

— Recepción: Septiembre 8, 2015 —

APLICACIONES DE NANOPARTÍCULAS EN TEXTILES PARA EL DISEÑO DE INTERIORES

Martín-Adrián Melchor-Alemán
martin_melchor21@hotmail.com

Laura Mesta-Torres
laura_mesta@hotmail.com

Santos Adriana Martel-Estrada
adriana.martel@uacj.mx • mizul@yahoo.com

Coordinación de Diseño de Interiores. Departamento de Diseño. Instituto de
Arquitectura, Diseño y Arte. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Para citar este artículo:

Martel, S., Melchor, A. y Mesta, L. (2016) Aplicaciones de nanopartículas en textiles para el
diseño de interiores. *Espacio I+D Innovación más Desarrollo* 5 (10) 152-180. doi: 10.31644/
IMASD.10.2016.a07



RESUMEN

Los textiles son un material ampliamente utilizado en el diseño de interiores y en la vida cotidiana. Los avances de la nanotecnología han alcanzado de manera importante a la industria textil, dando lugar a fibras inteligentes con grandes beneficios para el usuario. Esta investigación tiene como propósito revisar el estado del arte acerca de la aplicación de la nanotecnología en los textiles en el campo del interiorismo, así como sus múltiples funciones. Se analizaron las principales propiedades de este tipo de fibras que han permitido otras oportunidades a la industria textil.

Palabras Clave: *Nanopartículas, de plata, nanopartículas de óxido de zinc, nanopartículas de oro, nanotextiles, diseño de interiores.*

APPLICATIONS OF NANOPARTICLES IN TEXTILES FOR INTERIOR DESIGN

— *Abstract* —

Fabrics are materials widely used in interior design and in the daily life. Advances in nanotechnology have reached the textile industry, and as a result new smart fabrics have emerged with high benefits for users. The goal of this research is to review the state of the art related with applications and functions of nanotechnology in fabrics used in interior design. This review is also concerned with the properties of fabrics using nano-structured materials, and the new added value that this technology have been granted to the textile industry.

Keywords: *Silver nanoparticles, zinc oxide nanoparticles, gold nanoparticles, nanofabrics, interior design.*

La industria textil es muy importante en nuestro país ya que tiene una historia vasta, no únicamente como un sector productivo, sino también por su participación en gestas históricas (García-Serrano, 2010). La importancia de la industria textil mexicana es tal que tan sólo en el período de 2011 a 2012 aumentó el valor agregado bruto de 14 002 703 pesos a 15 078 276 pesos; es decir, en solo un año tuvo un aumento del 7.68% (INEGI, 2013). En la actualidad los textiles son uno de los materiales más utilizados dentro del interiorismo y la tecnología no ha dejado de lado a la industria textil renovando, fusionando y generando innovaciones que han permitido nuevas funcionalidades con la introducción de los materiales nanométricos (Quispe-Chejo, 2010).

La nanociencia es el estudio de los fenómenos y manipulación de materiales a escalas atómicas, molecular y macromoleculares, donde las propiedades difieren significativamente de aquellos a gran escala (European Commission, 2013). La nanotecnología y la nanociencia han emergido como oportunidades para el desarrollo de aplicaciones de materiales en nuevos productos (Tolfree, 2008). Esto ha permitido que la atención esté centrada en la introducción de nanopartículas dotadas de propiedades y funcionalidades que ofrecen a los usuarios beneficios y soluciones a problemáticas frecuentes que un textil convencional no puede resolver (Wing, 2006). De esta manera, por medio de nanopartículas o nanoacabados, se han logrado obtener funciones mejoradas y más complejas para los textiles como acabados hidrofóbicos, superhidrofóbicos, autolimpieza y propiedades antibacteriales (Gulrajani, 2013).

Las nanopartículas son materiales de 1 a 100 nm de diámetro (El-Drieny et al., 2015). Estas dimensiones les dan propiedades y comportamientos específicos que en la macroescala no podrían tener, tales como propiedades magnéticas, ópticas, mecánicas y eléctricas, así como cuánticas, debido a su configuración y confinamiento, que permite que de manera continuada o abruptamente cambien de acuerdo con su tamaño en la nanoescala (Sayes y Santamaria, 2014). Estas partículas pueden existir en agregado o en forma discreta y pueden ser hexagonales, esféricas, tubulares, o de forma irregular (Gaillet y Rouanet, 2015). Se puede considerar que la investigación en esta área es reciente y debido a las

propiedades físicas, químicas y biológicas de las nanopartículas encontradas, se considera que es un área de oportunidad todavía en expansión. Las nanopartículas han sido utilizadas en productos de consumo, materiales para construcción, industrias médica, farmacéutica y agrícola, así como en tecnologías para remediación de agua, etc. (Filella, 2012).

Aunque hay requerimientos comunes en la mayoría de los textiles, como serían altos niveles de resistencia, durabilidad, resistencia al desgarre de la tela, etc., dependiendo de la aplicación surgen otros distintos a los tradicionales, como serían flexibilidad, suavidad, respirabilidad, propiedades ópticas, retardantes del fuego, etc., que sólo son posibles a través de los avances recientes en materiales (M. Ashby, Ferreira, y Schodek, 2009). Se ha reportado que las nanopartículas de plata han sido utilizadas en productos tales como cosméticos, dispositivos médicos desinfectantes y en el empaque de alimentos (Wasmuth, Rüdell, Düring, y Klawonn, 2016). Estas nanopartículas han mostrado actividad antimicrobial en telas de algodón contra *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* y *Candida albicans* (Bera et al., 2015), así como antifúngicas contra *Fusarium solani* (El-Rafie, Mohamed, Shaheen, y Hebeish, 2010). Otros compuestos nanométricos como el óxido de zinc (ZnO) se han utilizado como bloqueadores de la luz UV en cosméticos, así como por sus propiedades antibacteriales en industria alimenticia y en telas algodón (Padmavathy, 2008; Pandurangan y Kim, 2015), otorgando al textil propiedades antibacteriales y función de protección UV (El-Rafie, Shaheen, Mohamed, y Hebeish, 2012). Del mismo modo se han utilizado nanopartículas de óxido de silicio SiO₂ y plata (Ag) para otorgar propiedades de superhidrofilicidad, así como antibacteriales a la lana (Mura et al., 2015) y superhidrofobicidad a telas de algodón para darle mejores propiedades de repelencia al agua (Xu, Cai, Wang, y Ge, 2010). Las nanopartículas de óxido de titanio (TiO₂) se han utilizado para lograr alta hidrofobicidad en superficies de seda (F. Chen et al., 2016), así como propiedades de autolimpieza en telas de poliéster (Pasqui y Barbucci, 2014) y telas de algodón (Wijesena, Tissera, Perera, Nalin de Silva, y Amaratunga, 2015) La demanda de este tipo de materiales está en aumento. En una publicación de 2012, se estimó

