

# NANOTECNOLOGÍA, APLICACIONES EN EMBALAJES PARA ALIMENTOS Y PRODUCTOS FARMACÉUTICOS

NANOTECHNOLOGY, FOOD AND DRUG PACKAGING APPLICATIONS

Edwin MONCADA A.<sup>1,\*</sup>

Recibido: Julio 11 de 2007 Aceptado: Septiembre 18 de 2007

## RESUMEN

En este trabajo se presenta una revisión de la gran influencia que está teniendo la nanotecnología en los últimos años en todas las áreas del conocimiento. Esta influencia se debe principalmente a cambios sustanciales en los materiales obtenidos mediante esta tecnología, lo que la ha llevado a una muy rápida aplicación industrial. Uno de sus principales usos, que presenta una alta inversión de capital por parte de los gobiernos, se da en la industria de embalajes para alimentos y productos farmacéuticos, debido, entre otros factores, a la posibilidad de utilizar nano-sensores, que al ser combinados con el embalaje, permiten que éste comunique al consumidor/productor, y en ocasiones controle, características del material embalado como: calidad microbiológica, condiciones de almacenamiento (humedad, temperatura, luz, etc.) tratamiento tiempo-temperatura, tiempo de exposición del producto, entre otras.

Palabras clave: nanotecnología, embalajes inteligentes, embalajes activos, embalajes para alimentos.

## ABSTRACT

This work aims to review the immense influence that nanotechnology has having along the last years in all areas of knowledge. This influence is mainly due to the substantial changes in the materials obtained through this technology, which led to a quick industrial application. One of its main applications and the main capital investment from the governments is the packaging industry of food and pharmaceutical products. This is due, among many other factors, to the possibility of using nano-sensors that when combined with the package communicate to the consumer/producer, as well as in control situations, the characteristics of package material such as: microbiological quality, storage conditions (humidity, temperature, light, etc.), time-temperature treatment and shelf-life, among others.

Keywords: Nanotechnology, intelligent packaging, active packaging, food packaging.

---

1 III Polo Petroquímico, Vía Oeste Lote 5 - Passo Raso. Braskem. S.A. Triunfo - RS - Brasil, Teléfono: 55.51.3457.5236, Fax: 55.51.3457.1084

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: edwin.moncada@braskem.com.br; moncada.edwin@gmail.com

## INTRODUCCIÓN

Esta revisión abarca desde el 2002 hasta la fecha. En su mayoría las fuentes citadas son artículos científicos de prestigiosas revistas, patentes y páginas de internet.

Las ciencias, en el presente siglo, están creciendo a una velocidad exponencial, si se compara con épocas anteriores, y estos avances han hecho posibles aplicaciones en todos los sectores de la industria y la academia. Uno de los mayores adelantos, que debido a su complejidad ha generado interdisciplinariedad entre áreas como química, física, biología, ingeniería entre otras, es la nanotecnología. La presente revisión muestra algunos de los grandes avances en las ciencias que tienen que ver con la nanotecnología, y específicamente para productos alimenticios y farmacéuticos se sitúa en una época no mayor a 5 años.

Las nanotecnologías se presentan hoy como un salto innovador radical, que está incidiendo directamente sobre todos los sectores de la economía. El efecto invasivo con amplia difusión de las nanotecnologías se debe, en gran medida, a cambios sustanciales en el campo de los materiales, para su posterior utilización en todos los sectores manufactureros y de servicios. Por medio de estas tecnologías se pueden modificar las propiedades de los materiales conocidos, mucho más radicalmente de lo conseguido hasta ahora, así como crear materiales completamente nuevos. Por otra parte, las nanotecnologías permiten el conformado de los materiales a una escala mucho más reducida que la actual manufactura de los microprocesadores.

La nanotecnología es la manipulación de la materia a escala nanométrica, es decir, la obtención de partículas a pequeñísima escala, del orden de los nanómetros (nm, milésimas de micrómetros, millonésimas de mm o milmillonésimas de metro). Debido a su tamaño, las propiedades de las estructuras y los materiales presentan características muy diferentes de las que se encuentran en los que se utilizan normalmente.

