

Uso de fibras vegetales en materiales compuestos de matriz polimérica: una revisión con miras a su aplicación en el diseño de nuevos productos

Use of vegetable fibers in polymer matrix composites: a review with a view to their application in designing new products

Recibido: 01- 10 - 2015 Aceptado: 02-03-2016

Sandra Milena Velásquez Restrepo¹
Gabriel Jaime Pelaéz Arroyave²
Diego Hernán Giraldo Vásquez³

¹ Colombiana, Líder y Desarrollo Tecnológico del Centro de Diseño y Manufactura del Cuero del SENA Itagüí, Antioquia. Bioingeniera, Magíster en Ingeniería, Especialista en Gerencia. Grupo BIOMATIC - Biomecánica, Materiales, TIC, Diseño y calidad para el sector cuero, plástico, caucho y sus cadenas productivas. Correo electrónico: smvelasquez@sena.edu.co

² Colombiano, Instructor / Investigador del Centro de Diseño y Manufactura del Cuero del SENA Itagüí, Antioquia. Ingeniero de Materiales, Magíster en Ciencia e Ingeniería de Materiales. Grupo BIOMATIC - Biomecánica, Materiales, TIC, Diseño y calidad para el sector cuero, plástico, caucho y sus cadenas productivas.

³ Colombiano, Profesor del Programa de Ingeniería de Materiales de la Universidad de Antioquia. Ingeniero Mecánico, Magíster en Ingeniería. Grupo de Materiales Poliméricos.

Resumen

Las fibras vegetales se están convirtiendo en una alternativa realmente llamativa para aplicaciones industriales por su bajo costo, peso ligero y por ser una materia prima renovable con propiedades superiores a otros materiales cuando se utiliza como refuerzo en materiales compuestos de matriz polimérica. Este tipo de materiales se vienen utilizando en industrias como calzado y marroquinería, componentes en caucho, sector transporte y construcción, por citar los más relevantes. En este trabajo se presenta una revisión sobre el uso de algodón, fique, yute y cáñamo en compuestos de matriz polimérica, iniciando con la clasificación de las fibras vegetales y sus propiedades. Se describe la evolución del uso de las fibras naturales estudiadas en diversos componentes, los principales desafíos para la obtención de compuestos con altas propiedades, y aspectos a considerar por los responsables por el diseño de productos industriales o de consumo masivo.

Palabras Clave: compuestos poliméricos, fibras naturales, materiales compuestos biodegradables, resistencia mecánica, aplicaciones.

Abstract

Natural fibers are becoming a really striking alternative for industrial applications because of its low cost, light weight and as a renewable raw material. This type of fibers shows better properties than other conventional materials when used as reinforcement in polymeric composite materials (PCM). Because of these facts, these materials are being used in footwear and leather goods, rubber parts, vehi-

cles and building industry. This work is a review about the use of cotton, fique, yute and hemp in PCM, starting with the classification of vegetable fibers and its properties. The evolution of natural fibers as raw materials for industry and the key challenges for manufacturing articles with high performance properties are described. Remarkable considerations for designers about properties of PCM are stated.

Keywords: polymer composites, natural fiber, biodegradable composites, mechanical strength, applications.

Introducción

Durante las últimas décadas se ha incrementado significativamente el uso de materiales poliméricos en las más diversas aplicaciones, debido a algunas importantes ventajas frente a otros materiales, como la facilidad de procesamiento, la productividad que puede alcanzarse en su obtención, su baja densidad y su bajo costo (Albinante *et al.*, 2013; Meza *et al.*, 2015). Es una práctica frecuente mejorar las propiedades de los materiales poliméricos mediante la incorporación de partículas, tejidos o fibras de diferente naturaleza, obteniendo materiales compuestos de matriz polimérica termoplástica (Albinante *et al.*, 2013; Araujo, *et al.*, 2008; Mukhopadhyay y Fanguiero, 2009), elastomérica (Mohanty, 2005; Nair y Joseph, 2014) o termoestable (Meza *et al.*, 2015; Raju y Kumarappa, 2012; Shih, 2007; Yousif *et al.*, 2012).

Diversos estudios coinciden en señalar las ventajas de usar fibras naturales como cargas en compuestos de matriz polimérica (Baillie, 2004; Bledzki, *et al.*, 2002; Mohanty *et al.*, 2005; Netravali, 2005; Pickering, 2008), entre las que se destacan: provienen de recursos renovables, lo cual facilita su disponibilidad; son de bajo costo, biodegradables, por lo tanto se atenúa el impacto sobre el medio ambiente, y además son livianas. Una característica de gran interés es que presentan propiedades mecánicas que, en algunas aplicaciones, son comparables con materiales de refuerzo sintéticos convencionales como las fibras de vidrio o de carbono (Kalia *et al.*, 2009; La Mantia y Morreale, 2011; Satyanarayana *et al.*, 2007; Satyanarayana *et al.*, 2009).

Las fibras naturales se clasifican según su origen vegetal, animal o mineral. A su vez, las fibras de origen vegetal se clasifican de acuerdo con la parte de la planta de la que se extraen (Joshi, 2004), como se muestra en la Figura 1.

