



# Superfibras tejiendo el futuro

**Dr. Daniel Alcalá Sánchez**  
**Dr. Juan Carlos Tapia Picazo**  
Tecnológico Nacional de México  
Instituto Tecnológico de Aguascalientes

**Abstract**

Smart fibers represent an advanced generation of materials that offer innovative and sustainable solutions in the evolution of textile fabrics. Smart fibers respond in a controlled and predictable manner to stimuli caused by changes in temperature, pH, electrical energy, pressure, humidity, light exposure, and more. Their responsiveness is primarily attributed to their composition and preparation methods. The types of intelligence that a fiber material can exhibit are not dissimilar to the various forms of intelligence observed in humans. In an analogous way, this document weaves a correlation between psychological intelligences and the different forms of intelligence present in fibers, threads, or textiles. Additionally, it introduces a fabric that reflects cutting-edge ideas and pioneering contributions in the design and application of these fascinating, challenging, and futuristic materials.

**Keywords:** smart fibers, smart textiles, artificial intelligence, sustainability

**Resumen**

Las fibras inteligentes representan una avanzada generación de materiales que brindan soluciones innovadoras y sostenibles en la evolución de los tejidos textiles. Las fibras inteligentes responden de manera controlada y predecible a estímulos causados por cambios en la temperatura, el pH, la energía eléctrica, la presión, la humedad, la exposición a la luz, etc. Las fibras inteligentes deben su capacidad de respuesta principalmente a su composición y los métodos de preparación. Las formas de inteligencia que puede tener un material en forma de fibra, no son ajenas a diferentes tipos de inteligencia de los seres humanos. De manera análoga, en este documento

se entreteje una correlación entre inteligencias psicológicas y distintas inteligencias de una fibra, un hilo o un textil. Además se presenta un tejido que refleja ideas vanguardistas y contribuciones pioneras en el diseño y aplicación de éstos fascinantes, desafiantes y futuristas materiales.

**Palabras clave:** fibras inteligentes, textiles inteligentes, inteligencia artificial, sustentabilidad

**Introducción**

La inteligencia humana ha permitido la creación y el desarrollo de innovaciones que transforman nuestra vida diaria, y una de las áreas más impactadas por esta evolución es la de las fibras con que se fabrican los textiles. Las fibras, durante mucho tiempo se utilizaron simplemente para satisfacer nuestras necesidades básicas de vestimenta y abrigo. Pero hoy en día, se habla de fibras inteligentes, que tiene la capacidad de adaptarse y responder a diferentes escenarios.

Las fibras tradicionales, que son obtenidas a partir de materiales convencionales como el algodón, la lana y el poliéster, ofrecen la bondad de ser generalmente económicas y están ampliamente disponibles debido a su producción en masa; sus propiedades fisicoquímicas son bien conocidas y documentadas, lo cual facilita su aplicación; y los procesos de fabricación son ampliamente conocidos y estandarizados, garantizando una calidad consistente. Actualmente, el uso de las fibras convencionales pende de un hilo, en su preparación y después de su vida útil se suelen generar grandes cantidades de residuos; en los procesos de producción se requieren altos niveles de agua, de energía y para el teñido se utilizan productos químicos nocivos, lo que contribuye

al deterioro ambiental y agotamiento de recursos naturales; algunas fibras pueden degradarse rápidamente con el uso y el lavado, reduciendo la vida útil del producto. Los textiles a partir de fibras convencionales no tienen la capacidad de adaptarse a cambios en el entorno o responder a estímulos externos, lo que limita su funcionalidad en ciertas aplicaciones.

En contraste a las fibras convencionales, ha emergido una nueva era de materiales inteligentes en forma de fibra que son capaces de adaptarse a diversas condiciones y responder a estímulos externos. Con estas fibras (no convencionales), se pueden crear textiles que no solo mejoran nuestra comodidad, sino que también promueven un enfoque más sustentable, al optimizar recursos y reducir el impacto ambiental. En una sociedad donde la ciencia, la tecnología y la inteligencia artificial se entrelazan con nuestras vidas de maneras cada vez más sofisticadas, las fibras inteligentes representan un puente entre la innovación y la sustentabilidad. Pero el diseño, fabricación y aplicación de las fibras inteligentes aun enfrenta ciertos desafíos de carácter económico, disponibilidad, circularidad e impacto ambiental. Las fibras inteligentes suelen ser más costosas de producir debido a la tecnología avanzada, los procesos complejos y materiales especiales que se requieren, lo que puede dificultar la escalabilidad y la producción en masa; su alto costo puede limitar el alcance de los consumidores, limitando su adopción generalizada; los textiles inteligentes pueden presentar dificultades de reciclaje y tener un tiempo de vida útil limitado por la integración de componentes electrónicos o materiales compuestos; además los materiales especiales en fibras inteligentes pueden

tener su propio impacto ambiental debido a la extracción de recursos raros o procesos de fabricación que no son completamente sostenibles.

