empaquetado de alimentos cuando se le compara con los bioplásticos, por cuanto pueden prolongar la vida media del alimento al retardar la oxidación lipídica y prevenir así el enranciamiento.⁴⁶⁻⁴⁷ Sin embargo, lo más importante de las proteínas como material de empaquetado es que con su uso no se modifican las propiedades organolépticas de los alimentos, lo supone grandes beneficios.

El *zein*: una proteína que se obtiene como subproducto durante el procesado industrial del maíz, puede combinarse con compuestos fenólicos para elaborar una película que se emplea como envoltura de pechugas de pavo y embutidos. Por otro lado, los polímeros basados en el almidón de maíz también tienen un enorme potencial en las aplicaciones de envasado por ser renovables, biodegradables y de bajo costo. No obstante, se ha señalado que el almidón de maíz puede contribuir a la contaminación no controlada (léase azarosa) del alimento.⁴⁶

La queratina es la proteína más barata empleada como material de empaquetado alimentario. La queratina se extrae en cantidades apreciables de tejidos tales como pelo, uñas, plumas, y otros similares que son considerados como productos no deseados del procesamiento de animales y carnes. La queratina se puede

integrar en un plástico biodegradable insoluble en agua, pero el material final aún adolece de pocas propiedades mecánicas.

Las proteínas miofibrilares de pescados seleccionados también se usan para el bioenvasado. Tal es el caso de las proteínas extraídas de las miofibrillas de la aguja azul del Atlántico (*Makaira nigricans*), cuya fuerza y elasticidad son similares a los de las películas de polietileno.⁴⁶

El quitosano es un polisacárido natural que proviene de la deacetilación de la quitina: el componente principal de la concha de los crustáceos. El quitosano se destaca también porque posee propiedades antimicrobianas, lo que aseguraría la preservación a largo plazo del alimento. La superficie del quitosano está cargada positivamente y por ello interactúa con los componentes aniónicos de la pared celular de bacterias *Gram*-negativas. Se ha reportado que el quitosano puede prevenir la infección de alimentos como el queso por microorganismos *Gram*-positivos como *Staphylococcus aureus*.⁴⁸

Otros biopolímeros biodegradables empleados como material de envasado son aquellos sintetizados a partir de monómeros como el ácido poliláctico (PLA). Este ácido (cuyo nombre químico es el ácido 2-hidroxipropiónico) es un monómero producido tanto por fermentación bacteriana como por síntesis química. La incorporación de bacteriocinas en las láminas construidas a partir de polímeros del PLA puede resultar en un método eficiente para un mejor envasado de los alimentos.⁴⁹ Sin embargo, la mayor limitación hasta el momento del PLA es la fragilidad. La fragilidad del PLA se ha tratado de mejorar mediante la combinación con polímeros de almidón, acetato de celulosa, y otros compuestos de bajo peso molecular, pero los resultados aún no son concluyentes.

El timol (nomenclatura química: 2-isopropil-5-metil-fenol) es una sustancia cristalina incolora con un olor característico que está presente en la naturaleza en los aceites esenciales del tomillo (*Thymus vulgaris*) y el orégano (*Origanum majorana*). Cuando el timol se incorpora a polímeros de PLA | poli-tri-metilen-carbonato (PLA-PTMC), las películas resultantes pueden exhibir una enorme actividad antimicrobiana frente a patógenos típicamente asociados a las ETAs.⁵⁰⁻⁵¹

Otros biopolímeros obtenidos de la actividad fermentativa de los microorganismos también se han empleado como películas para el envasado y empaquetado de alimentos. En este aspecto, cabe mencionar las biopelículas de celulosa y xantano. Todavía en fase experimental, el uso de estos biopolímeros encierra también enormes potencialidades para tecnologías de empaquetado que asegure la conservación a mediano y largo plazo del alimento.

La nanotecnología ha permitido la síntesis de nanocompuestos basados en biopolímeros naturales | sintéticos que incorporan nanopartículas en cantidades especificadas (nunca mayores del 5% del biopolímero). Los nanocompuestos más estudiados en las aplicaciones relacionadas con el envasado de alimentos son el almidón, la celulosa y derivados de la misma como PLA, policaprolactona, poli-butilen-succinato, y poli-hidroxibutirato.⁵² En la misma cuerda, las partículas más utilizadas han sido el cobre, la plata, y el óxido de titanio. Los sistemas de envasado desarrollados a partir de estos nanocompuestos que incorporan antimicrobianos y antioxidantes (entre otros compuestos) pueden representar entonces mejores opciones de conservación y preservación de la calidad del alimento.⁴⁶

Se han reportado nanocompuestos de celulosa | cobre con actividad bactericida frente a *Staphylococcus aureus* y *Klebsiella pneumoniae*.⁵³ Los biocompuestos que

incorporan nanopartículas de plata también han mostrado capacidad bactericida incrementada frente a patógenos alimentarios.⁵⁴

Las nanopartículas de óxido de titanio (TiO₂) de 10 nm embebidas en polímeros biodegradables de poliprolactona han mostrado también actividad antibacteriana frente a *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*, actividad que se ve incrementada tras irradiación con UV. Recientemente se ha publicado la incorporación de antimicrobianos dentro de nanocompuestos.⁵⁵ El sistema de envasado confeccionado con tales nanomateriales ha mostrado buena actividad bactericida frente a varios patógenos alimentarios.

