

## APLICACIONES DE LAS FIBRAS NATURALES EN EL SECTOR INDUSTRIAL. REVISIÓN GENERAL

Fecha de Recepción  
16/01/24

Fecha de Aceptación  
01/08/24



Gómez-Balbuena, D. N.

Tecnológico Nacional de México  
dngomez@iteshu.edu.mx  
México

**ORCID ID**

Doctor en Manufactura Avanzada egresado del CIATEQ centro de investigación adscrito al PNPC de CONACYT; Con Maestría en Manufactura y Licenciatura en Ingeniería Industrial realizadas en el Instituto Tecnológico de Chihuahua. Con 10 años de experiencia en el sector automotriz. Certificado en áreas de Diseño asistido por computadora, Metrología y elaboración de cursos virtuales. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores (SNI). Miembro del Cuerpo Académico Agroindustrias



Ortíz-Mena, R. G.

Tecnológico Nacional de México  
rgortiz@iteshu.edu.mx  
México

**ORCID ID**

Doctora en Manufactura Avanzada egresada del Centro de Investigación CIATEQ; cuenta con una Maestría en Ingeniería de Calidad por la Universidad Autónoma de Querétaro; Lic. en Química por la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. certificado como Auditor líder de los Sistemas de Gestión de Calidad. Líder del Cuerpo Académico Agroindustrias



Martínez-Maldonado, M. A.

Tecnológico Nacional de México  
mamartinez@iteshu.edu.mx  
México

**ORCID ID**

Egresado de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, con licenciatura en Nutrición y Ciencia de los Alimentos, y una maestría en Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Obtuve un doctorado en el Centro de Investigación en Ciencia Avanzada y Tecnología Aplicada en Querétaro, investigando altas presiones hidrostáticas en proteínas de crustáceos, docente en el TecNM-Huichapan, liderando proyectos en de ciencia y tecnología de alimentos



Vega-Chávez, J. L.

Tecnológico Nacional de México  
jlvega@iteshu.edu.mx  
México

**ORCID ID**

Doctor en Parasitología Agrícola por la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Formación profesional enfocada en entomología, principalmente control biológico. Sus investigaciones implican estudios biológicos del género Tamarixia. Pertenecer al Sistema Nacional de Investigadores del CONAHCYT desde 2019, perfil deseable por PRODEP. Docente-Investigador en Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable del Instituto Tecnológico Superior de Huichapan

## Resumen

En los últimos años ha surgido la necesidad de reducir el consumo de productos que causan daños al ambiente, como estrategia se ha optado por emplear materiales en la industria que son amigables con el ambiente como es el caso de las fibras naturales, que además presentan otras ventajas que las hacen atractivas para ser utilizadas en el sector industrial, como es su alta disponibilidad, bajo costo y buenas propiedades mecánicas. En la presente revisión se hace una recopilación de casos en los que se ha estudiado el efecto de implementar fibras naturales para crear nuevos productos en diferentes industrias, se presentan las características generales de las fibras naturales, así como su clasificación y algunos métodos de extracción; se incluye estudios realizados por varios autores acerca de la implementación de fibras naturales en diferentes industrias y los resultados obtenidos; se analizan las oportunidades, desafíos y soluciones a los problemas reportados en investigaciones de la implementación de fibras naturales al sector industrial.

**Palabras clave:** Fibra natural; fibra sintética; filamentos; industria automotriz

## APPLYING NATURAL FIBERS IN THE INDUSTRIAL SECTOR. A GENERAL REVIEW

## APPLICATIONS DES FIBRES NATURELLES DANS LE SECTEUR INDUSTRIEL

### Abstract

In recent years, a need has arisen to reduce the consumption of products that damage the environment, and it has been decided to use environmentally friendly materials as a strategy in the industrial sector to do so. This is the case with natural fibers, which also have other advantages, such as their high availability, low cost, and good mechanical properties, that make it attractive to use them in the industrial sector. In this review, a compilation of cases has been presented, in which the effect of implementing natural fibers to create new products in different industries has been studied; the general characteristics of natural fibers are presented, as well as their classification and some extraction methods; studies carried out by several authors on the implementation of natural fibers in different industries and the results obtained are included; the opportunities, challenges, and solutions to the problems reported in research on the implementation of natural fibers in the industrial sector are analyzed.

