





Agentes antiestáticos

en prendas de uso cotidiano:
estado y perspectivas

*Antistatic agents in
common wear garments,
status, and prospects*

Julio César Ramírez Rodríguez*

“SE IDENTIFICÓ QUE ANTE EL DETERIORO AMBIENTAL QUE LA INDUSTRIA TEXTIL GENERA, SE REQUIERE QUE LA OBTENCIÓN DE ESTOS TEXTILES TÉCNICOS SE DE A PARTIR DE ASPECTOS CLAVE COMO COMPUESTOS POLIMÉRICOS Y BIODEGRADABILIDAD”



Resumen

ABSTRACT

La fabricación de fibras sintéticas ha innovado la industria textil aportando propiedades especiales para mejorar su desempeño y utilidad, algunos de ellos son textiles técnicos utilizados comúnmente a nivel industrial que utilizan agentes antiestáticos. Sin embargo, debido a que los impactos ambientales son considerables, se ha contemplado emplear alternativas que puedan aplicarse en prendas de uso cotidiano. Así pues, se hizo una revisión bibliográfica sobre metodologías, tendencias de investigaciones publicadas en bases de datos y verificar sus perspectivas a partir de la metodología de revisión documental, en la cual se utilizaron operadores booleanos que permitieron optimizar la selección de los documentos que mayor se correlacionaban con la búsqueda. Para los resultados, se elaboraron unas fichas que contienen toda la información que articula los términos de la investigación. En los resultados, se encontró que se han estudiado textiles antiestáticos a partir de polímeros biodegradables con posibles propiedades de resistencia al corte, electro conductoras, protección de las radiaciones ultravioleta, electromagnéticas y radioactivas, también se menciona fibras opacas a los rayos X y a la radiación del espectro visible. Adicionalmente, se analizó una metodología para determinar, en distintas condiciones ambientales, la resistencia eléctrica de los tejidos para así poder estimar el comportamiento de los diversos materiales textiles en relación con la electricidad estática. De aquí, se considera que para un mejor estudio del fenómeno de la electricidad estática es conveniente utilizar la preparación de sol-gel (TEOS).

Palabras clave:

Agentes antiestáticos, Compuestos poliméricos, Electricidad, Impacto ambiental, Nanomateriales, Sustancias naturales, Textiles técnicos, Triboelectricidad.

The manufacture of synthetic fibers has innovated the textile industry by providing special properties to improve their performance and usefulness, some of them are technical textiles commonly used at industrial level that use antistatic agents. However, due to the considerable environmental impacts, the use of alternatives that can be applied in everyday garments has been contemplated. Thus, a bibliographic review was made on methodologies, research trends published in databases and verification of their perspectives based on the documentary review methodology, in which Boolean operators were used to optimize the selection of the documents that correlated best with the search. For the results, files were prepared containing all the information that articulates the terms of the research. In the results, it was found that antistatic textiles have been studied from biodegradable polymers with possible properties such as cut resistant, electro conductive, protection from ultraviolet, electromagnetic and radioactive radiation, also opaque fibers to X-rays and visible spectrum radiation are mentioned. Additionally, a methodology was analyzed to determine, in different environmental conditions, the electrical resistance of fabrics in order to estimate the behavior of the different textile materials in relation to static electricity. From this, it is considered that for a better study of the phenomenon of static electricity it is convenient to use the sol-gel preparation (TEOS)

Keywords:

Antistatic agents, Polymeric compounds, Electricity, Environmental impact, Nanomaterials, Natural substances, Technical textiles, Triboelectricity.

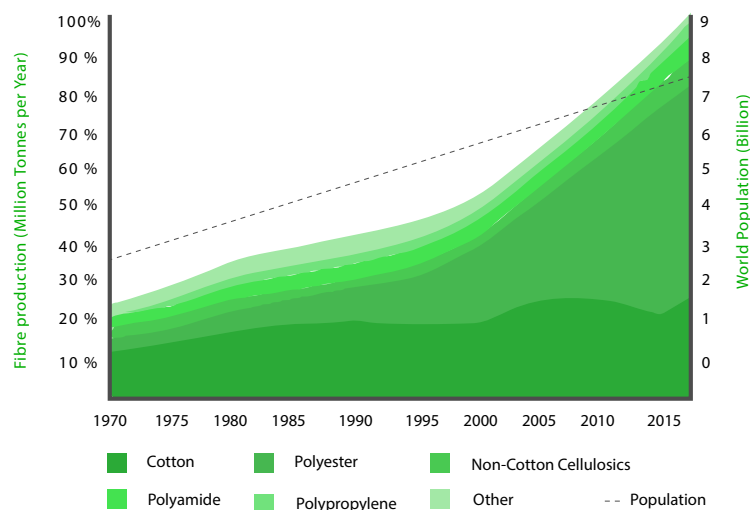
Introducción

La industria textil y manufacturera constituye el primer sector económico en varios países, ya que constituye el 2% del Producto Interno Bruto Mundial (PIBM), es decir, US\$3000 billones. Por este motivo, se han invertido grandes cantidades de dinero en la innovación de nuevas y mejores prendas, una de las invenciones que marcaron un punto de inflexión en la historia de la industria textil fue la incorporación de fibras sintéticas. Esto se logró a partir de la obtención de polímeros sintéticos, los cuales permitieron desarrollar fibras sintéticas de larga duración y resistentes a diferentes agentes externos (Tovar et al. 2018).

Con relación a la producción actual, las fibras sintéticas más utilizadas en prendas de uso corriente son fabricadas en poliamida (nylon), poliéster, acrílico, acetato, polietileno, polipropileno y poliuretano (CONABIO, 2020). En contraste, las fibras naturales más utilizadas se elaboran a partir de algodón, lana, seda, lino, yute, alpaca, angora, entre otros. Precisamente, en la Figura 1 se evidencia una correlación entre la producción de cada tipo de material y el crecimiento poblacional en los últimos 40 años, dónde se corrobora la representatividad que tuvo la incursión de las diferentes clases de fibras sintéticas.

Este gráfico indica que la producción de fibras mantenía una tendencia de aumento

Figura 1.
Diagrama de proceso de textiles



Nota. Tomado de Niinimäki et al. (2020).

constante hasta la década de los noventa, donde la evolución tecnológica y el crecimiento demográfico favoreció la industrialización de la producción masiva hasta en un 60% de textiles como poliéster, polipropileno, poliamida, y otros. A diferencia de las fibras naturales como algodón, que mantuvieron su producción con leves variaciones porcentuales en sus picos.