Fibras vegetales usadas en compuestos de matriz polimérica

La revisión presentada en este trabajo aborda el uso de fibras vegetales, como algodón, fique, cáñamo y yute, por ser las de mayor consumo en compuestos de matriz polimérica, actuando, incluso, como reforzantes en numerosas aplicaciones. Estas fibras están constituidas principalmente por celulosa, lignina, pectina y hemicelulosa (Thakur, 2013).

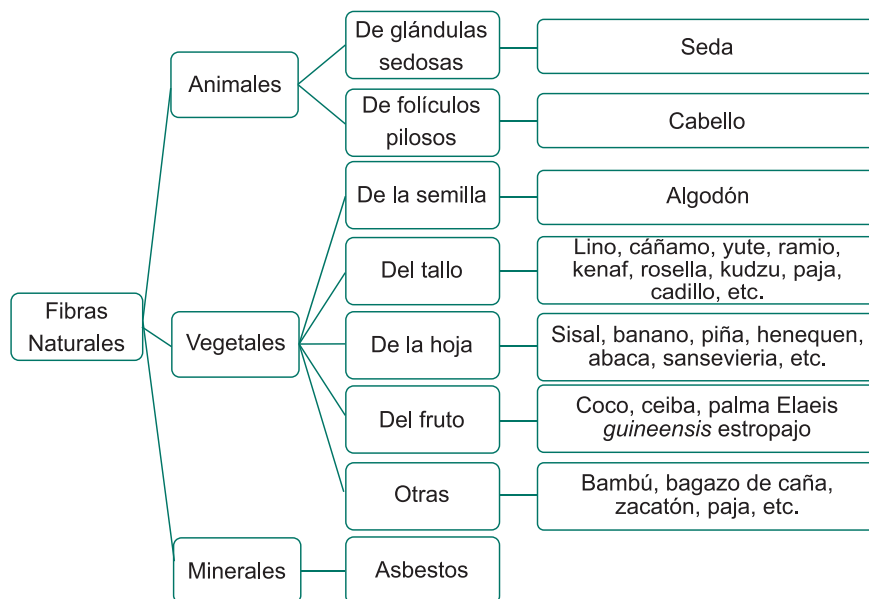


Figura 1. Fibras naturales clasificadas según su origen
Fuente: (John y Thomas, 2008).

La celulosa es el componente estructural más importante en la mayoría de las fibras naturales de origen vegetal, presentándose en forma de microfibrillas cristalinas alineadas a lo largo la longitud de la fibra (Satyanarayana et al., 2009). Es resistente a la hidrólisis y a agentes oxidantes, pero puede degradarse parcialmente cuando se expone a ácidos fuertes (Thakur, 2013). Las microfibrillas de la celulosa están recubiertas por la hemicelulosa, una estructura de cadenas lineales ramificadas compuestas por polisacáridos de peso molecular inferior, que permiten el enlace de las fibras de celulosa con la pectina. La hemicelulosa es hidrófila y puede ser fácilmente hidrolizada por ácidos y bases diluidas.

La lignina es un polímero que resulta de la unión de varios alcoholes fenilpropiólicos, que brindan rigidez a la pared celular, haciéndola resistente al impacto y la flexión; es hidrofóbica, resiste la hidrólisis ácida, es soluble en álcali

caliente y de fácil oxidación. La lignificación de los tejidos, además, les proporciona mayor resistencia al ataque de los microorganismos (John y Thomas, 2008). La pectina es un complejo polisacárido aniónico, que proporciona flexibilidad a las fibras dado que su estructura es altamente ramificada (Summerscales et al., 2010; Thakur, 2013).

El contenido de celulosa, lignina, pectina y hemicelulosa en las fibras vegetales influye en sus propiedades, siendo una práctica común eliminar la lignina y la pectina para mejorar el efecto reforzante de las fibras naturales (Dittenber y GangaRao, 2012). Un estudio sobre lino, fibras de yute y sisal mostró que la degradación de fibras de lino comienza a una temperatura relativamente más alta que las otras fibras, lo cual se atribuye a su bajo contenido de lignina (Manfredi et al., 2006). En la Tabla 1 se presenta la densidad y el contenido de reportados en la literatura para algodón, cáñamo, yute y lino (Moriana et al., 2014; Fiore et al., 2014).

Tabla 1. Composición química y densidad de algodón, fique, cáñamo y yute

Fibra	Celulosa (%p/p)	Hemicelulosa (%p/p)	Lignina (%wt)	Cenizas (%p/p)	Densidad (g/cm ³)
Algodón	85 - 90	5,7	----	2	1,5 - 1,6
Cáñamo	69 - 70	20-22	5,5 - 5,7	5,8	----
Yute	72	13	13	2,5	1,3
Lino	81	16,7 - 20,6	3	----	1,50

Fuente: (Moriana et al., 2014; Fiore et al., 2014).

