

Recibido: 12.02.2018 | Aceptado: 22.05.2018

**Palabras clave:** Nanofibras, nanomateriales, nanotecnología, ropa y textiles inteligentes.

# La ropa inteligente, una importante aplicación de la nanotecnología

**GABRIELA NAVARRO TOVAR**

*gnavarro@conacyt.mx*

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS y CICSAB, UASLP

**JAZMÍN HAIDÉ MARTÍNEZ CASTILLO**

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, UASLP

**MARÍA DEL CARMEN GONZÁLEZ CASTILLO**

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS y CICSAB, UASLP





Desde la magnífica conferencia “There is Plenty Room at the Bottom” (“Hay suficiente espacio en el fondo”) de Richard Feynman, el 29 de diciembre de 1959 en el Instituto de Tecnología de California (CalTech) en Estados Unidos de América, la nanotecnología ha surgido y ha ganado espacios científicos y comerciales importantes, incluso en la industria textil al posibilitar funciones novedosas en las prendas de vestir, ¿te imaginas usar una playera que cambie de color con la temperatura de tu cuerpo?, o mejor aún, ¿qué te parece una chamarra con fibras textiles conductoras de electricidad? Así podrías conectar tu dispositivo móvil; tal vez esa chamarra tenga sensores que determinen tu temperatura corporal o cambios en la presión arterial y se lean a través de una aplicación en la pantalla de un celular.

La industria textil, que abarca la obtención de fibras de fuentes naturales o sintéticas, el hilado, tejido y tintado de materiales, ofrece actualmente textiles con características específicas, estos son conocidos como inteligentes, por responder a algún estímulo eléctrico, mecánico, térmico, óptico o magnético. Con ellos se pueden elaborar prendas de vestir a prueba de agua e incluso resistentes a condiciones climáticas extremas y/o adversas (temperaturas extremas, incendios y aeronáutica). Existen otras prendas de vestir en desarrollo que contienen hilos o tintas con propiedades semiconductoras que llegan a dispositivos móviles, éstas se conocen como textiles interactivos o electrónicos (Syduzzaman, 2015).

Gran parte de las investigaciones y desarrollos comerciales de prendas inteligentes se apoya en el uso de nanomateriales para conferir diferentes funcionalidades al material textil, de esta manera generan una respuesta factible. Por lo general, las modificaciones nanotecnológicas buscan la resistencia, seguridad, durabilidad e innovación para mejorar su utilidad. Pero, ¿cómo proporcionan los nanomateriales dichas características a la prenda de vestir? Las nanoestructuras tienen al menos una de sus dimensiones en el rango de 1 a 100 nanómetros (nm); es decir, alrededor de una millonésima de centímetro, así que sus electrones se ven confinados en un espacio muy reducido (1 000 veces más pequeño que el diámetro de un cabello), y proporcionan las propiedades mecánicas,

eléctricas y fluorescentes tan peculiares de los nanomateriales.

Como ocurre en otras áreas de la ciencia, la nanotecnología aplicada a textiles busca imitar diseños de la naturaleza. Por ejemplo, las hojas de algunas plantas no permiten que se les adhiera el agua o polvo. Los científicos entonces, investigan las moléculas involucradas en dichos mecanismos repelentes y transfieren sus características a pantalones para que repelan el agua. Dichas coberturas también podrían ir más lejos, pues utilizarán nanopartículas que se adherirán a la superficie del cuerpo y servirán como nanosistemas de degradación de contaminantes ambientales. Además, los textiles inteligentes pueden tener un tiempo de vida superior a los convencionales (Zhu *et al.*, 2012). Las investigaciones y fabricación de este tipo de textiles involucran una alta inversión económica para la empresa o institución que los desarrolla, es particularmente elevada para los textiles interactivos. Sin embargo, la funcionalidad que adquiere el producto impide compararla con una prenda de vestir convencional, lo que es benéfico, pues se incrementan las posibilidades de demanda por parte de los consumidores y se compensa la inversión.