Desarrollo de nuevas materias primas

Las propiedades funcionales de muchas materias primas, y el eficaz procesamiento de los alimentos, se deben a nanoestructuras como la celulosa o el almidón que determinan procesos como la gelatinización, y pueden afectar el valor nutricional de los alimentos. También las nanoestructuras que surgen en las interfases aceite-agua | aire-agua pueden determinar la estabilidad de las espumas y las emulsiones alimenticias. Por consiguiente, un mejor conocimiento de la naturaleza de las nanoestructuras presentes en los alimentos permitirá mejorar los criterios de selección de las materias primas y con ello, la calidad e inocuidad de los alimentos.⁵⁶⁻⁵⁷

Desarrollo de complementos alimenticios

Otra línea de desarrollo e innovación en la nanotecnología aplicada a la producción de alimentos sería la incorporación de nanotransportadores (u otros nanomateriales) que sirvan para mejorar la absorción y biodisponibilidad de sustancias nutritivas agregadas al alimento, como vitaminas, nutrientes y minerales. Así,

la presencia de nanotransportadores de hierro serviría para una mejor absorción, distribución y utilización periférica del mineral incorporado en el alimento, y con ello, la prevención de la anemia ferripriva.⁵⁸⁻⁵⁹

Desarrollo de materiales inteligentes de contacto con los alimentos

El desarrollo de materiales “inteligentes” de contacto con el alimento sería otro de los usos de la nanotecnología en la industria alimentaria.⁶⁰⁻⁶¹ En la actualidad algunos nanocompuestos son ya usados como material de embalaje y/o recubrimiento de los alimentos para controlar la difusión de gases y prolongar así el tiempo de conservación de los mismos. De hecho, cada vez se utilizan más nanoproductos para elaborar materiales de contacto con los alimentos que estén dotados de propiedades antimicrobianas. Las investigaciones que se conducen actualmente sobre este tipo de superficies están orientadas a obtener sensores capaces de detectar la contaminación bacteriana y reaccionar contra ella.

Los *chips* de silicio que se vienen fabricando desde hace más de dos décadas constituyen un ejemplo de aplicación indirecta de la nanotecnología en la industria alimentaria. Estos *chips* son capaces de brindar información sensible sobre la composición nutrimental del alimento, las propiedades organolépticas, y la calidad del mismo cuando son “leídos” convenientemente. La creciente complejidad de estos dispositivos puede servir para ofrecerle al consumidor toda clase de datos sobre el alimento que desea adquirir.

Situación actual de la nanotecnología en la producción alimentaria

Se ha apostado fuertemente por la nanotecnología para la próxima revolución

alimentaria. La nanotecnología ofrece oportunidades únicas para el desarrollo y la producción de nuevos alimentos, el logro de tiempos más prolongados de estabilidad del producto final, y el logro de alimentos más nutritivos a través de la incorporación de compuestos bioactivos que mejoren la absorción de los nutrientes ya presentes en los mismos y/o moléculas con propiedades fármaco-nutricionales. El equipo multinacional que conduce el proyecto *Development of foods containing nano-encapsulated ingredients*^{***}, financiado con fondos europeos, se propone utilizar nanocápsulas personalizadas para preservar los compuestos bioactivos de los alimentos durante las distintas etapas de procesamiento y almacenamiento.

Los participantes en el proyecto están especialmente interesados en los compuestos bioactivos con propiedades anti-inflamatorias como los ácidos grasos $\omega 3$, el butirato, y los complejos de silimarina.⁶²⁻⁶³ En correspondencia con ello, se desarrollaron varios prototipos de compuestos microencapsulados con diversas combinaciones de materiales. Los ácidos grasos $\omega 3$ fueron encapsulados en complejos de almidón, e incorporados a productos alimenticios especificados; y se evaluó la estabilidad térmica y oxidativa de las cápsulas durante las etapas de procesamiento y almacenamiento hasta el momento del consumo. Se diseñaron y se pusieron a punto métodos de secado de las nanocápsulas por congelación y por atomización. La funcionalidad de las cápsulas se evaluó mediante la exposición a condiciones extremas de pH y digestión enzimática, simulando así las condiciones existentes en el interior del tracto gastrointestinal. Finalmente, las nanocápsulas de ácidos

*** Se pueden consultar detalles adicionales sobre este proyecto en:

<http://www.nanofoods.hacettepe.edu.tr/Home.html>.

Fecha de última visita: 14 de Marzo del 2014.

grasos $\omega 3$ se incorporaron dentro de la harina de trigo empleada en la elaboración de pan y otros productos similares, y estos alimentos fueron ofrecidos a pacientes aquejados de colitis ulcerosa. Tras la conducción de ensayos clínicos, se comprobó mejoría de los indicadores de inflamación sistémica en los pacientes que consumieron el pan que incorporaba las nanocápsulas de ácidos grasos $\omega 3$, congruente con el efecto positivo esperado.

Sendos artículos publicados recientemente en el *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition* repasan las nuevas tecnologías que se aplican actualmente en la agricultura, la ganadería y la producción de alimentos.⁶⁴⁻⁶⁵ Los autores se extienden para mostrar ejemplos claros de las aplicaciones de la nanotecnología de los alimentos, y el uso explícito de las mismas en el diseño, fabricación y producción de alimentos funcionales, y nutracéuticos.

Como ciencia nueva que es, la nanotecnología de los alimentos puede que no sea bien recibida por quienes deberían “beneficiarse” de | con ella mediante el uso | consumo de los “nanoalimentos”.⁶⁶ Las personas no se sienten en la mayoría de las veces conformes con los alimentos industriales altamente procesados debido a las advertencias que nutricionistas y profesionales de la salud han hecho al respecto. Obviamente no hay mejor alimento que aquel natural (o por lo menos mínimamente procesado), pero si la nanotecnología contribuye significativamente al mejoramiento del producto, más allá de los niveles de la composición nutrimental del alimento “natural”, entonces, debería ser bienvenida, y así probablemente será, siempre y cuando los países y las industrias promuevan actividades de información y educación sobre tales aspectos^{†††}.