El contenido de celulosa, el ángulo microfibrilar y las dimensiones celulares influyen en las propiedades macroscópicas de las fibras vegetales (Dittenber y GangaRao, 2012; John y Thomas, 2008; Wong et al., 2010; Fiore et al., 2014). La resistencia a la tracción y el módulo de Young aumentan con la longitud de la célula y con el contenido de celulosa, es decir, con el grado de polimerización de la misma (Methacanon et al., 2010; John y Thomas, 2008). La resistencia a la tracción del yute y del cáñamo se reportan en el rango de 400 a 800 N/mm² y 550 a 900 N/mm², respectivamente, propiedades asociadas a sus altos contenidos de celulosa (Sen y Reddy, 2011). El ángulo microfibrilar es el comprendido entre el eje de la fibra y las microfibrillas, cuyo diámetro está entre 10 y 30 nm, e incide significativamente en las propiedades mecánicas de las fibras de tal manera que mientras más agudo sea el ángulo mayor resistencia y rigidez presentan las fibras, y a medida que se incrementa el ángulo lo hace la ductilidad.

A mayor porosidad de las fibras (Wong et al., 2010; Yousif et al., 2012), mayor absorción de humedad que

disminuye la resistencia de las fibras (Methacanon et al., 2010). Un mayor contenido de hemicelulosa también aumenta la absorción de humedad, y además acelera el proceso de biodegradación (Yousif y El-Tayeb, 2009).

A continuación se describe la evolución del uso de algodón, fique, cáñamo y yute, objeto del presente estudio, hasta cuando llegaron a hacer empleados como refuerzos en materiales compuestos de matriz polimérica.

Evolución del uso de fibras naturales

Algodón

El algodón fue el primer textil originario del Perú, sin embargo, se cultiva en todas las regiones tropicales de clima templado alrededor del mundo. De las fibras provenientes de las semillas, el algodón es la más importante, ya que se ha usado durante al menos 5000 años (Mwaikambo, 2006). En el siglo XIII se amplió el comercio europeo de algodón

y en el siglo XV, Venecia, Amberes y Haarlem eran puertos importantes para su comercio, así como para la venta y el transporte de tejidos de algodón (Thakur, 2013). Su demanda se ha duplicado desde la década de los ochenta del siglo veinte. En la actualidad, el mayor productor es China con el 24% de la producción mundial, seguida de Estados Unidos, con un 19%, y la India, con el 13%. La principal aplicación de la fibra de algodón es la elaboración de ropa y calzado, sin embargo, también se utiliza en productos para el hogar como cortinas, tapicería, colchones, edredones (Begum e Islam, 2013), entre otros.

Hoy en día, se buscan usos novedosos para las fibras de algodón en aplicaciones tradicionales, como los investigados por Hashem y sus colaboradores (Hashem et al., 2009), logrando tejidos de algodón libres de arrugas y con mayor suavidad, sin disminuir sus propiedades de resistencia (Hashem et al., 2009; Eryuruk, 2012).

Fique

El fique tiene su origen en los trópicos de América, sobre todo en las regiones andinas de Colombia, Venezuela y Ecuador, donde prevalecen las condiciones climáticas apropiadas para su cultivo durante casi todo el año (Dhanabalan y Joshi, 2014). Su nombre botánico es *Furcraea Macrophylla*, también conocida con el nombre de sisal (Gómez y Vázquez, 2012). Existen diversas variedades de sisal, de acuerdo con las condiciones climáticas de donde proviene el cultivo y las diferentes características morfológicas (Ramakrishna, 2010). Hoy en día, el sisal se encuentra en las regiones más cálidas de México, en muchas partes de África, en India Oriental y en muchos otros países tropicales (Gómez y Vázquez, 2012). Con la introducción de telares horizontales en América, los españoles proporcionaron un avance tecnológico en la tejeduría con este tipo de fibra para aplicaciones en alpargatas y textiles, principalmente para la fabricación de costales. Al finalizar el siglo XIX, la demanda y producción de costales aumentó de manera considerable debido al inicio de las exportaciones de café; fue entonces que la región del oriente antioqueño desarrolló la artesanía de los costales, la cordelería, la elaboración de alpargatas y de enjalmas. La demanda fue tan grande que se necesitó importar costales hechos con yute, lo que indujo al Gobierno a estimular la creación de empresas y, en consecuencia, la importación de maquinaria especializada para el procesamiento del fique (Gómez y Vázquez, 2012). Sin embargo, con la invención de la fibra textil sintética de polipropileno, con la que se empezaron a fabricar costales para productos transportados a través de

contenedores, el gremio fiquero se ha visto cada vez más afectado. Por esto, día a día se buscan nuevas aplicaciones con valor agregado para la fibra de fique en el área textil, industrial y artesanal, como telas para zapatería, tapicería, cortinería, geotextiles, etc. (Gómez y Vázquez, 2012; Gañán y Mondragón, 2002).