Si bien, las fibras inteligentes aún con los desafíos que enfrentan, ofrecen soluciones avanzadas y sustentables. Pero es necesario realizar más actividad científica y de investigación para tener una mejor comprensión de la inteligencia de estas fibras y su respuesta a estímulos del entorno, con ello generar nuevas ideas, nuevas estrategias y nuevas aplicaciones que hagan frente a los desafíos que el futuro nos está preparando. En el entretejido de este documento, se presenta un panorama muy general acerca de las fibras inteligentes y como sus cualidades de inteligencia se puede relacionar, de manera análoga, a diferentes tipos de inteligencia asociados a los seres humanos. Así mismo, se ofrecen novedosas ideas en el campo de fibras inteligentes que son la unidad básica para la elaboración de hilos inteligentes y con ellos tejer el futuro.

### **Agarrando el hilo sobre fibras y textiles**

Una fibra es un material que se caracteriza por ser muy flexible, muy fino y que tiene una relación muy alta entre su longitud y su espesor (Hu *et al.*, 2020). El concepto de fibra es muy amplio y suele estar relacionado en el campo alimenticio como la fibra dietética, o bien, en el área de salud como las fibras musculares. En el contexto del presente artículo, el término de fibra, ha de referirse a la unidad principal para la construcción de hilos y de telas o tejidos textiles. Las fibras pueden agruparse en dos grandes grupos de acuerdo a su origen: fibras naturales y fibras químicas o fibras hechas por el

hombre. Las fibras naturales pueden extraerse de las plantas o de los animales y son generadas mediante lentos procesos genéticos. También existen fibras minerales naturales que son resultado de procesos geológicos. En el grupo de las fibras químicas

hay una gran variedad de ejemplos como las fibras regeneradas, sintéticas, inorgánicas, etc. y tienen el común denominador en que para su obtención, la mano del hombre se ve involucrada. En la Figura 1, se presentan diferentes tipos de fibras según su origen.



Figura 1: Tipos de fibras y su origen

Un textil es una estructura que resulta de entrelazar fibras, hilos o una combinación de ambos. Los textiles pueden ser identificados como telas tejidas o telas no tejidas. Lo más común es encontrar textiles en dos dimensiones, pero los avances tecnológicos han permitido realizar textiles en 3D con aplicaciones técnicas, ingenieriles, médicas, etc. y los textiles en 4D que se refieren a textiles híbridos que pueden cambiar de forma y función mediante un estímulo ambiental (Manaia *et al.*, 2023).

El concepto de que “no todos los tipos de fibras pueden ser utilizadas

para elaborar hilos y/o textiles”, hasta hace algunas décadas fue un paradigma y un factor limitante en el desarrollo de nuevas tecnologías, ya que se consideraba que dentro de las principales propiedades y características que debe tener una fibra o filamento para ser útil en la elaboración de hilos y textiles se encuentra la longitud mínima, que “debería” ser al menos de 5 mm, la alta flexibilidad, la suficiente resistencia mecánica y durabilidad. Sin embargo, gracias a la integración de diversas disciplinas (como bioquímica, electrónica, tecnología

de la información, salud, etc.), los avances científicos y tecnológicos (como la nanotecnología, semiconductores, biotecnología, etc.) ha emergido una nueva generación de materiales y técnicas que permiten desarrollar textiles a niveles nanométricos, con propiedades, características y funcionalidades específicas y que son integrados a la familia de materiales recientemente reconocidos como **materiales inteligentes**.

### **Fibras, hilos y textiles ¿inteligentes?**

El calificativo de “material inteligente” es un tema inquietante en la comunidad científica debido al significado literal del término **inteligencia**, pues cuestiona el ¿cómo un material puede ser inteligente?, la Real Académica Española (RAE) define a la inteligencia como la capacidad de adquirir, comprender y aplicar conocimiento y habilidades, razonar, resolver problemas, tomar decisiones y adaptarse a nuevas situaciones. Aunque ésta definición esta directamente relaciona a cuestiones psicológicas, educativas y neurológicas; ha sido posible hacer la selección de algunas palabras que definen a la inteligencia y aplicarlas en la ciencia de materiales. Hasta ahora, los científicos han coincidido en una forma para definir lo que es un material inteligente: un material inteligente es aquel que tiene la capacidad de responder de manera contralada y predecible a estímulos ambientales tales como: térmicos, químicos, magnéticos, energéticos, eléctricos, mecánicos, etc.

