

REVISIÓN DE MÉTODOS PARA LA OBTENCIÓN DE TEXTILES TÉCNICOS. TEXTILES TÉCNICOS Y SU OBTENCIÓN

Christian Cabello-Alvarado^{1*}, Carolina Caicedo-Cano¹, Leticia Melo-López¹, Marlene Andrade-Guel², Víctor J. Cruz-Delgado³, Carlos A. Ávila-Orta²

- 1) CONACYT-Centro de Investigación Científica, Tecnológica y de Innovación del Estado de Tlaxcala: christian.cabello@ciqa.edu.mx
- 2) Centro de Investigación en Química Aplicada, Departamento de Materiales Avanzados, Saltillo, Coahuila, México.
- 3) Centro de Investigación Científica de Yucatán, Unidad de Materiales, Mérida, Yucatán, México.

Recibido: Enero 2019; Aceptado: Abril 2019

RESUMEN

Los diferentes tipos de textiles ya sean hilos, fibras o telas no tejidas pueden tener diferentes propiedades debido a su tipo de tejido o a su conformación y tratamientos, esto se utiliza para realzar las propiedades que se desean. La industria textil actualmente está comprometida a resolver necesidades provenientes de diferentes áreas como la médica, energética, medio ambiente y automotriz. El uso de membranas selectivas para adsorber toxinas, los textiles antiestáticos, la generación de desechos textiles y la utilización de telas y fibras para los interiores automotrices son solo algunos usos que se les pueden dar a los textiles técnicos. La aparición de excesiva de prendas de vestir ha producido un efecto negativo en medio ambiente, debido a sus problemas de degradación, es por esto que se ha impulsado la obtención de textiles degradables y la obtención de estos mismos a partir de fuentes renovables. Se pueden fabricar textiles técnicos utilizando partículas de tamaño nanométrico o micrométrico (nanopartículas de carbono, metálicas, cerámicas, etc.) dentro de una matriz polimérica. Los compuestos polímero-partículas de diferentes tamaños, recientemente han abierto una opción para la elaboración de textiles técnicos. Estos materiales se diseñan con la finalidad de que tengan propiedades isotrópicas y una buena compatibilidad entre la fase matriz y la fase de refuerzo. Existen diferentes formas de dispersar los aditivos y hacer interaccionar las fases presentes, algunos métodos como la funcionalización mediante diferentes técnicas y la dispersión de las partículas en el medio por procesos de fabricación o pretratamientos, son mencionados en este manuscrito. Las evaluaciones pertinentes para evaluar las propiedades fisicoquímicas y morfológicas de los textiles son de gran importancia para poder confirmar conforme a las normas establecidas la calidad, apariencia, durabilidad y principalmente su aplicación.

Palabras clave: textiles técnicos; funcionalidad; compuestos poliméricos; partículas

ABSTRACT

The different types of textiles, whether they are yarns, fibers or non-woven fabrics, can have different properties due to their type of fabric or their conformation and treatments, this is used to enhance the properties that are desired. The textile industry is currently committed to solving needs from different areas such as medical, energy, environment and automotive. The use of selective membranes to adsorb toxins, antistatic textiles, the generation of textile waste and the use of fabrics and fibers for automotive interiors are just some uses that can be given to technical textiles. The appearance of excessive clothing has produced a negative effect on the environment, due to its problems of degradation, which is why it has promoted the production of degradable textiles and obtaining them from renewable sources. Technical textiles can be manufactured using nanometric or micrometric size particles (carbon nanoparticles, metal, ceramics, etc.) within a polymeric matrix. Polymer-particle compounds of different sizes have recently opened an option to produce technical textiles. These materials are designed with the purpose of having isotropic properties and a good compatibility between the matrix phase and the reinforcement phase. There are different ways of dispersing the additives and interacting the present phases, some methods such as functionalization by different techniques and the dispersion of the particles in the medium by manufacturing processes or pretreatments, are mentioned in this manuscript. The relevant evaluations to evaluate the physicochemical and morphographic properties of textiles are of great importance to be able to confirm according to the established norms the quality, appearance, durability and mainly its application.

Keywords: technical textiles; functionality; polymeric compounds; particles

INTRODUCCIÓN

La industria textil se enfoca en la obtención o al uso de fibras naturales y sintéticas, también

incluye el hilado, acabado y tinción de los tejidos. Este tipo de industria se encuentra vinculada con otras importantes áreas como la automotriz debido a que el 70% de un automóvil esta constituido por textiles, aeronáutica y muebles. La industria textil en Latinoamérica representa anualmente un crecimiento anual de entre 4,5–5,5% y tiene un alto nivel de adaptación de tecnología, lo que permite crear fibras de alta calidad con procesos nuevos para reforzar la economía local y las exportaciones a países extranjeros.