que se producían 55 toneladas anuales de nanopartículas de plata, 3000 toneladas anuales de óxido de titanio y 550 toneladas anuales de óxido de zinc (Piccinno, 2012). En general, este tipo de partículas se destinan a la elaboración de cosméticos (Katz, Dewan, y Bronaugh; Lu, Huang, Chen, Chiueh, y Shih, 2015; Sierra-Rodero, Fernández-Romero, y Gómez-Hens, 2011), agentes de limpieza (Nosrati, Olad, y Nofouzi, 2015; Pinho, Rojas, y Mosquera, 2015; Virovska, Paneva, Manolova, Rashkov, y Karashanova, 2016), plásticos (Zanetta et al., 2009), pinturas (Elhalawany, Mossad, y Zahran, 2014; Herea et al., 2015; Hu, Pfirman, y Chumanov, 2015), cemento (Liu, Li, y Xu, 2015; Shen, Ng, Dong, Ng, y Tan, 2016; Soltanian, Khalokakaie, Ataei, y Kazemzadeh, 2015), catalisis (Ahmed, Senthilnathan, Megarajan, y Anbazhagan, 2015; Da Silva Pereira et al., 2015; Ye, Liu, Lai, Lo, y Lee, 2016), capas para protección ultravioleta (Girigoswami, Viswanathan, Murugesan, y Girigoswami, 2015; Lodeiro, Achterberg, Pampín, Affatati, y El-Shahawi, 2016; Shaheen, El-Naggar, Abdelgawad, y Hebeish), textiles y productos médicos (Gaillet y Rouanet, 2015; Piccinno, 2012).

Con respecto a textiles, las aplicaciones de la nanotecnología han dado lugar a la aparición de un nuevo término: textil inteligente. Los textiles inteligentes se agrupan en cinco áreas principalmente: sistemas adaptativos, sistemas de transferencia, ropa inteligente, sistemas de transpondedor, microtecnología y nanotecnología (Tolfree, 2008). El término textil inteligente se deriva del término material inteligente. Un material inteligente se define como un material altamente ingenieril que responde a los estímulos del medio ambiente (Addington, 2005). Este término fue definido en Japón en 1989 (L. Van Langenhove, Hertleer, C. Catrysse, M., Puers, R., Van Egmond, H., Matthijs, D., 2004). Un textil inteligente es aquel que es capaz de identificar estímulos del medio ambiente, reaccionar y adaptarse a ellos por medio de la integración de funcionalidades en la estructura del textil. Los estímulos y respuestas pueden ser eléctricos, térmicos, químicos, magnéticos o de otro origen (L. Van Langenhove, Hertleer, C., 2004).

Se ha observado que la demanda de telas inteligentes para interiores, exteriores, deportes y trabajo se ha incrementado notablemente.

Tan sólo de 1995 a 2011, el crecimiento global fue de un 70 % en textiles técnicos, alcanzando ventas por 133 billones dólares norteamericanos (Gugliuzza y Drioli, 2013).

Sin lugar a dudas, uno de los principales impactos de los textiles puede ser apreciado en su uso estético para decoración de interiores. Desde este punto de vista, la profesión del diseño de interiores ha sido visto como una práctica para proveer estética a un espacio interior para un cliente (Hayles, 2015). Así, los espacios deberán responder a las necesidades personales, además de características funcionales. Los espacios son diseñados y formados con los materiales más apropiados y con una tecnología que deberá estar acorde a los términos sociales, fisiológicos y psicológicos para cumplir con las necesidades del usuario mientras desempeña su función bajo la luz de principios estéticos fundamentales (Fitoz, 2015). De esta manera, se ha relacionado con la moda, diseño lujoso en pequeños espacios, y recientemente esta práctica también se enfoca en proveer un espacio con un medio ambiente saludable y sustentable para que los individuos puedan vivir, trabajar o jugar en él (Hayles, 2015). Con la finalidad de lograr estos objetivos, los textiles han tenido importantes aplicaciones en el diseño de interiores, entre las que destacan los textiles que cuentan con propiedades para repeler las manchas y los que tienen un efecto limpiador como los de la flor de loto o las alas de algunos insectos o bien los textiles antibacteriales (M. F. Ashby, Bréchet, Cebon, y Salvo, 2004).

Por todo lo anterior, esta investigación tiene como propósito revisar el estado del arte acerca de la aplicación de la nanotecnología en los textiles en el campo del interiorismo, así como sus múltiples funciones. Como resultado de esta investigación se describen los tipos de nanotecnologías utilizados en textiles, se explican las características principales que proveen los diferentes tipos de nanopartículas a las fibras, así como los diferentes tipos de fibras que han sido utilizadas. Esto permite un marco de referencia para poder comparar los beneficios que pueden otorgar los nanotextiles, incluyendo auto-limpieza, hidrofobicidad, antimicrobianos, resistencia a los rayos ultravioletas, retardantes del fuego, entre otros. Dado que este es un campo en expansión, los

textiles analizados incluyeron tanto fibras comerciales como aquellas que se encuentran todavía bajo investigación pero que prometen a corto plazo su comercialización en términos de sus propiedades.

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

Esta investigación es de carácter exploratorio, en donde se consideraron 91 fuentes de información que incluyeron artículos publicados en revistas de calidad internacional y libros. Por medio de esta investigación se clasificaron los diferentes tipos de partículas utilizadas para funcionalizar textiles, usos y beneficios de los mismos. También se analizaron las posibles aplicaciones que tienen estos textiles dentro del diseño de interiores. Finalmente, se incluyen los resultados de las pruebas de hidrofobicidad que se realizaron a textiles comerciales. De esta manera, se desarrolló un estado del arte del uso de nanopartículas en textiles para diseño de interiores.

TIPOS DE MATERIALES NANOMÉTRICOS UTILIZADOS EN TEXTILES

La nanotecnología, como ciencia emergente, se ocupa de las dimensiones nanométricas. Nano es un prefijo proveniente del vocablo griego *νανος* que significa diminuto, enano, pequeño (M. Ashby et al., 2009). Este prefijo se utiliza en el sistema internacional (S.I.) de unidades para indicar un factor de 10^{-9} (es decir, multiplicar algo por 0.000000001, o la mil millonésima parte de algo). De manera general, se podría definir a la nanotecnología como la fabricación de materiales, estructuras, dispositivos y sistemas funcionales a través del control y ensamblado de la materia a la escala del nanómetro. ISO define a un nano-objeto como un material con al menos una dimensión externa en la nanoescala, en el rango de 1 nm a 100 nm. Si las tres dimensiones externas están en la nanoescala, las condiciones para ser una nanopartícula están dadas (ISO,

2008). La nanotecnología como ciencia ha tratado de resolver numerosos problemas de la vida diaria. Los textiles no han sido la excepción.