### Résumé

Au cours des dernières années, la nécessité de réduire la consommation de produits qui causent des dommages à l'environnement s'est fait sentir. Comme stratégie, il a été décidé d'utiliser dans l'industrie des matériaux respectueux de l'environnement, tels que les fibres naturelles, qui présentent également d'autres avantages qui les rendent intéressantes pour une utilisation dans le secteur industriel, comme leur grande disponibilité, leur faible coût et leurs bonnes propriétés mécaniques. Dans cette revue, nous présentons une compilation de cas dans lesquels l'effet de l'utilisation de fibres naturelles pour créer de nouveaux produits dans différentes industries a été étudié ; nous présentons les caractéristiques générales des fibres naturelles, ainsi que leur classification et certaines méthodes d'extraction ; nous incluons des études réalisées par plusieurs auteurs sur l'utilisation de fibres naturelles dans différentes industries et les résultats obtenus ; nous analysons les opportunités, les défis et

---

**Key words:** Natural fibers; synthetic fibers; filaments; automotive industry.

les solutions aux problèmes signalés dans la recherche sur l'utilisation de fibres naturelles dans le secteur industriel

**Mots clés:** Fibre naturelle ; fibre synthétique ; filaments ; industrie automobile.

## Introducción

Desde los albores de la humanidad, el conocimiento y uso de las fibras naturales ha formado parte del avance de todas las culturas humanas; existen registros del uso de las fibras de agave datados con una antigüedad mayor a 10,000 años, descubiertos por arqueólogos y botánicos norteamericanos, en la Cueva de Güila Naquits en Oaxaca, México. Las fibras naturales cubrieron en un inicio necesidades como la vestimenta y el abrigo, sirviendo entre otras cosas para tejer redes y bolsos indispensables para la supervivencia. Se considera como fibra natural a todas las formas de fibras provenientes de plantas, hierbas, frutas, cultivos, semillas, nidos de agua, palmas, plantas silvestres, hojas, plumas de animales y pieles de animales (Ansell, 2014). Dentro de las fibras naturales se encuentran las fibras vegetales, filamentos lignocelulósicos compuestos de células largas y delgadas de esclerénquima constituidas fundamentalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina (Guerrero, et al., 2011). Las fibras naturales, hoy en día, son empleadas como materiales en la industria, amigables con el medio ambiente, ya que presentan ventajas como su alta disponibilidad, bajo costo y buenas propiedades mecánicas.

## Materiales y métodos

Para la revisión de la literatura se realizaron búsquedas en las bases de datos bibliográficas disponibles a través de Science Direct y Google Scholar de artículos relevantes de revistas revisadas por pares que datan desde 1996 hasta el presente, utilizando palabras clave temáticas como “biocompuestos”, “fibras naturales”, “aplicación de las fibras naturales”, “propiedades mecánicas de las fibras naturales”, “propiedades de los biocompuestos”, “aplicación de los biocompuestos”, “procesamiento de la fibra natural” y “tecnología de fibras naturales”. De los documentos identificados, se seleccionaron 103 documentos que eran relevantes al tema, encontrando que la mayoría de los estudios se publicaron después de 2009, lo que refleja el aumento de la investigación académica e industrial recientemente. Los papeles seleccionados se clasificaron en torno a los siguientes temas principales, el primero relacionado con tres aspectos: estructura físico-química, clasificación y métodos de extracción, el segundo tema fue

la aplicación en diversos sectores industriales como el automotriz, textil, alimenticio, papel, construcción y demás aplicaciones, para finalizar con las oportunidades, retos y posibles soluciones. El tiempo de desarrollo para esta investigación fue de dos años.