Los materiales inteligentes pueden ser duros, flexibles, blandos e incluso fluidos. Un material inteligente en forma de fibra, identificado como “**fibra inteligente**”, se refiere a una fibra que ha sido diseñada especialmente para

percibir y emitir una respuesta de un estímulo externo. La fibra inteligente puede tener funciones de detección, retroalimentación, reconocimiento, almacenamiento de información, respuesta, autodiagnóstico, autoajuste y autorreparación. Las fibras inteligentes deben su mecanismo de respuesta principalmente a la composición química y al procedimiento de preparación. Las principales materias primas para la elaboración de fibras inteligentes son los materiales metálicos, los materiales inorgánicos no metálicos y los materiales poliméricos funcionalizados (Wang *et al.*, 2020). Para no perder el hilo, con las fibras inteligentes se pueden elaborar **textiles inteligentes**, o bien, se pueden hacer **hilos inteligentes** que después son usados para la construcción de textiles inteligentes. El término de textil inteligente, no se refiere únicamente a aquel tejido elaborado con fibras o hilos inteligentes, sino que también se usa para describir a los tejidos (textiles) que gracias a la integración de herramientas, dispositivos y/o sensores digitales específicos, adquieren de manera complementaria la capacidad para responder a estímulos ambientales e interactuar con el usuario final (Giannuzzi *et al.*, 2022).

### **Hilatura de la inteligencia de los humanos y las fibras**

La serie de formas de la inteligencia en términos psicológicos, las cuales definen en cómo la persona analiza, evalúa, aplica conocimientos y responde a las circunstancias del entorno, no son ajenas a las cualidades de inteligencia de los materiales inteligentes en forma de fibra. Es decir, los diferentes tipos de inteligencia establecidos por psicólogos como Robert J. Sternberg y Howard Gardner (inteligencia analítica, práctica, creativa, lógica, cognitiva, social, emocional, etc.) pueden ser

extrapolados a la ciencia de materiales y con ello entender, de manera análoga, la forma en que responden las fibras inteligentes a diferentes estímulos o condiciones del ambiente. En ciencia de materiales, se han definido diferentes términos que expresan la “inteligencia” que puede tener un material, como por ejemplo: la memoria de forma, fotocromía, fotoluminiscencia, autorreparación, etc. los cuales pueden ser asociados o relacionados a los diferentes tipos de inteligencia psicológica (Dang *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2020).

Por ejemplo, la **inteligencia cognitiva o analítica**, ayuda a describir la capacidad que se tiene para captar, almacenar, modificar y trabajar con la información. Con ello, se pueden tomar decisiones y generar soluciones efectivas. Una fibra inteligente puede experimentar cambios en su forma o estructura cuando se expone a perturbaciones externas como la temperatura, la luz, el pH o la presión. Cuando la fibra se aísla de esas perturbaciones y recupera su forma y estructura original, entonces se dice que la fibra tiene la **inteligencia de memoria de forma**.

Existen fibras inteligentes que tiene la capacidad para captar y almacenar energía. Este tipo de fibras se dice que tiene la **inteligencia de cambio de fase**. En este tipo de fibras, la energía puede ser asumida como información que será utilizada para tomar decisiones, ya que además de captarla y almacenarla, también la puede convertir, por ejemplo convierte la energía solar en energía térmica.

La energía (información) almacenada, que también puede provenir del entorno, puede ser liberada mediante calor latente (cambio de fase)

y ser aprovechada en distintas aplicaciones. En el proceso de captación, almacenamiento y liberación (distribución) de energía, se puede llevar a cabo la función de termorregulación, donde la fibra evita que la temperatura aumente o disminuya fuera de rangos establecidos. La **inteligencia emocional**, nos habla sobre la capacidad que se tiene frente al reconocimiento y comprensión de las emociones, al autocontrol, automotivación y la forma de actuar bajo situaciones de estrés y presión. Existen diferentes fibras inteligentes que se pueden asociar a la inteligencia emocional desde el punto de vista de los cambios internos (en las entrañas) de una fibra frente a una situación causada por el entorno. Las fibras con **inteligencia de autorreparación**, son aquellas que después de haber sufrido daños en sus propiedades estructurales o funcionales, han tenido la capacidad de repararse por sí mismas, dando como resultado fibras inteligentes “mejoradas” y más “fuertes” ante las adversidades, un tipo de inteligencia que no está muy alejado del concepto de resiliencia. Existen las fibras con **inteligencia de sensibilidad al pH**, la cual se refiere la capacidad que tienen las fibras (comúnmente fibras de gel) que cambian de volumen o forma con los cambios de pH. Este cambio se basa en la respuesta de la fibra cuando se estimula a nivel molecular, nivel macromolecular y nivel intermolecular. Hay otro tipo de inteligencia que pueden tener las fibras, la **inteligencia de autolimpieza**. Este tipo de inteligencia consiste en la capacidad que tiene la fibra para eliminar contaminantes orgánicos e inorgánicos a partir fotocatálisis (cuando se degrada la materia orgánica con aplicación de la luz natural), de una superficie superhidrofóbica (cuando las gotas de