En un principio para la fabricación de textiles se utilizaban fibras de animales, plantas y semillas. Fue a mediados del siglo XVIII que se crearon las primeras fibras sintéticas que fueron elaboradas a partir de celulosa o productos químicos derivados de petróleo o mezclas con fibras naturales. Hoy en día su uso es más común debido a las propiedades que presentan y que no se pueden alcanzar con las fibras naturales como la lana, el algodón, lino y seda [1].

Por otra parte, los textiles técnicos nacen como respuesta a las necesidades de distintas áreas como la médica que necesitaba textiles con propiedades antimicrobianas, una definición que engloba este término son aquellos materiales y productos textiles que dan respuesta a propiedades específicas requeridas para el desarrollo de una determinada función [2].

La tendencia de los textiles técnicos, es hacia la reducción de gastos y de peso, ahorro de energía y sostenibilidad. Esta revisión se centra en nuevos métodos de obtención de textiles técnicos, así como la fabricación y aplicación de micro y nanotextiles.

Obtención de textiles a partir de materiales reciclados y fuentes renovables. El reciclaje textil es una respuesta a la contaminación de la industria textil, este concepto implica la necesidad de crear nuevos productos a partir de materiales reciclados como plástico, papel y reutilización de telas. El primer paso es recolectar el material de reciclaje, después transformarlos en nuevos materiales que pueden ser utilizados como nuevos productos o bien materias primas. Así se han fabricado filamentos textiles mediante el uso de botellas de PET recicladas, que incluyen: trituración de las botellas de PET, lavado y secado para obtener residuos de dicho polímero. El material obtenido se agrega a un extrusor de doble tornillo co-rotativo en paralelo, para fundir la mezcla y filtrar, obteniendo masa fundida, la cual posteriormente se hace pasar a un recipiente de reacción cerrado, agregando diol bajo agitación con gas nitrógeno, luego se adiciona un catalizador a base de aluminio, mezclando y agitando; todo este proceso ayuda a obtener un obtener el filamento textil. El filamento obtenido presenta buenas propiedades mecánicas y estabilidad térmica. Este método se ha propuesto a nivel industrial debido a que el proceso se considera de gran eficiencia [3].

Los textiles a partir de fuentes renovables son aquellos que se extraen principalmente a partir de plantas, por ejemplo, la hidroxipropilcelulosa es extraída a partir de fibras vegetales como el algodón. Se han producido productos de hidroxipropilcelulosa pura o con mezclas de este tipo de material, tratando que se le de utilidad a este producto para producir textiles que posean buenas propiedades mecánicas, evitando el daño al medio ambiente. Según la invención, el método para producir artículos de hidroxipropilcelulosa moldeados, esta técnica se basa en que las fibras de hidroxipropil celulosa se procesan con otros polímeros o aditivos en particular plastificantes. Un paso extra es el reticulando de la hidroxipropilcelulosa mediante radiación o con un inductor, electroquímico o térmico, para estabilizar la conformación de los materiales [4].

Con el desarrollo de la química de celulosa y la tecnología de su procesamiento, las aplicaciones de los materiales de celulosa no se limitan a campos tradicionales como materiales de ingeniería aplicados a diferentes áreas de uso común, sino que también se han utilizado para aplicaciones funcionales avanzadas en el campo de la salud, biomedicina, inteligencia, impresión electrónica y textiles inteligentes. Con la ventaja de la fabricación de geometrías específicas y una producción de bajo costo. Las tecnologías de impresión 3D se han empleado para muchos materiales en una gran variedad de aplicaciones. Existe especial atención a la impresión 3D basada en extrusión. Exámenes detallados de la reología del hidrogel de celulosa han sido analizados para compararlos con hilados de fibra en 3D [5].

El quitosano es uno de los materiales de alto potencial para nuevas aplicaciones, además que es uno de los polímeros naturales más abundantes en el mundo. Sin embargo, para poder obtenerlo se tiene que hacer a partir de soluciones, razón por la cual limita sus aplicaciones. Un método para la obtención del quitosano termoplástico se puede desarrollar con mezclas de poli(alcohol vinílico), sin embargo, estas mezclas se degradan debido a los residuos de ácidos. Una alternativa propuesta para la producción de mezclas termoplásticas de poli(vinil alcohol), es obtener quitosano en una matriz de poli(ácido láctico), que puede evitar la degradación incluso con contenidos más altos de quitosano. El proceso implica el uso de técnicas de secado por aspersión y liofilización para producir mezclas de ácido de PVA/quitosano, que luego se incorporan a la matriz de PLA por extrusión. Se espera que esto contribuya a aumentar y extender las aplicaciones de los polisacáridos en las aplicaciones de textiles, productos médicos y empaque de alimentos [6]

Nuevas técnicas para obtención de textiles. Las metodologías comúnmente utilizadas para la fabricación de fibras incluyen electro spinning, hilado forzado, hilado de biocomponentes y soplado en fusión. El método flashing proporciona un método fácil para producir fibras que poseen mayor peso molecular. El porcentaje de fibras obtenidas es mayor que con los métodos

convencionales. En esta técnica un polímero en un disolvente en condiciones supercríticas de temperatura y presión, para generar una fibra. La solución homogénea se extruye a través de una boquilla a alta velocidad en una zona de temperatura y presión sustancialmente más bajas. Como ejemplo de este método, el PET como polímero y disolvente de diclorometano y fenol. Al cambiar varios parámetros en el experimento, se obtuvieron una variedad de estructuras tales como fibras de microescala, esferas, estructuras porosas y estructuras irregulares condensadas [7].