††† Sitios en la Red de Redes como <http://www.nanoalimentos.com/> proporcionan

Existen detractores que se oponen al uso de las nanotecnologías en la producción de alimentos argumentando sobre el riesgo incrementado de cáncer que comportan.⁶⁷ Pero cuando se realiza una búsqueda en bases bibliográficas científico-médicas (como *PubMed*), lo único que resulta de la búsqueda de ambas palabras es el uso de la nanotecnología en el tratamiento y la detección del cáncer, lo que contradice los argumentos de los detractores. Sin embargo, ha aparecido un estudio que revela que concentraciones tan pequeñas de $1 \mu\text{g.mL}^{-1}$ (o menores) de partículas cubiertas con TiO_2 fueron capaces de inducir la producción de IL-6, lo que pudiera asociarse con la aparición de enfermedades autoinmunes.⁶⁸

Gebel *et al.*⁶⁹⁻⁷⁰ han expuesto ciertos puntos por los cuales la nanotecnología no debe ser considerada una alternativa saludable. El tamaño tan pequeño podría estar entre las posibles causas de los efectos secundarios de los nanoproducidos, pero hacen falta más evidencias para declarar como dañina a la nanotecnología. No obstante, estos autores han enunciado que existen suficientes evidencias como para decir que las nanopartículas se pueden acumular en los tejidos y órganos de la economía, y esto, a su vez, puede resultar en un mayor riesgo de aparición de enfermedades crónicas. Pero a pesar de todos estos apuntes, probablemente los beneficios de la nanotecnología superen los presuntos perjuicios que se le han querido achacar.

La nanotecnología en los próximos tiempos

Las aplicaciones actuales de la nanotecnología ofrecen numerosas ventajas para la industria alimentaria, al hacer posible la mejoría y la optimización de los procesos

información a los interesados sobre los nanoproducidos que se investigan y comercializan actualmente.

de diseño y producción de alimentos.⁷¹⁻⁷³ En un futuro, la nanotecnología producirá materiales cuyas propiedades cambiarán en función de la temperatura y la humedad ambiental; y otros que se auto-repararán en caso de rasgarse o perforarse. El uso de nanosensores incorporados al envase para detectar cantidades incluso mínimas de agentes químicos como los producidos cuando el alimento empieza a deteriorarse o se ha contaminado, y que le avisarán al consumidor sobre estos eventos al cambiar de color, representa una idea altamente novedosa. Entre otras perspectivas para el futuro se encuentran los alimentos que se distinguirán por los niveles reducidos de sodio, pero que preservarán su sabor salado gracias a la interacción de nanocompuestos con la lengua del consumidor.

Otras posibles aplicaciones de la nanotecnología podrían derivar en alimentos funcionales capaces de aportar cantidades apropiadas de calcio a los consumidores que padecen de osteoporosis; o alimentos que contienen nanofiltros diseñados para retener las moléculas susceptibles de provocar reacciones alérgicas. Ya en el largo plazo, se prevé la creación de nanosensores que detecten el perfil propio de una persona y en consecuencia activen la emisión de las moléculas apropiadas para personalizar el alimento según los gustos y/o necesidades de la misma.

Del estado de la legislación en torno a los nanoalimentos y los beneficios para el consumidor

Muchas autoridades han comenzado a preguntarse si los actuales sistemas de regulación y aprobación de alimentos (cuyo objetivo ha sido siempre y será garantizar la inocuidad de los alimentos que consumen los individuos y las colectividades) pueden subsumir plenamente las aplicaciones de la nanotecnología relacionadas con los alimentos y los materiales de contacto con

los mismos. En este aspecto, cabe destacar artículos aparecidos hace poco que muestran el estado actual del debate que sobre estos temas está ocurriendo ahora mismo.⁷⁴⁻⁷⁶ A modo de ilustración: aunque las normativas avanzadas por la Unión Europea son lo suficientemente amplias para cubrir los nanoproduitos alimenticios existentes, las mismas se encuentran actualmente sujetas a revisión.

Cabe suponer que la evaluación de la seguridad y la inocuidad de las nanopartículas que se ingieran con los alimentos se realizará con arreglo a procedimientos similares a los que se aplican con otros tipos de materiales, si bien el uso de tales nanomateriales puede plantear nuevos retos. Puede que también sea necesario revisar los protocolos vigentes de ensayos de toxicidad para cerciorarse de que la información facilitada para determinar la inocuidad sea pertinente y predictiva de los efectos en el ser humano.

El número de productos elaborados con ayuda de la nanotecnología aplicada en el área de los alimentos cada día se hace más grande, lo que implica una amplia gama de ofertas y presencias de éstos en los mercados. Sin embargo, la utilización de los mismos, y la legislación que gobierna la venta, distribución y consumo de los mismos, como es de esperarse, es muy variada de un país a otro, debido (entre otras cosas) a la variedad de materiales, métodos y aplicaciones empleados, y ante los cuales los países imponen restricciones diferentes.