En efecto, con los años la creciente demanda de la industria ha generado la necesidad de implementar nuevas tecnologías y desarrollos en los que la nanotecnología y biotecnología se fusionan para elaborar prototipos de telas que disminuyan el consumo de recursos, y que mejoren el desempeño de las prendas y su funcionalidad, es decir, tejidos inteligentes, que respondan a algún estímulo eléctrico, mecánico, térmico, óptico o magnético. Inclusive, a prueba de agua y resistentes a condiciones climáticas extremas y/o adversas (temperaturas extremas, incendios y aeronáutica) (Madero et al., 2010).

En particular, la ropa deportiva es ilustre por emplear esta tecnología, dado que incorpora nanomateriales funcionales como nanopartículas metálicas específicamente nanocompuestos de Plata (AgNCs), aportando propiedades de resistencia al agua, antibacteriales, anti-olores, bloqueadores de luz UV, liberadores de fármacos, entre otros. (Tacha, 2020).

Paralelamente, existe una rama importante de textiles técnicos: los textiles antiestáticos, éstos son utilizados para reducir o eliminar la generación de carga electrostática (Textor & Mahltig, 2010). Por ejemplo, esta tecnología ha sido utilizada en industrias con presencia de carburantes, gases y polvos combustibles, en dónde se controlan chispas incendiarias, daños de equipos electrónicos, atracción de partículas de la superficie, evitando accidentes laborales y protegiendo a los operarios.

De esta manera, se ha buscado incluir este tipo de cualidades en materiales sintéticos y en prendas comunes con el fin de darle mayor calidad al producto, y por supuesto mayor comodidad al consumidor.

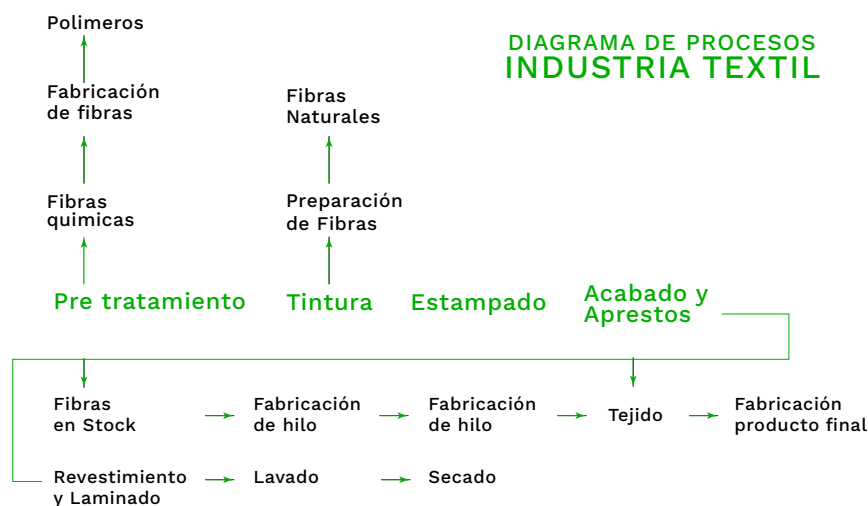
En ese orden de ideas, la finalidad de este artículo es documentar la información técnica que permita profundizar el conocimiento sobre los agentes antiestáticos, evaluar su estado y perspectivas para incorporar propiedades de textiles

inteligentes en prendas de uso cotidiano, a partir de impregnantes naturales. Porque producir los sintéticos, además de ser costosos, demandan de altas cantidades de recursos, en especial de agua. De acuerdo con el Servicio de Investigación del Parlamento de la Unión Europea, para fabricar textiles se requieren alrededor de 2.000 litros de agua, unos diez kilos de productos químicos y tintes en su proceso de fabricación y la emisión de un equivalente de 13 kilos de dióxido de carbono (Unión Europea, 2019).

Es decir, es conveniente que se busquen alternativas en la producción de textiles técnicos que reduzcan la huella de carbono y en especial la carga contaminante en las aguas residuales. Por ese motivo, el análisis del fundamento tecnológico que sustenta este documento es de gran utilidad, dado que presenta las bases teóricas que pueden ser empleadas en el desarrollo de nuevos productos. Para esto, se consultaron bases de datos, identificando los resultados más relevantes de los temas que se han planteado, y al mismo tiempo, se revisaron patentes y diferentes tipos de publicaciones en materia de normatividad internacional.

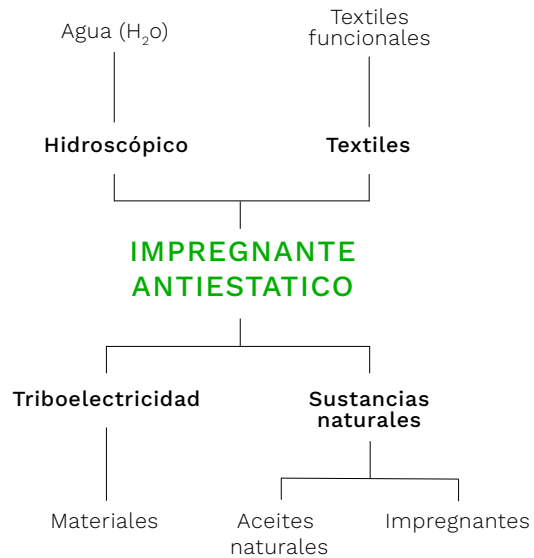
Inicialmente se presenta el análisis bibliográfico, a partir de un mapa mental (Figura 2) del problema, identificando los temas más relevantes, luego se realiza la búsqueda en bases de datos especializadas, dónde los artículos con mayor correlación fueron analizados mediante la construcción de una ficha de resumen y de esta manera, clasificarlos según su importancia. Finalmente, se desarrollaron las conclusiones sobre los resultados de esta investigación.

Figura 3.
Diagrama de proceso industria textil



Nota. Adaptado por autor, 2021. Tomado de Ergonomía En El Sector Textil (2021).

Figura 2.
Diagrama conceptual del estudio



Nota. Adaptado por autor, 2021. Tomado de Barbosa et al. (2013).