## Resultados

### Estructura físico-química de las fibras naturales

Las fibras naturales muestran una variación considerable en el diámetro junto con la longitud de los filamentos individuales. La calidad y la mayoría de las propiedades dependen de factores como el tamaño, la madurez y los métodos de procesamiento adoptados para la extracción de fibras. El módulo de fibra disminuye con el aumento de diámetro. Las propiedades como la densidad, la resistividad eléctrica, la resistencia a la tracción final, el módulo inicial, etc., están relacionadas con la estructura interna y la composición química de las fibras (Mohanty et al., 2000). Un único filamento natural tiene un diámetro del orden de 10  $\mu\text{m}$  y es en sí mismo un tipo de material compuesto natural. Cada fibra contiene una pared celular primaria y tres paredes celulares secundarias, conformadas por una matriz de lignina-hemicelulosa y microfibrillas, orientadas en diferentes direcciones (John & Anandjiwala, 2008). La celulosa, hemicelulosa, lignina, pectinas y ceras son los componentes principales de las fibras naturales (Bogoeva-Gaceva et al., 2007; John & Anandjiwala, 2008). Los diversos constituyentes químicos de una fibra natural específica también varían considerablemente, debido al origen, la edad, el proceso de extracción adoptado, etc. Entre todas las fibras naturales enumeradas, se observa que el bonote contiene la menor cantidad de celulosa, pero el mayor porcentaje de lignina. La Tabla 1 muestra una comparación de la composición química y los parámetros estructurales de algunas fibras naturales (Malkapuram, Kumar, & Negi, 2009).

Fibra	Celulosa (% en peso)	Lignina (% en peso)	Hemicelulosa (% en peso)	Pectina (% en peso)	Cera (% en peso)	Contenido de humedad (% en peso)
Yute	61- 71.5	dic-13	13.6-20.4	0.4	0.5	12.6
Cáñamo	70.2-74.4	3.7-5.7	17.9-22.4	0.9	0.8	10
Kenaf	31-39	15-19	21.5	-	-	-
Linaza	71	2.2	18.6-20.6	2.3	1.7	10
Ramina	68.6-76.2	0.6-0.7	13.1-16.7	1.9	0.3	8
Cáñamo Bombay	67.8	3.5	16.6	0.3	0.4	10
Sisal	<u>67-78</u>	08-nov	10.0-14.2	10	2	11
Henequén	77.6	13.1	04-ago	-	-	-
Algodón	82.7	-	5.7	-	0.6	-
Capoc	64	13	23	23	-	-
Bonote	36-43	41-45	oct-20	03-abr	-	8
Plátano	63-67.6	5	19	-	-	8.7
Palf	70-82	05-dic	-	-	-	11.8

**Tabla 1 Composición química y estructural de las fibras naturales (Malkapuram, Kumar, & Negi, 2009)**

**Celulosa:** Polisacárido semicristalino, que proporciona fuerza y rigidez a las fibras. Resistente a los álcalis fuertes (17.5% en peso) pero que se hidroliza fácilmente. Relativamente resistente a los agentes oxidantes. El grado de polimerización (DP) es de alrededor de 10.000. Cada unidad repetitiva contiene tres grupos hidroxilo que desempeñan un papel importante en la dirección del empaquetamiento cristalino y también gobiernan las propiedades físicas de la celulosa. La celulosa sólida forma una estructura microcristalina con regiones de alto orden, es decir, regiones cristalinas, y regiones de bajo orden, es decir, regiones amorfas (Silveira Maia, et al., 2017).

**Hemicelulosa:** Grupo de polisacáridos amorfos compuestos cuyo peso molecular es más bajo que el de la celulosa y es el responsable de la biodegradación, la absorción de humedad y la degradación térmica de la fibra. Forma la matriz de soporte para las microfibrillas de celulosa. La hemicelulosa es muy hidrófila, soluble en álcali y se hidroliza fácilmente en ácidos (Thomas & Jacob John, 2008)

**Lignina:** Heteropolímero que forma parte de la pared celular del tejido vascular de las plantas y provee rigidez estructural, soporte a células especializadas en sostén y almacenamiento, así como resistencia a la tensión y presión hídrica (Renault, et al., 2019); (Lewis & Yamamoto, 1990).