Cáñamo

El cáñamo es una de las fuentes más antiguas de las fibras textiles, llegando, incluso, a rivalizar con el lino en el siglo XIX como la principal fibra textil de origen vegetal (Small et al., 2002). Por provenir de una planta opiácea, su cultivo ha tenido prohibiciones en varios países, pero en los últimos 30 años se han presentado significativos avances para el cultivo legal de cáñamo en Europa occidental, especialmente en la utilización de esta fibra para darle valor agregado a diversos productos utilizados en telas para ropa, calzado, bolsos, velas y papel, se buscan aplicaciones innovadoras, como geotextiles y materiales compuestos (Ranalli y Venturi, 2004).

Yute

El yute es un producto agrícola de gran importancia y es una de las fibras naturales más comunes en los países del tercer mundo, como India, China, Bangladesh, etc. La industria del yute tiene especial importancia en la economía de la India y sigue siendo una importante fuente tradicional de divisas (Dey, 2005; Roul, 2009), sin embargo, al igual que el fique, se enfrenta a la dura competencia de las fibras sintéticas. Tiene diversas aplicaciones en materiales decorativos y de mobiliario, como pantallas de lámparas, cubiertas de pared, cortinas, tapicerías, etc. Hoy en día, el yute está entre las fibras menos costosas del mercado, ya que su precio es muy inferior al de otras fibras, como la de vidrio; y es por esto que en términos de volumen, es ahora la segunda fibra más importante en el mundo, después del algodón (Mohanty et al., 2005). En la actualidad, una de las aplicaciones que se le ha venido dando es como refuerzo en materiales compuestos. Sin embargo, posee algunos inconvenientes, por lo que se requiere una modificación química que facilite la humectación con el fin de mejorar la interacción fibra-matriz. Rana y Jayachandran (2000), mencionan también el uso de compatibilizantes para la mejora de la interacción entre los materiales.

Teniendo en cuenta esta perspectiva, se han realizado innumerables estudios en gran variedad de fibras naturales tales como lino, cáñamo, yute, sisal, fibra de coco, banano, fique, heno, entre muchas otras (Netravali, 2005), usando a su vez una extensa variedad de matrices poliméricas entre las que se destacan polietileno (Albinante et al., 2013), polipropileno (La Mantia y Morreale, 2007, Khalil et al., 2000), poliestireno (Khalil et al., 2000), resinas de poliéster (Lovely, 2004) y caucho natural (La Mantia y Morreale, 2011). A pesar de sus ventajas, el uso de fibras naturales como material de refuerzo reviste también varios desafíos. Antes de describirlos, se hablará primero de las características de los materiales compuestos.

Materiales compuestos de matriz polimérica con fibras naturales

Los materiales compuestos están conformados como mínimo por una matriz y un refuerzo de naturaleza diferente, que conservan sus propiedades físicas, químicas y mecánicas de forma individual, y sin embargo, al emplearse de manera adecuada se logra un material que combina sus cualidades individuales (Moriane et al., 2014). En la actualidad, la mayoría de los materiales compuestos utilizados en la industria se basan en matrices poliméricas (Taj et al., 2007).

En la India existe una larga tradición en la producción de compuestos que emplean fibras naturales para aplicaciones como tuberías, paneles y perfiles. Sin embargo, a raíz de las críticas de los últimos años alrededor de la preservación de los recursos naturales, el uso de la fibra natural se ha reinventado en América del Norte y Europa Occidental, porque estos países han puesto un alto interés en las materias primas renovables.

Los materiales poliméricos reforzados con fibras naturales son compuestos a los que las fibras incrustadas en la matrices les confieren propiedades de alta resistencia y rigidez, actuando como cargas reforzantes que actúan como elementos de soporte de cargas mecánicas; la alineación y posición de las fibras, además, protegen el compuesto contra el medio ambiente y posibles daños (Begum et al., 2013). Es posible mejorar las propiedades mecánicas de materiales poliméricos de uso convencional, mediante la incorporación de fibras de alta resistencia, ampliando el campo de aplicación desde el sector calzado hasta la industria aeroespacial, dependiendo del tipo de fibras utilizadas como refuerzo y la resistencia inicial de la matriz polimérica de partida.

El principal desafío asociado al uso de fibras naturales como material de refuerzo de matriz polimérica es la incompatibilidad entre las fibras en estado de entrega y las matrices poliméricas, lo que conlleva a la formación de agregados durante el procesamiento del material compuesto; estos agregados dificultan el proceso de fabricación del compuesto y disminuyen su durabilidad, su resistencia a la humedad y al fuego, limitan sus temperaturas de procesamiento y producen alta variabilidad en propiedades (Dittenber y GangaRao, 2012). La incompatibilidad se debe a la presencia de grupos hidroxilo en las fibras naturales, lo cual las torna hidrofílicas, mientras que las matrices poliméricas son hidrofóbicas (Dittenber y GangaRao, 2012; Xie et al., 2010), conduciendo a una menor fuerza interfacial que cuando se usan fibras de vidrio o de carbono (Dittenber y GangaRao, 2012). Otra desventaja de las fibras naturales es su baja temperatura de degradación térmica en atmósferas oxidativas, inferior a 200°C, teniendo en cuenta que el procesamiento de los termoplásticos se realiza con temperaturas superiores a 200°C, como ha sido reportado para fibras naturales empleadas como refuerzo de polietileno de alta densidad (Araújo et al., 2008); sin embargo, este comportamiento no es una limitante para reforzar matrices elastoméricas o un amplio rango de polímeros termoestables.