### La nanotecnología como pieza clave en el diseño de telas inteligentes

Las innovaciones nanotecnológicas en la industria textil abarcan tres áreas:

- a) La producción de nanofibras textiles de polímeros o fibras con nanopartículas, las cuales tienen mayor capacidad de absorción que las convencionales, debido a la gran cantidad de nanocapas que integran la tela y en donde cada na-



Las modificaciones nanotecnológicas buscan mayor resistencia, seguridad, durabilidad e innovación.

nofibra puede medir de 50 a 500 nanómetros.

- b) La elaboración de nanohilos, cuyos principales componentes son nanotubos de carbono y nanotejidos con nanocápsulas/microcápsulas con diá-

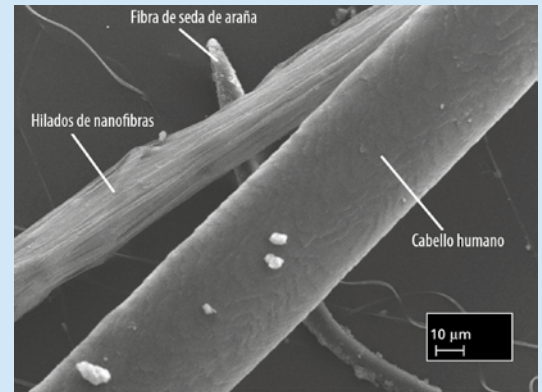


Figura 1. Micrografía electrónica que permite visualizar la comparación entre el diámetro de un cabello humano, la fibra de la seda de araña y un hilado de nanofibras. La línea del cuadro negro en la parte inferior derecha, muestra el espacio representativo de 10 micrómetros ( $\mu\text{m}$ ). Se observa que el hilo está conformado por varias nanofibras, cada una de un diámetro en el orden de nanómetros. Esta fibra es obtenida por una técnica llamada electrohilado, que puede producir 3 720 nanofibras por sección y 180 metros de hilo por hora, aproximadamente. Imagen obtenida de Smit, E., Buttner, U., Sanderson, R. D. (2007). *Continuous yarns from electrospun fibers*. En Brown, P.J., Stevens, K., (Editores), *Nanofiber and nanotechnology in textiles* (p. 60). Cambridge, England: Elsevier.

Funcionalidad conferida por el nanomaterial	Naturaleza química del nanomaterial <sup>1,2</sup>							
	Óxido de:							
	Ag	Zn	Si	Ti	Al	NC	CNT	
Resistencia a la abrasión mecánica	X	X	X		X	X		
Vehículo de sustancias activas			X			X		
Antimicrobiana	X	X		X				
Antiestática	X						X	
Resistencia a abrasión por sustancias químicas			X		X			
Repelente de manchas y polvo		X	X	X				
Conductividad eléctrica	X						X	
Retardante de fuego			X	X	X	X	X	
Fotocatalítica		X		X				
Autolimpieza	X	X	X	X				
Absorción de la luz ultravioleta		X		X				
Repelente de agua		X	X	X				

<sup>1</sup> Cuadro adaptado de Empa Material science and Tecnology, Swiss Textiles (Empa,2011).

<sup>2</sup> Ag: plata; Zn: zinc; Si: silicio; Ti: titanio; NC: nanoarcillas; CNT: nanotubos de carbono.

Cuadro 1. Funcionalidad que adquiere el textil al incorporar nanomateriales de diferente naturaleza.

metros de 150 nm hasta unas cuantas micras en la superficie (figura 1).  
c) La incorporación de nanomateriales funcionales (ejemplo: nanopartículas metálicas) como recubrimientos o acabados a la tela (Singh, 2017). En el cuadro 1 se resumen algunas de las funcionalidades que adquieren los textiles con la incorporación de diversos nanomateriales, destaca la resistencia al agua, antibacteriales, antiolores, bloqueadores de luz UV y liberadores de fármacos.