**Pectina:** Las fibras permanecen unidas gracias a esto, es un polisacárido de la pared celular que proporciona flexibilidad a las plantas (Thomas & Jacob John, 2008).

**Ceras:** Estas constituyen la última parte de las fibras y consisten en diferentes tipos de alcoholes que recubren la superficie de tallos, hojas y frutos, evitando con esto la evaporación excesiva del agua y protegiendo contra ataques de insectos y parásitos.

Los porcentajes de composición de cada uno de estos componentes varían según la fibra; en general, las fibras contienen 60-80% de celulosa, 5-20% de lignina y más de 20% de humedad (Ansell, 2014); (Nabi Saheb & Jog, 1999). Cada fibra es esencialmente un compuesto en el que las microfibrillas de celulosa rígidas están incrustadas en una matriz de lignina y hemicelulosa suave (Fig. 1), donde la pared secundaria S2 representa el 80% del espesor total y, por lo tanto, actúa como el componente principal de soporte de carga. Además, las microfibrillas se enrollan helicoidalmente a lo largo del eje de la fibra para formar células huecas definitivas (Rong, et al., 2001).

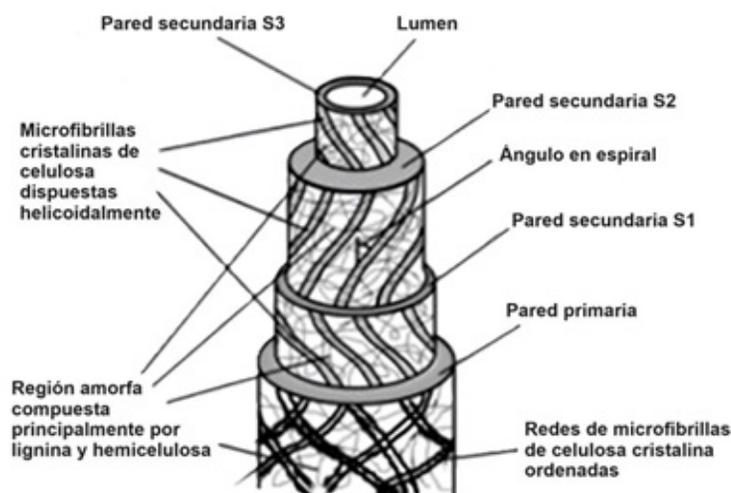


Figura 1 Estructura de una célula de fibra vegetal natural. (Zhi, 2001).

## Propiedades mecánicas de las fibras naturales

Determinadas principalmente por el contenido de celulosa y el ángulo micro fibrilar. El módulo de elasticidad disminuye a medida que aumenta el diámetro, lo más deseable es un alto contenido de celulosa y un bajo ángulo de microfibrillas en las fibras que se utilizarán en materiales compuestos. Las propiedades mecánicas también están relacionadas con el grado de polimerización de la celulosa en fibra (Bogoeva-Gaceva, et al., 2007). La estructura, la composición química, el ángulo micro fibrilar y los defectos de la dimensión celular son las variables más importantes que afectan las propiedades generales de las fibras. Una fibra es más dúctil si las microfibrillas tienen una orientación espiral con respecto al eje de la fibra. Si las microfibrillas están orientadas paralelas al eje de la fibra, entonces las fibras son inflexibles y rígidas. Las fibras naturales muestran una variación considerable en el diámetro junto con la longitud de los filamentos individuales. Dittenber et al (2012), explican que hay muchos productos de polímeros que afirman ser “naturales” o “biológicos”, pero es importante aclarar que biológico y biodegradable no son sinónimos. El término “compuesto reforzado con fibra natural” generalmente se refiere a las fibras naturales en cualquier tipo de matriz polimérica (termoplástica o termoestable; natural o sintética). Los “compuestos completamente biodegradables” (o, en la mayoría de los casos, los “biocompuestos”) se refieren a fibras naturales en matrices biodegradables. (Malkapuram et al., 2009). La tabla 2 resume las propiedades de estas fibras.