Se han generado métodos donde el agente antibacteriano específico se pulveriza y también el polímero termoplástico para la producción de nanofibras, depositándolas uniformemente sobre una superficie de sustrato de tela no tejida. Este tipo de proceso es amigable con el medio ambiente y libre de contaminación con la posibilidad de escalonamiento industrial. Este tipo de materiales se utiliza como filtrante debido a que se puede obtener una membrana de nanofibra antibacteriana con alta porosidad y un tamaño de poro uniforme [8].

Otro tipo de procesos pueden incluir mezclas de polímeros termoplástico y otro material que pueda actuar como refuerzo, donde los dos materiales son inmiscibles entre sí, esta mezcla es seguida de una extrusión en condiciones adecuadas para formar un compuesto de microfibras. Las microfibras se obtienen gracias a la eliminación de la matriz circundante. Este método puede servir para obtener fibra de tamaño nanométrico [9].

Nuevos métodos proponen la calcinación de sílice, turmalina, circonia, pentóxido de fósforo, Al_2O_3 y óxido de tierras raras, pulverizando y mezclando uniformemente con alguna resina para formar un *masterbatch*. El objetivo es generar un *masterbatch* con una resina portadora, lubricante, dispersante y un agente de acoplamiento mediante extrusión a alta temperatura y altos esfuerzos de corte, con esto se puede obtener tela no tejida unida por hilado aniónico [10]. Membranas de intercambio a base de tela no tejida pueden prepararse mediante un método para la producción continua de cloruro de polivinilo. En la preparación se obtienen lotes con polvo de resina de intercambio catiónico-aniónico, plastificante, estabilizador, aditivo de procesamiento y lubricante, mezclando en un extrusor doble husillo, esto con la finalidad de obtener una membrana de cloruro de polivinilo [11].

Se han producido filtros utilizando una nueva tecnología de co-extrusión basados en la fusión y tecnología de multiplicación bidimensional, utilizando agua a alta presión. Este tipo de filtros se fabricaron a base de microfibras de polipropileno (PP)/poliamida 6, este tipo de fibras tienen integridad estructural y una distribución uniforme. Los filtros tienen una gran área de superficial, alta porosidad y de tamaño de poro micrométrico, propiedades que son deseables para

aplicaciones de microfiltración. Esta tecnología basada en fusión es aplicable a cualquier polímero termoplástico para producir filtros con fibras [12].

Otro método de preparar membranas de filtración menciona el uso de nanofibras de alta adsorción. Las nanofibras están compuestas de polímeros termoplásticos de fase continua y nanopartículas activas de fase dispersa. El proceso comprende: mezclar nanopartículas activas y polímeros termoplásticos en cierta proporción, y obtener pellets por extrusión de doble husillo. El material compuesto se mezcla con acetato de celulosa y se funde para extraer el solvente. Principalmente se desea implementar este método por su bajo costo, poco consumo energético y alto rendimiento [13].

Existen técnicas alternativas para obtener tela no tejida de fibra porosa. basadas en mezclar uniformemente polímero y el diluyente para obtener la mezcla con la concentración de polímero de 10–60% en peso, utilizando una máquina de extrusión monohusillo para fundir y extruir la mezcla, obteniendo pellets para producir tela no tejida; se considera también eliminar el diluyente en la tela no tejida primaria, haciendo que las fibras formen orificios, para obtener una tela no tejida de fibra porosa. Pueden utilizarse diferentes polímeros como es polipropileno, fluoruro de polivinilideno, polietileno, poliéster, poliuretano, poliamida, poli (trifluorocloroetileno), copolímero de ácido etileno-acrílico, etc. El diluyente que puede utilizarse polietilenglicol, polibásico, ftalato, glicérido, benzoato, fosfato, etc. El agente es agua, etanol, acetona, isopropanol, etilenglicol, glicerol. Esta es una metodología que ofrece la posibilidad de utilizar diferentes tipos de sustancias para la obtención de telas no tejidas [14].

Otras tecnologías para la obtención de fibras también utilizan polímero fundido, solamente que al momento de estirar las fibras poliméricas se usa una corriente de gas, para enfriar el polímero mientras se estira [15].

Algunos procesos de fusión y soplado para resinas con viscosidades intrínsecas reducidas como el polipropileno se han reportado, esto para elaborar telas no tejidas con buenas propiedades mecánicas [16].