Un textil o fibra es cada uno de los filamentos que, dispuestos en haces, entran en la composición de los hilos y tejidos, ya sean minerales, artificiales, vegetales o animales. Etimológicamente el vocablo textil, proveniente del latín “*textilis*” y derivado de “*texere*” que significa tejer, es definido como todas las telas, entramadas o tejidas, que se usan como materia prima (Díaz, 2013)

Por lo tanto se puede definir como nanotextil, a los textiles que se encuentran conformados por una material en alguna de sus dimensiones externas o estructuras internas en la nano-escala y que permitirán obtener funcionalidades distintas a las del mismo material a escala convencional.

TIPOS DE TEXTILES INTELIGENTES CON APLICACIONES DE NANOPARTÍCULAS

Textiles electro-activos. Los textiles electrónicos son también llamados e-textiles. Este tipo de textiles tienen una fuerte demanda en transportación, comunicación, industria aeroespacial, militar, biomédica y deportiva. La incorporación de materiales electro-activos permite convertir la energía eléctrica en energía mecánica para permitir movimientos biomiméticos (Gugliuzza y Drioli, 2013; Jinlian, 2011). En general, este tipo de materiales actúan en función de temperaturas de fusión o de transición vítrea (Jinlian, Harper, Guoqiang, y Samuel, 2012).

Membranas de memoria de forma. Son otro material con alto potencial de aplicación en textiles. La función básica de este tipo de textiles es deformarse temporalmente y regresar a su forma original bajo la influencia de indicadores externos de temperatura, pH, luz o químicos (Gugliuzza y Drioli, 2013). Este tipo de textiles han enfatizado aspectos estéticos de telas para interiores, detectando cambios de temperatura y reaccionando en la forma prescrita (Chan Vili, 2007).

Geles inteligentes. El uso de geles inteligentes como membranas sensibles en textiles es un área concreta de aplicaciones en ropa de temperatura ajustable, de regulación de la permeabilidad, cubiertas antibacteriales, así como de captura del olor, o bien liberación de nutrientes o fármacos (Gugliuzza y Drioli, 2013; Jinlian et al., 2012).

Textiles de auto-limpieza. Los textiles durables son capaces de preservar sus funciones después de lavarse o limpiarse, mientras ofrecen resistencia a suciedad y químicos. Por esta razón, se han creado cubiertas de autolimpieza capaces de remover contaminantes orgánicos e inorgánicos por dos diferentes mecanismos, ya sea por el ángulo de contacto entre las gotas de humedad, o bien por fotocatalisis (M. Ashby et al., 2009; Gugliuzza y Drioli, 2013). La autolimpieza del primer mecanismo está basada en la hidrofobicidad de las superficies naturales, pero artificialmente se pueden realizar superficies hidrofílicas de limpieza por medio de fotocatalisis (Nosrati et al., 2015).

Textiles antimicrobianos. Los agentes antimicrobianos son utilizados para prevenir efectos indeseables en textiles: la degradación en coloración, pigmentación y deterioro de las fibras; el olor y el aumento de potenciales de riesgo para la salud. Para este fin se han utilizado nanopartículas inorgánicas con gran potencial de aplicación antimicrobial (Dastjerdi y Montazer, 2010).

TIPOS DE TRATAMIENTOS A LOS TEXTILES

Nanocapas. Se ha realizado un importante esfuerzo científico por modificar las superficies después de un tratamiento capaz de cambiar o conferir diferentes propiedades a los textiles. Estos tratamientos incluyen la formación de micro y nano capas. Estos tratamientos pueden ser desarrollados por medio de varios enfoques (Alongi, Carosio, y Malucelli, 2014):

- a) Adsorción de nanopartículas. Este método consiste en la inmersión del textil en una suspensión de nanopartículas acuosa para promover su adsorción en la superficie de la fibra.
- b) Ensemble capa por capa. Este proceso es una evolución del proceso de adsorción de partículas. Consiste en construir una película paso por paso a través de interacciones electrostáticas hasta obtener lo que se conoce como multicapas polielectrolíticas.
- c) Proceso de sol-gel y curado dual. Este método consiste en la síntesis de nuevos materiales de alto grado de homogeneidad a un nivel molecular (Dastjerdi y Montazer, 2010). Está basada en una ruta sintética en dos pasos de reacción llamada hidrólisis y condensación. Con respecto al campo de textiles, este proceso ha recibido especial atención en el desarrollo de textiles inteligentes inhibiendo protección antimicrobial y la radiación ultravioleta. En paralelo, la evolución del proceso sol-gel ha conducido al proceso de curado dual, el cual se usa para preparar capas protectoras orgánicas e inorgánicas a través de una reacción de fotopolimerización seguida por un tratamiento térmico para promover la formación de fases de sílica.
- d) Tratamientos de plasma. La técnica de plasma frío es un tratamiento de superficie a través de la cual pequeños grupos funcionales y compuestos macromoleculares pueden ser injertados a diferentes sustancias. Esta técnica no modifica o altera las propiedades en masa del material tratado. A través de este proceso se pueden a) impregnar en la estructura de superficie y/o en su funcionalización en la presencia de gases no polimerizables como son N₂, H₂, O₂, Ar, NH₃, CO₂, etc.; b) realizar una deposición de películas delgadas en la superficie del material; c) realizar un proceso de polimerización, justo cuando el plasma se activa sobre la superficie y d) realizar una polimerización inducida por plasma de baja presión.
- e) Deposición de biomacromoléculas. La posibilidad de utilizar sistemas retardantes “verdes” para reemplazar los químicos

tradicionales continua. Se han utilizado sistemas basados en aislamiento de proteínas, caseínas y ácidos nucleicos.

Desde el punto de vista de aplicaciones, se han detectado nanoalambres, nanotubos y nanopartículas esféricas. Estos nanomateriales tienen aplicaciones en cortinas, mantelería, tapicería, alfombra, ropa para cama, uniformes médicos, industria aeroespacial y bélica (Tabla 1).

Tabla 1. Diferentes tipos de nanopartículas utilizadas en el sector textil.