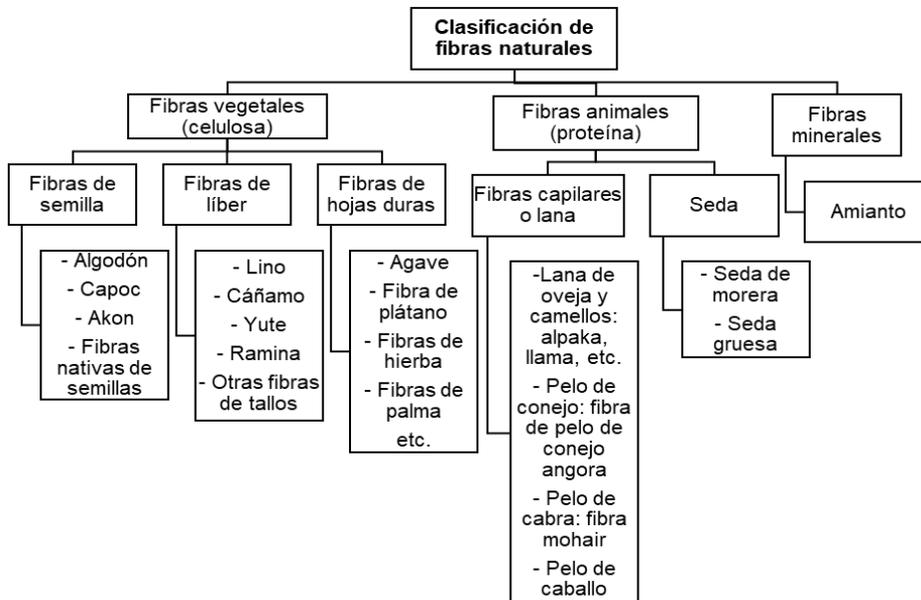
Tipo de fibra	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Largo mm	Diámetro μm	Resistencia a la tracción (MPa)	Módulo de tracción (GPa)	Módulo específico (Aprox)	Alargamiento (%)	Celulosa (wt.%)	Hemi-Celulosa (wt.%)	Lignina (wt.%)	Pectina (wt.%)	Ceras (wt.%)
Vidrio	2.5-2.59	-	<17	2000-3500	70-76	29	1.8-4.8	-	-	-	-	-
Abacá	1.5	-	-	400-980	6.2-20	9	1.0-10	56-63	20-25	jul-13	1	3
Alfa	0.89	-	-	35	22	25	5.8	45.4	38.5	14.9	-	2
Bagazo	1.25	10-300	oct-34	222-290	17-27.1	18	1.1	32-55.2	16.8	19-25.3	-	-
Bambú	0.6-1.1	1.5-4	25-40	140-800	nov-32	25	2.5-3.7	26-65	30	may-31	-	-
Plátano	1.35	300-900	dic-30	500	12	9	1.5-9	63-67.6	oct-19	5	-	-
Coco	1.15-1.46	20-150	10-460	95-230	2.8-6	4	15-51.4	32-43.8	0.15-20	40-45	03-abr	-
Algodón	1.5-1.6	oct-60	oct-45	287-800	5.5-12.6	6	03-oct	82.7-90	5.7	<2	0-1	0.6
Curaua	1.4	35	07-oct	87-1150	11.8-96	39	1.3-4.9	70.7-73.6	9.9	7.5-11.1	-	-
Lino	1.4-1.5	5-900	12-600	343-2000	27.6-103	45	1.2-3.3	62-72	18.6-20.6	02-may	2.3	1.5-1.7
Cañamo	1.4-1.5	may-55	25-500	270-900	23.5-90	40	1-3.5	68-74.4	15-22.4	3.7-10	0.9	0.8
Henequén	1.2	-	-	430-570	10.1-16.3	11	3.7-5.9	60-77.6	abr-28	8-13.1	-	0.5
Yute	1.3-1.49	1.5-120	20-200	320-800	ago-78	30	1-1.8	59-71.5	13.6-20.4	11.8-13	0.2-0.4	0.5
PALF	0.8-1.6	900-1500	20-80	180-1627	1.44-82.5	35	1.6-14.5	70-83	-	5-12.7	-	-
Ramio	1.0-1.55	900-1200	20-80	400-1000	24.5-128	60	1.2-4.0	68.6-85	13.16.7	0.5-0.7	1.9	0.3
Sisal	1.33-1.5	900	8-200	363-700	9.0-38	17	2.0-7.0	60-78	10.0-14.2	8.0-14	10	2