Fibras y textiles sensibles a la temperatura pueden aplicarse en campos de la medicina e ingeniería, debido a esto se generó una fibra compuesta de tres capas a través de un proceso de co-extrusión fundido con revestimiento de alambre modificado. La fibra continua consiste en una cubierta exterior de polipropileno transparente y un núcleo interno de poliéster negro. Las fibras

exhiben un claro comportamiento termocrómico. La presencia del núcleo interno negro fue la clave para la clara retención del color dentro de la fibra [17].

Micro y nanotextiles. El progreso de textiles utilizando materiales de tamaño nanométrico o micrométrico, puede proporcionar diferentes funcionalidades a nuestra ropa, telas y tejidos que utilizamos diariamente o que tenemos en nuestro entorno. Las aplicaciones que se pueden aprovechar son en autolimpieza, detección, activación, conducción eléctrica, redes de sensores corporales, retardancia a la flama y protección UV, entre otros. Esto es posible gracias a desarrollos tales como nuevos materiales, fibras y acabados; polímeros inherentemente conductores; nanotubos de carbon; y recubrimientos nanométricos antimicrobianos [18].

Para obtener fibras con un polímero termoplástico biocompatible se han desarrollado estructuras nanofibrilares termoplásticas continuas. Se han desarrollado fibras de poli(ácido láctico) con diámetros de 60 nm utilizando un método convencional de hilado por fusión. Mezclas de poli(vinil alcohol.) (PVA) y poli(ácido láctico) (PLA) en relaciones en peso 70/30 fueron procesadas para obtener las fibras, esto se realizó para una posteriormente la eliminación de la matriz de PVA. Las propiedades de tensión y elongación obtuvieron buenos desempeños, ya que las estructuras textiles de PLA producidas en 2D y 3D se reportaron como candidatos prometedores para industrias textiles [19].

La síntesis de textiles revestidos de nanopartículas de metal, se ha elaborado mediante inmersión en agua, esta técnica se desarrolló sin productos químicos tóxicos o procedimientos sintéticos, aprovechando la naturaleza única del ácido tánico. Los textiles tratados ácidamente en soluciones metal-fenólicas sirven como reductores y sitios de estabilización, para la generación de nanopartículas metálicas de tamaño controlable. Estos textiles pueden ser decorados con varias nanopartículas metálicas como plata u oro, y exhiben propiedades derivadas de la presencia de las nanopartículas metálicas, por ejemplo, la actividad catalítica aumenta y actividad antibacteriana contra bacterias gram bacterias negativas como *Escherichia Coli* (utilizando nanopartículas de plata Ag-NP), superando el comportamiento antibacteriano de una venda comercial. Este desarrollo ofrece oportunidades y alternativas para el desarrollo de nanomateriales híbridos que puedan tener aplicación. en áreas químicas y de la salud [20].

Se ha estudiado también el efecto que tienen los textiles que contienen nanopartículas de plata para eliminar bacterias provenientes de sudor, utilizando la tecnología de funcionalización utilizada en el acabado de textiles. Se realizaron experimentos de migración para cuatro textiles disponibles comercialmente y seis textiles preparados en laboratorio. Dos de estos textiles que

fueron preparados en el laboratorio se produjeron con materiales compuestos, agregando Ag-NP dentro y en la superficie de las fibras recubrimiento. Los resultados indicaron una menor liberación de Ag total de los que provenían dentro de la fibra en comparación con los textiles revestidos en la superficie. La fracción de partículas determinada dentro del sudor artificial fue insignificante para la mayoría de los textiles, lo que representa que la mayoría de la plata liberada está presente como Ag disuelto. Al realizar las mediciones de diferentes tipos de Ag-NP en su forma original mediante espectrometría de masas acoplado con plasma, se evidenció que las modificaciones de partículas, como el revestimiento de la superficie, también pueden influir en el comportamiento de disolución de las Ag-NP en el sudor. Estos elementos son significativos al momento de querer colocar el producto en el mercado [21].

Partículas de plata nanométricas se han utilizado en muchas aplicaciones, incluyendo los textiles antimicrobianos. El lavado de dichos textiles ya ha sido identificado como un proceso importante que resulta en la liberación de plata en las aguas residuales. Las cantidades detectables de plata en los textiles con este tipo de partículas van desde 34 a 80%. Las nanopartículas se pueden encontrar principalmente en aguas residuales tienen una forma altamente aglomeradas. Los textiles con plata nanométrica tienden a presentar actividad antibacteriana y los que no son de tamaño nanométrico no inhiben el crecimiento bacteriano [22].

Al utilizar textiles con diferentes partículas nanométricas como las partículas de plata para diferentes aplicaciones, se tienen que tomar en cuenta la liberación en el medio ambiente. La cuantificación y determinación de los productos liberados es un parámetro necesario para predecir el efecto de partículas de plata en el medio ambiente. Algunas condiciones para acelerar la disolución de las partículas de plata pueden ser aplicadas en el lavado con agua (pH 10) y uso de agentes blanqueadores [23].