un líquido se forman y ruedan sobre la superficie de la fibra, llevándose la suciedad y la mugre con ellas), o bien, por tecnología de microondas (cuando la fibra tiene nanopartículas sensibles a la radiación de microondas, las cuales generan calor que descompone los contaminantes). Esta capacidad de las fibras es muy parecida al autocontrol y autoestima que tienen las personas al enfrentarse a situaciones donde las emociones son comprometidas por un agente externo que las quiere alterar. Si bien, la alteración de las emociones puede ser positiva o negativa. Cuando una persona es afectada en sus emociones de manera positiva (por ejemplo con un reconocimiento, un premio, con la letra de una canción, con un recuerdo de la niñez, etc.), las perspectivas se amplían y el individuo se siente bien, genera conexiones y reluce su creatividad emitiendo una especie de luz o radiación que genera alegría. Hay fibras que pueden experimentar un fenómeno muy parecido, esas fibras están dotadas con la **inteligencia de fotoluminiscencia**. Cuando los estados electrónicos de los componentes de la fibra inteligente (nuevamente las entrañas de la fibra) son excitados por alguna fuente de energía externa (estímulo externo positivo), éstos gastan energía para regresar a su estado fundamental, durante este proceso, la energía se libera emitiendo luz visible. Por otro lado, cuando un individuo es afectado en sus emociones de manera negativa (por ejemplo la presión social), puede responder de manera optimista (positiva) o de manera pesimista (negativa). Tal es el caso de las fibras con **inteligencia piezoeléctrica**. Este tipo de fibras inteligentes tienen la capacidad de responder mediante la generación de energía eléctrica, cuando son sometidas a una tensión mecánica (como presionar,

doblar o torcer); aquí la fibra responde (positivamente) dando energía, ante una alteración de su estructura interna. Por su parte, también pueden actuar de manera inversa, cuando se le aplica un voltaje a la fibra (es decir, cuando se le proporciona energía), esta responde plegándose, estirándose o bien desfigurándose (respuesta “pesimista-negativa”).

También se habla de **inteligencia creativa**. Este tipo de inteligencia nos descubre la capacidad que se tiene para generar nuevas y originales ideas y pensar en múltiples soluciones para resolver uno o varios problemas a partir de la experiencia. Hoy por hoy, se pudiera decir que todos los tipos de fibras inteligentes gozan de inteligencia creativa debido a la relativa novedad de estos materiales. Sin embargo, es posible hacer una breve selección de fibras inteligentes en base a su forma creativa de responder ante algún estímulo del entorno. Por ejemplo, las fibras con **inteligencia electrocrómica y fotocrómica**, tienen la capacidad de cambiar de color, opacidad o transparencia cuando experimentan el paso de una corriente eléctrica o se exponen a una fuente de luz, respectivamente. Las fibras electrocrómicas, responden cambiando de color cuando se someten a un proceso de reducción (ganancia de electrones) o de oxidación (pérdida de electrones). Mientras que las fibras fotocrómicas, deben su capacidad de cambiar de color cuando la estructura molecular o los niveles de energía electrónica, son alterados bajo la irradiación de luz ultravioleta o luz visible. Un estímulo externo de gran importancia es la humedad ambiental. Las fibras con la **inteligencia de sensibilidad a la humedad**, tienen la capacidad de cambiar sus propiedades físicas (se expanden o contraen) en respuesta a los

cambios de humedad del ambiente. Este tipo de inteligencia está estrechamente relacionada a la inteligencia de memoria de forma. Así mismo, se puede relacionar a otra inteligencia conocida como **inteligencia de actuador**. La capacidad de estas fibras se basa en que poseen comportamientos de motores dinámicos en respuesta a estímulos externos no solo de humedad, sino también de temperatura, electricidad, campos magnéticos, pH, etc. Las fibras con inteligencia de actuador pueden expandirse, contraerse o deformarse de acuerdo al estímulo externo recibido. Existen también las fibras con **inteligencia saludable**, las cuales son dotadas con la capacidad de ayudar a mantener la salud humana mediante una función antibacterial, antimicrobial y/o desodorantes. Este tipo de fibras inhiben o matan los microorganismos o bacterias que se encuentran en la superficie de los tejidos. La forma en que se pueden asociar estas fibras inteligentes a la inteligencia creativa, no solo radica en la forma de actuar si no en la gama de aplicaciones en que pueden ejercer y explotar sus capacidades.