Para mejorar la compatibilidad de las fibras naturales con las matrices poliméricas, se aplican a las fibras tratamientos superficiales físicos o químicos (Dittenber y GangaRao, 2012). Los métodos físicos se aplican para separar las fibras en filamentos individuales o alterar la morfología de las fibras, generando poros o mayor rugosidad, y con ello mejorar el anclaje mecánico con la matriz. Entre los métodos reportados destacan la explosión de vapor que satura las fibras y las abre en sus filamentos constituyentes (Mukhopadhyay y Fanguero, 2009), y métodos termomecánicos como el estiramiento o el calandrado (Bledzki et al., 2002), extrusión, calandrado, moldeo por compresión y moldeo por inyección (Nair y Josep, 2014).

Los tratamientos químicos buscan reducir la polaridad de las fibras para tornarlas menos hidrofílicas; los más usados son mercerización, acetilación o propionilación, y silanización (Albinante et al., 2013). En la mercerización se exponen las fibras a una solución de hidróxido de sodio que somete la lignina a una hidrólisis básica, aumentando la rugosidad superficial de la fibra, lo cual mejora la adherencia mecánica. La acetilación y la propionilación consisten en generar una reacción de esterificación del grupo hidroxilo de las fibras, para lo cual estas se tratan

con anhídrido acético o propiónico. En la silanización se emplean silanos, cuyas moléculas presentan un grupo terminal hidrofóbico en uno de los extremos, que puede desarrollar una interacción del tipo van der Waals con la matriz del compuesto, y en el otro extremo un grupo hidrofílico que puede reaccionar con los grupos OH de la fibra, formando de esa manera un puente entre la fibra y la matriz; este tipo de tratamiento se ha reportado para resinas epóxicas reforzadas con fibras y partículas de bambú (Shih et al., 2007), resinas vinílicas reforzadas con fibras de bambú (Chen et al., 2009), ácido poliláctico reforzado con fibras de hojas de piña (Shih et al., 2014), y resinas epóxicas reforzadas con cáscaras de maní trituradas, tamizadas y modificadas químicamente (Raju y Kumarappa, 2012).

Aplicación de fibras de algodón, fique, cáñamo y yute en materiales compuestos para la industria del calzado y la construcción

Aplicaciones en la industria del calzado

La aplicación de fibras naturales en la industria del calzado es, junto con la industria textil, una de las más antiguas. En esta industria se han desarrollado partes como suelas y plantillas con cáñamo en una matriz de poliuretano (Connor, 1999), incorporando cáñamo a poliéster reciclado (Planet Shoes, 2015), o con corcho y yute en una matriz de latex natural (Rieker, 2015). Para las capelladas, que deben ser altamente flexibles, se han incorporado fibras de cáñamo a una matriz de látex de caucho natural (Beltrán, 2011).

Se ha patentado un inserto de cojín desechable para zapatos con el fin de disminuir las fuerzas impartidas a los pies durante actividades como caminar y correr. El cojín de inserción tiene una primera capa de material fibroso compuesto por algodón, yute, cáñamo y bambú, y la segunda capa es de silicona espumada de celdas abiertas unidas a la primera por un adhesivo polimérico. Las fibras se tratan químicamente para disminuir su humedad y mejorar la absorción del adhesivo (Kim, 2012).

Aplicaciones en la industria automotriz

En la actualidad, existen notables tendencias hacia la sustitución de materiales ya establecidos por varios tipos de fibras vegetales incrustadas en matrices poliméricas. La

industria del automóvil está utilizando lino, cáñamo, yute, sisal, kenaf o madera como producto de refuerzo. La matriz polimérica más utilizada es el polipropileno, aunque están emergiendo muchas aplicaciones en poliuretano (Bledzki et al., 2002), principalmente porque las fibras naturales son más livianas que las de vidrio o carbono.

Fátima y colaboradores estudiaron las propiedades acústicas, de inflamabilidad y biodegradabilidad de fibras de yute de baja y alta densidad, y de compuestos de látex de caucho natural reforzado con ellas para aplicaciones en el sector automotriz y arquitectónico. Las propiedades acústicas se midieron en términos de coeficiente de absorción acústica específica normal y de la pérdida en la transmisión de sonido, mientras que las de inflamabilidad mediante pruebas de propagación de la llama y la densidad del humo generado. Los resultados muestran que el yute de baja densidad es un mejor absorbente de sonido que el de alta densidad; también que los compuestos de látex de caucho natural y yute proporcionan buen aislamiento acústico comparados con los productos disponibles comercialmente, que contienen fibras de vidrio. Ambos materiales, además, mostraron una buena capacidad de autoextinción (Fátima y Mohanty, 2011).