Surgen así interrogantes como: ¿es una tecnología radical que envuelve la construcción de productos macroscópicos vía manipulación directa de software? ¿O estamos a pocas décadas de una tecnología utópica virtual donde los materiales puedan ser contruidos mediante manufactura molecular? Estos interrogantes, planteados en el simposio llevado a cabo en la Universidad de Nottingham

(26 agosto 2005), fueron discutidos ampliamente (1,2). De importancia fue el establecimiento del concepto de manufactura molecular (originalmente enunciado por Drexler in 1981(3)), el cual posteriormente Drexler y otros (4-7) propusieron como nanotecnología molecular (MNT).

Lo cierto es que todo parece indicar que estamos hoy en las etapas iniciales de una onda expansiva equivalente a la iniciada en los primeros años de la década del 70 en relación con la introducción de los microprocesadores.

En los principales países tecnológicamente avanzados se están llevando a cabo grandes inversiones, tanto públicas como privadas, en la investigación en este campo; de igual forma están emergiendo numerosas iniciativas industriales, a menudo de empresas de dimensiones pequeñas y medianas, que se presentan en el mercado como proveedores de materiales nanoestructurados, instrumentación y servicios científico-tecnológicos conexos.

## APLICACIONES INDUSTRIALES DE LA NANOTECNOLOGÍA

Las aplicaciones de los materiales nanoestructurados y de las nanotecnologías para producirlos se están desarrollando con extrema rapidez, y un simple listado de un número inevitablemente limitado de aplicaciones sólo puede dar una idea reducida de sus potencialidades, si bien desde hace mucho tiempo existen técnicas que permiten actuar en nivel nanoestructural, como son algunas áreas de la materia condensada, ciencia de coloides y crecimiento de películas, sobres, sustratos, entre otros. El gran desarrollo en los campos de la biología molecular y las biotecnologías 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 ellos hacia los mas diversos campos científicos, tecnológicos e industriales.

Muchas son las áreas de la ciencia que han estado, están y estarán involucradas en las nanotecnologías; entre las actuales están: la medicina, la biología, la farmacología y los materiales, y en este campo, todas las aplicaciones en las áreas de ingeniería, como civil y de construcción, electrónica, mecánica, química y de alimentos, entre otras.

Se dan a continuación algunos ejemplos de las innumerables aplicaciones de esta tecnología, ya presentes en los mercados o cercanas a su comercialización: (8)

- 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 (nariz electrónica, embalajes inteligentes)
- Sistemas fotovoltaicos de alta eficiencia para la conversión de la energía solar.
- Nuevos materiales con una elevada relación resistencia/masa, para aplicaciones aeroespaciales, biomédicas y en medios de transporte.
- Embalajes de productos alimenticios con mejores características de barrera a la penetración de gases y capacidad para indicar el estado de conservación (embalajes inteligentes).
- 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, basadas en la electrónica de polímeros.
- Nuevas prótesis e implantes para colocación in vivo.
- Técnicas de trabajado de piezas para micromecánica y microelectrónica en escala de 100 nm.

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", donde 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 las utilizadas en tecnología de materiales y pueden dar lugar a polvos, objetos compactos o capas delgadas, con propiedades profundamente cambiadas respecto a las de los mismos materiales obtenidos por tecnologías convencionales.

## EMBALAJES PARA ALIMENTOS Y PRODUCTOS FARMACÉUTICOS

El área de nanomateriales destinados a la industria de alimentos y productos farmacéuticos es uno de los sectores de mayor potencialidad para aplicaciones industriales, además de las industrias de automoción y aeroespacial, entre otras. Muchas son las áreas del estudio de los alimentos y los productos farmacéuticos donde la nanotecnología puede realizar grandes contribuciones. Este trabajo estará enfocado principalmente en la alta utilización de embalajes para alimentos y productos farmacéuticos y en las grandes ventajas que se pueden obtener, tanto para el productor de embalajes como para el productor de alimentos, el productor de fármacos y el cliente final, el consumidor.

Es así como mediante diferentes nanoestructuras, los polímeros (plásticos) pudieran presentar diferentes valores de permeabilidad al vapor de agua/gases, para atender los requisitos de preservación de fármacos, frutas, verduras, bebidas, etc. También pueden ser obtenidos materiales poliméricos con mayor resistencia a la luz, propiedades mecánicas y térmicas incrementadas. Estas modificaciones en los materiales pueden significar aumentos en el tiempo de almacenamiento del producto, menores pérdidas de las características químicas, físicas, organolépticas, además de facilitar el transporte (9).