Otra de las inteligencias que se puede relacionar a la ciencia de materiales es la **inteligencia social**, la cual presenta la capacidad que se tiene para la interacción y comunicación efectiva con otros, el trabajo colaborativo y la adaptación a diferentes contextos sociales y culturales. Una de las fibras inteligentes relacionada íntimamente con la inteligencia social es aquella que goza de **inteligencia conductora**. Este tipo de fibras, además de tener la capacidad para transferir datos y energía, son la base para desarrollar textiles innovadores que permiten la interacción y comunicación con el entorno y el usuario final. Las fibras inteligentes conductoras pueden estar

constituidas de materiales metálicos como la plata, cobre, níquel, etc. o materiales orgánicos como la fibra de carbono. Sin embargo, existen las fibras de origen polimérico que incorporan en su estructura y método de preparación componentes microelectrónicos (microchips, microsensores, nanomateriales, semiconductores, etc.) que colaboran en la inteligencia conductora de la fibra.

Como se mencionó anteriormente, la inteligencia de un material en forma de fibra, va a estar definida en base a su composición química y los métodos usados para su preparación. La selección de los materiales para determinar la inteligencia de una fibra se realiza de manera avanzada y en función de satisfacer necesidades básicas o específicas. Por citar ejemplos, en la Tabla 1 se presentan algunos tipos de fibras y sus principales aplicaciones (Hu *et al.*, 2020; Ornaghi *et al.*, 2022). Las fibras inteligentes que se han mencionado anteriormente son solo algunos ejemplos de la gran gama de materiales inteligentes en forma de fibra, pero con el creciente avance de la tecnología y la ciencia, los atributos de inteligencia impartidos a las fibras va en aumento.

### **Entretejiendo la inteligencia artificial**

La inteligencia artificial (IA) y su integración en los diferentes sectores de la sociedad, aumenta día con día. En ciencia de los materiales, no puede ser excluida la relación que existe entre los materiales inteligentes y la IA puesto que no solo tiene en común el término de inteligencia. A pesar de que se trata de un tema complejo, que hasta el momento presenta una gran frescura, es posible reconocer el gran potencial que tienen estas dos áreas para el desarrollo científico-tecnológico y social.

Tabla 1: Fibras inteligentes y sus aplicaciones

| <b>Fibras Inteligentes</b> | <b>Aplicaciones</b>   |
|----------------------------|---|
| Con memoria de forma       | Dispositivos médicos, actuadores, sistemas de fijación, trajes impermeables, trajes transpirables, hilos quirúrgicos, amortiguadores, etc.  |
| Con cambio de fase         | Almacenamiento de energía térmica, sistemas de climatización, ropa deportiva, trajes impermeables, trajes transpirables, camas y almohadas de hospital, ropa y mantas termorreguladoras, etc. |
| Autorreparables            | Recubrimientos, adhesivos, materiales compuestos, componentes aeroespaciales, electrónicos, etc.  |
| Autolimpiables             | Ropa deportiva, telas decorativas, protectores superficiales como vidrios o espejos, prendas hospitalarias, uniformes militares, tapicería, ropa interior, etc.                               |
| Fotoluminiscentes          | Detectores, textiles decorativos, trajes de protección personal, chalecos salvavidas, ropa deportiva, etc.  |
| Piezoeléctricas            | Sensores, actuadores, dispositivos de generación de energía, etc.   |
| Electrocromáticas          | Ventanas inteligentes, espejos antirreflejos, pantallas, textiles decorativos, trajes de protección personal, etc.  |
| Fotocromáticas             | Material de detección, gafas solares, textiles decorativos, trajes de protección personal, etc.   |
| Sensibles a la humedad     | Ropa deportiva, sensores de humedad, actuadores, trajes de protección personal, etc.  |
| Saludables                 | Telas para ropa de uso médico, deportivo, vendajes, trajes de protección personal, trajes y telas de uso militar, sistema de purificación de agua (filtros), etc.                             |
| Conductora                 | Electrónica, textiles con receptores GPS, transistores, tecnología aeroespacial, materiales compuestos, sistemas de cableado, aplicaciones medicas, militares, antenas, ropa térmica, etc.    |