La compañía Mercedes Benz ha utilizado yute y algodón desde hace más de 15 años en componentes de interiores de sus vehículos, aprovechado también su capacidad de aislamiento acústico y que no se astillan en caso de impacto directo; incluso en la actualidad realizan investigaciones para reducir la utilización de fibras sintéticas (Tapia et al., 2013). También han desarrollado compuestos con funcionalidad estructural, utilizándolos en los paneles de las puertas, en los pilares de la cabina, partes de los asientos, parachoques y apoyacabezas (Pickering, 2008).

Fiat Chrysler Automobiles emplea paneles de puerta de para vehículos basados en polipropileno reforzado con fibras naturales de kenaf y cáñamo (Bledzki et al., 2002). Los paneles interiores de energía eficiente del Audi A2 se fabrican con poliuretano reforzado con fibras naturales, como lino, sisal o cáñamo, obteniendo compuestos con muy bajas densidades en comparación con otros materiales, y una alta estabilidad dimensional (Ashori, 2008).

Aplicaciones en la industria de la construcción

El alto crecimiento del sector de la construcción ha implicado el desarrollo de aislantes acústicos y térmicos,

buscando continuamente reducir el ruido y mejorar el confort. Tradicionalmente, se usaban aislantes costosos que empleaban materiales no biodegradables, como fibra de vidrio, espumas poliméricas termoestables y telas de relleno, pero se han desarrollado investigaciones con fibras naturales como el coco en matrices de poliéster (Zulkifh et al., 2008; Zulkifh et al., 2009), yute en matrices de látex de caucho natural (Fátima y Mohanty, 2011), curaua en matriz polietileno de alta densidad (Araujo et al., 2008), y cáñamo en diversas matrices termoestables (Dhakal y Zhang, 2015). El uso de estas fibras han permitido disponer de materiales para aislamiento acústico baratos, biodegradables y reciclables, a partir de recursos renovables. Sin embargo, una limitante a tener en cuenta cuando se usan fibras naturales en matrices poliméricas en la industria de la construcción, es la tendencia a la degradación por exposición al medio ambiente, para lo cual se recomienda aplicar recubrimientos protectores o funcionalizar las fibras (Azwa et al., 2013).

Conclusiones

El uso extensivo de fibras naturales y sus productos se debe a propiedades como baja densidad, alta resistencia, módulo y rigidez específicos, su naturaleza no abrasiva, a que pueden emplearse como cargas hasta obtener altos niveles de llenado, y a su biodegradabilidad. Por otro lado, las fibras naturales son materias primas provenientes de fuentes renovables y altamente disponibles, por lo cual están siendo empleadas en industrias como la automotriz, la construcción, calzado y mobiliario, si bien para su uso adecuado se requiere generar mayor conocimiento sobre sus propiedades para que los diseñadores puedan incluirlas en nuevos proyectos.

Por tratarse de productos naturales, sus propiedades físicas y mecánicas varían considerablemente. Estas propiedades están determinadas por el contenido de celulosa, lignina, hemicelulosa y pectina, así como la estructura de las microfibrillas, características que dependen del desarrollo de cada individuo y del tipo de planta.

La mayor dificultad para la utilización de fibras naturales en matrices poliméricas es su fuerte carácter polar, que crea incompatibilidad con la matriz; los tratamientos superficiales tanto químicos como físicos, permiten atenuar este problema y al mismo tiempo disminuir la absorción de agua.

Bajo ciertas condiciones de preparación, el efecto reforzante de las fibras naturales es comparable con el de otras sintéticas ampliamente utilizadas en la industria, como la fibra de vidrio. Sin embargo, las fibras naturales presentan mayor variabilidad en sus propiedades mecánicas que las fibras sintéticas, lo cual puede tolerarse en diversas aplicaciones considerando la dificultad para reciclar las de origen sintético.

Referencias Bibliográficas

- Albinante, S., Pacheco, E., e Visconte, L. (2013). Revisão dos tratamentos químicos da fibra natural para mistura com poliolefinas. *Química Nova*, 36(1), 114-122.
- Araujo, J., Waldman, W. R., and De Paoli, M. A. (2008). Thermal properties of high density polyethylene composites with natural fibers: Coupling agent effect. *Polymer degradation and stability*, 93(10), 1770-1775.
- Ashori, A. (2008). Wood-plastic composites as promising green-composites for automotive industries. *Bioresource Technology*, 99(11), 4661-4667.
- Azwa, Z. N., Yousif, B. F., Manalo, A. C., and Karunasena, W. (2013). A review on the degradability of polymeric composites based on natural fibres. *Materials and Design*, 47, 424-442.
- Baillie, C. (Ed.). (2004). *Green composites: polymer composites and the environment*. Elsevier.
- Begum K. and Islam M.A. (2013). Natural Fiber as a substitute to Synthetic Fiber in: *A Review Research Journal of Engineering Sciences*. ISSN 2278 – 9472 Vol. 2(3), 46-53.
- Beltran, M. (2011). *Calzado Natural*. Recuperado de: <http://e-videncia.com/disenio-e-implementacion-de-una-linea-ecologica-de-calzado-con-la-utilizacion-de-fibras-biodegradables>.
- Bledzki, A. K., Sperber, V. E., and Faruk, O. (2002). *Natural and wood fiber reinforcement in polymers* (Vol. 13). Smithers Rapra Publishing.