En la actualidad, existen empresas que aplican películas de nanomateriales a sus textiles o están innovando en la creación de prendas funcionales y varios de ellos ya están en el mercado. Como ejemplo, la compañía Nanotex, fundada en 1998 en Estados Unidos de América, produce telas modificadas con nanomateriales y es proveedora de marcas como Fisher Price, Nike, Cherokee, entre otras. La funcionalidad de sus productos incluyen resistencia al agua y manchas, antiarrugas y antiolores, todo ello con procesos de producción amigables con el ambiente. Otra compañía es Outlast, que inicialmente desarrolló tecnología aplicable a los trajes espaciales para las misiones de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA, por sus siglas en inglés); hoy en día vende fibras y textiles modificados con microcápsulas de materiales de cambio de fase, que absorben el calor y lo liberan cuando cambia la temperatura externa, por lo que las prendas elaboradas con esta tecnología, permiten que

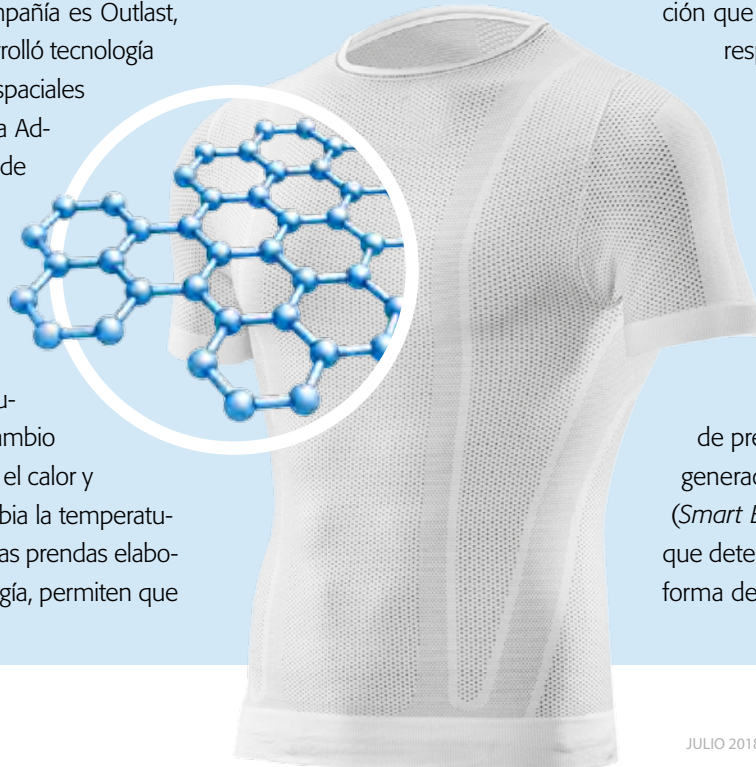
el usuario mantenga una temperatura agradable a pesar de las condiciones climatológicas. Para el área médica, la compañía alemana 3tecks Medical® comercializa gasas, bandas y otros materiales de curación con recubrimientos antibacteriales, como partículas de óxido de zinc. Un ejemplo más son las compañías Nano Silver Facturing y Nanotex LLC que ponen a la venta prendas de vestir, calcetines, playeras y ropa deportiva con acabados de nanopartículas de plata y cobre, respectivamente. Las prendas liberan al usuario del mal olor causado por sudoración, previenen y ayudan al tratamiento de infecciones en la piel. Los calcetines Nano Silver son recomendados para personas diabéticas como auxiliar en la prevención de infecciones derivadas de pie diabético.

En México, reconocidos centros e institutos de investigación trabajan en el desarrollo de nanofibras y fibras modificadas con nanomateriales para adquirir conocimiento científico y generar potenciales patentes. Es así como el

Departamento de Materiales Avanzados y de Procesos de Transformación del Centro de Investigación en Química Aplicada en la ciudad de Saltillo, Coahuila, trabaja en el desarrollo de nanofibras inteligentes; por su parte, el Centro e Investigación en Biotecnología Aplicada del Instituto Politécnico Nacional desarrolla nanopartículas de plata con metodologías amigables con el ambiente, con aplicaciones en textiles con propiedades antibacteriales.