Los materiales de embalajes para estos productos, específicamente los polímeros, son ampliamente utilizados en muchos de los alimentos y productos farmacéuticos consumidos hoy en día. Los polímeros son usados específicamente en filmes, botellas, cajas, canastas y muchos otros productos donde permiten gran versatilidad, comparada con los otros materiales de embalaje. Además, la facilidad que presentan los polímeros de modificar sus propiedades es amplia, pudiéndose obtener polímeros con nuevas propiedades y, así, nuevos usos. Entre las formas de modificar las propiedades de los polímeros se encuentran: reacciones de copolimerización, reacciones de funcionalización, blendas, compósitos y, en los últimos años, los nanocompósitos.

Un nanocompósito es un material compuesto por dos o más componentes, de los cuales el de mayor porcentaje se denomina matriz (polímero) y el de menor porcentaje, carga (nanopartícula), la cual debe estar homogéneamente dispersa y en tamaño nanométrico.

Una de las primeras investigaciones para la obtención de nanocompuestos fue realizada por la empresa TOYOTA a finales de los años 80 y comienzos de los 90 (10-12), con la exfoliación de arcillas en una matriz de nylon-6. Estos resultados mostraron significativos incrementos en un amplio rango de propiedades para el reforzamiento de polímeros (13,14).

Posterior a este hallazgo, se ha dado una gran explosión en investigaciones sobre nanocompuestos, y se iniciaron estudios para su obtención con la gran mayoría de polímeros, como por ejemplo: polipropileno (15-17), polietileno (18), poliestireno (19), polivinilcloruro (20), copolímero de acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) (21), polimetilmetacrilato (22) polietilentereftalato (PET) (23), copolímero de etilen vinil acetato (EVA) (24), poliácridonitrilo (25), policarbonato (26), polietileno oxido (PEO) (27), resinas epoxy (28), poliamidas (29), policaprolactona (30), resinas fenólicas (31), cauchos (32), poliuretanos (33), polivinil piridina (34).

Muchos de los polímeros mencionados anteriormente son utilizados de diferentes maneras en las industrias de alimentos y productos farmacéuticos, principalmente en sistemas de embalaje y transporte, pero algunas de sus características pueden presentar problemas al entrar en contacto con alimentos y productos farmacéuticos. Debido a esto, se vienen desarrollando nuevas y mejores metodologías para la obtención de los nanocompuestos y, específicamente, de nanopartículas.

En los últimos años se han desarrollado diferentes rutas de síntesis para la obtención de nanopartículas sintéticas (36-39), pero una de las más utilizadas, por su facilidad de manipulación y por condiciones de reacción es el método de síntesis Sol-Gel (40). Este método permite obtener nanopartículas con muy alta pureza, homogeneidad y diferentes morfologías, como laminar, fibras, esferas, entre otras (41-43). Esto le permite la utilización de estas nanopartículas y los nanocompuestos realizados con ellas en industrias tan exigentes en su legislación como la alimentaria, la farmacéutica y la médica (44-48).

Lo anterior es consecuente con las altas inversiones que las industrias realizan en investigaciones en las diversas áreas de las nanotecnologías enfocadas a la industria alimentaria. Estas inversiones pasaron de 2.6 bn US dólar a 7.0 bn US dólar en el 2006 y se espera que para el 2010 este valor aumente a 20.4 bn US dólar (49) y el pronóstico para la industria

farmacéuticas es de 11 Bn US dólar para el 2011. Más de 200 compañías alrededor del mundo están desarrollando nanomateriales para el uso en embalajes de alimentos y productos farmacéuticos. Estados Unidos es el principal país en investigación, seguido por Japón y China. Para el 2010 se pronostica que Asia, con el 50% de la población mundial, será el gran mercado para estos productos (50).