- Chen, H., Miao, M., and Ding, X. (2009). Influence of moisture absorption on the interfacial strength of bamboo/vinyl ester composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 40(12), 2013-2019.
- Connor, D. J. (1999). U.S. Patent No. 5,992,055. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Dey, D. (2005). *Indian Jute Industry at the Cross Road: Focus on West Bengal*. Available at SSRN 756411.
- Dhanabalan, L.S.K.V., and Joshi, M. (2014). Furcraea - A unique fibre. *Textile Trends*, 56(11), 29-34
- Dittenber, D. B., and GangaRao, H. V. (2012). Critical review of recent publications on use of natural composites in infrastructure. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 43(8), 1419-1429.
- Dhakal, H.N. and Zhang, Z. (2015). *The use of hemp fibers as reinforcements in composites*, In *Biofiber Reinforcements in Composite Materials*, pp 86-103.
- Eryuruk, S. H. (2012). Greening of the textile and clothing industry. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 20(6), 95.
- Fatima, S., and Mohanty, A. R. (2011). Acoustical and fire-retardant properties of jute composite materials. *Applied Acoustics*, 72(2), 108-114.
- Fiore, V., Scalici, T., and Valenza, A. (2014). Characterization of a new natural fiber from *Arundo donax* L. as potential reinforcement of polymer composites. *Carbohydrate polymers*, 106, 77-83.
- Gañán, P., and Mondragón, I. (2002). Surface modification of fique fibers. Effect on their physico-mechanical properties. *Polymer Composites*, 23(3), 383-394.
- Gómez, C., and Vázquez, A. (2012). Flexural properties loss of unidirectional epoxy/fique composites immersed in water and alkaline medium for construction application. *Composites Part B: Engineering*, 43(8), 3120-3130.
- Hashem, M., Ibrahim, N. A., El-Shafei, A., Refaie, R., and Hauser, P. (2009). An eco-friendly- novel approach for attaining wrinkle-free/soft-hand cotton fabric. *Carbohydrate Polymers*, 78(4), 690-703.
- John, M. J., and Thomas, S. (2008). Biofibres and biocomposites. *Carbohydrate polymers*, 71(3), 343-364.
- Joshi, S. V., Drzal, L. T., Mohanty, A. K., and Arora, S. (2004). Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites?. *Composites Part A: Applied science and manufacturing*, 35(3), 371-376.
- Kalia, S., Kaith, B. S., and Kaur, I. (2009). Pretreatments of natural fibers and their application as reinforcing material in polymer composites—a review. *Polymer Engineering and Science*, 49(7), 1253-1272.
- Khalil H.P.S.A., Rozman, H.D., Ahmad, M.N., and Ismail, H. (2000). Acetylated plant-fiber reinforced polyester composites: a study of mechanical, hygrothermal, and aging characteristics. *Polym Plast Tech Eng*, 39:757-81.
- Kim, E.B. (2012). *Disposable cushion shoe insert*. Generic. Recuperado de: <http://www.google.com.br/patents/US8112907>. Google Patents.
- La Mantia, F.P. and Morreale, M. (2007). Improving the properties of polypropylene-wood flour composites by utilization of maleated adhesion promoters. *Composite Interfaces*, 14(7-9), 685-98.
- La Mantia, F. P., and Morreale, M. (2011). Green composites: A brief review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 42(6), 579-588.
- Lovely, M., Joseph, K.U., Rani, J. (2004). Isora fibres and their composites with natural rubber. *Progress in Rubber Plastics Recycling Technology*, 20(4), 337-349.
- Manfredi, L. B., Rodríguez, E. S., Wladyka-Przybylak, M., and Vázquez, A. (2006). Thermal degradation and fire resistance