### Clasificación de los textiles con nanotecnología

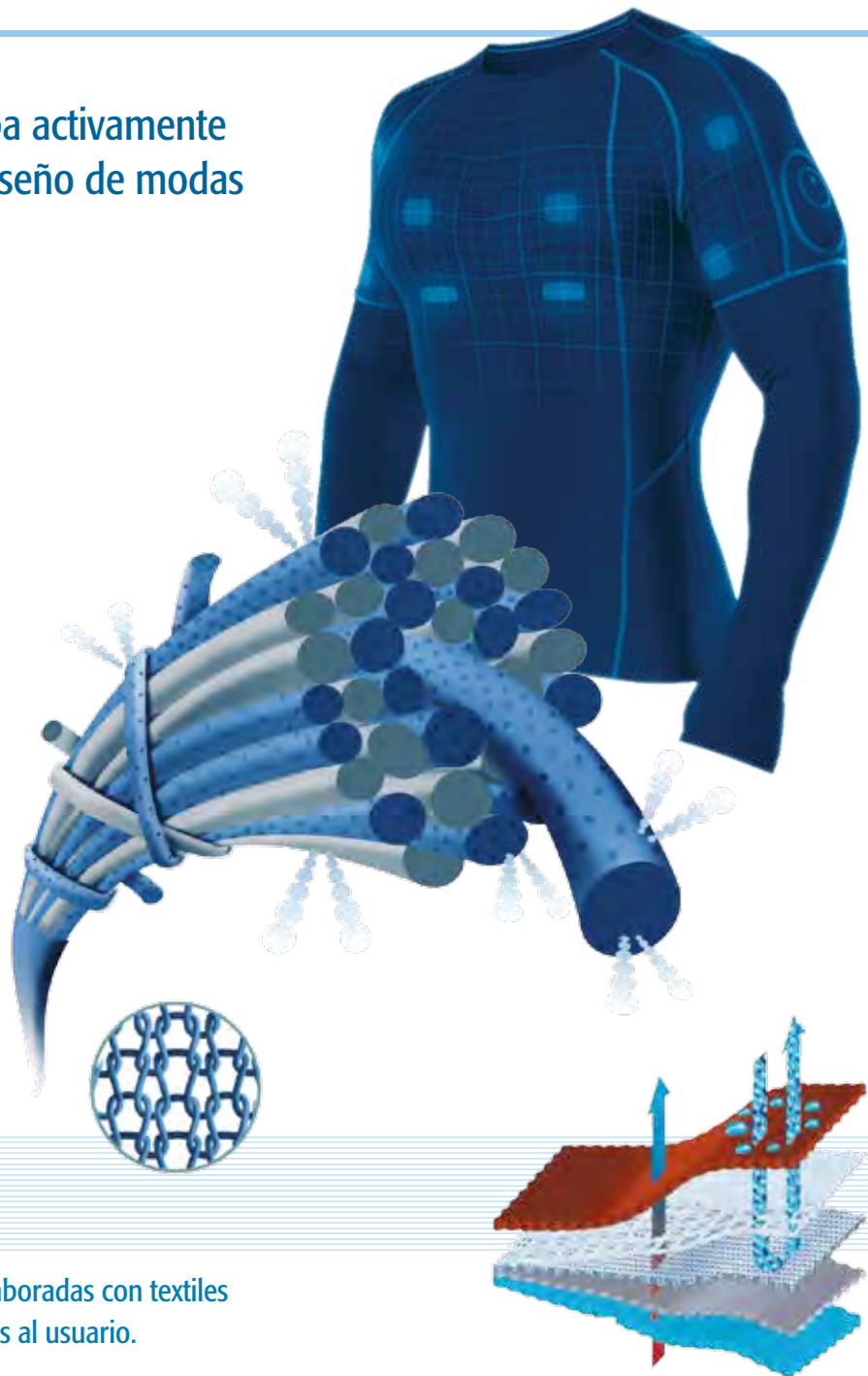
De acuerdo con Syduzzaman y colaboradores (2015), los textiles inteligentes se pueden clasificar en pasivos, activos y muy activos, según su reacción a estímulos fisicoquímicos; por ejemplo, cambios de pH, luz o temperatura. Los textiles pasivos corresponden a la primera generación de estos materiales y confieren capacidades aislantes, antimicrobianas, a prueba de balas, entre otras, pero no regulan su funcionalidad en respuesta a un cambio externo. Los textiles activos son la segunda generación que ya adapta su funcionalidad en respuesta a cambios en el medio ambiente, como ejemplos están los materiales camaleónicos y termoreguladores. Por último, los muy activos, la tercera generación de textiles que pueden registrar, reaccionar y adaptarse a un estímulo externo. Como ejemplo de prendas con textiles de la tercera generación, está el brasier inteligente (*Smart Bra*), una invención australiana que detecta movimiento y se ajusta a la forma de los senos para generar mayor