Mientras tanto, algunos expertos sostienen que una reglamentación corriente, conveniente y actualizada haría más visible a la nanotecnología y las aplicaciones industriales ante el gran público, lo que aseguraría el apoyo público, por un lado, y proporcionaría las bases requeridas para avanzar en la investigación, por el otro. Todo ello contribuiría a definir, evaluar y minimizar los riesgos potenciales para la salud humana y el medio ambiente de los

nanoproductos en un ambiente de confianza y transparencia.⁷⁷

Llegado este punto, se trae a colación el proyecto de ley recientemente rechazado en el Brasil sobre el etiquetado obligatorio en todos los alimentos, fármacos y cosméticos que contienen nanoestructuras. Con esta pieza legislativa, menos ambiciosa en su alcance que la predecesora, se intentaba abarcar a los productos fabricados mediante nanotecnologías basándose en el argumento de que los consumidores tienen el derecho a conocer exactamente los componentes de los productos que compran. Así como los alimentos genéticamente modificados tienen que estar claramente etiquetados en varios países, este proyecto de ley habría obligado a las empresas a etiquetar cualquier alimento, medicamento o cosmético producto de la nanotecnología. Sin embargo, las comisiones senatoriales de asuntos sociales, la una, y de medio ambiente y protección al consumidor, la otra, que revisaron la propuesta expusieron que no habían bases científicas para la imposición de “advertencias” sobre el uso de la nanotecnología.

El Senado brasileño todavía realizó otro intento de legislar sobre el tema al producir un nuevo proyecto que propondría el etiquetado para todos los productos elaborados mediante la nanotecnología, incluyendo los importados y los exportados. En lugar de cambiar las leyes existentes sobre alimentos y fármacos para incluir el etiquetado de cualquier nanoproducto de elaboración nacional, la nueva propuesta solo abarcaría el etiquetado obligatorio de todos ellos. “Esta situación ha venido ocurriendo con muchas tecnologías. Incluso en los países desarrollados, la reglamentación queda en segundo lugar”, expresó un vocero del Senado. Este proyecto todavía espera turno en la Cámara de Diputados para su examen.

Por su parte, la FDA (siglas que identifican a la poderosísima Administración Federal para los Alimentos y los Medicamentos) ya anunció en el mes de junio del 2014 que supervisará todos los productos desarrollados mediante la nanotecnología, o que incorporen nanocomponentes.⁷⁸⁻⁷⁹

La posición de las Naciones Unidas sobre la nanotecnología de los alimentos

En el año 2011 se celebró una reunión conjunta de expertos de la FAO/OMS para tratar la aplicación de la nanotecnología en los sectores alimentario y agropecuario.⁸⁰

Los expertos desarrollaron una lista de las “provocaciones” que el uso de los nanoproductos y los nanoalimentos puede plantear a las sociedades actuales, como base para avanzar en un cuerpo único de conducta y acción, y con ello, las bases de una legislación coherente y de aceptación universal.

Los expertos también reconocieron que se hace necesario instaurar un procedimiento para clasificar las nanoestructuras en los productos agroalimentarios que apoye la gestión de riesgos de los nanomateriales artificiales, y que es imprescindible considerar la totalidad del ciclo vital de los nanomateriales artificiales en las aplicaciones agroalimentarias. Debido a las posibles consecuencias para la salud pública, los nanomateriales artificiales que puedan persistir o acumularse en el cuerpo humano o el medio ambiente debe considerarse en función de la exposición. Asimismo, los expertos reunidos convinieron en que el método de evaluación de riesgos que actualmente aplican la FAO, la OMS y el *Codex Alimentarius* es adecuado para los diversos nanomateriales artificiales que se utilizan en los sectores alimentario y agropecuario.

Tabla 2. “Provocaciones” que el uso de nanoprodutos y nanoalimentos puede plantear a las sociedades actuales.

- La alimentación es una cuestión delicada, y el tema de los nanoalimentos puede ser de difícil manejo para los que desconocen, o no comprenden, las sutilezas de la comunicación con los ciudadanos implicados.
- La implicación del público tiene sentido sólo si se centra en cuestiones que son verdaderamente importantes para ellos como público.
- La implicación puede requerir más a largo plazo ajustes institucionales, o también reglamentarios, debido a la superposición de diferentes clases de diálogo democrático, votaciones formales e informales, y procesos de adopción de decisiones.
- La implicación del público implica el requisito básico del acuerdo sobre el lenguaje corriente.
- Con respecto a los intereses, las impresiones y las preocupaciones del público, ninguna elaboración intelectual reemplazará sondeos, encuestas o actividades de participación bien formulados.
- Además de las consideraciones de tipo cultural, las autoridades gubernamentales pueden impulsar a nivel universal una mayor confianza del público mediante medidas institucionales que proporcionen una perspectiva general de las aplicaciones de la nanotecnología a la alimentación y el envasado que sean transparentes y permitan la participación pública.
- El conocimiento público (real) de las aplicaciones de la nanociencia y la nanotecnología está creciendo de manera exponencial en todo el mundo.
- Además de los “beneficios” como factor fundamental para determinar la impresión del riesgo y la disponibilidad del consumidor a comprar, la “utilización” y, explícita e implícitamente, la “exposición” son factores determinantes.
- La promoción de nuevas aplicaciones sin tener la capacidad de demostrar su inocuidad generará con toda seguridad una protesta que conducirá a un sonado fracaso comercial.
- Las consideraciones de carácter cultural indican que no existe una solución uniforme para el establecimiento de una comunicación y un diálogo que resulten transparentes y eficaces.
- La influencia cultural tiende a determinar la posición adoptada, y no una valoración racional o irracional.
- Es preciso que para que la comunicación y el diálogo sean eficaces, se han de respetar criterios democráticos y éticos, así como tener en cuenta el modo de pensar de los individuos, y cómo reaccionan ante la información.
- Por lo que se refiere a un diálogo eficaz con los medios de comunicación, un buen funcionamiento democrático se vería beneficiado si se permitiera que el público se formara su propio parecer basándose en un amplio conjunto de opiniones competentes, y si se diera a los científicos la posibilidad de acudir a los medios de comunicación.
- Hay muchas definiciones diferentes de los procesos, materiales, productos y aplicaciones de la nanotecnología. Es necesario ponerse de acuerdo en torno a un conjunto determinado de definiciones claras y concisas.