Por otro lado, parámetros como el incremento en la demanda de productos alimenticios más seguros (bio-terrorismo), mejor relación costo-eficiencia, mayor monitoreamiento (productor) e información oportuna y eficaz al consumidor, están llevando al desarrollo de materiales de empaque para alimentos y productos farmacéuticos cada vez más exigentes. Es así como se están realizando investigaciones en embalajes que permitan al consumidor detectar la posibilidad de contaminación, sea ésta microbiológica, química o física, y permiten al productor mejores controles en sus sistemas de producción, transporte y almacenamiento. Esto es posible conseguirlo con los denominados embalajes inteligentes, los cuales, mediante sensores detectan los parámetros antes mencionados por medio del embalaje y en el momento, sin necesidad de realizar análisis en laboratorios. Estos sensores pueden obtenerse utilizando diversas tecnologías (51-55), entre las cuales, la que se considera más eficiente y con mayor facilidad para dispersar en las resinas poliméricas es la nanotecnología. Pero este concepto de embalaje inteligente (IP) no viene solo, está ligado directamente a otros conceptos como embalaje activo (AP) y embalaje ingenioso (SP) que serán enunciados a continuación.

En general en la literatura, es posible encontrar algunas divergencias entre las definiciones de embalajes antes mencionados (embalaje ingenioso SP, embalaje activo AP, embalaje inteligente IP). Por ejemplo Clarke (2001) define IP como un embalaje que presenta capacidad lógica, SP como uno que comunica y AP como el que controla. Brody y otros (2001) definen IP como sistemas de empaque que sensan y comunican, y SP como el embalaje que posee la capacidad de ambos AP e IP. Rijk (2002) define IP como aquel que monitorea las condiciones del alimento empacado y da información sobre la calidad del alimento durante el transporte y almacenamiento. La ambigüedad de estas definiciones puede ocasionar dificultades de interpretación, y para aclarar el tema, se considera como más apropiada la definición realizada por Kit

L Yam, Investigador del Departamento de Ciencia de Alimentos de la Universidad de Rutgers (56) (USA), donde SP son los embalajes que reúnen las características de AP e IP; IP son los sistemas de embalaje capaces de llevar a cabo funciones inteligentes (como detectar, sensor, grabar, comunicar, aplicando lógica científica) para facilitar la decisión de extender la vida útil, aumentar la seguridad, mejorar la calidad, proveer información y advertir sobre posibles problemas del alimento. Los AP tienen la función de aumentar la protección del alimento. Es decir, en un sistema de embalaje total, IP es el componente responsable por sensor el medio ambiente del alimento y dar la información y AP es el componente responsable de alguna acción (por ejemplo un compuesto antimicrobiano) para proteger el alimento. Es importante mencionar que IP y AP no son mutuamente excluyentes, algunos sistemas de embalaje pueden ser clasificados como IP, otros como AP y otros como una mezcla de los dos sistemas SP. En una situación apropiada IP, AP y la tradicional función del embalaje trabajarán sinérgicamente para proporcionar una solución de

embalaje total. Siempre dependiendo de las necesidades y características del producto empacado. La tabla 1 muestra las principales aplicaciones de cada uno de los embalajes mencionados.

La información anterior puede ser colectada en el código de barras, lo cual permite al productor conocer en cualquier instante la calidad de su producto y al consumidor mayor información sobre el producto que desea comprar.

Puede decirse pues que la función tradicional de embalaje está cambiando de ser simplemente el material que contiene el alimento y lo protege del ambiente externo para convertirse en un material funcional, que permite que tanto el productor como el consumidor verifiquen el producto que están vendiendo/comprando y con una calidad nutritiva y microbiológica adecuada.

La tendencia es pues una vez más imitar a la naturaleza, protegiendo los alimentos con embalajes funcionales como son, por ejemplo, los de algunas frutas como el banano la naranja, entre otras, que además de proteger su contenido del medio ambiente, indican su estado de maduración.

Tabla 1. Principales aplicaciones de los embalajes activos, inteligentes e ingeniosos (57).