Marco Teórico

La fabricación de fibras sintéticas actualmente se ha ido modificando con los años, añadiendo procesos cada vez más funcionales y eficaces para mejorar la calidad del producto. Según Ergonomía En El Sector Textil (2021) el proceso de obtención de fibras consta de varias operaciones unitarias, como pretratamiento, tinte, estampado, hilado, entre otros, en la Figura 3 se desglosa esta metodología.

El proceso comienza con el acondicionamiento de las fibras mediante su limpieza, para que queden sueltas y libres de cualquier impureza que pueda dañar el hilo resultante. La operación de cardado separa las fibras y las dispone en cintas; el resultado suele ser irregular, por lo que estas cintas procedentes de la carda pasan por diversos estirados y doblados para conseguir un resultado homogéneo. Con las fibras dispuestas de forma homogénea se las somete a un nuevo estiramiento y una ligera torsión. Así se obtienen las mechas listas para el hilado.

Con el objeto de mejorar la uniformidad de las fibras, así como sus propiedades

hidrofílicas y su afinidad por colorantes y productos de acabado, durante la etapa de pretratamiento se lleva a cabo la separación de las impurezas de las fibras y la liberación de las tensiones en las fibras sintéticas. Para estas, el pretratamiento consiste en el lavado de las fibras para eliminar los agentes de preparación y las colas que se han aplicado en las etapas anteriores y en su termo fijación.

Otra consideración que condicionó la caracterización de las nuevas propiedades de los textiles fue la difusión intensiva de las fibras sintéticas en la década de los sesenta del siglo pasado, según referencia, Ovejero (2014) los problemas relacionados con la electricidad estática se incrementaron en los procesos de fabricación como consecuencia de la fricción contra otros materiales, al igual que durante el uso cotidiano de estas fibras.

Algunos de los inconvenientes ocasionados por las cargas electrostáticas generados en los tejidos acabados se encuentran:

- Enrollamientos de fibras sobre las máquinas en rotación, especialmente en la hilandería
- Adherencia de hilo en el urdido
- Hilados con fibras erizadas
- Formación de chispas

Estos efectos pueden minimizarse, por ejemplo, mezclando la lana (de carga positiva) con polipropileno (de carga negativa) o incorporar materiales conductores como fibras metálicas o de carbono (Lockuán, 2013). En la Figura 4 se relacionan las cargas triboeléctricas de algunas fibras textiles.

Barbosa et al. (2013) definen el efecto triboeléctrico o la electricidad estática como un fenómeno eléctrico que consiste en la transferencia de cargas eléctricas y por lo tanto en la generación de una tensión, entre diferentes materiales (de los cuales al menos un aislante) cuando se frotan entre ellos.

Su etimología se origina del sufijo griego tribos, que significa precisamente frotamiento, también era conocida en la antigüedad (Tales de Mileto siglo VI a.C Teofrasto de Hereso, Plinio el Viejo), y llevó al nacimiento de la palabra “electricidad”, del nombre griego de ámbar: electrón.

Por su parte, los materiales triboeléctricos se clasifican por su polaridad e intensidad de la carga adquirida, unos tienden a producir electrones (y cargar positivamente), y otros aceptan electrones y cargar negativamente. Por ejemplo, al entrar

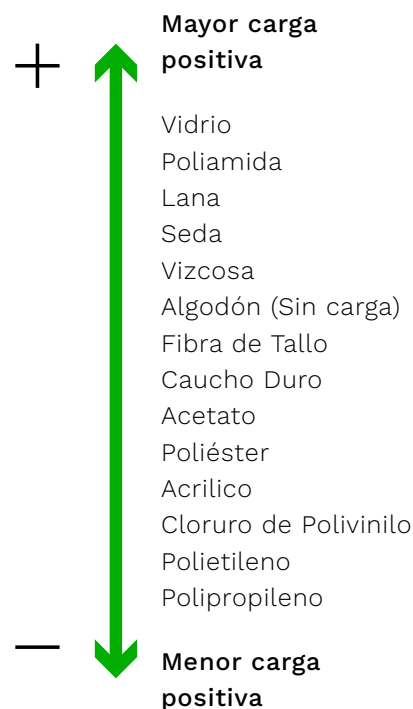
en contacto con el nylon y el teflón, el nylon se cargará positivamente y el teflón negativamente, sin embargo, si el nylon se frota en la piel se cargará, más débil, negativamente. La polaridad y la intensidad de la carga generada dependen no solo de los materiales sino también de otros factores y, probablemente, otras causas aún no conocidas.

Así mismo, Ovejero (2014) aclara que, si bien la formación de cargas electrostáticas no requiere necesariamente de rozamiento, se debe saber que la transferencia de electrones de un material a otro también se manifiesta por simple contacto. Por ejemplo, al desenrollar una cinta adhesiva (celulosa), la tira está en contacto con la capa adhesiva, es decir, en el desprendimiento hay transferencia de electrones del pegamento (carga positiva), y la cinta subyacente (negativa).

De hecho, Textor & Mahltig (2010) mencionan que, los efectos triboeléctricos también pueden ocurrir entre sólidos y líquidos o gases, y el contacto con dos superficies causa un fenómeno llamado adhesión, donde los enlaces químicos se forman en los puntos de contacto.

Cabe señalar que en contacto también puede haber intercambio de iones o fragmentos de moléculas enteras y que a nivel microscópico hay aspectos del fenómeno similares a la fricción. En el momento del desprendimiento, debido al fuerte campo eléctrico presente, hay fenómenos de

Figura 4.
Carga triboeléctrica de las fibras textiles



Nota.. Adaptado por autor, 2021. Tomado de (Lockuán, 2013).

descarga eléctrica que conducen al calentamiento (fenómenos piroeléctricos) y el retorno parcial de los electrones intercambiados al material original (en inglés: flujo de retorno de carga).

Otro ejemplo, de este efecto, se da cuando se experimenta una pequeña descarga eléctrica que se produce (especialmente cuando la humedad en el aire es moderada) después de caminar sobre una alfombra sintética y tocar el mango de una puerta. Si la alfombra es de nylon y las suelas de los zapatos son de goma, el contacto entre los zapatos y la alfombra crea una transferencia de electrones de la alfombra a los zapatos, dejando la alfombra cargada positivamente y las suelas de los zapatos cargadas negativamente.

Por otro lado, es importante para esta investigación relacionar los impregnantes o agentes antiestáticos, Ovejero (2014) lo define como un compuesto que reduce, amortigua, e inhibe la acumulación o la descarga de la electricidad estática en prendas, la carga estática se puede generar por el efecto triboeléctrico o por un proceso sin contacto utilizando una fuente de alimentación de alta tensión.