Fuente: Referencia [80].

Aun así, la FAO y la OMS deben considerar la conveniencia del asesoramiento científico acerca del uso de un método escalonado de evaluación de riesgos para la aplicación de la nanotecnología en los alimentos y los piensos para uso animal. Con

el fin de apoyar este método escalonado, la FAO y la OMS elaborarán un instrumento de decisión para seleccionar el método de evaluación de riesgos apropiado para las distintas categorías de nanomateriales.

La reunión de expertos también recomendó que la FAO y la OMS estimulen las investigaciones innovadoras e interdisciplinarias que puedan conducir a la formulación de nuevas estrategias de evaluación de riesgos para la aplicación de la nanotecnología en los alimentos y los piensos, pero manteniendo (o mejorando) los niveles actuales de protección.

Todos los reunidos convinieron en que los resultados de esta reunión deben utilizarse para determinar la necesidad de un posible análisis de las lagunas de conocimientos que todavía persisten, a fin de lograr que las aplicaciones de los nanomateriales artificiales en el sector agroalimentario queden debidamente cubiertas por las disposiciones del *Codex Alimentarius*. Asimismo, la FAO y la OMS deben considerar la conveniencia de solicitar, organizar y difundir datos sobre las concentraciones basales de los nanomateriales artificiales en las matrices de alimentos y piensos; y la cantidad y la forma de los nanomateriales artificiales en los alimentos y piensos como resultado del uso de aplicaciones de estos materiales en los sectores alimentario y agropecuario. Estos datos podrían obtenerse de estudios epidemiológicos | clínicos de productos farmacéuticos, o de aplicaciones en las ciencias de los materiales, por citar algunas fuentes posibles.

Finalmente, entre las recomendaciones con que el documento cierra se encuentra la conveniencia de establecer una base de datos autorizada que registre tanto los materiales, productos y aplicaciones nanotecnológicas existentes como los que irán apareciendo en el futuro en los sectores alimentario y agropecuario.

CONCLUSIONES

La nanotecnología es un área reciente de investigación, desarrollo y aplicación que abarca diferentes campos, desde la farmacia

hasta la ingeniería, pasando por la tecnología ambiental y la alimentaria. La nanotecnología ofrece nuevos métodos de conservación de alimentos, e incluso la detección de alimentos contaminados. Los resultados preliminares son muy prometedores, y ya ofrecen nuevas alternativas, sanas y seguras, para la preservación de los alimentos. Pero muchas preguntas permanecen todavía: ¿La nanotecnología podrá solucionar el problema que representan para la salud humana las enfermedades transmitidas por alimentos? ¿Las bacterias, con su plasticidad y adaptabilidad a todo tipo de ambientes y condiciones, desarrollarán novedosos mecanismos de resistencia? Solo el tiempo y la constancia de los investigadores darán la palabra final, pero por ahora todo apunta a que la nanotecnología ofrece la visión de un futuro prometedor y optimista en la lucha contra las infecciones e intoxicaciones alimentarias.

AGRADECIMIENTOS

Dr. Sergio Santana Porbén, Editor-Ejecutivo de la RCAN Revista Cubana de Alimentación y Nutrición, por la ayuda prestada en la redacción de este artículo.

SUMMARY

A better knowledge of the relationships atoms sustain between themselves inside the molecules has opened the possibility for their direct manipulation, and thus, the creation of new materials. Nanosciences and nanotechnologies are then perceived as essential tools to address new challenges regarding protection and cleaning of the environment, treatment of diseases, and attainment of more nutritious, safe and innocuous foods. Nanotechnologies have been also introduced in food industry for developing new and superior packaging and preservation methods. Nanotechnologies applications envisioned cover from packages that will advise the consumer about the

product's nutrient composition as well as alert him/her about their immediate deterioration to foods incorporating components with pharmaceutical properties. Latin America is witnessing a rapid advance of nanotechnologies and nanosciences thanks to the will of the governments and institutions of this area, the creation of the required technological park, and formation of specialists and researchers. Having said all this, there are still new challenges ahead for these disciplines, among them, a higher appreciation by consumers about benefits "nano-foods" provide, and a better ordered regulatory environment where researchers and institutions could insert and operate. **Cartelle Gestal M, Zurita J.** *Nanotechnology in the production and preservation of foods. RCAN Rev Cubana Aliment Nutr 2015;25(1):184-207. RNP: 221. ISSN: 1561-2929.*