Nanopartícula	Fibra	Características	Aplicación en el diseño de interiores	Fuente
Nanoalambres De plata (silvernawires)	Algodón	Alta conductividad eléctrica, resistente a la luz UV, actividad antibacteriana, superhidrofobicidad	Cortinas Mantelería Tapicería	(Nateghi y Shateri-Khalilabad, 2015)
Nanopartículas de dióxido de titanio	Algodón Lana	Semiconductor, fotocatalítico, Antibacteriano, superficie autolimpiable	Alfombras Tapicería	(Bozzi, Yuranova, y Kiwi, 2005; Clouser, Samia, Navok, Al-red, y Burda, 2008; Montazer, 2011; Nosrati et al., 2015)
Nanopartículas de cobre	Nylon	Antifúngica y antimicrobiana	Cojines Cortinas	(Komeily-Nia, Montazer, y Latifi, 2013)
Nanopartículas de oro	Lana	Resistente a la luz ultravioleta y con colores estables	Tapicería Tapetes Ropa para cama	(Johnston y Lucas, 2011)
Nanopartículas de plata	Algodón Poliéster Poliamida Seda Nylon Otras sintéticas	Actividad antibacteriana, antifúngicas	Ropa para cama Alfombras cortinas	(Dubas, Kumlangdudsana, y Potiyaraj, 2006; Durán, Marcato, De Souza, Alves, y Esposito, 2007; Lee, Yeo, y Jeong, 2003; Sataev et al., 2014)
Nanopartículas de dióxido de titanio y óxido de silicio	Poliéster Algodón	Excelentes propiedades ópticas, estabilidad térmica de superficie, largo tiempo de vida, baja toxicidad y protección UV.	Elaboración de muebles, cortinas, tapetes, decoración de interiores de autos e hilos	(Erdem, Cireli, y Erdogan, 2009; Fakin, Stana Kleinschek, Kurečič, y Ojstršek, 2014; Hashemikia y Montazer, 2012)

Nano óxido de aluminio	Poliéster	Resistencia mecánica superior, gran capacidad de carga y de desgaste	Aplicaciones en la industria aeroespacial, automotriz, naval y otras	(Sun, Yang, y Li, 2008a, 2008b)
Nanopartículas de plata con quitosana	Algodón	Antibacteriales y confortables	Aplicaciones en uniformes médicos	(Abdel-Mohsen et al., 2012)
Nanopartículas de óxido de zinc, dióxido de titanio, y plata	Algodón Lana	Antibacteriales	Ropa de niños, textiles para aplicaciones de desgaste y ropa con aplicaciones médicas	(Becheri, 2008; Selvam et al., 2012)

NANOPARTÍCULAS MÁS UTILIZADAS EN EL DISEÑO DE TEXTILES

Nanopartículas de plata. La plata es uno de los agentes antibacteriales y terapéuticos más utilizados debido a que su mecanismo de acción actúa con cerca de 650 especies de bacterias, mientras que el resto de los antibióticos pueden tener un espectro de curación más limitado, de alrededor de 5 a 10 especies de bacterias solamente (Sataev et al., 2014). Este material tiene amplias aplicaciones por su baja toxicidad ante células humanas (Dastjerdi y Montazer, 2010).

Nanopartículas de dióxido de titanio. Estas nanopartículas son un material multifuncional muy atractivo debido a su alta estabilidad y a su potencial de aplicación en autolimpieza, como agente antibacterial y de protección contra luz ultravioleta (Dastjerdi y Montazer, 2010; McIntyre, 2012).

Nanopartículas de óxido de zinc. Este material ha sido utilizado como agente antibacterial en telas de algodón (Dastjerdi y Montazer, 2010). Se caracteriza por sus propiedades ópticas, eléctricas, dermatológicas y antibacteriales (F. Zhang, Yang, J., 2009).

Nanopartículas de óxido de silicio. Este material se utiliza principalmente como retardante del fuego (Erdem et al., 2009).

BENEFICIOS DE LOS NANOTEXTILES

Los nanotextiles brindan soluciones a varias problemáticas a las que se enfrentan los usuarios con el uso de textiles convencionales. Algunos de los beneficios que los nanotextiles tienen son (Roya Dastjerdi, 2010):

- Evitan la descontrolada e indeseada reproducción de microbios que pueden conducir a serios problemas en la salud durante el uso de textiles.
- Disminuyen fenómenos de degradación o decoloración.
- Evitan producción de olores desagradables.
- Disminuyen los riesgos potenciales para la salud
- Permiten mantener una temperatura adecuada y humedad.
- Evitan la presencia de polvo o tierra.
- Evitan manchas en los textiles debido a derrame de alimentos o líquidos
- Evitan los ácaros en los textiles.

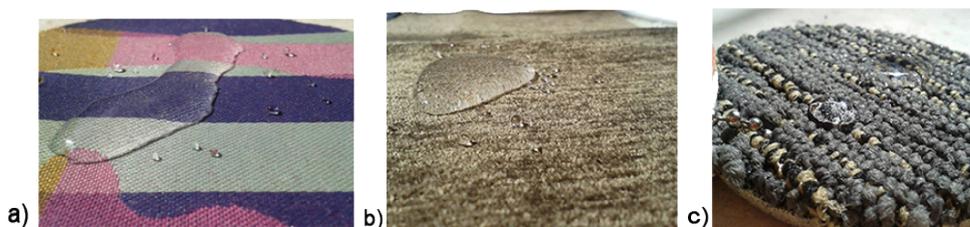
No obstante, la obtención de estos beneficios en los textiles enfrenta el reto del costo y reproducibilidad de las fibras a nivel industrial. Sin embargo, actualmente ya existen variedades de textiles con nanotecnología incorporada al servicio de los usuarios de la decoración de interiores. Desde el punto de vista de la comercialización de los textiles con propiedades nanométricas, a lo largo del planeta existen importantes intentos al respecto. La compañía estadounidense Nano-Tex ha desarrollado y patentado numerosas telas como son Nano Care®, Nano-Dry®, Nano-Pel™ y Nano-Touch™, que cuentan principalmente con propiedades hidrofóbicas como el efecto lotus (Gasman, 2006; Tolfree, 2008). Nano Care y Nano Dry ofertan telas anti-arrugas en telas de algodón (Sawhney et al., 2008). En el mismo sentido, la empresa Nano-Pel ha desarrollado

tecnología con resistencia a las manchas y repelente de aceite que utiliza el concepto de energía de superficie y desarrolla telas hidrofóbicas que se complementan con otros atributos como son respirabilidad, suavidad y confort (Sawhney et al., 2008).