Embalaje Activo AP	Embalaje Inteligente IP	Embalaje Ingenioso SP
Antimicrobiano	Indicador de crecimiento microbiológico	Antimicrobiano con monitoreamiento integrado
Absorbedor de oxígeno	Indicador de tratamiento tiempo-temperatura	Absorbedor de oxígeno con monitoreamiento integrado
Absorbedor de etileno	Indicador de atributos nutricionales	Absorbedor de etileno con monitoreamiento integrado
	Indicador de concentración de gas en embalajes de atmósfera modificada	Barrera más monitoreamiento integrado
	Indicador de ocurrencia de impacto	Auto calentamiento/enfriamiento integrado con monitoreamiento
	Indicador de radio frecuencia RFID	

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Moriarty P. Nanotechnology: Radical new science or plus ça change?. *Nanotechnology Perceptions*. 2005;1(3):115-118
- Scott F. Nanotechnology: Radical new science or plus ça change? the debate. *Nanotechnology Perceptions*. 2005;1(3):119-146
- Drexler KE. *Molecular Engineering: An approach to the development of general capabilities for molecular manipulation*. Proc Nad Acad Sci. 1981; 78(9): 5275-5278.
- Merkle RC. Convergent assembly. *Nanotechnology*. 1997; 8(1): 18-22.
- Merkle RC, Parc X, Casing and assembler. *Nanotechnology*. 1999;10:315-322.
- Merkle RC, Robert A, Freitas Jr. Theoretical analysis of a carbon-carbon dimer placement tool for diamond mechanosynthesis. *J Nanosci Nanotechnol*. 2003; 3: 319- 324.
- Hall JS. Architectural considerations for self-replicating manufacturing systems. *Nanotechnology*. 1999; 10(3): 323-330.
- Moncada E. Obtención de Nanocompuestos de polipropileno utilizando arcillas y nanopartículas sintéticas [Tesis Doctoral]; Santiago de Chile, 2006.
- Asadi G, Mousavi SM. Application of nanotechnology in food packaging [Sitio de internet]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1051/IUFoST:20060739>. Consultado:10 de abril 2007.
- Okada A, Fukushima Y, Kawasumi M, Inagaki S, Usuki A, Sugiyama S, et al. *Inventors 1986. Composite material and process*