De igual forma, se menciona que las moléculas de un agente antiestático a menudo tienen ambas zonas hidrófilas e hidrófobas, similares a las de un tensioactivo; el lado hidrofóbico interactúa con la superficie del material, mientras que el lado hidrófilo interactúa con la humedad del aire y une las moléculas de agua.

En la industria textil se utilizan estos aditivos, a raíz de la necesidad de reducir la polarización de los polímeros y, al mismo tiempo, la resistencia superficial de los materiales, lo que hace que la carga se disipe, y como resultado, se disminuya la aparición del fenómeno adverso. De acuerdo con el reporte de Sierra (2000) los agentes antiestáticos se pueden clasificar en dos grupos: externos e internos de acuerdo con el método de su aplicación, mecanismo de acción y la duración de la acción antiestática. Los agentes antiestáticos externos tienen las siguientes propiedades:

- Se adaptarán a la superficie del plástico acabado.
- Se utilizan técnicas como la pulverización y la inmersión.
- La duración de la acción antiestática de este tipo de compuestos es muy corta.
- Debido a su abrasión bajo la influencia de factores mecánicos, éstos compuestos pierden su actividad después de solo 6

semanas y, a este respecto, no igualan las propiedades de los agentes antiestáticos internos.

En cuanto al efecto antiestático en el caso de los agentes antiestáticos internos se describe así:

- Es de larga duración (generalmente más de un año).
- Al término de 24-48 horas desde el proceso de extrusión, las partículas migran a la superficie del material, formando una película higroscópica que atrae el agua.
- La capacidad creada tiene una función conductora, ya que la descarga eléctrica estática reduce el nivel de carga plástica.
- La migración de agentes antiestáticos internos asegura un período más largo de su actividad: las capas que se desgastan de la superficie del polímero son reemplazadas.

Independientemente del mecanismo de acción, los agentes antiestáticos deben tener varias características que garanticen su alta eficiencia. Estas características son principalmente:

- Propiedades hidrofílicas e higroscópicas,
- La capacidad de ionización en el agua: la presencia de iones aumenta la conductividad del agua,
- La capacidad de migrar hacia la superficie del material.

Paralelamente, se referencia que se pueden utilizar sustancias naturales dentro de los impregnantes antiestáticos que aportan propiedades hidrofílicas al material, lo que permite el aumento del contenido de humedad y por lo tanto la disminución de la triboelectricidad. Las sustancias más utilizadas son glicerina, dióxido de titanio (TiO_2), óxido de zinc (ZnO), dióxido de estaño (SnO_2), combinación de nanopartículas de plata (Ag) y oro (Au), sales de amonio cuaternario y polietilenglicol.

Otro aspecto de importancia para este artículo es que recientemente la industria textil ha venido incursionando en lograr una funcionalización del textil a partir de la modificación física y química de las fibras textiles con nanomateriales, es decir, sustancias químicas o materiales cuyas partículas tienen un tamaño de entre 1 y 100 nanómetros (nm) en al menos una dimensión. Rashid et al. (2021) señalan al dióxido de titanio (TiO_2) (sólido inorgánico con alta estabilidad térmica y química) como uno de los nanomateriales con mayor atención en los últimos años debido a que

sus propiedades estructurales, físico químicas, ópticas y eléctricas, proporcionan a las fibras textiles funcionalidades como autolimpieza foto catalítica, disminución de la proliferación microbiana, la protección UV, la conductividad eléctrica, incluida propiedades antiestáticas, y una mayor estabilidad térmica.

Si bien el uso de nanomateriales representa ventajas en diversos aspectos, pueden también significar riesgos para la salud y el medio ambiente, siendo importante tener en cuenta la sostenibilidad del producto final, considerando que el uso de textiles inteligentes o funcionales implica la combinación de diferentes materiales cuya separación al final del ciclo de vida del producto es complicado y genera graves impactos en el medio ambiente.

Precisamente, los impactos ambientales ocasionados por la industria textil se han incrementado en los últimos años a raíz de diferentes fenómenos, sin embargo, el de mayor impacto es el denominado fast fashion o moda rápida, es decir, modelos basados en producción de prendas en grandes cantidades en corto tiempo sin importar sus consecuencias ambientales. Frente a ello, se destaca de acuerdo con la ONU citado por Carvajal (2022) que “La industria de la moda produce hasta el 10% de las emisiones globales de CO₂ (agravado porque todos los excedentes de producción se queman) y un 20% de las aguas residuales del planeta, además, es la segunda actividad económica que más consume agua en el mundo” (párr. 6.).

En la Figura 5 se desglosa la proporción de CO₂ emitida en cada fase de la vida de la prenda, desde la producción del hilo y la prenda, pasando por el transporte, el uso personal (es decir, el lavado) y, finalmente, la eliminación. La fase de producción, que consiste en cultivar y trabajar las materias primas para convertirlas en textiles y ensamblarlas en prendas, es la más destructiva para el medio ambiente. La mitad de los costes medioambientales asociados a una camiseta proceden de su producción, y en los jeans son más de la mitad.

En síntesis, estos conceptos aportan criterios y perspectivas para desarrollar la investigación contextualizada en las diferentes clases de textiles técnicos, usos, propiedades e impactos.