Por otra parte, la creciente demanda de prendas de vestir duraderas y funcionales fabricadas de manera sostenible ha creado una oportunidad para que los nanomateriales se integren en sustratos textiles. Las nanopartículas pueden inducir la repelencia de las manchas, la eliminación de arrugas, la eliminación de la estática y favorecer la conductividad eléctrica de las fibras, sin comprometer su comodidad y flexibilidad. Los nanomateriales también ofrecen un potencial de aplicación amplio para crear prendas que pueden detectar y responder a estímulos externos a través de señales eléctricas, de color o fisiológicas. La nanotecnología dentro de la electrónica y fotónica está relacionada con textiles que tienen aplicaciones en pantallas funcionales, detección y liberación de fármacos. Se han evaluado factores de riesgo que incluyen la nanotoxicidad, la liberación de nanomateriales durante el lavado y el impacto ambiental de los nanotextiles basados en

evaluaciones del ciclo de vida. Se han estudiado prendas de vestir funcionales y textiles inteligentes usados como sensores, para la calefacción y como elementos de refrigeración desarrollados por compañías como lo es la compañía *Fibretronic limited (HongKong)* [24].

Otro tipo de usos que se les ha dado a textiles con partículas nanométricas o micrométricas, son la elaboración de una camisas sensoras del ritmo cardíaco (filamentos textiles y funcionalidad electrónica combinada), [25] textiles para filtración a partir de telas no tejidas [26], repelencia al agua [27], como absorbentes [28] y dispositivos portátiles sensores de signos vitales [29].

La fabricación de fibras e hilos de (nanotubos de carbono) CNT ha promovido muchas aplicaciones interesantes, como los músculos artificiales basados en hilos de torsión que funcionan de varios modos (acoplando efectos eléctricos, ópticos, químicos y mecánicos).

También tienen aplicaciones potenciales como sensores de temperatura con forma de fibra macroscópica y sensores de gas. Existen fibras espirales largas que pueden configurarse en estructuras versátiles como nanotextiles, para el desarrollo de dispositivos electrónicos portátiles y telas multifuncionales. Hilos de hasta un metro de longitud con nanotubos de carbono de pared sencilla aumentando propiedades mecánicas de resiliencia y excelente resistencia a la fatiga [30].

Nanotextiles inteligentes con propiedades innovadoras se han desarrollado con nanopartículas de sílice (SiO_2), óxido de titanio (TiO_2) y plata (Ag-NP), sintetizando dichas partículas sin el uso de ningún compuesto orgánico tóxico para luego funcionalizar tejidos de lana. El método para obtener las partículas fue alométrico y con radiación de ultrasonido, aprovechando los precursores de las nanopartículas. Las fuerzas electrostáticas, influenciadas por un bajo pH de las soluciones, permitieron las interacciones entre los tejidos de lana y las NP, permitiendo una funcionalización robusta. Esto se verificó mediante microfluorescencia de rayos X y se visualizó mediante mediciones de microscopía electrónica de barrido. Las NP de Ag antibacterianas se incluyeron en un polímero, ácido algínico, para reducir el posible efecto secundario, debido a su contacto directo con la piel. En cambio, se usaron NP de SiO_2 para cambiar la hidrofobicidad de la lana, mientras que la funcionalización con NP de TiO_2 se eligió para proporcionar propiedades de autolimpieza [31].

Las propiedades únicas de los nanotextiles basados en poli(alcohol vinílico) (PVA) fabricados con el método de *electrospinning* han sido de gran interés para algunos investigadores. Se han estudiado las propiedades macromecánicas de nanotextiles de PVA enriquecidos con iones de plata (Ag) y cobre (Cu). Se prepararon textiles de nanofibras de diversos tamaños de superficie,

a partir de una solución de PVA al 16%, mientras que se utilizaron glioxal y ácido fosfórico como agentes de reticulación. Los iones de cobre y plata se diluyeron en una solución acuosa y se dispersaron en las fibras mediante homogeneización por ultrasonidos. Los resultados de las pruebas de tracción indicaron, que la adición de las nanopartículas dispersas tiene un efecto positivo en las propiedades mecánicas de los textiles. Sin embargo, la falta de estabilización térmica da como resultado una interconexión deficiente de las capas de nanofibras individuales, [32].

Para sustituir a la baterías recargables base litio se han preparado con éxito nanotextiles utilizando un óxido de vanadio (V_6O_{13}), a partir de nanogrooves interconectados continuos a través de una ruta de autoensamblaje basada en soluciones redox a temperatura ambiente. El tamaño de la malla en los textiles se puede ajustar de manera controlable dependiente de la concentración del precursor. Este tipo de síntesis es ambientalmente benigno, de bajo costo y fácilmente escalable. Los textiles preparados poseen una red conductora entrecruzada robusta y por lo tanto favorecen el transporte rápido de electrones/iones. Es importante destacar que los textiles resultantes exhiben una energía específica tan alta como $780 \text{ Wh}\cdot\text{kg}^{-1}$, 44–56% más alta que las de los cátodos convencionales, es decir, LiMn_2O_4 , LiCoO_2 y LiFePO_4 [33].