- of unsaturated polyester, modified acrylic resins and their composites with natural fibres. *Polymer Degradation and Stability*, 91(2), 255-261.
- Methacanon, P., Weerawatsophon, U., Sumransin, N., Prahsarn, C., and Bergado, D. T. (2010). Properties and potential application of the selected natural fibers as limited life geotextiles. *Carbohydrate Polymers*, 82(4), 1090-1096.
- Meza C.A., Pazos-Ospina, J.F., Franco, E.E., Ealo, J.L., Collazos-Burbano, D.A., and Casanova, G.F. (2015). Ultrasonic Determination of the Elastic Constants of Epoxy-natural Fiber Composites. *Physics Procedia*, 70, 467-470.
- Mohanty, A. K., Misra, M., and Drzal, L. T. (Eds.). (2005). *Natural fibers, biopolymers, and biocomposites*. CRC Press.
- Moriana, R., Vilaplana, F., Karlsson, S., and Ribes, A. (2014). Correlation of chemical, structural and thermal properties of natural fibres for their sustainable exploitation. *Carbohydrate polymers*, 112, 422-431.
- Mukhopadhyay, S., and Fanguero, R. (2009). Physical Modification of Natural Fibers and Thermoplastic Films for Composites - A Review. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 22(2), 135-162.
- Mwaikambo, L. (2006). Review of the history, properties and application of plant fibres. *African Journal of Science and Technology*, 7(2), 121.
- Nair, A.B. and Joseph, R. (2014). *Eco-friendly bio-composites using natural rubber (NR) matrices and natural fiber reinforcements*, In Chemistry, Manufacture and Applications of Natural Rubber, pp 249-283.
- Netravali, A. N. (2005). *Biodegradable natural fiber composites*. Biodegradable and Sustainable Fibres, CRC Press Boca Raton, Cambridge, England, 271-309.
- Pickering, K. (Ed.). (2008). *Properties and performance of natural-fibre composites*. Elsevier.
- Planet Shoes (2015). *A New Way to be Vegan: RENEU Footwear*. Recuperado de: <http://blog.planetshoes.com/tag/eco-friendly-footwear-materials/>
- Raju, G., and Kumarappa, S. (2012). Experimental study on mechanical and thermal properties of epoxy composites filled with agricultural residue. *Polymers from Renewable Resources*, 3(3), 117-138.
- Ramakrishna, G. (2010). *Rheological strength and durability characteristics of sisal fibre reinforced cementitious composites*.
- Rana, A. K., and Jayachandran, K. (2000). Jute fiber for reinforced composites and its prospects. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 353(1), 35-45.
- Ranalli, P., and Venturi, G. (2004). Hemp as a raw material for industrial applications. *Euphytica*, 140(1-2), 1-6.
- Rieker, J. (04 de febrero de 2015). *Creo Shoe Concept*. Recuperado de: <http://www.jennifer-rieker.de/index.php?/project/creo-shoe-concept>.
- Roul, C. (2009). *The international jute commodity system*. Northern Book Centre.
- Satyanarayana, K. G., Guimarães, J. L., and Wypych, F. (2007). Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part I: Source, production, morphology, properties and applications. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 38(7), 1694-1709.
- Satyanarayana, K. G., Arizaga, G. G., and Wypych, F. (2009). Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers—an overview. *Progress in Polymer Science*, 34(9), 982-1021.
- Sen, T., and Reddy, H. J. (2011). Application of sisal, bamboo, coir and jute natural composites in structural upgradation. *International Journal of Innovation, Management and Technology*, 2(3).
- Shih, Y. F. (2007). Mechanical and thermal properties of waste water bamboo husk fiber reinforced epoxy composites. *Materials Science and Engineering: A*, 445, 289-295.

- Shih, Y., Chang, W., Liu, W., Lee, C., Kuan, C., and Yu, Y. (2014). Pineapple leaf/recycled disposable chopstick hybrid fiber-reinforced biodegradable composites. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 45(4), 2039-2046.
- Small, E., and Marcus, D. (2002). Hemp: A new crop with new uses for North America. *Trends in new crops and new uses*, 284-326.
- Summerscales, J., Dissanayake, N. P., Virk, A. S., and Hall, W. (2010). A review of bast fibres and their composites. Part 1-Fibres as reinforcements. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 41(10), 1329-1335.
- Taj, S., Munawar, M.A., and Khan, S. (2007). Natural fiber-reinforced polymer composites. *Proceedings-Pakistan Academy of Sciences*, 44(2), 129.
- Tapia, C., Paredes, C., Simbaña, A., and Bermúdez, J. (2013). Aplicación de las Fibras Naturales en el Desarrollo de Materiales Compuestos y como Biomasa. *Revista Tecnológica-ESPOL*, 19(1).
- Thakur, V.K. (Ed.). (2013). *Green composites from natural resources*. CRC Press.
- Wong, K.J., Yousif, B.F., and Low, K.O. (2010). The effects of alkali treatment on the interfacial adhesion of bamboo fibres. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials Design and Applications*, 224(3), 139-148.
- Xie, Y., Hill, C.A., Xiao, Z., Militz, H., and Mai, C. (2010). Silane coupling agents used for natural fiber/polymer composites: A review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 41(7), 806-819.
- Yousif, B.F., and El-Tayeb, N.S.M. (2009). Mechanical and wear properties of oil palm and glass fibres reinforced polyester composites. *International Journal of Precision Technology*, 1(2), 213-222.
- Yousif, B. F., Shalwan, A., Chin, C. W., and Ming, K. C. (2012). Flexural properties of treated and untreated kenaf/epoxy composites. *Materials and Design*, 40, 378-385.
- Zulkifh, R., Nor, M. M., Tahir, M. M., Ismail, A. R., and Nuawi, M. Z. (2008). Acoustic properties of multi-layer coir fibres sound absorption panel. *Journal of Applied Sciences*, 8(20), 3709-3714.
- Zulkifh, R., Nor, M. M., Tahir, M. M., Ismail, A. R., and Nuawi, M. Z. (2009). Effect of perforated size and air gap thickness on acoustic properties of coir fibre sound absorption panels. *Eur J Sci Res* 28, 242-52.