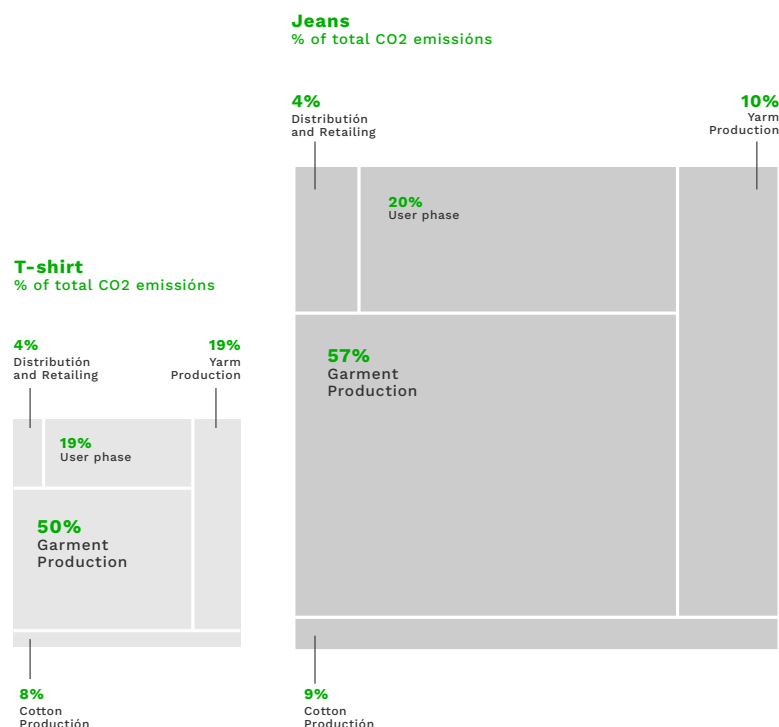
Materiales y métodos

Según para la construcción de cualquier marco teórico este puede realizarse a partir de dos fases, la primera consiste en la recolección de la información bibliográfica y la segunda, analiza los documentos obtenidos en la fase anterior. La fase heurística se fundamenta en la selección de información de temas relacionados al objeto de estudio, además, implica la construcción y definición de los criterios de búsqueda, de inclusión de fuentes de consulta y todos los demás conceptos que se consideren que limiten o enriquezcan el trabajo investigativo.

Para ejecutar la búsqueda se utilizaron los operadores booleanos, (AND, NOT, OR, XOR), Barbosa et al. (2013) referencia que éstos son términos o símbolos que se utilizan para darle a la búsqueda un orden lógico, de forma que se localizan los registros que contienen los términos correspondientes a uno de los campos especificados o en todos los campos. El operador

Figura 5.

El coste medioambiental de producir una camiseta y un pantalón vaquero en términos de emisiones de CO₂ es de 2,6 kg y 11,5 kg respectivamente



Nota. Tomado de (Unión Europea, 2019).

AND (Y), indica que las palabras que anteceden y siguen al operador deben encontrarse en el resultado de la búsqueda. El NOT, muestra que la palabra clave anterior al operador deberá aparecer, pero no la posterior. Por su parte, el OR (O): Indica que cumple con que solo una de las palabras esté presente. En la mayoría de las herramientas de búsqueda puede reemplazarse por un espacio en blanco. Finalmente, el XOR: especifica que, de ambas palabras clave, sólo debe aparecer una.

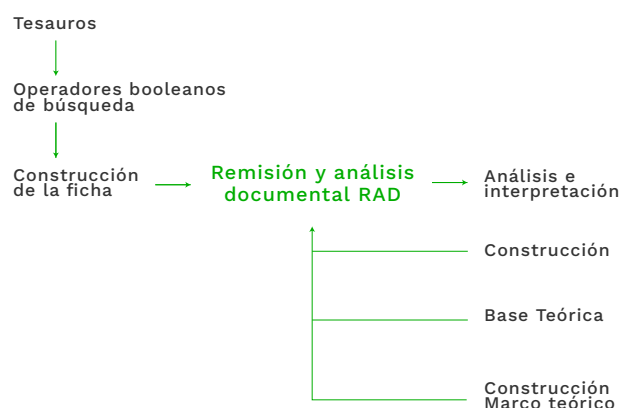
Paralelamente, la segunda fase, es decir la hermenéutica o de análisis, emplea los hallazgos de la fase anterior y su finalidad es dar forma al documento para resumir los referentes, dando un orden coherente y ampliado de la información sobre el tema de este estudio. Este análisis se basa en lo propuesto por Barbosa et al. (2013) que se describe en la Figura 6.

Fase heurística

Para el desarrollo de esta fase se tomó la construcción de una ficha de recolección de información de los documentos analizados, la misma corresponde a una adaptación de la ficha presentada en el artículo de Barbosa et al. (2013).

En la Tabla 1, se evidencian los protocolos de búsqueda con los términos utilizados, recursos de información, estrategias, criterios de extracción entre otros.

Figura 6.
Diagrama metodología RAD



Nota. Adaptado por autor, 2021. Tomado de Barbosa et al. (2013).

Fase hermenéutica

De igual manera, se elaboró un formato de construcción de la ficha para la revisión de los documentos, ver Tabla 2.

Tabla 1.
Protocolo de búsqueda de la información

PROTOCOLO DE BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN	
Idioma	Español, inglés
Periodo de tiempo	2007-2019
Terminos de busqueda	Individuales Agua, triboelectricidad, antiestático, electricidad, fricción, geles, aceites naturales, fibras.
	Combinaciones Agua, triboelectricidad, antiestático, electricidad, fricción, geles, aceites naturales, fibras.
Recursos de información	I. Bases de datos: Ebscot Host, Science Sliever, Proquest, ISI Web of Knowledge, Dialnet, Redalyc. II. Google Académico; III. Revistas indexadas en formato digital (ingeniería, agronomía); memorias de eventos académicos y específicos sobre sistemas de riego y manejo de imágenes; IV. Páginas de redes sobre sistematización de experiencias; V. Trabajos de investigación de posgrado.
Estrategias	Formación Capacitación bases de datos, redes de conocimiento, OneNote, Mendeley
	Términos Palabras clave artículos, títulos, resúmenes
	Busqueda I. Ingreso escalonado de términos, restringiendo la búsqueda según resultado precedentes; II. Búsquedas booleanas (sencillas y por ecuaciones); III. Consulta a páginas personales de expertos y IV. Revisión de citaciones y referencias bibliográficas.
Normas	I. Diagnosticar la existencia de trabajos análogos. II. Revisar las fuentes de información teniendo al horizonte de investigación. III. Corroborar la correspondencia de la fecha de publicación de la fuente primaria. IV. Corroborar y conseguir los trabajos completos, constatando su relevancia para la investigación. V. Hacer lectura del resumen e introducción como estrategia de inclusión o exclusión preliminar. VI. Hacer registro de comentarios acerca del estudio (relevancia, aspectos destacados o cualquier otro aspecto útil).
Criterios de exclusión	I. Publicaciones que no contengan información de interés a pesar de contener los términos de búsqueda o combinación de ellos. II. Publicaciones relacionadas con experiencias cuyos contextos son de electrónica o netamente matemáticos. III. Publicaciones relacionadas con experiencias cuyos diseños investigativos distan radicalmente del enfoque del problema.
Estrategia de extracción	I. Representó el diseño del formato de revisión documental, el cual se estructuró en tres secciones: II. Datos de diligenciamiento. III. Datos descriptivos de la publicación y tópicos relevantes de la publicación.