En los textiles se pueden incorporar nanofibras de PVA que tienen un peso de 1.3 g/m^2 (de una sola capa) y $2,8 \text{ g/m}^2$ (de doble capa,). Las nanofibras se hilaron en un sustrato textil de soporte polimérico base de polipropileno (PP) con un peso de 18 g/m^2 y un tratamiento antiestático. Se tomó en cuenta la estabilización química y mecánica (reticulación) de las nanofibras de PVA utilizando temperatura. El estudio reveló que la resistencia a la tracción promedio (24 N/mm para la de una sola capa y 51 N/mm para la de dos capas) y la rigidez (950 N/mm para la primera y 1.600 N/mm para la segunda muestra). Esto indica que se forma un enlace perfectamente rígido entre las capas individuales debido a la reticulación de las capas. Los resultados confirmaron que se lleva a cabo adecuadamente el enlace entre las capas individuales de los sistemas compuestos de nanofibras de múltiples capas después de la estabilización térmica, por lo tanto, el material puede considerarse como una estructura compuesta única [34].

Los textiles de fibronectina se construyen como tejidos de nanometría gruesa. Cuando se cargan uniaxialmente, estas telas exhiben un umbral distinto entre la deformación elástica y plástica con el estiramiento creciente. La mecánica de la tela se modela utilizando una red de ocho cadenas y un modelo de dos estados, lo que revela que las propiedades elásticas de fibronectina dependen de la extensión conformacional de la proteína [35]. Una técnica simple y relativamente de bajo costo es el electrohilado, este tipo de metodologías se ha utilizado para producir nanofibras en solución de polimérica, para esto se lleva a cabo un proceso de estiramiento en un campo eléctrico. La calidad

de las nanofibras producidas mediante *electrospinning* se define por su finura y variaciones de diámetro. Estudios realizados muestran que la concentración de polímero que se utiliza y la velocidad de alimentación son los parámetros a controlar para poder producir diámetros nanométricos. Además de estos dos parámetros, hay que tener en cuenta condiciones como el voltaje aplicado y la humedad en el medio [36].

Degradación de textiles. En el mundo cada año se fabrican y venden millones de prendas textiles, por lo tanto, el consumo y producción de prendas ha incrementado, mientras los textiles se acumulan en los basureros creando un grave problema ambiental, debido a esto algunos autores han estudiado la degradación de textiles que contienen *spandex*, sometiendo dichos productos a un tratamiento con solventes como lo es la N, N-dimetilformamida, tienen limitantes como disolventes tóxicos que dañan al medio ambiente y al ser humano al estar en contacto directo e indirecto, otra desventaja a considerar es que no son económicamente viables. Para evitar estos tratamientos con disolventes tóxicos, textiles de nylon se han sometido a tratamientos térmicos, seguidos de un proceso de lavado. Se encontró que el tratamiento térmico a una temperatura de 220 °C durante 2 horas a presión atmosférica, fue muy efectivo para la degradación del textil. El estudio del lavado y el tratamiento térmico de los textiles permitió determinar la relación de temperatura y presión que facilitaron la degradación de los residuos de *spandex*, manteniendo el nylon con su morfología original. La evidencia de eliminación de *spandex* se pudo observar mediante espectrometría de infrarrojo de transformadas de *Fourier* (FTIR), resultado una disminución en las señales de absorción de -CON- [37].

Otro tipo de soluciones utilizadas para degradar fibras de celulosa es el hidróxido de sodio e hidróxido de tetrametilamonio. La celulosa hidratada con este tipo de soluciones aumenta su volumen drásticamente. Las muestras después de su neutralización y el secado se irradiaron al aire libre a 3, 10, y 20 kG y, presentando un contenido de agua de aproximadamente de 8 a 10%. Este tipo de irradiaciones se usan en alimentos para la esterilización o para reducir la presencia de microorganismos patógenos, que deterioran o dañan a los alimentos. Para evidenciar la degradación, se evaluaron los grados de polimerización y se realizó un análisis mediante FTIR. La disminución del grado de polimerización durante la irradiación probablemente se originó debido a los enlaces entrecruzados que se originaron en el tratamiento de radiación. En los espectros FTIR, las absorbancias pertenecientes a los enlaces hidroxilos intermoleculares disminuyeron al aumentar la concentración de la base. Como conclusión se mencionó que la reticulación era asistida por la movilidad de las cadenas moleculares en la parte amorfa de la celulosa tratada [38].