En este sentido se puede destacar a la compañía Aitex, que fue establecida en 1985 como una iniciativa del gobierno español en Valencia. Esta es una de las empresas dedicadas a la elaboración de nanotextiles. Actualmente es un centro dedicado a la investigación, la innovación y servicios técnicos avanzados en el área de textiles. Para esta compañía, el objetivo de la aplicación de la nanotecnología es crear un funcionamiento excepcional en artículos diarios: ropa, telas para mobiliario casero e interiores, telas industriales, etc. Algunas de estas innovaciones incluyen los beneficios de la autolimpieza de los tejidos, la repelencia de virus y bacterias, retardantes de fuego, regulación de temperatura, antiolor, hasta llegar a propiedades como el cambio de color. Esto permite utilizar los nanomateriales en textiles para tapicería de muebles para interiores, como sillas, sillones, cortinas, manteles o recubrimiento en muro (Aitex, 2015).

La compañía Aitex proporcionó a este grupo de investigación un muestrario de telas con propiedades hidrofóbicas. Dichas telas fueron analizadas con el propósito de verificar las propiedades funcionales que poseen. La Figura 1 muestra a) la prueba de hidrofobicidad desarrollada en un textil para uso en mantelería, b) la prueba a una fibra de alfombra y c) la prueba a un textil para tapicería. Como se puede ver, el agua es incapaz de penetrar la fibra.

Figura.1 Resultados de las pruebas de hidrofobicidad a textiles.



RETOS DEL USO DE NANOPARTÍCULAS

Finalmente, es importante mencionar que todavía continúa siendo imprescindible la evaluación de los efectos toxicológicos de las partículas, ya que se ha encontrado evidencia de una posible interacción de las nanopartículas de plata con los riñones, pulmones, médula ósea, cerebro, piel, bazo, ojos, músculos, sangre, intestino delgado, estómago, pulmones, vejiga, próstata, lengua, dientes, glándulas salivales, tiroides, paratiroides, corazón, páncreas y duodeno (Gaillet y Rouanet, 2015). No obstante, es importante destacar que esta interacción no necesariamente estará ligada a enfermedades. Las nanopartículas pueden ser utilizadas en una dosis controlada para imagen diagnóstica (Lo, Wu, y Wu, 2015; Luo et al., 2015; Stone et al., 2015; F. Zhang et al., 2016), liberación controlada de fármacos para diversas enfermedades (Agiotis et al., 2016; X. Chen, Yao, Wang, Chen, y Chen, 2015), tratamiento de infecciones (Allaker y Memarzadeh, 2014; Baelo et al., 2015; d'Angelo et al., 2015) y reparación de tejidos (Albrecht, Evans, y Raston, 2006; Jayaraman et al.; Raftery, Tierney, Curtin, Cryan, y O'Brien, 2015).

CONCLUSIONES

Actualmente, hay varios textiles mejorados con nanopartículas que podrían ser utilizados dentro del diseño de interiores con la capacidad de solucionar las problemáticas más comunes que disminuyen la vida útil de las fibras. Además, se debe destacar que la investigación en el área de nanotextiles todavía presenta muchas oportunidades de desarrollo que permitirán que por medio del trabajo interdisciplinario de la ciencia de materiales, los procesos de producción de textiles y los diseñadores de interiores, se pueda brindar un mejor confort al usuario y un tiempo de vida más largo para los productos de decoración, dado que una de las principales causas del desgaste de las fibras son la luz

ultravioleta, los microbios, las bacterias y los hongos. No obstante, uno de los principales retos todavía es evaluar los efectos toxicológicos de las diferentes nanopartículas utilizadas para este fin.

REFERENCIAS

- Abdel-Mohsen**, A. M., Abdel-Rahman, R. M., Hrdina, R., Imramovsky, A., Burgert, L., y Aly, A. S. (2012). Antibacterial cotton fabrics treated with core-shell nanoparticles. *Int J Biol Macromol*, 50(5), 1245-1253. doi:10.1016/j.ijbiomac.2012.03.018
- Addington**, M., Schodek, D. (2005). *Smart materials and new technologies*. Burlington, MA, USA: Elsevier.
- Agiotis**, L., Theodorakos, I., Samothrakitis, S., Papazoglou, S., Zergioti, I., y Raptis, Y. S. (2016). Magnetic manipulation of superparamagnetic nanoparticles in a microfluidic system for drug delivery applications. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 401, 956-964. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.jmmm.2015.10.111
- Ahmed**, K. B. A., Senthilnathan, R., Megarajan, S., y Anbazhagan, V. (2015). Sunlight mediated synthesis of silver nanoparticles using redox phytoprotein and their application in catalysis and colorimetric mercury sensing. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 151, 39-45. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2015.07.003
- Aitex**. (2015). Aitex: RyD an innovation. Retrieved from <http://www.aitex.es/en/home-ingles/about-aitex>
- Albrecht**, M. A., Evans, C. W., y Raston, C. L. (2006). Green chemistry and the health implications of nanoparticles. *Green Chemistry*, 8(5), 417-432. doi:10.1039/B517131H
- Allaker**, R. P., y Memarzadeh, K. (2014). Nanoparticles and the control of oral infections. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 43(2), 95-104. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2013.11.002
- Alongi**, J., Carosio, F., y Malucelli, G. (2014). Current emerging techniques to impart flame retardancy to fabrics: An overview. *Polymer Degradation and Stability*, 106, 138-149. doi:10.1016/j.polymdegradstab.2013.07.012
- Ashby**, M., Ferreira, P., y Schodek, D. (2009). *Nanomaterials, nanotechnologies and design*. Burlington, MA, USA: Elsevier.

- Ashby**, M. F., Bréchet, Y. J. M., Cebon, D., y Salvo, L. (2004). Selection strategies for materials and processes. *Materials y Design*, 25(1), 51-67. doi:10.1016/s0261-3069(03)00159-6
- Baelo**, A., Levato, R., Julián, E., Crespo, A., Astola, J., Gavaldà, J., . . . Torrents, E. (2015). Disassembling bacterial extracellular matrix with DNase-coated nanoparticles to enhance antibiotic delivery in biofilm infections. *Journal of Controlled Release*, 209, 150-158. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.jconrel.2015.04.028
- Becheri**, A., Dürr, M., Lo Nostro, P., Baglioni, P. (2008). Synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles: application to textiles as UV-absorbers. *Journal of Nanoparticles Research*, 10, 679-689.
- Bera**, A., Garai, P., Singh, R., Prakash Gupta, P., Malav, S., Singh, D., Vaijapurkar, S. G. (2015). Gamma radiation synthesis of colloidal AgNPs for its potential application in antimicrobial fabrics. *Radiation Physics and Chemistry*, 115, 62-67. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem.2015.05.041
- Bozzi**, A., Yuranova, T., y Kiwi, J. (2005). Self-cleaning of wool-polyamide and polyester textiles by TiO₂-rutile modification under daylight irradiation at ambient temperature. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 172(1), 27-34. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.jphotochem.2004.11.010
- Chan Vili**, Y. Y. F. (2007). Investigating Smart Textiles Based on Shape Memory Materials. *Textile Research Journal*, 77(5), 290-300. doi:10.1177/0040517507078794
- Chen**, F., Liu, X., Yang, H., Dong, B., Zhou, Y., Chen, D., . . . Xu, W. (2016). A simple one-step approach to fabrication of highly hydrophobic silk fabrics. *Applied Surface Science*, 360, Part A, 207-212. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.10.186
- Chen**, X., Yao, X., Wang, C., Chen, L., y Chen, X. (2015). Mesoporous silica nanoparticles capped with fluorescence-conjugated cyclodextrin for pH-activated controlled drug delivery and imaging. *Microporous and Mesoporous Materials*, 217, 46-53. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.micromeso.2015.06.012