Nota. Elaboración propia, 2021. Tomado de Barbosa et al. (2013).

Tabla 2.
Ficha de revisión de documentos

DATOS DE DILIGENCIAMIENTO	
Numeración del documento	
Fecha de diligenciamiento	
Datos descriptivos de la publicación	
Título de la publicación	Revisión documental: Agentes anti-estáticos en prendas de uso diario, estado y perspectivas
Tipo de publicación	
Capítulo o páginas	
Revista o editorial	
Fecha de publicación	
Título del estudio	
Autor/es	
Palabras clave	
Lugar de la investigación (si aplica)	
Tópicos relevantes de la publicación	
Descripción general	Objetivos Justificación
Fundamentos teóricos	Descripción de las ecuaciones o principios que rigen la investigación
Metodología	Descripción breve
Conclusiones	
Referentes	
Observaciones u opinión	
Calificación	Alta-media-baja

Nota. Elaboración propia, 2021. Tomado de Barbosa et al. (2013).

Resultados y análisis

Después de definir los criterios para la elaboración de la ficha de revisión de documentos, se realizó el proceso de consulta de las primeras bases de datos y se construyeron las fichas de los primeros artículos analizados. En primera instancia se definieron los términos denominados Tesoros, es decir, palabras clave empleadas con operadores booleanos. Posteriormente, se realizó la síntesis de los aspectos relevantes de cada artículo.

Los resultados de la investigación reflejaron diferentes perspectivas del sector electrónico, aeroespacial y químico, con respecto al desarrollo de sustancias que aportan características antiestáticas a prendas de uso cotidiano. Se denotó que la aplicación de la metodología de búsqueda propuesta por Barbosa et al. (2013) permitió seleccionar los artículos de mayor

relevancia para la investigación. En primer lugar, se logró corroborar que muchos proyectos demuestran que se pueden fabricar textiles antiestáticos degradables, utilizando elementos como las partículas de tamaño nanométrico o micrométrico (nanopartículas de carbono, metálicas, cerámicas, etc.), dentro de una matriz polimérica (Cabello-Alvarado et al., 2019).

De hecho, los compuestos polímeros-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 especiales.

En otras palabras, la obtención de textiles técnicos a partir de compuestos poliméricos y biodegradables, son aspectos claves para que estos productos tengan aceptación en diferentes mercados de prendas de uso cotidiano. Sin embargo, se reconoce que las evaluaciones pertinentes para determinar las propiedades fisicoquímicas y morfológicas de los textiles son de gran importancia para poder corroborar con las normas establecidas de calidad, apariencia, durabilidad y principalmente su aplicación.

Con respecto al estudio de las propiedades mecánicas de una prenda, la investigación de Gace (2000) desarrolla fibras antiestáticas a base de polímeros como poliamida natural y polipropileno, las cuales evidenciaron ser resistentes al corte, electro conductoras, protección de las radiaciones ultravioleta, electromagnéticas y radioactivas. También se mencionan fibras opacas a los rayos X y a la radiación del espectro visible, que generan calor o almacenan y liberan, así como fibras y textiles foto o termo-crómicos.

No obstante, además de los aspectos positivos mencionados a estas propiedades, se evidencia que aún debe profundizarse más y analizar los rangos de tolerancia de las prendas y revisar los recursos que demandan en función de la aplicabilidad de la prenda.

Adicional a lo anterior, se encontraron varias investigaciones que corroboran la favorabilidad del uso de textiles con agentes antiestáticos en industrias que trabajan con equipos electrónicos de alta tensión, los cuales, comúnmente ponen en riesgo a los operarios que los manipulan (Sierra et al., 2021).

Por ejemplo, cuando se descarga un material u objeto cargado próximo, se genera una chispa resultante que emite un campo electromagnético que se desplaza, y ocasiona una tensión RF y, por lo tanto, daños irreversibles en diversas partes de su equipo: ensucia los rodillos y los impide trabajar adecuadamente, también hace disminuir la velocidad de los trabajos con láminas, produce shocks eléctricos en el personal y en algunos casos ha sido responsables de incendios y explosiones. Por ese motivo ésta industria incorpora tejidos con baja triboelectricidad para impedir accidentes laborales.

Ahora, para verificar la atribución de estas propiedades en las prendas de uso cotidiano, se debe tener en cuenta que en el momento de evaluar el parámetro eléctrico que analiza el comportamiento del textil en la etapa de la disipación de la electricidad estática, es decir, “resistividad eléctrica”, pueden encontrarse dificultades para medirlo a través de procedimientos directos, ya que no existen aparatos para medir tan elevadas resistencias, por lo tanto, es necesario utilizar un método indirecto. Así pues, para poder realizar una comparación entre las diferentes medidas se ha tenido que definir una metodología de cálculo, ya que existen diferentes variables que influyen en el valor de la resistividad.

En particular, Ovejero (2014) detalla una metodología para determinar, en distintas condiciones ambientales, la resistencia eléctrica de los tejidos para así poder estimar el comportamiento de los diversos materiales textiles en relación con la electricidad estática. De aquí se considera que para un mejor estudio del fenómeno de la electricidad estática es conveniente dividirlo en tres apartados que son secuenciales: generación, acumulación y disipación de las cargas en un cuerpo.

Esto quiere decir que, a menor generación y/o mayor disipación menores serán los efectos producidos por la electricidad estática, que generalmente suelen ser negativos o molestos para el desarrollo de cualquier actividad. Igualmente, se ha identificado que la disipación de la electricidad estática es la etapa que más influye para que se dé este fenómeno y, por tanto, el estudio de las características eléctricas de los materiales textiles es de especial importancia para definir su magnitud.

Por otra parte, el parámetro eléctrico que evalúa el comportamiento del textil en la etapa de la disipación de la electricidad estática es la “resistividad eléctrica”. Este parámetro no se puede medir por procedimientos directos, ya que no existen aparatos para medir tan elevadas resistencias y por ello ha sido necesario utilizar un método indirecto. Para poder realizar una comparación entre las diferentes medidas se ha tenido que definir una metodología

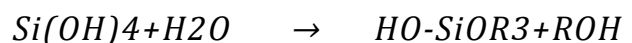
de cálculo, ya que existen diferentes variables que influyen en el valor de la resistividad.