La degradación de fibras de tereftalato de polietileno (PET) inducida por el dióxido de titanio se estudió en diferentes tipos de condiciones de esfuerzo mecánico (246 MPa) y ambientes acido-base. Se analizaron fibras sin partículas y con partículas de TiO_2 en un porcentaje en peso menor al 1%. Se encontró que las fibras poliméricas se degradaron por hidrólisis, ya que la pérdida de peso (%) era lineal con el tiempo de tratamiento. Sin embargo, este fenómeno, está ligado también a la presencia de dióxido de titanio. La microscopía electrónica de barrido de fibras de PET hidrolizado mostró que las picaduras en la superficie se producen debido a la presencia de dióxido de titanio. Los poros más grandes se formaron en la superficie de las fibras estresadas mecánica y químicamente, las fibras que no sufrieron estos tratamientos no presentaban dichos defectos. Se sugirió en este estudio que el TiO_2 promueve la formación de poros en fibras de PET, y el estrés químico y mecánico también son factores que también influyen en la degradación [39].

El efecto de la luz en la degradación de materiales textiles juega un papel muy importante, al estudiar este efecto en fibras de celulosa no teñida, se tiene conocimiento que la radiación UV es más dañina para la celulosa, que la luz visible. Se han irradiado hilos de algodón afirmando, que el colorante azul de Prusia promueve la degradación al utilizar radiación UV, tanto viscosa y mecánicamente, es decir que este pigmento desestabiliza al textil y permite degradarlo con mayor facilidad [40].

Una de las más importantes materias primas en la industria de textil es el nylon 6, además que es uno de los polímeros más difícil de degradar. Se ha encontrado que la degradación fotoquímica de nylon 6 se acompaña de una disminución considerable en el peso molecular. El material de nylon soluble en agua se descompone en monómeros y oligómeros siendo más fácil poder degradar este tipo de cadenas [41].

La degradación fotoquímica de materiales textiles se ha realizado con radiación ultra-violeta de onda corta y onda larga (2.537 Å). Tintes de diferentes tonalidades de amarillo disminuyen la degradación del algodón en la atmosfera. La degradación del algodón y otras fibras textiles por la luz transmitida se ve aumentada por los colorantes y pigmentos [42].

Por otra parte, las fibras naturales pueden servir como biomasa para la generación de otros productos, entre algunos ejemplos: el algodón, yute, el lino, bambú, sisal, abacá, paja, mazorcas de maíz, cáscaras de arroz y pelo de coco, son fuentes de fibra con alto contenido de celulosa, para la generación de la biomasa también pueden utilizarse fuentes de fibra sintética, por ejemplo, hilo extruido (hilo orientado o hilo no orientado). Las fuentes de fibra natural o sintética pueden

obtenerse a partir de materiales textiles sin pigmentos u otros residuos post-consumo, por ejemplo, trapos, prendas de vestir, papel y cartón los cuales son productos degradables.

Los materiales lignocelulósicos que están fácilmente disponibles pueden ser difíciles de degradar por procesos como la fermentación, pero pueden generar productos de valor agregado como combustibles por ejemplo, etanol, butanol e hidrógeno, que pueden aprovecharse en el área energética [43].

CONCLUSIONES

Debido a los desarrollos en diferentes áreas y al deterioro medioambiental, la industria textil tiene que optar por tecnologías, productos y prácticas, que cubran necesidades específicas. La obtención de textiles técnicos a partir de compuestos poliméricos y biodegradabilidad son aspectos claves para que estos productos tengan aceptación en diferentes mercados. De la misma manera se buscan nuevas formas de obtención de materiales para elaborar textiles técnicos. Es necesario integrar diferentes funcionalidades a través de técnicas eficientes para que puede seguir desarrollando se la industria textil alrededor del mundo.

Agradecimientos. Proyecto: Consolidación del Consorcio de Investigación y de Innovación del Estado de Tlaxcala (CITLAX) Convocatoria: Fondo institucional del fomento regional para el desarrollo científico y tecnológico y de innovación FORDECYT 2018.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Warshaw L, “*La industria textil: historia y salud y seguridad*”. Lee Ivester y John (editores), *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*, 2012, p. 89-92.
- [2] Deniel G G, *Boletín económico de ICE*, 2003, p. 85-90.
- [3] Lianguo D, Gangli Y, Lingfei W, Lingbo L, Xiquan F., Dengxun W, Li G “*Method for producing terylene POY filament in scale by recycling PET bottle*”. CN CN101435113A, 2013.
- [4] Voigt W, Schmitd J, Schlesselmann B, Scharfenberger G, Method for the production of molded hydroxypropyl cellulose articles, and use thereof. WO2012022422A1, 2011
- [5] Wang Q, Sun J, Yao Q, Ji C, Liu J, Zhu Q, *Cellulose*, **1**, 2018
- [6] Grande R, Pessan L A, Carvalho A, *Carbohydr. Polym.*, **191**, 44 (2018)
- [7] Lorenz C, Windler L, Von Goetz N, Lehmann R P, Schuppler M, Hungerbühler K, Nowack B, *Chemosphere.*, **89**(7), 817 (2012)
- [8] Porwal R, Bellare JR, *International Polymer Processing*, **32**(1), 34 (2017)
- [9] Botes M, Eugene Cloete T, *Crit. Rev. Microbiol.*, **36**(1), 68 (2010)
- [10] Gang S, Wang D “Thermoplastic polymer microfibers, nanofibers and composites”. U.S. Patent No. 8,105,682, 2012
- [11] Zhong C “*Method for preparation of anionic spun-bonded nonwoven fabric*”, CN106147143A, 2015
- [12] Liang C “*Preparation method of PVC semi-homogeneous phase anion/cation exchange membrane*”, CN102430434A, 2011
- [13] Wang J, Ayyar R, Olah A, Baer E, *J. Mater. Sci.*, **51**(1), 188 (2016)
- [14] Dong W, Wei L, Liu M, Ma Q, Xiao P “*High-adsorption nanofiber composite filter material and preparation method*”, CN104014196A, 2014
- [15] Ejima S, Tomioka S, Matsumoto T, Hane N “*Method of forming autogenously bonded non-woven fabric comprising bi-component fibers*”, US4189338A, 1975
- [16] Buntin R R, Melt blowing process, US3978185A, 1975