- Clouser**, S., Samia, A. S., Navok, E., Alred, J., y Burda, C. (2008). Visible-light Photodegradation of Higher Molecular Weight Organics on N-doped TiO₂ Nanostructured Thin Films. *Topics in Catalysis*, 47(1-2), 42-48. doi:10.1007/s11244-007-9037-0
- D'Angelo**, I., Casciaro, B., Miro, A., Quaglia, F., Mangoni, M. L., y Ungaro, F. (2015). Overcoming barriers in Pseudomonas aeruginosa lung infections: Engineered nanoparticles for local delivery of a cationic antimicrobial peptide. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 135, 717-725. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfb.2015.08.027
- Da Silva Pereira**, B., Silva, M. F., Bittencourt, P. R. S., de Oliveira, D. M. F., Pineda, E. A. G., y Hechenleitner, A. A. W. (2015). Cellulose and filter paper as cellulosic support for silver nanoparticles and its thermal decomposition catalysis. *Carbohydrate Polymers*, 133, 277-283. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.06.108
- Dastjerdi**, R., y Montazer, M. (2010). A review on the application of inorganic nano-structured materials in the modification of textiles: Focus on anti-microbial properties. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 79(1), 5-18. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfb.2010.03.029
- Díaz**, L. (2013). Trapitos al arte. *Revista Mundo FESC*, 5, 52-56.
- Dubas**, S. T., Kumlangdudsana, P., y Potiyaraj, P. (2006). Layer-by-layer deposition of antimicrobial silver nanoparticles on textile fibers. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 289(1-3), 105-109. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfa.2006.04.012
- Durán**, N., Marcato, P. D., De Souza, G. I. H., Alves, O. L., y Esposito, E. (2007). Antibacterial Effect of Silver Nanoparticles Produced by Fungal Process on Textile Fabrics and Their Effluent Treatment. *Journal of Biomedical Nanotechnology*, 3(2), 203-208. doi:10.1166/jbn.2007.022
- El-Drieny**, E. A. E. A., Sarhan, N. I., Bayomy, N. A., Elsherbeni, S. A. E., Momtaz, R., y Mohamed, H. E.-D. (2015). Histological and im-

- munohistochemical study of the effect of gold nanoparticles on the brain of adult male albino rat. *Journal of Microscopy and Ultrastructure*, 3(4), 181-190. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.jmau.2015.05.001
- El-Rafie**, M. H., Mohamed, A. A., Shaheen, T. I., y Hebeish, A. (2010). Antimicrobial effect of silver nanoparticles produced by fungal process on cotton fabrics. *Carbohydrate Polymers*, 80(3), 779-782. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.12.028
- El-Rafie**, M. H., Shaheen, T. I., Mohamed, A. A., y Hebeish, A. (2012). Bio-synthesis and applications of silver nanoparticles onto cotton fabrics. *Carbohydr Polym*, 90(2), 915-920. doi:10.1016/j.carbpol.2012.06.020
- Elhalawany**, N., Mossad, M. A., y Zahran, M. K. (2014). Novel water based coatings containing some conducting polymers nanoparticles (CPNs) as corrosion inhibitors. *Progress in Organic Coatings*, 77(3), 725-732. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.porgcoat.2013.12.017
- Erdem**, N., Cireli, A. A., y Erdogan, U. H. (2009). Flame retardancy behaviors and structural properties of polypropylene/nano-SiO₂ composite textile filaments. *Journal of Applied Polymer Science*, 111(4), 2085-2091. doi:10.1002/app.29052
- European Commission**. (2013). *Nanotechnologies: principles, applications, implications and hands-on activities*. Luxemburgo: Publications Office of the European Union.
- Fakin**, D., Stana Kleinschek, K., Kurečić, M., y Ojstršek, A. (2014). Effects of nanoTiO₂-SiO₂ on the hydrophilicity/dyeability of polyester fabric and photostability of disperse dyes under UV irradiation. *Surface and Coatings Technology*, 253, 185-193. doi:10.1016/j.surfcoat.2014.05.035
- Filella**, M. (2012). 1.07 - Nanomaterials. In J. Pawliszyn (Ed.), *Comprehensive Sampling and Sample Preparation* (pp. 109-124). Oxford: Academic Press.

- Fitoz, I.** (2015). Interior Design Education Programs during Historical Periods. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 174, 4122-4129. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.1248
- Gaillet, S., y Rouanet, J. M.** (2015). Silver nanoparticles: Their potential toxic effects after oral exposure and underlying mechanisms - A review. *Food Chem Toxicol*, 77C, 58-63. doi:10.1016/j.fct.2014.12.019
- García-Serrano, L.** (2010). *Influencia de la nanotecnología en el sector textil*. (Doctorado), Instituto Politécnico Nacional, México, D.F.
- Gasman, L.** (2006). *Nanotechnology applications and markets*. Norwood, MA, USA: Artech House, Inc.
- Girigoswami, K., Viswanathan, M., Murugesan, R., y Girigoswami, A.** (2015). Studies on polymer-coated zinc oxide nanoparticles: UV-blocking efficacy and in vivo toxicity. *Materials Science and Engineering: C*, 56, 501-510. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.msec.2015.07.017
- Gugliuzza, A., y Drioli, E.** (2013). A review on membrane engineering for innovation in wearable fabrics and protective textiles. *Journal of Membrane Science*, 446, 350-375. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2013.07.014
- Gulrajani, M. L.** (2013). 12 - The use of nanotechnology in the finishing of technical textiles. In M. L. Gulrajani (Ed.), *Advances in the Dyeing and Finishing of Technical Textiles* (pp. 280-308): Woodhead Publishing.
- Hashemikia, S., y Montazer, M.** (2012). Sodium hypophosphite and nano TiO₂ inorganic catalysts along with citric acid on textile producing multi-functional properties. *Applied Catalysis A: General*, 417-418, 200-208. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.apcata.2011.12.041
- Hayles, C. S.** (2015). Environmentally sustainable interior design: A snapshot of current supply of and demand for green, sustainable or Fair Trade products for interior design practice. *Internatio-*