De igual forma, se identificaron proyectos que abordan la aplicación de matrices poliméricas, estudian la generación de polímeros inorgánicos como matriz de soporte de agentes antiestáticos a partir de nanocompuestos de plata (AgNCs). Las AgNCs se aprovechan cada vez más gracias a sus propiedades que evitan el crecimiento bacteriano, además, se comprobó que el mecanismo propio de dichos nanomateriales, según Tacha (2020) se basa en la atracción electrostática entre la carga negativa de las bacterias y la carga positiva de las AgNCs.

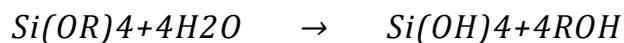
De hecho, su afinidad por los grupos sulfuro o fosforilados presentes en la membrana de las bacterias, son aspectos clave para su función biocida, las nanopartículas de plata (AgNPs) interfieren en las principales actividades del microorganismo: procesos de respiración celular, producción de especies activas de oxígeno (ROS) que envejecen prematuramente al organismo, sin dejar de lado el cambio en la permeabilidad de la membrana, aspectos que sumados causan la destrucción de los microorganismos y para los cuales, no se evidencia que el mismo genere resistencia.

Por otro lado, uno de los aportes más significativos de los proyectos encontrados, fue que es posible utilizar sustancias naturales dentro de los impregnantes estáticos para contribuir a las propiedades hidrofílicas, lo cual, favorece la absorción de humedad, y por consiguiente la disminución de la triboelectricidad. Para llevar esto a cabo en vestimenta de uso cotidiano, se debe analizar su comportamiento en diferentes fases y verificar su aplicabilidad en vestimentas, dado que esto representaría ahorro de recursos y extensión de la vida útil del material.

De esta manera, se considera que una de las metodologías más propicias para la elaboración de la red polimérica que brinda las propiedades antiestáticas a los textiles de uso común, es la establecida en el artículo Preparación de sol-gel y propiedades del codopado de Sn – Al electroconductor por Xu et al. (2021) la propuesta consiste en la aplicación de TEOS (Tetraetoxisilano) y el MTES (metiltriethoxisilano), los cuales son compuestos que permiten la formación de la red polimérica propia del sol de interés. El proceso de hidrólisis se explica a continuación por medio de la siguiente ecuación:



La hidrólisis puede ser catalizada por un medio ácido o básico y dependiendo de la cantidad de agua puede completarse; es decir que todos los grupos OR se reemplazan por OH.



También puede detenerse cuando el metaloide está parcialmente hidrolizado, dos moléculas hidrolizadas pueden unirse y hacer una reacción de condensación, esta reacción libera una molécula de agua y de alcohol. Finalmente, a partir de estas reacciones y por medio de la polimerización, se construyen moléculas cada vez más grandes y por orden de tamaño se denominan: polímero, oligómero y monómero, siendo el polímero la molécula más grande.

Ahora, para preparar la solución se presenta la Figura 7; en el procedimiento utilizan etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), TEOS ($\text{SiC}_8\text{H}_{20}\text{O}_4$), MTES ($(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_3\text{SiCH}_3$), ácido acético (CH_3COOH) y agua acidulada compuesta por ácido nítrico (HNO_3): Estos reactivos son adicionados gota a gota en un reactor con cuatro bocas de 250 ml en un baño de ultrasonidos a 20 kHz. En principio, se agrega el etanol y se somete a ultrasonidos durante 2 min, de modo que se sature la atmósfera con el alcohol para continuar con el proceso de preparación del sol. Posteriormente, se adiciona el TEOS ($\text{SiC}_8\text{H}_{20}\text{O}_4$) gota a gota y es sometido junto con el etanol a ultrasonidos durante 20 minutos; de la misma manera, se procede con los demás reactivos hasta obtener una mezcla totalmente homogénea.

En este proceso se emplea un precursor inorgánico y uno orgánico para el SiO_2 con los cuales es posible la formación de una red intercalada del polímero, el cual va a ser empleado como precursor del óxido de silicio que recubrirá las nanopartículas de hierro sintetizadas previamente, por consiguiente, se obtiene el mismo en una suspensión coloidal denominada sol. La modificación superficial tiene lugar en el horno de secado a una presión reducida durante 60 minutos a 55°C para luego someterle a un proceso de maduración durante 24 horas con el fin de garantizar un proceso de policondensación extensivo.

El sol preparado previamente, como se describe en el diagrama realizado, es susceptible a la humedad, por tal razón, se cambia el disolvente acuoso de las nanopartículas de hierro a uno alcohólico, con el fin de evitar la precipitación del óxido de silicio (SiO_2). Así pues, es necesario repetir el proceso de lavado realizado previamente para las nanopartículas de hierro, pero esta vez se emplea alcohol isopropílico (IPA) como agente de limpieza, en el cual las nanopartículas van a estar posteriormente disueltas, de igual forma, el proceso se lleva a cabo dos veces para garantizar el correcto cambio de medio en las mismas.

Posteriormente, se adicionan las nanopartículas de plata junto con 60 ml de alcohol isopropílico

en un reactor con cuatro bocas de 250 ml, en un baño de ultrasonidos a 20 kHz durante 5 minutos, posteriormente, se adiciona el surfactante cuya finalidad es reducir la tensión superficial presente en la suspensión, estabilizando la misma.

En seguida, son adicionados 60 ml del sol preparado previamente asistido por ultrasonidos a 20 kHz durante 15 minutos, luego se lleva al horno de secado a una presión reducida durante 60 minutos a 55°C , este proceso garantiza la formación de la capa de óxido 62 de silicio (SiO_2) biocompatible que tiene como función recubrir las NPIO protegiéndoles de procesos de oxidación posteriores. Finalmente, las partículas obtenidas son separadas de la dispersión madre por la interacción de ésta con un campo magnético.

Conclusiones y recomendaciones

Los resultados de la investigación permitieron identificar que los avances tecnológicos que adelantan la industria textil para empresas del sector electrónico, aeroespacial y químico son de gran utilidad para evaluar su aplicabilidad en prendas técnicas de uso corriente. Entre ellas están la termorregulación, desarrollo de matrices antimicrobianas, protección contra los rayos UV y triboelectricidad. Sin embargo, se deben verificar las propiedades e investigar los tipos, materiales y las metodologías que son necesarias para determinar el desempeño óptimo, en función de la aplicabilidad de la prenda.

Figura 7.
Preparación sol-gel



Nota. Elaboración propia, 2021.