Las capacidades de las fibras inteligentes pueden ser utilizadas integrándolas a sistemas controlados y gestionados por la IA para optimizar el rendimiento y funcionalidad de textiles inteligentes en tiempo real. Las fibras con inteligencia de actuador o con memoria de forma, por ejemplo, pueden hacer la función de sensores, a partir de los cuales la IA podrá tomar la información para procesarla y tomar decisiones y soluciones automatizadas. En el campo de la medicina, una fibra con inteligencia auxética (una fibra con capacidad de expandirse en todas las direcciones cuando es estirada), puede

ser utilizada como un dispositivo para la liberación de fármacos y la IA puede mejorar la precisión y la efectividad de la liberación del fármaco.

Una fibra con inteligencia conductora, fotocromática, electrocromática, o bien, la integración de dispositivos electrónicos en textiles inteligentes, pueden usarse como sensores para monitorear signos vitales como la respiración, frecuencia cardiaca, niveles de glucosa, etc. que proporcionan datos a un sistema de IA que son analizados para detectar patrones anormales, con ello tomar medidas de alerta emergentes. Con las

fibras con memoria de forma, se pueden construir trajes para la rehabilitación motriz de algún paciente y proporcionar información acerca de la correcta realización de ejercicios terapéuticos mediante un sistema de IA.

El comportamiento de una fibra inteligente en respuesta a un estímulo externo puede ser ajustado mediante sistemas de IA. Por ejemplo, en una playera deportiva hecha de fibras con inteligencia de cambio de fase para regular la temperatura corporal, la IA ajustaría la permeabilidad de la playera mediante la retroalimentación de la información.

Con los textiles inteligentes es posible generar interfaces táctiles que generen señales interpretables por la IA para controlar dispositivos electrónicos. Además, se pueden integrar otros dispositivos como relojes, gafas de realidad aumentada, calzado, etc. con el fin de crear ecosistemas inteligentes de tecnología vestible. Los textiles inteligentes pueden utilizarse para desarrollar equipos de protección personal que son monitoreados mediante IA, la cual después de analizar los datos, pondrá en alerta al usuario sobre peligros potenciales del entorno y realizará ajustes de protección. Por ejemplo, trajes de uso militar que pueden monitorear el estado físico de los soldados o las condiciones medioambientales y que mediante el análisis por IA se favorecerá la toma de decisiones en el campo.

Tal vez, la escasa información que con que se cuenta hasta ahora, sea el único factor limitante para comprender profundamente el vínculo que existe o que puede existir entre las fibras inteligentes y la IA, se pudiera traer al texto la común frase de que la “la imaginación es el límite”

para darnos cuenta del potencial de transformar la industria, generar soluciones innovadoras a problemas complejos y mejorar la calidad de vida, a través de la consolidación en la relación entre los materiales inteligentes en forma de fibra y la IA.

### **Tejiendo la fina inteligencia de las fibras y los aportes pioneros**

Si las disciplinas de la tecnología son los hilos que conforman un tejido textil, entonces la ciencia y la investigación son el telar donde se entrelazan esos hilos. En el telar se generan las novedosas ideas que permiten la construcción de tejidos que reflejan la inquietud del ser humano por satisfacer sus necesidades, y ahora más que nunca, satisfacer esas necesidades de una manera sustentable y amigable con el medio ambiente. Muchas ideas para otorgar cualidades de inteligencia en forma de fibras han sido planteadas y aunque algunas parecieran ser algo imposible, retan la mente, la creatividad y la inteligencia del ser humano para hacer posible lo que parece imposible. Por ejemplo, fibras inteligentes con tecnología Lifi, una prenda de uso común que permita la conexión a internet; fibras con tecnología portátil y personalizada que permitan almacenar energía solar y la puedas aprovechar en la recarga de algún dispositivo móvil. Las recientes fibras con inteligencia electrónica portátil que se están utilizando como baterías, las cuales exhiben una excepcional tolerancia al estrés mecánico, portabilidad, flexibilidad y adaptabilidad a la deformación. Fibras inteligentes, que adapten su color de acuerdo a tu tono de piel y a la luz a la que nos exponemos y ayuden a definir mejor los rasgos faciales. Fibras con la inteligencia de avisar cuando se va a tener un infarto o un ataque de ansiedad y que además

estimulen al sistema nervioso para causar una respuesta tranquilizante. Textiles inteligentes que suministren medicamentos según el cuerpo lo requiera, ropa que pueda detectar lesiones musculares o malestares con los bebe, y pensar que algunas fibras inteligentes de este tipo ya se encuentran disponibles en el mercado.