- nal Journal of Sustainable Built Environment*, 4(1), 100-108. doi:10.1016/j.ijbsbe.2015.03.006
- Herea**, D. D., Chiriac, H., Lupu, N., Grigoras, M., Stoian, G., Stoica, B. A., y Petreus, T. (2015). Study on iron oxide nanoparticles coated with glucose-derived polymers for biomedical applications. *Applied Surface Science*, 352, 117-125. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.03.137
- Hu**, L., Pfirman, A., y Chumanov, G. (2015). Stabilization of 2D assemblies of silver nanoparticles by spin-coating polymers. *Applied Surface Science*, 357, Part B, 1587-1592. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.10.029
- INEGI**. (2013). *La industria textil y del vestido en México 2013*. Retrieved from México, D.F.:
- ISO, I. O. f. S.** (2008). *Technical specification ISO/TS 27687:2008* (E). París Francia: International Organization for Standardization ISO
- Jayaraman**, P., Gandhimathi, C., Venugopal, J. R., Becker, D. L., Ramakrishna, S., y Srinivasan, D. K. Controlled release of drugs in electrosprayed nanoparticles for bone tissue engineering. *Adv Drug Deliv Rev*. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.addr.2015.09.007
- Jinlian**, H. (2011). *Adaptive and Functional Polymers, Textiles and Their Applications*. London: Imperial College Press.
- Jinlian**, H., Harper, M., Guoqiang, L., y Samuel, I. I. (2012). A review of stimuli-responsive polymers for smart textile applications. *Smart Materials and Structures*, 21(5), 053001. Retrieved from http://stacks.iop.org/0964-1726/21/i=5/a=053001
- Johnston**, J., y Lucas, K. (2011). Nanogold synthesis in wool fibres: novel colourants. *Gold Bulletin*, 44(2), 85-89. doi:10.1007/s13404-011-0012-y
- Katz**, L. M., Dewan, K., y Bronaugh, R. L. Nanotechnology in cosmetics. *Food and Chemical Toxicology*. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2015.06.020

- Komeily-Nia, Z.,** Montazer, M., y Latifi, M. (2013). Synthesis of nano copper/nylon composite using ascorbic acid and CTAB. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 439, 167-175. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfa.2013.03.003
- Lee, H. J.,** Yeo, S. Y., y Jeong, S. H. (2003). Antibacterial effect of nanosized silver colloidal solution on textile fabrics. *Journal of Materials Science*, 38(10), 2199-2204. doi:10.1023/A:1023736416361
- Liu, J.,** Li, Q., y Xu, S. (2015). Influence of nanoparticles on fluidity and mechanical properties of cement mortar. *Construction and Building Materials*, 101, Part 1, 892-901. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.149
- Lo, S.-H.,** Wu, M.-C., y Wu, S.-P. (2015). A turn-on fluorescent sensor for cysteine based on BODIPY functionalized Au nanoparticles and its application in living cell imaging. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 221, 1366-1371. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.snb.2015.08.015
- Lodeiro, P.,** Achterberg, E. P., Pampín, J., Affatati, A., y El-Shahawi, M. S. (2016). Silver nanoparticles coated with natural polysaccharides as models to study AgNP aggregation kinetics using UV-Visible spectrophotometry upon discharge in complex environments. *Science of The Total Environment*, 539, 7-16. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.115
- Lu, P.-J.,** Huang, S.-C., Chen, Y.-P., Chiueh, L.-C., y Shih, D. Y.-C. (2015). Analysis of titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles in cosmetics. *Journal of Food and Drug Analysis*, 23(3), 587-594. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.jfda.2015.02.009
- Luo, Y.,** Yang, J., Li, J., Yu, Z., Zhang, G., Shi, X., y Shen, M. (2015). Facile synthesis and functionalization of manganese oxide nanoparticles for targeted T1-weighted tumor MR imaging. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 136, 506-513. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfb.2015.09.053
- McIntyre, R. A.** (2012). Common nano-materials and their use in real world applications. *Science Progress*, 95(1), 1. Retrieved from

<http://ezproxy.uacj.mx/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edbyAN=73822846&lang=es&site=eds-live>

- Montazer**, M., Seifollahzadeh, S. (2011). Enhanced Self-cleaning, Antibacterial and UV Protection Properties of Nano TiO₂ Treated Textile through Enzymatic Pretreatment. *Photochemistry and Photobiology*, 87, 877-883.
- Mura**, S., Greppi, G., Malfatti, L., Lasio, B., Sanna, V., Mura, M. E., . . . Lugliè, A. (2015). Multifunctionalization of wool fabrics through nanoparticles: A chemical route towards smart textiles. *J Colloid Interface Sci*, 456, 85-92. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jcis.2015.06.018>
- Nateghi**, M. R., y Shateri-Khalilabad, M. (2015). Silver nanowire-functionalized cotton fabric. *Carbohydrate Polymers*, 117, 160-168. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.09.057>
- Nosrati**, R., Olad, A., y Nofouzi, K. (2015). A self-cleaning coating based on commercial grade polyacrylic latex modified by TiO₂/Ag-exchanged-zeolite-A nanocomposite. *Applied Surface Science*, 346, 543-553. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.apusc.2015.04.056>
- Padmavathy**, N., Vijayaraghavan, R. (2008). Enhanced bioactivity of ZnO nanoparticles—an antimicrobial study. *Science and technology of advanced materials*, 9(035004), 1-7.
- Pandurangan**, M., y Kim, D. H. (2015). ZnO nanoparticles augment ALT, AST, ALP and LDH expressions in C2C12 cells. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 22(6), 679-684. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.sjbs.2015.03.013>
- Pasqui**, D., y Barbucci, R. (2014). Synthesis, characterization and self cleaning properties of titania nanoparticles grafted on polyester fabrics. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 274, 1-6. doi:10.1016/j.jphotochem.2013.08.017
- Piccinno**, F. G., F., Seeger, S., Nowack, B. (2012). Industrial production quantities and uses of ten engineered nanomaterials in Europe and the world. *Journal of Nanoparticles Research*, 14, 1109.