Así mismo, es importante analizar detalladamente los recursos que demanda la generación de estos textiles porque, además, de sus costos elevados, la introducción en el mercado podría ralentizarse, por ese motivo, es importante hacer un estudio de mercado previo, que analice los escenarios de prueba, evalúe las proyecciones de costo-beneficio y compare los impactos ambientales, en el marco de los lineamientos de calidad y economía circular.

De igual manera, se identificó que ante el deterioro ambiental que la industria textil genera, se requiere que la obtención de estos textiles técnicos se dé a partir de aspectos clave como compuestos poliméricos y biodegradabilidad, ya que permitirán que los productos tengan aceptación en diferentes mercados.

En resumen, dentro de las perspectivas analizadas para la aplicación de agentes antiestáticos en prendas de uso diario, se determinó que el uso de la matriz polimérica sol-gel con sustancias naturales, es una de las más apropiadas y eficientes. En la preparación de este impregnante utilizan nanomateriales como el TiO₂, que es uno de los más atractivos para la funcionalización de textiles debido a sus propiedades estructurales, fisicoquímicas, ópticas y eléctricas únicas, su no toxicidad y su bajo costo.

Igualmente, el uso de las fibras textiles con nanopartículas y nano/microestructuras de TiO₂ favorece la autolimpieza fotocatalítica, la actividad antimicrobiana, la protección contra los rayos UV, la hidrofobicidad, la estabilidad térmica, la retardación de la llama y la conductividad eléctrica. Por consiguiente, se considera que la matriz polimérica sol-gel (TEOS) presenta los mecanismos que proporcionan las propiedades funcionales y técnicas que se buscan en las prendas de uso diario. Sin embargo, se debe considerar la influencia de varios factores en la funcionalidad de la matriz, dado que, según las investigaciones, se requiere evaluar la modificación de la superficie del TiO₂ para mejorar la actividad fotocatalítica con luz visible, como las heterouniones multifásicas, dopaje iónico, dopaje/carga de metales, acoplamiento con otros semiconductores y sensibilización superficial.

Este artículo presenta una perspectiva del mercado de textiles técnicos, en particular los antiestáticos, y se determina que existen varias metodologías que hacen viable su aplicabilidad para prendas de uso diario, tanto en la esfera económica como en la esfera ambiental.

Referencias bibliográficas

Barbosa, Jorge, Barbosa, J., & Rodríguez, M. (2013). Revisión y análisis documental para estado del arte: una propuesta metodológica desde el contexto de la sistematización de experiencias educativas. Investigación Bibliotecológica,

27(61), 83-105. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-358X2013000300005&script=sci_abstract

Cabello-Alvarado, C., Caicedo-Cano, C., Melo-López, L., Andrade-Guel, M., Cruz-Delgado, V. J., & Ávila-Orta, C. A. (2019). Revisión de métodos para la obtención de textiles técnicos. textiles técnicos y su obtención. En *Rev. Iberoam. Polímeros y Materiales* (Vol. 19, Issue 3).

Carvajal, M. (2022). Así degrada la industria del fast-fashion al medioambiente | EL UNIVERSAL - Cartagena. <https://www.eluniversal.com.co/especial/edicion-verde/asi-degrada-la-industria-del-fast-fashion-al-medioambiente-CA6323307>

CONABIO. (2020). Fibras naturales | Biodiversidad Mexicana. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/fibras-naturales> Ergonomía en el sector textil. (2021). <https://textil.ibv.org/el-proyecto/el-sector-textil/siniestralidad/>

Gace, J. (2000). Fibras de prestaciones específicas. <https://core.ac.uk/outputs/41788520>

Lockuán, F. (2013). La industria textil y su control de calidad. https://issuu.com/fidel_lockuan/docs/ii_la_industria_textil_y_su_control_de_calidad

Madero, F., Reyna, E., Dávila, E., Martínez, J., Bueno, D., Raudry, C., Cruz, V., Gonzalez, P., Valdez, J., Esparza, M., Espinoza, C., & Rodríguez, J. (2010). Proceso continuo asistido por ultrasonido de frecuencia y amplitud variable, para la preparación de nanocompuestos a base de polímeros y nanopartículas (Patent N.o WO 2010/117253 A2).

Niinimäki, K., Peters, G., Dahlbo, H., Perry, P., Rissanen, T., & Gwilt, A. (2020). The environmental price of fast fashion. *Nature Reviews Earth & Environment* 2020 1:4, 1(4), 189-200. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0039-9>

Ovejero, R. (2014). Estudio del comportamiento de materiales textiles en relación con la electricidad estática. <https://doi.org/10.14201/gredos.127367>

Rashid, M. M., Simončič, B., & Tomšič, B. (2021). Recent advances in TiO₂-functionalized textile surfaces. *Surfaces and Interfaces*, 22, 100890. <https://doi.org/10.1016/J.SURFIN.2020.100890>

Sierra, E. (2000). NTP 567: Protección frente a cargas electrostáticas Protection contre l'électricité statique Protection against electrostatic discharges Redactores.

Sierra, S., Cáceres, P., & Pérez, M. (2021). Ropa de protección antiestática. https://previpedia.es/index.php/Ropa_de_protecci%C3%B3n_antiest%C3%A1tica

Tacha, M. (2020). Desarrollo de nanocompuestos de plata como agentes desinfectantes in-vitro maria camila tacha perez fundación universidad de américa facultad de ingenierias programa de ingeniería química.

Textor, T., & Mahltig, B. (2010). A sol-gel based surface treatment for preparation of water repellent antistatic textiles. *Applied Surface Science*, 256(6), 1668-1674. <https://doi.org/10.1016/J.APSUSC.2009.09.091>

Tovar, N., Martinez, J., & González, M. del C. (2018). La ropa inteligente, una importante aplicación de la nanotecnología. En *UNIVERSITARIOS POTOSINOS* (Vol. 225). <https://docplayer.es/93996510-La-ropa-inteligente-una-importante-aplicacion-de-la-nanotecnologia.html>

Union Europea. (2019). Environmental impact of textile and clothes industry.

Xu, Z., Zhu, Y., Pang, Z., & Ge, M. (2021). Sol-gel preparation and properties of electroconductive Sn-Al co-doped ZnO coated TiO₂ whisker and its applications in textiles. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 124. <https://doi.org/10.1016/J.MSSP.2020.105607>