## La nanotecnología participa activamente en la industria textil y el diseño de modas

Los nanomateriales incorporados a los “textiles inteligentes”, responden a estímulos del medio ambiente, como cambios de temperatura.

Las telas inteligentes con nanotecnología se producen con materia prima a escala nanométrica (1 nanómetro es un espacio 1 000 veces más pequeño que el diámetro de un cabello), es decir: *a)* con fibras textiles de una longitud de 50 a 500 nanómetros, *b)* con hilos de nanotubos de carbono o nanohilos con cápsulas cuyos diámetros pueden variar de 150 nanómetros hasta unas cuantas micras, y *c)* recubrimientos con nanomateriales en la superficie de la tela.



### La ropa inteligente son prendas de vestir elaboradas con textiles que proporcionan diferentes funcionalidades al usuario.

Los **textiles camaleónicos** se utilizan en playeras, contienen un agente nanotecnológico que modifica el color de la prenda en respuesta a cambios en intensidad de luz o calor.

Los **cosmetotextiles** tienen microcápsulas con moléculas aromáticas; la fricción de la piel con la tela las rompe, así liberan aroma y proporcionan una sensación de bienestar al usuario.

Existen también productos elaborados con **textiles electrónicos** que contienen fibras o nanopartículas metálicas conductoras de electricidad; pueden conectarse a dispositivos móviles o se les puede dar usos biomédicos, como la rodillera inteligente, que ayuda a prevenir lesiones deportivas.

Por su parte, los **textiles terapéuticos** contienen fibras eléctricas para fungir como biosensores para el diagnóstico de enfermedades, o contienen nanopartículas que poseen propiedades antibacteriales, es el caso de los calcetines con nanopartículas de plata para prevenir el pie diabético.

Otros textiles son los asociados con **uso militar y actividades en condiciones extremas**, que contienen nanotubos de carbono, grafeno y/o nanopartículas metálicas que le proporcionan resistencia a altas temperaturas o al impacto de armas de fuego.

comodidad a la usuaria. Es ideal para mujeres deportistas o en actividades físicas constantes.

La clasificación de los textiles inteligentes puede variar en las referencias (Syduzzaman *et al.*, 2015; Yetisen *et al.*, 2016). De manera general, dichos textiles pueden clasificarse de acuerdo con su uso en:

- **Camaleónicos.** Cambian de color en función de condiciones externas. El agente que modifica al textil responde a un estímulo (luz, calor, electricidad o presión). Los más comunes son los fotocromáticos, que cambian de color de forma reversible al ser expuestos a la luz (principalmente radiación ultravioleta). Estos materiales se modifican adicionándoles microcápsulas que contengan agregados de colorantes sensibles a la luz, así permiten que las reacciones fotoquímicas incrementen su velocidad y se encuentren en fase líquida en la cápsula. Un ejemplo son las playeras que cambian de color al ser expuestas a la luz del sol.
- **Cosmetotextiles.** Tienen diferentes propiedades especiales, como el desprendimiento de aromas y la generación de una sensación de bienestar. Generalmente, las moléculas aromáticas se microencapsu-

lan y fijan a la ropa. La fricción de la piel con la tela rompe dichas cápsulas y desprende las moléculas de su interior. Algunas de estas prendas pueden soportar varios ciclos de lavado antes de perder su funcionalidad.