- Pinho**, L., Rojas, M., y Mosquera, M. J. (2015). Ag–SiO₂–TiO₂ nanocomposite coatings with enhanced photoactivity for self-cleaning application on building materials. *Applied Catalysis B: Environmental*, 178, 144-154. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.apcatb.2014.10.002
- Quispe-Chejo**, V. H. (2010). Aplicaciones industriales de la Nanotecnología. *Revista de Información, Tecnología y Sociedad*(5), 58-61.
- Raftery**, R. M., Tierney, E. G., Curtin, C. M., Cryan, S.-A., y O'Brien, F. J. (2015). Development of a gene-activated scaffold platform for tissue engineering applications using chitosan-pDNA nanoparticles on collagen-based scaffolds. *Journal of Controlled Release*, 210, 84-94. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.jconrel.2015.05.005
- Sataev**, M. S., Koshkarbaeva, S. T., Tleuova, A. B., Perni, S., Aidarova, S. B., y Prokopovich, P. (2014). Novel process for coating textile materials with silver to prepare antimicrobial fabrics. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 442, 146-151. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfa.2013.02.018
- Sawhney**, A. P. S., Condon, B., Singh, K. V., Pang, S. S., Li, G., y Hui, D. (2008). Modern Applications of Nanotechnology in Textiles. *Textile Research Journal*, 78(8), 731-739. doi:10.1177/0040517508091066
- Sayes**, C. M., y Santamaria, A. B. (2014). Chapter 5 - Toxicological Issues to Consider When Evaluating the Safety of Consumer Products Containing Nanomaterials. In M. S. Hull y D. M. Bowman (Eds.), *Nanotechnology Environmental Health and Safety (Second Edition)* (pp. 77-115). Oxford: William Andrew Publishing.
- Selvam**, S., Rajiv Gandhi, R., Suresh, J., Gowri, S., Ravikumar, S., y Sundrarajan, M. (2012). Antibacterial effect of novel synthesized sulfated beta-cyclodextrin crosslinked cotton fabric and its improved antibacterial activities with ZnO, TiO₂ and Ag nanoparticles coating. *Int J Pharm*, 434(1-2), 366-374. doi:10.1016/j.ijpharm.2012.04.069

- Shaheen**, T. I., El-Naggar, M. E., Abdelgawad, A. M., y Hebeish, A. Durable antibacterial and UV protections of in situ synthesized Zinc oxide nanoparticles onto cotton fabrics. *Int J Biol Macromol.* doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.11.003
- Shen**, S.-C., Ng, W. K., Dong, Y.-C., Ng, J., y Tan, R. B. H. (2016). Nanostructured material formulated acrylic bone cements with enhanced drug release. *Materials Science and Engineering: C*, 58, 233-241. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.msec.2015.08.011
- Sierra-Rodero**, M., Fernández-Romero, J. M., y Gómez-Hens, A. (2011). Photometric determination of thioglycolic acid in cosmetics by using a stopped-flow reverse flow-injection system and the formation of gold nanoparticles. *Microchemical Journal*, 97(2), 243-248. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.microc.2010.09.011
- Soltanian**, H., Khalokakaie, R., Ataei, M., y Kazemzadeh, E. (2015). Fe₂O₃ nanoparticles improve the physical properties of heavy-weight wellbore cements: A laboratory study. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 26, 695-701. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.jngse.2015.06.004
- Stone**, R. C., Fellows, B. D., Qi, B., Trebatoski, D., Jenkins, B., Raval, Y., . . . Mefford, O. T. (2015). Highly stable multi-anchored magnetic nanoparticles for optical imaging within biofilms. *J Colloid Interface Sci*, 459, 175-182. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.jcis.2015.08.012
- Sun**, L.-H., Yang, Z.-G., y Li, X.-H. (2008a). Tensile and tribological properties of PTFE and nanoparticles modified epoxy-based polyester fabric composites. *Materials Science and Engineering: A*, 497(1-2), 487-494. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2008.07.049
- Sun**, L.-H., Yang, Z.-G., y Li, X.-H. (2008b). Tensile and tribological properties of PTFE and nanoparticles modified epoxy-based polyester fabric composites. *Materials Science and Engineering: A*, 497(1-2), 487-494. doi:10.1016/j.msea.2008.07.049
- Tolfree**, D., Jackson, M. (2008). *Commercializing micro-nanotechnology products*. Boca Ratón, FL: CRC Press.

- Van Langenhove, L., Hertleer, C. (2004).** Smart clothing: a new life. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 16(12), 63-72.
- Van Langenhove, L., Hertleer, C. Catrysse, M., Puers, R., Van Egmond, H., Matthijs, D. (2004).** *Smart textiles*. Amsterdam: IOS Press.
- Virovska, D., Paneva, D., Manolova, N., Rashkov, I., y Karashanova, D. (2016).** Photocatalytic self-cleaning poly(l-lactide) materials based on a hybrid between nanosized zinc oxide and expanded graphite or fullerene. *Materials Science and Engineering: C*, 60, 184-194. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.msec.2015.11.029
- Wasmuth, C., Rüdell, H., Düring, R.-A., y Klawonn, T. (2016).** Assessing the suitability of the OECD 29 guidance document to investigate the transformation and dissolution of silver nanoparticles in aqueous media. *Chemosphere*, 144, 2018-2023. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.10.101
- Wijesena, R. N., Tissera, N. D., Perera, R., Nalin de Silva, K. M., y Amaratunga, G. A. J. (2015).** Slightly carbomethylated cotton supported TiO₂ nanoparticles as self-cleaning fabrics. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 398, 107-114. doi:10.1016/j.molcata.2014.11.012
- Xu, B., Cai, Z., Wang, W., y Ge, F. (2010).** Preparation of superhydrophobic cotton fabrics based on SiO₂ nanoparticles and ZnO nanorod arrays with subsequent hydrophobic modification. *Surface and Coatings Technology*, 204(9-10), 1556-1561. doi:10.1016/j.surfcoat.2009.09.086
- Ye, J.-S., Liu, Z.-T., Lai, C.-C., Lo, C.-T., y Lee, C.-L. (2016).** Diameter effect of electrospun carbon fiber support for the catalysis of Pt nanoparticles in glucose oxidation. *Chemical Engineering Journal*, 283, 304-312. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2015.07.071
- Zanetta, M., Quirici, N., Demarosi, F., Tanzi, M. C., Rimondini, L., y Fare, S. (2009).** Ability of polyurethane foams to support cell proliferation and the differentiation of MSCs into osteoblasts. *Acta Biomater*, 5(4), 1126-1136. doi:10.1016/j.actbio.2008.12.003

- Zhang**, F., Kong, X.-Q., Li, Q., Sun, T.-T., Chai, C., Shen, W., . . . Zhang, Y.-K. (2016). Facile synthesis of CdTe@GdS fluorescent-magnetic nanoparticles for tumor-targeted dual-modal imaging. *Talanta*, 148, 108-115. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.talanta.2015.10.046>
- Zhang**, F., Yang, J. (2009). Preparation of Nano-ZnO and Its Application to the Textile on Antistatic Finishing. *International Journal of Chemistry*, 1(1), 18-22.