Las fibras inteligentes con carácter de sustentabilidad tienen un gran potencial de desarrollo. Considerando que la composición de una fibra es una de las principales determinantes de la inteligencia que se adquiere, no solo se debe poner atención a la estructura química y física de compuestos orgánicos o inorgánicos para la síntesis de nuevos materiales; el aprovechamiento de residuos como materia prima y la modificación de fibras de origen natural, son otras áreas que contribuyen a la remediación del deterioro ambiental y a frenar el uso de recursos no renovables.

Tal es el caso del aporte (en éste concepto) que se realiza por parte del científicos del Laboratorio de Investigación de Polímeros del Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico de Aguascalientes, que en colaboración con centros de investigación como el CINVESTAV, el CICY y el IPICYT, se encuentran desarrollando fibras inteligentes multifuncionales a partir de biomateriales, residuos industriales, polímeros técnicos, nanotecnología y biotecnología, aunadas a procesos integrados con sistemas de IA. Algunos ejemplos de las fibras inteligentes desarrolladas y en desarrollo se muestran en la Figura 2. Fibras a partir de biopolímeros de almidón que tiene inteligencia múltiple, las cuales involucran el soporte, transporte y liberación de nutrientes para remediación de suelos, son

biodegradables y favorecen la retención de humedad del suelo. Fibras con inteligencia antimicrobianas a base de PET reciclado. Fibras inteligentes a partir de residuos textiles con capacidad de funcionar como micro-reactores o soporte de catalizadores para la obtención de biocombustibles.

Fibras inteligentes ultraporosas para el almacenamiento de gases como hidrógeno o dióxido de carbono. Fibras y/o filamentos a base de polímeros de alto valor agregado incorporados con nanotubos de carbono para su uso en baterías flexibles y/o impresión 3D. Estos son solo algunos ejemplos de los aportes que han permitido al grupo de investigación ser parte de los pioneros en el desarrollo de materiales inteligentes en forma de fibra de nueva generación.

### **Conclusiones**

En este documento se presenta una forma de relacionar, de manera análoga, diferentes perspectivas de inteligencia psicológica con materiales inteligentes en forma de fibra. Se realiza una reseña de diferentes capacidades que puede tener una fibra inteligente en respuesta a un estímulo externo. Se construye un tejido sencillo que refleja algunas tendencias y campos de investigación sobre el desarrollo de fibras y textiles inteligentes.

Las fibras, hilos y textiles representan una de las necesidades básicas en la vida diaria de los seres humanos. Las fibras y textiles inteligentes, son materiales que están tejiendo el futuro. Es crucial un mayor conocimiento y aprovechamiento de estos materiales futuristas, ya que la sociedad se ve desafiada para hilar nuevas estrategias que satisfagan las necesidades del hoy y del mañana.

Que en el telar de la ciencia y la sostenibilidad, para la construcción de investigación, se integren diversas textiles que favorezcan el desarrollo disciplinas tecnológicas y el hilo de la integral del planeta.