- for manufacturing same. United States Patent 4,739,007, 19 Abril 1988.
11. Kawasumi M, Kohzaki M, Kojima Y, Okada A, Kamigaito O. Inventors 1988. Process for producing composite material. United States Patent 4,810,734. 7 March 1989.
  12. Usuki A, Kawasumi M, Okada A. Synthesis of nylon 6-clay hybrid, *J Mater Res.* 1993; 8(5): 1179-1184.
  13. Yang F, Yingar R, Nelson GL. Flammability of polymer-clay and polymer-silica nanocomposites. *Fire Sci.* 2005; 23: 209-226.
  14. Kojima A, Yamada Ki, Fujii T, Hirata M. Improvement in adhesive-free adhesion by the use of electrostatic interactions between polymer chains grafted onto polyethylene plates. *J Appl. Polym Sci.* 2006;101(4): 2632-2638.
  15. Moncada E, Quijada R, Retuert J. Comparative effect of metallocene and Ziegler-Natta polypropylene on the exfoliation of Montmorillonite and Hectorite clays to obtain nanocomposites. *J Appl Polym Sci.* 2007; 103: 698-706.
  16. Moncada E, Quijada R, Yazdani-Pedram M. Use of PP grafted with itaconic acid as new compatibilizer for PP/Clays nanocomposites. *Macromol Chem Phys.* 2006; 207: 1376-
  17. Moncada E, Quijada R, Yazdani-Pedram M. Inventores 2006. Patente Chile y Estados Unidos de America (en trámite).
  18. Zhao C, Qin H, Gong F, Feng M, Zhang S, Yang M. Mechanical, thermal and flammability properties of polyethylene/Clay nanocomposites. *Polym. Degrad. Stabil.* 2005; 87(1): 183-189.
  19. Mohanty S, Nayak SK. Melt blended polystyrene/layered silicate nanocomposites: effect of Clay modification on the mechanical, thermal, morphological and viscoelastic behavior. *J Thermoplast Compo Mater.* 2007; 20(2): 175-193.
  20. Xu W, Zhou Z, Ge M, Pan W. Polyvinyl chloride/Montmorillonite Nanocomposites: glass transition Temperature and mechanical properties. *J Therm Anal Calorim.* 2004;78 (1): 91-99.
  21. Alma P, Patiño S, Ramos LF. Morphological and thermal properties of ABS/Montmorillonite nanocomposites using ABS with different AN content, *Macromol Mater Eng.* 2007; 299(3): 302-309.
  22. Wang GA, Wang CC, Chen CY. Preparation and characterization of layered double hydroxides - PMMA nanocomposites by solution polymerization, *J Inorgan Organometal Polym Mater.* 2005; 15(2): 239-251.
  23. Krácalík M, Mikešová J, Puffr R, Baldrian J, Thomann R, Friedrich C. Effect of 3D structures on recycled PET/organoclay nanocomposites. *Polymer Bulletin.* 2007; 58(1): 313-319.
  24. Pasanovic-Zujo V, Gupta RK, Bhattacharya SN. Effect of vinyl acetate content and silicate loading on EVA nanocomposites under shear and extensional flow. *Rheologica Acta.* 2004; 43(2): 99-108.
  25. Tianshi Yu, Jiaping Lin, Jiafu Xu, Tao Chen, Shaoliang Lin. Novel polyacrylonitrile nanocomposites containing Na-Montmorillonite and nano SiO<sub>2</sub> particle. *Polymer.* 2005; 46(15): 5695-5697.
  26. Yong Gao, Peng He, Jie Lian, Lumin Wang, Dong Qian, Jian Zhao, et al. Improving the mechanical properties of polycarbonate nanocomposites with plasma-modified carbon nanofibers. *J Macromol Sci, Part B: Physics.* 2006; 45: 671-679.
  27. Marc X, Reinholdt, R, Kirkpatrick J, Pinnavaia T. Montmorillonite-poly(ethylene oxide) nanocomposites: interlayer alkali Metal behavior. *Phys Chem B.* 2005; 109 (34): 16296 -16303.
  28. Lijia P, Pingsheng H, Gang Z, Dazhu C. PbS/epoxy resin nanocomposite prepared by a novel method. *Materials Letters.* 2004; 58(1-2):176-178
  29. Contreras V, Cafiero M, Da Silva S, Rosales C, Perera R, Matos M. Characterization and tensile properties of ternary blends with PA-6 nanocomposites. *Polymer Engineering & Science.* 2006; 46(8): 1111-1120.
  30. Khalid Saeed, Soo-Young Park. Preparation and properties of multiwalled carbon nanotube/polycaprolactone nanocomposites, *J Appl Polym Sci.* 2007; 104(3): 1957-1963.
  31. Zhang Y, Lee SH, Mitra Y, Toghiani H, Pittman C. Phenolic resin/octa(aminophenyl)-T8-polyhedral oligomeric silsesquioxane (POSS) hybrid nanocomposites: synthesis, morphology, thermal and mechanical properties. *J Inorgan Organometal Polym Mater.* 2007; 17(1): 159-171.
  32. Valentini L, Biagiotti J, Kenny JM, López Manchado MA. Physical and mechanical behavior of single-walled carbon nanotube/polypropylene/ethylene-propylene-diene rubber nanocomposites, *J Appl Polym Sci.* 2003; 89(10): 2657-2663.
  33. Pattanayak A, Jana S. Properties of bulk-polymerized thermoplastic polyurethane nanocomposites, *Polymer.* 2005; 45(10): 3394-3406.
  34. Reiko Saito, Tadakuni Tobe. Synthesis of poly(vinyl pyridine)-silica nanocomposites using perhydropolysilazane, *J App Polym Sci,* 2004; 93(2): 740-757.
  35. Carrado KA, Synthetic organo- and polymer-clays: preparation, characterization, and materials applications, *Appl Clay Sci.* 2000; 17(1): 1-27.
  36. Caiulo N, Yu CH, Yu KM, Lo CC, Odoro W, Thiebaut B, et al. Carbon-decorated FePt nanoparticles. *Adv Funct Mater.* 2007; 17(8) 1392-1396.
  37. Song R, Xu AW, Deng B, Li Q, Chen GY. From layered basic Zinc acetate nanobelts to hierarchical Zinc Oxide nanostructures and porous Zinc Oxide nanobelts. *Adv Funct Mater.* 2007; 17(2) 296-306.
  38. Oliver Töpfer, Gudrun Schmidt-Naake. Surface - functionalized inorganic nanoparticles in miniemulsion polymerization. *Macromolecular Symposia.* 2007; 248(1): 239-248.
  39. Peng Xu, Haitao Wang, Rui Lv, Qiangguo Du, Wei Zhong, Yuliang Yang. Synthesis of TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>/polymer core-shell microspheres with a microphase-inversion method. *J Polym Sci Part A: Polym Chem.* 2006; 44(12): 3911-3920.
  40. Hensch LL, West JK. The Sol-Gel process. *Chem Rev.* 1990; 90: 33-72.
  41. Soler-Illia, Galo JA, Sanchez C, Lebeau B, Patarin, J. Chemical strategies to design textured materials: from microporous and mesoporous oxides to nanonetworks and hierarchical structures. *Chem Rev* 2002; 102(11): 4093-4138.
  42. Jia J, Wang B, Wu A, Cheng G, Li Z, Dong S. A method to construct a third-Generation horseradish peroxidase biosensor: self-assembling gold nanoparticles to three-dimensional Sol-Gel network. *Anal Chem.* 2002; 74(9): 2217-2223.
  43. Prakasham RS, Devi GS, Laxmi KR, Rao Ch. Novel synthesis of ferric impregnated silica nanoparticles and their evaluation as a matrix for enzyme immobilization. *J Phys. Chem.* 2007; 111(10): 3842-3847.
  44. Utracki LA, Sepehr M, Boccaleri E. Synthetic, layered nanoparticles for polymeric nanocomposites (PNCs), *Polym Adv Technol.* 2007; 18(1): 1-37.
  45. Moncada E, Quijada R, Retuert J. Nanoparticles prepared by the Sol-Gel method and their use in the formation of nanocomposites with polypropylene, *Nanotechnology.* 2007; 18: 335606.
  46. Avella M, Bruno G, Errico ME, Gentile G, Piciocchi N, Sorrentino A, Volpe MG. Innovative packaging for minimally processed fruits, *Packag Technol Sci.* 2006 (Articles online in advance of print).
  47. Moncada E, Quijada R, Retuert J, Inventores. Patente 2007. Chile (en trámite).
  48. Marini M, De Niederhausen S, Iseppi R, Bondi M, Sabia C, Toselli M, Pilati F. Antibacterial activity of plastics coated with silver-doped organic-inorganic hybrid coatings prepared by Sol-Gel processes. *Biomacromolecules.* 2007; 8(4): 1246-1254.
  49. Asadi G, Mousavi M. Application of nanotechnology in food packaging [Sitio de internet]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1051/IUFoST:20060739>. Consultado: 17 de Abril 2007.
  50. Moraru, C, Panchapakesan C, Takhistov K. Nanotechnology: new frontier in food science. *Food Technol.* 2003; 57: 25-28.