- **Electrónicos.** Estos sofisticados textiles brindan un sistema de conducción eléctrica, al incorporar materiales conductores o semiconductores. Los tejidos pueden obtenerse a partir de fibras metálicas, de nanotubos de carbono o bien, de nanopartículas aplicadas en su superficie. Algunos de sus usos son: conectar dispositivos móviles, almacenar energía solar, incluso conectar equipos con aplicaciones biomédicas. Un ejemplo es la rodillera inteligente desarrollada en Australia, sus materiales conductores a base de polímeros ayudan al deportista a prevenir lesiones a largo plazo (figura 2).
- **Terapéuticos o de diagnóstico médico.** Este tipo de textiles se modifican con fibras que poseen propiedades terapéuticas para coadyuvar en terapias médicas, o bien fibras eléctricas y digitales capaces de fungir como sensores para diagnóstico de enfermedades. Por lo que quizás, son de los textiles más relevantes que se diseñan en la actualidad. Algunos de los productos comerciales incluyen calcetines con nanopartículas de plata para prevenir infecciones en personas con diabetes, gasas con agentes cic-

trizantes y, además, se encuentran en investigación materiales textiles capaces de suministrar fármacos. Otros recubrimientos con nanopartículas de naturaleza metálica y sus óxidos brindan propiedades antibacterianas. Un caso atractivo es el que ofrece la compañía Xelflex para diseñar ropa deportiva inteligente capaz de monitorear presión sanguínea, temperatura, pérdida de humedad corporal y otros parámetros que alertan al atleta de posibles riesgos a su salud (Yetisen *et al.*, 2016).

- **Uso militar y actividades en condiciones extremas.** Estas prendas inteligentes se desarrollan con diversas funcionalidades: resistencia a condiciones climáticas extremas y al impacto de armas de fuego, control de temperatura, adaptación de circuitos electrónicos para conectar dispositivos móviles y continuar la comunicación en sitios de trabajo donde no se tiene acceso a corrientes eléctricas. Para ello, se utilizan diversos nanomateriales como nanotubos de carbono, grafeno y nanopartículas metálicas.

### Controversias en el uso de textiles inteligentes modificados con nanomateriales

Los textiles inteligentes son hoy en día una realidad, ofrecen a la sociedad alternativas tecnológicas que mejoran la comodidad y calidad de vida al generar novedosos cambios en la forma de vestir, hábitos e incluso la facilidad para administrar medicamentos. Sin embargo, además de sus aplicaciones, se debe considerar su impacto a largo plazo en el cuerpo humano, así como en el medio ambiente. Un ejemplo es la



Figura 2. La rodillera inteligente es un dispositivo desarrollado por el Instituto de Investigación de Polímeros inteligentes y Ciencias Biomédicas en la Universidad de Wollongong y la Organización Commonwealth de Tecnología de Textiles y Fibras para Investigación Científica e Industrial (CSIRO) de Australia. Usa sensores de un polímero (polipirrol) que monitorea los movimientos de las articulaciones durante saltos y aterrizajes del deportista para ayudarlo a corregir su postura y evitar lesiones futuras. Los sensores están conectados a un microcontrolador que emite un sonido cuando el movimiento de la rodilla está fuera de un ángulo preestablecido. (Tomado de Wallace y colaboradores, 2007. Recuperado de: <http://ro.uow.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?article=2300&context=scipapers>).



**GABRIELA  
NAVARRO TOVAR**

Doctora en Ingeniería Química. Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, The University of Western Ontario, Canadá. Es Investigadora cátedra Conacyt adscrita a la Facultad de Ciencias Químicas, y colaboradora del Centro de Investigación en Ciencias de la Salud y Biomedicina de la UASLP y miembro del Sistema Nacional de Investigadores, Nivel C.



piel, un órgano sensible en el que pueden generarse diversas reacciones por la interacción con los nanomateriales.