Subject headings: Nanotechnologies / Nanosciences / Foods / Innocuity.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Newell DG, Koopmans M, Verhoef L, Duizer E, Aidara-Kane A, Sprong H; *et al.* Food-borne diseases- The challenges of 20 years ago still persist while new ones continue to emerge. *Int J Food Microbiol* 2010;139(Suppl):S3-S15.
2. Todd EC. Epidemiology of foodborne diseases: A worldwide review. *World Health Stat Quart* 1996;50(1-2):30-50.
3. Scallan E, Hoekstra RM, Angulo FJ, Tauxe RV, Widdowson MA, Roy SL; *et al.* Foodborne illness acquired in the United States- Major pathogens. *Emerg Infect Dis* 2011;17:25-33.
4. Johnson NB, Hayes LD, Brown K, Hoo EC, Ethier KA; for the Centers for Disease Control and Prevention (CDC). CDC National Health Report: leading causes of morbidity and mortality and associated behavioral risk and protective factors- United States, 2005-2013. *MMWR Surveill Summ* 2014;63(Suppl 4):3-27.
5. Angulo FJ, Scallan E. Activities, achievements, and lessons learned during the first 10 years of the Foodborne Diseases Active Surveillance Network: 1996-2005. *Clin Infect Dis* 2007;44: 718-25.
6. Jewan-Yves N. Mad cow disease and new form of Creutzfeldt-Jakob disease: State of the art. *Rev Med Suisse* 2014; 10(449):2114-5.
7. Oliver JD. Recent findings on the viable but nonculturable state in pathogenic bacteria. *FEMS Microbiol Rev* 2010; 34:415-25.
8. Oliver JD. The viable but nonculturable state in bacteria. *J Microbiol* 2005;43: 93-100.
9. Strausbaugh LJ, Herwaldt BL. *Cyclospora cayetanensis*: A review, focusing on the outbreaks of cyclosporiasis in the 1990s. *Clin Infect Dis* 2000;31:1040-57.
10. Patel MM, Hall AJ, Vinjé J, Parashar UD. Noroviruses: A comprehensive review. *J Clin Virol* 2009;44:1-8.
11. Widdowson MA, Sulka A, Bulens SN, Beard RS, Chaves SS, Hammond R.; *et al.* Norovirus and foodborne disease, United States, 1991-2000. *Emerg Infect Dis* 2005;11:95-104.
12. Cartelle Gestal M, Villacís JE, Alulema MJ, Chico P. De la granja a la mesa. Implicaciones del uso de antibióticos en la crianza de animales para la resistencia microbiana y la salud. *RCAN Rev Cubana Aliment Nutr* 2014;24:129-39.
13. Prüss A, Kay D, Fewtrell L, Bartram J. Estimating the burden of disease from water, sanitation, and hygiene at a global level. *Environ Health Perspect* 2002; 110:537-42.
14. Hornyak GL, Moore JJ, Tibbals HF, Dutta J. *Fundamentals of nanotechnology.* CRC Press. London: 2008.
15. Roco MC. *Nanotechnology: Convergence with modern biology and*

- medicine. *Cur Op Biotechnol* 2003;14: 337-346.
16. Lieber CM. Nanoscale science and technology: Building a big future from small things. *MRS Bulletin* 2003; 28: 486-91.
 17. Schodek DL, Ferreira P, Ashby MF. *Nanomaterials, nanotechnologies and design: An introduction for engineers and architects*. Butterworth-Heinemann. New York: 2009.
 18. Roco M. From vision to implementation of the US National Nanotechnology Initiative. *J Nanoparticle Research* 2001; 3:5-11.
 19. Roco M, Bainbridge W. *Converging technologies for improving human performance: Nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive science*. A NSF/DOC-sponsored report. NSF National Science Foundation. Washington: 2002. Disponible en: <http://www.wtec.org/ConvergingTechnologies/>. Fecha de última visita: 24 de Enero del 2015.
 20. ETC Group. *Extreme genetic engineering: An introduction to synthetic biology*. Washington: 2007. Disponible en: <http://www.etcgroup.org/upload/publication/602/01/synbioreportweb.pdf>. Fecha de última visita: 17 de Enero del 2015.
 21. Ulloa SE. Nanoscience in Latin America. *J Nanoparticle Research* 2002;4:175-7.
 22. Kay L, Shapira P. Developing nanotechnology in Latin America. *J Nanopart Res* 2009;11:259-78.
 23. Moncada E. Nanotecnología, aplicaciones en embalajes para alimentos y productos farmacéuticos. *Vitae* 2007; 14:114-20.
 24. Foladori G. Nanotechnology in Latin America at the crossroads. *Nanotechnology Law Business J* 2006; 3:205-16.
 25. OEI Organización de Estados Iberoamericanos. *La nanotecnología en Iberoamérica. Situación actual y tendencias*. Madrid: 2007. Disponible en: http://www.oei.es/observatorioocts/index.php?option=com_content&view=article&id=12&Itemid=3. Fecha de última visita: 7 de Mayo de 2014.
 26. PECYT Programa Especial de Ciencia y Tecnología 2001-2006. Ciudad México: 2001. Disponible en: <http://www.siicyt.gob.mx/siicyt/docs/Programa Nacional de C y T 1970-2006/documentos/PECYT.pdf>. Fecha de última visita: 3 de Junio del 2014.
 27. PECYT Programa Especial de Ciencia y Tecnología 2008-2012. Ciudad México: 2008. Disponible en: <http://www.conacyt.mx/Acerca/Normatividad/Programa-Especial-de-Ciencia-y-Tecnologia-2008-2012.pdf>. Fecha de última visita: 13 de Mayo del 2014.
 28. Záyago Lau E, Foladori G. La nanotecnología en México: Un desarrollo incierto. *Econ Soc Territ [Toluca]* 2010; 10(32):0-0. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-84212010000100006&script=sci_arttext. Fecha de última visita: 13 de Febrero del 2014.
 29. SE Secretaría de Economía. *Diagnóstico y prospectiva de la nanotecnología en México*. Ciudad México: 2008. Disponible en: http://www.economia.gob.mx/pics/pages/944_base/Nanotecnologia.pdf. Fecha de última visita: 1 de Abril del 2014.
 30. Delgado GC. *Nanotecnología y producción de alimentos: Impactos económicos, sociales y ambientales*. Estudios Sociales [Hermosillo de Sonora] 2009;17:185-205.
 31. Soto Chilaca G, López Malo A. *Nanotecnología en alimentos*. TSIA Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos 2011;1(5):0-0. Disponible en:

- [http://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No5-Vol-1/TSIA-5\(1\)-Soto-Chilaca-et-al-2011.pdf](http://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No5-Vol-1/TSIA-5(1)-Soto-Chilaca-et-al-2011.pdf). Fecha de última visita: 23 de Febrero del 2014.
32. Záyago Lau E, Foladori G, Rushton M. Nanotecnología y los enclaves del conocimiento en Latinoamérica. *Estudios Sociales [México]* 2009;17(34):0-0. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-45572009000200014&lng=es&nrm=iso/. Fecha de última visita: 1 de Agosto del 2014.
33. MCT Ministério da Ciência e Tecnologia do Brasil. "O Programa de Nanotecnologia". Disponible en: <http://www.mct.gov.br/Temas/Nano/programanano.htm>. Fecha de último visita: 13 de Enero del 2014.
34. MCT Ministério da Ciência e Tecnologia do Brasil. Portaria MCT No. 614, de 1º. 12.2004. Disponible en: http://www.mct.gov.br/legis/portarias/614_2004.htm. Fecha de última visita: 4 de Febrero del 2014.
35. Invernizzi, N, Körbes C, Fuck MP. Política de nanotecnología en Brasil: A 10 años de las primeras redes. En: *Perspectivas sobre el desarrollo de las nanotecnologías en América Latina* [Editores: Foladori G, Invernizzi N, Záyago Lau E]. Ciudad México DF: 2012. pp 55-84.
36. Invernizzi N. Science policy and social inclusion: Advances and limits of Brazilian nanotechnology policy. En: *Nanotechnology and the Challenges of Equity, Equality and Development*. Springer Netherlands. Amsterdam: 2011. pp. 291-307.
37. Spivak L, Hoste A, Hubert M, Figueroa S, Andrini L. La estructura de la investigación argentina en nanociencia y nanotecnología: Balances y perspectivas. En: *Perspectivas sobre el desarrollo de las nanotecnologías en América Latina* [Editores: Foladori G, Invernizzi N, Záyago Lau E]. Ciudad México DF: 2012.
38. Salvarezza RC. Situación de la difusión de la nanociencia y la nanotecnología en Argentina. *Mundo Nano [Revista Interdisciplinaria en Nanociencia y Nanotecnología]* 2011;4(2):0-0. Disponible en: <http://revistas.unam.mx/index.php/nano/article/download/44962/40522>. Fecha de última visita: 3 de Abril del 2014.
39. Quintilli Mario. Nanociencia y Nanotecnología. Un mundo pequeño. Cuadernos Centro Estudios Diseño Comunicación Enseñanza [Buenos Aires] 2012;42(3):125-55. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-35232012000400010&lng=es&nrm=iso. Fecha de última visita: 28 de Marzo del 2014.
40. Anónimo. Cuba apuesta por la nanotecnología para producir alimentos. *La Nación*. Buenos Aires: 2008. Disponible en: http://www.nacion.com/tecnologia/Cuba-apuesta-nanotecnologia-producir-alimentos_0_1014898536.html. Fecha de última visita: 5 de Junio del 2014.
41. Castro Díaz-Balart F. La nanotecnología y el desarrollo: Oportunidades e incertidumbres. *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*. 2011;1(1):0-0. Disponible en: <http://www.revistaccuba.cu/index.php/ac/article/view/93/77>. Fecha de última visita: 5 de Junio del 2014.
42. Mejías Sánchez Y, Cabrera Cruz N, Toledo Fernández AM, Duany Machado OJ. La nanotecnología y sus posibilidades de aplicación en el campo científico-tecnológico. *Rev Cubana Salud Pública* 2009;35(3):0-0. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864>