51. Das R, Selke S, Harte J. Development of electronic nose method for evaluation of HDPE flavour characteristics, correlated with organoleptic testing. *Packag Technol Sci.* 2007; 20(2): 125-136.
52. Seok-In Hong. Gravure-printed color indicators for monitoring Kimchi fermentation as a novel intelligent packaging. *Packag Technol Sci.* 2002;15:155-160.
53. O'Mahony F, O'Riordan T, Papkovskaia N, Ogurtsov V, Kerry J, Papkovsky D. Assessment of oxygen levels in convenience-style muscle-based sous vide products through optical means and impact on shelf-life stability. *Packag Technol Sci.* 2004; 17(4): 225-234
54. Bodenhamer WT. Inventor 2002. Toxin Alert. United Estate Patent 6,376,204. 18 April 2004.
55. Krumhar KC, Karel M. Inventors 1992. Visual indicator system. United Estate Patent 5,096,813. Massachusetts Institute of Technology. 17 March 1992.
56. Yam KL, Takhistov PT, Miltz J. Intelligent packaging: concepts and applications. *J Food Sci.* 2005; 70(1): R1-10.
57. Butler P. Smart packaging - Intelligent packaging for food, beverages, pharmaceuticals and household products [Sitio de internet]. Disponible en: <http://www.azom.com/details.asp?ArticleID=2152>. Consultado: 1 de mayo 2007.