- [17] Hao Z, Scrivens WA, Process of forming nano-composites and nano-porous non-wovens, WO 2012044382 A1 20120405, 2012
- [18] Coyle S, Wu Y, Lau K T, De Rossi D, Wallace G, Diamond D, *Mrs Bulletin.*, **32**(5), 434 (2007)
- [19] An Tran N H, Brüning H, Hinüber C, Heinrich G, *Macromol. Mater. Eng.*, **299**(2), 219 (2014)
- [20] Yun G, Pan S, Wang TY, Guo J, Richardson JJ, Caruso F, *Adv. Healthc. Mater.*, **7**(5), 1700934 (2018)
- [21] Patra SN, Lin T, Bhattacharyya D, *J. Mater. Sci.*, **45**(14), 3938 (2010)
- [22] Geranio L, Heuberger M, Nowack B, *Environ. Sci. Technol.*, **43**(21), 8113 (2009)
- [23] Wagener, Dommershausen, N, Jungnickel H, Laux P, Mitrano D, Nowack B, Luch A, *Environ. Sci. Technol.*, **50**(11), 5927 (2016)
- [24] Yetisen AK, Qu H, Manbachi A, Butt H, Dokmeci MR, Hinestroza JP, Yun SH, *ACS nano*, **10**(3), 3042 (2016)
- [25] Reho A, Impiö J “Wearable Projector and Intelligent Clothing”. Patent Appl. US 6830344 B2, 2004
- [26] Lifshutz N, Klauber D; Gahan R, High Capacity Filter Medium. US 20070220852 A1, 2007.
- [27] Lee JA “*Cotton as a World Crop. In Cotton; American Society of Agronomy*”, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, 1984; pp 1–25
- [28] Smith D J, Ring H, Absorbent Non-woven Fibrous Mats and Process for Preparing Same. US 20090093585 A1, 2009
- [29] Shivers JJ, Segmented Copolyetherester Elastomers. US 3023192 A, 1962
- [30] Shang Y, Hua C, Xu W, Hu X, Wang Y, Zhou Y, Cao A, *Nano Lett*, **16**(3), 1768 (2016)
- [31] Mura S, Greppi G, Malfatti L, Lasio B, Sanna V, Mura ME, Lugliè A, *J. Colloid. Interface Sci.* **456**, 85 (2015)
- [32] Indrováa K, Prošek Z, Topič J, *Acta Polytech.*, **456**, 85 (2015)
- [33] Ding Y L, Wen Y, Wu C, Van Aken P A, Maier J, Yu Y, *Nano Lett*, **15**(2), 1388 (2015)
- [34] Tesárek P, Ryparová P, Ráková Z, Králik V, Němeček J, Kromka A, Nežerka V, *Key Eng. Mater.*, **586**, 261 (2014).
- [35] Deravi LF, Su T, Paten JA, Ruberti JW, Bertoldi K, Parker KK, *Nano letters*, **12**(11), 5587 (2012)
- [36] Yin Y, Yao D, Wang C, Wang Y, *Text. Res. J.*, **84**(1), 16, (2014)
- [37] Tóth T, Borsa J, Takács E, *Radiat. Phys. Chem.*, **67**(3-4), 513 (2003)
- [38] Mashiur R, East GC. *Text. Res. J.*, **79**(8), 728 (2009)
- [39] Demeny L, *E.C.S.S.*, **12**, 53 (1967).
- [40] Hashimoto T, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **30**(9), 950 (1957)
- [41] Egerton GS, *J.S.D.C.*, **65**(12), 764 (1949)
- [42] Medoff M, Processing biomass, US7932065B2, 2007
- [43] Rowell RM “*Properties and performance of natural-fibre composites*”, 2008, p 3-66.