Además, la nanotoxicología, que es el estudio de los efectos dañinos de los nanomateriales en organismos vivos, aún presenta información controversial en lo referente a la exposición a nanoestructuras en el corto, mediano y largo plazo. Asimismo, los textiles inteligentes prometen durar más que uno convencional, por lo que aminoran la generación de basura textil; sin embargo, ¿qué pasará cuando la prenda de vestir finalmente sea descartada por el usuario?, ¿qué efecto tendrán los nanomateriales de prendas textiles cuando entren en contacto con agua, aire y suelos? A las nanociencias y a la nanotecnología les hace falta resolver varias incógnitas relacionadas con la seguridad y tranquilidad de la sociedad.

Algunos proyectos generados por investigadores de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí adscritos a la Facultad de Ciencias Químicas y al Centro de Ciencias de la Salud y Biomedicina (CICSAB), se enfocan en estudios fisicoquímicos de moléculas de interés biomédico, así como la evaluación de nanovacunas, nanomedicamentos y biosensores. Particularmente, el Laboratorio de Fisiología Celular (Facultad de Ciencias Químicas) y el Laboratorio de Nanobiología (CICSAB), desarrollan metodologías para evaluar los efectos positivos, nulos o adversos de diversos nanomateriales en sistemas biológicos. Las investigaciones en este sentido se realizan en cultivos celulares de diversos tipos y en modelos de órganos aislados, como corazón, arterias e intestino.

Los modelos biológicos son expuestos a diferentes concentraciones de nanomateriales, por ejemplo, nanopartículas de oro o plata, nanotubos de carbono y otros materiales. En el caso de órganos aislados, particularmente el corazón, se registran los cambios en la contractilidad del músculo cardíaco, niveles de proteínas y otras moléculas que sugieran un daño al tejido y la acumulación de los nanomateriales en el tejido expuesto.

Esta información toxicológica es de vital importancia para entender la bioseguridad de los productos comerciales que actualmente surgen a pasos acelerados y que se incorporan de forma masiva en la sociedad, es el caso de los textiles modificados con herramientas nanotecnológicas. Los resultados de investigaciones que surgen de instituciones como la UASLP, permiten avalar científicamente el uso de nanomateriales e incorporarlos de manera confiable a los productos comerciales que consumimos día a día. **UP**

**Referencias bibliográficas:**

- Empa, T. T. S. (2011). Grundlagen und Leitprinzipien zur effizienten Entwicklung nachhaltiger Nanotextilien. Recuperado de: <https://www.empa.ch/documents/56122/328606/Leitfaden.pdf/f0d06b92-60e7-4b20-8ca5-5ffd6c966d2c>
- Singh, N. A. (2017). Nanotechnology innovations, industrial applications and patents. *Environmental Chemistry Letters* 15(2), pp. 185-191. Recuperado de: <http://doi.org/10.1007/s10311-017-0612-8>
- Syduzzaman, M. D., Parwary, S. U., Farhana, K. y Ahmed, S. (2015). Smart textiles and nanotechnology: A General Overview. *Journal of Textile Science and Engineering* 5(1), 1000181. Recuperado de: <http://doi.org/10.4172/2165-8064.1000181>
- Yetisen, A. K., Qu, H., Manbachi, A., Butt, H., Dokmeci, M. R., Hinestroza, J. P., Skorobogatij, M., Khademhosseini, A. y Yun, S. H. (2016). Nanotechnology in Textiles. *ACS Nano* 10(3), pp. 3042-3068. Recuperado de: <http://doi.org/10.1021/acsnano.5b08176>
- Zhu, J., Bahramian, Q., Gibson, P., Schreuder-Gibson, H. y Sun, G. (2012). Chemical and biological decontamination functions of nanofibrous membranes. *Journal of Materials Chemistry*, 22(17), 8532-8540. Recuperado de: <http://doi.org/10.1039/c2jm16605D>