- [34662009000300006&script=sci_arttext&tlng=pt](#). Fecha de última visita: 5 de Junio del 2014.
43. Manzano S, Zambrano CH, Mendez M A, Dueno EE, Cazar RA, Torres FJ. A theoretical study of the conformational preference of alkyl-and aryl-substituted pyrogallol [4] arenes and evidence of the accumulation of negative electrostatic potential within the cavity of their rccc conformers. *Molecular Simulation* 2014; 40(4):327-34.
 44. Montero Oleas ACM, Mendez MA. Computer-aided design of aptamer for prothrombin detection in blood. *Biophys J* 2015;108(Suppl 1):p483a.
 45. Mendez MA, Szalai VA. Synapsable quadruplex-mediated fibers. *Nanoscale Res Lett* 2013;8(1):210.
 46. Mateescu AL, Dimov TV, Grumezescu AM, Gestal MC, Chifiriuc MC. Nanostructured bioactive polymers used in food-packaging. *Curr Pharm Biotechnol* 2015;16:121-7.
 47. Domenek S, Feuilloley P, Gratraud J, Morel MH, Guilbert S. Biodegradability of wheat gluten based bioplastics. *Chemosphere* 2004;54:551-9.
 48. Torlak E, Sert D. Antibacterial effectiveness of chitosan-propolis coated polypropylene films against foodborne pathogens. *Int J Biol Macromol* 2013; 60:52-55.
 49. Jin T, Zhang H. Biodegradable polylactic acid polymer with nisin for use in antimicrobial food packaging. *J Food Sci* 2008;73:M127-M134.
 50. Wu S. Effect of chitosan-based edible coating on preservation of white shrimp during partially frozen storage. *Int J Biol Macromol* 2014;65:325-8.
 51. Wu J, Zheng Y, Song W; *et al.* In situ synthesis of silver-nanoparticles/bacterial cellulose composites for slow-released antimicrobial wound dressing. *Carbohydr Polym* 2014;102:762-71.
 52. Koerner H, Price G, Pearce NA, Alexander M, Vaia RA. Remotely actuated polymer nanocomposites-Stress-recovery of carbon-nanotube-filled thermoplastic elastomers. *Nature Mater* 2004;3:115-20.
 53. Pinto RJ, Daina S, Sadocco P, Pascoal Neto C, Trindade T. Antibacterial activity of nanocomposites of copper and cellulose. *Biomed Res Int* 2013;2013: 280512.
 54. Shamel K, Ahmad MB, Yunus WM; *et al.* Green synthesis of silver/montmorillonite/chitosan bionanocomposites using the UV irradiation method and evaluation of antibacterial activity. *Int J Nanomedicine* 2010;5: 875-87.
 55. Rajeshkumar S, Malarkodi C. *In vitro* antibacterial activity and mechanism of silver nanoparticles against foodborne pathogens. *Bioinorg Chem Appl* 2014; 2014:581890.
 56. Weiss J, Takhistov P, McClements DJ. Functional materials in food nanotechnology. *J Food Science* 2006;71: R107-R116.
 57. Sanguansri P, Augustin MA. Nanoscale materials development– A food industry perspective. *Trends Food Science Technol* 2006;17:547-56.
 58. Tassa C, Shaw SY, Weissleder R. Dextran-coated iron oxide nanoparticles: A versatile platform for targeted molecular imaging, molecular diagnostics, and therapy. *Accounts Chemical Research* 2011;44(10):842-52.
 59. Jin R, Lin B, Li D, Ai H. Superparamagnetic iron oxide nanoparticles for MR imaging and therapy: Design considerations and clinical applications. *Cur Op Pharmacol* 2014; 18:18-27.
 60. Pereira de Abreu DA, Cruz JM, Paseiro Losada P. Active and intelligent packaging for the food industry. *Food Reviews Int* 2012;28:146-87.

61. Bradley EL, Castle L, Chaudhry Q. Applications of nanomaterials in food packaging with a consideration of opportunities for developing countries. *Trends Food Science Technol* 2011; 22(11):604-10.
62. Torres Giner S, Martinez Abad A, Ocio MJ, Lagaron JM. Stabilization of a nutraceutical omega-3 fatty acid by encapsulation in ultrathin electrosprayed zein prolamine. *J Food Sci* 2010; 75:N69-N79.
63. Laroui H, Sitaraman SV, Merlin D. Gastrointestinal delivery of anti-inflammatory nanoparticles. *Methods Enzymol* 2012;509:101-25.
64. Yau NJ. New technology for food systems and security. *Asia Pac J Clin Nutr* 2009;18:546-8.
65. Hsieh YH, Ofori JA. Innovations in food technology for health. *Asia Pac J Clin Nutr* 2007;16(Suppl 1):S65-S73.
66. Siegrist M, Cousin ME, Kastenholz H, Wiek A. Public acceptance of nanotechnology foods and food packaging: The influence of affect and trust. *Appetite* 2007;49:459-66.
67. Suran M. A little hard to swallow? The use of nanotechnology in the food industry might be both boon and bane to human health. *EMBO Rep* 2014;15(6): 638-41.
68. Borgognoni CF, Mormann M, Qu Y; *et al.* Reaction of human macrophages on protein corona covered TiO₂ nanoparticles. *Nanomedicine*. 2015;11: 275-82.
69. Gebel T, Marchan R, Hengstler JG. The nanotoxicology revolution. *Arch Toxicol* 2013;87:2057-62.
70. Gebel T, Foth H, Damm G; *et al.* Manufactured nanomaterials: Categorization and approaches to hazard assessment. *Arch Toxicol* 2014;88: 2191-2211.
71. Nalwa HS. A special issue on reviews in nanomedicine, drug delivery and vaccine development. *J Biomed Nanotechnol* 2014;10:1635-40.
72. Duran N, Marcato PD. Nanobiotechnology perspectives. Role of nanotechnology in the food industry: A review. *Int J Food Science Technol* 2013; 48:1127-34.
73. Roco MC, Mirkin CA, Hersam MC. Nanotechnology research directions for societal needs in 2020: Retrospective and outlook. Volume 1. Springer Science & Business Media: 2011.
74. Corley EA, Kim Y, Scheufele DA. The current status and future direction of nanotechnology regulations: A view from nano-scientists. *Review Policy Res* 2013;30:488-511.
75. Corley EA, Scheufele DA, Hu Q. Of risks and regulations: How leading US nanoscientists form policy stances about nanotechnology. *J Nanoparticle Res* 2009;11:1573-85.
76. Chau CF, Wu SH, Yen GC. The development of regulations for food nanotechnology. *Trends Food Science Technol* 2007;18:269-80.
77. Colectivo de autores. Nanoseguridad [Editora: Alfonso A]. Editorial Científico Técnica. La Habana: 2014.
78. Kimbrell GA. Nanomaterial consumer products and FDA regulatory challenges and necessary amendments. *Nanotech Law Business* 2006;3:329.
79. Hamburg MA. FDA's approach to regulation of products of nanotechnology. *Science* 2012;336(6079): 299-300.
80. Colectivo de autores. Reunión conjunta FAO/OMS de Expertos acerca de la aplicación de la nanotecnología en los sectores alimentario y agropecuario: Posibles consecuencias para la inocuidad de los alimentos. Ginebra: 2011.