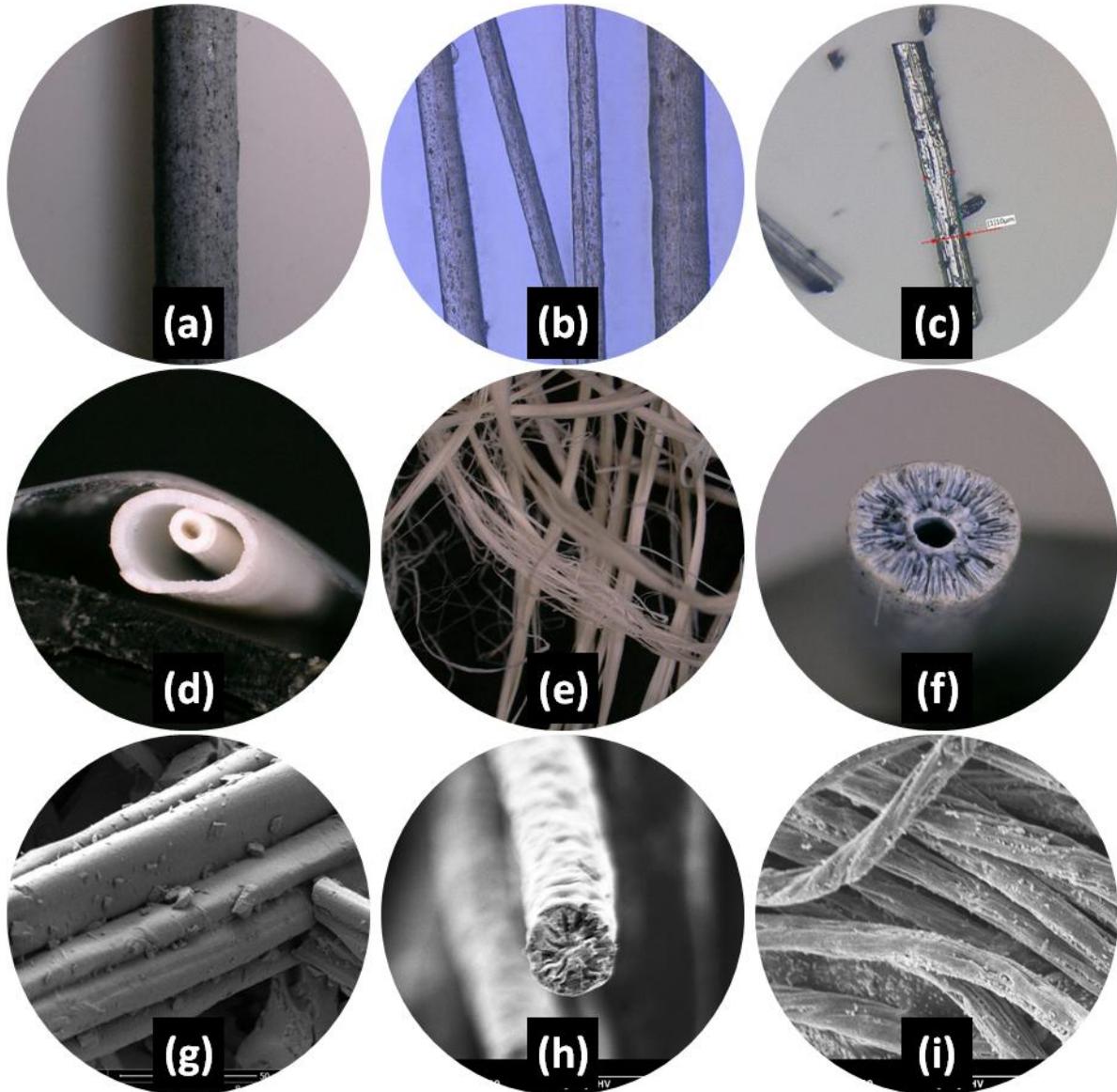


Figura 2: Fibras inteligentes. (a) fibra química con carga de nanofibras de carbón, fibra con inteligencia conductora; (b) fibra con inteligencia saludable, contiene nanopartículas antivirales y antimicrobianas; (c) fibra de carbono para soporte de catalizadores h alerogéneos; (d) fibra inteligente multicapa; (e) fibra biodegradable con inteligencia sustentable, (f) fibra con inteligencia ultraporosa y conductora; (g) fibra con inteligencia para remoción de contaminantes del agua; (h) fibra con inteligencia ultraporosa para almacenamiento de gases; (i) fibra con inteligencia para liberación de nutrientes en suelos agrícolas.

## Referencias

- [1] Dang T. y Zhao M., The application of smart fibers and smart textiles, *J. Phy.: Conf. Serv.*, 1790, 2021.
- [2] Giannuzzi R., Primiceri V., Scarfiello R., Pugliese M., Mariano F., Maggiore A., Prontera C.T., Carallo S., De Vito C., Carbone L. y Maiorano V., Photochromic Textiles based upon aqueous blends of oxygen-deficient WO<sub>3-x</sub> and TiO<sub>2</sub>

- nanocrystals, *Textiles*, 2, pp. 382-394, 2022.
- [3] Jinlian H., Kumar B. y Lu J., *Handbook of Fibrous Materials. En: Fundamentals of the Fibrous Materials*, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Alemania, 2020, pp. 1-36.
- [4] Jinlian H., Kumar B. y Lu J., *Handbook of Fibrous Materials. En: Smart Fibers*, Wiley-VCH Verlag GmbH Co. KGaA, Alemania, 2020, pp. 361-390.
- [5] Manaia J.P., Cerejo F. y Duarte J., Revolutionising textile manufacturing: a comprehensive review on 3D and 4D printing technologies, *Fash Tex*, 20, 2023.
- [6] Ornaghi H.L., Motta R., Monticeli F.M. y Agnol L.D., Smart Fabric Textiles: Recent Advances and Challenges, *Textiles*. 2, pp. 582-605, 2022.