Tabla 2 Compilación de propiedades de fibras naturales y fibra de vidrio E (Dittenber & GangaRao, 2012)



## Clasificación de las fibras naturales

Existen diferentes tipos de fibras naturales extraídas de plantas, animales y minerales. La Figura 2 muestra la clasificación de las fibras naturales (Lijin & Ramachandra, 2018).



**Figura 2** Clasificación de fibras naturales conforme a su origen (Mohini Saxena, 2011)

Las fibras naturales de origen biológico se clasifican en dos categorías principales: fibras no leñosas y fibras de madera (Figura 3). Las estructuras químicas básicas de este tipo de fibras son similares en cuanto a los componentes que varían su composición de una fibra a otra. (Biagiott, et al., 2013)

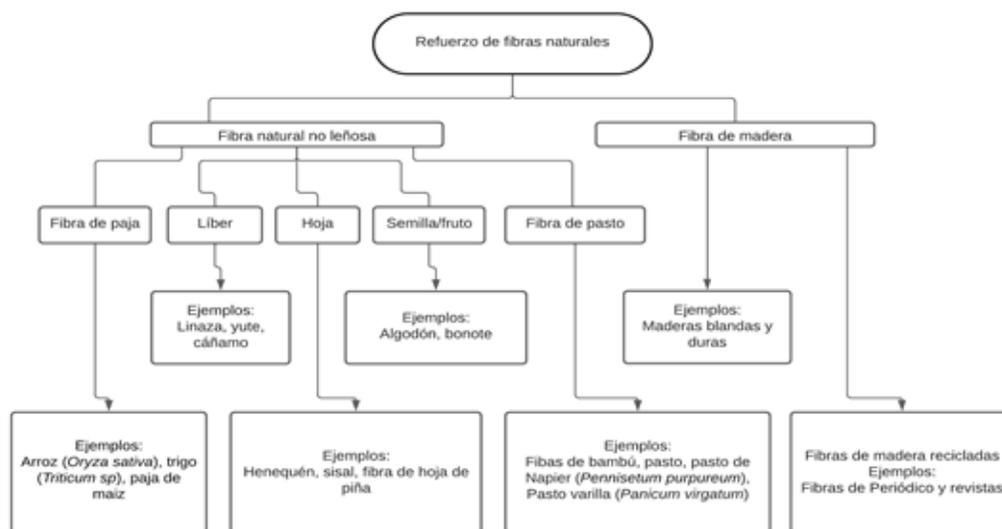


Figura 3 Clasificación de fibras de madera natural y no madera (Mohanty, Misra, & Hinrichsen, 2000).

Macia (2006), hace una clasificación considerando la parte de la planta en la que se localizan, debido a que las fibras poseen distintas características y propiedades, las clasifica en tres grupos: fibras blandas, duras y de superficie.

### Métodos de extracción de fibra natural

Después de la fase de siembra y crecimiento, que dura aproximadamente un año, dependiendo de la especie vegetal y variedad de la planta y la calidad final deseada, se cosechan las fibras. La recolección debe tender a preservar la longitud final máxima de la fibra, en el caso de su aplicación como refuerzos compuestos, cuanto mayor sea la relación de aspecto (longitud / diámetro) de la fibra, mejor serán las propiedades mecánicas finales. Un proceso simple, llamado decorticación, también se usa normalmente para extraer las fibras de las hojas. Las hojas son aplastadas y golpeadas por un juego de ruedas giratorias con cuchillos romos, de modo que solo quedan las fibras. Todas las otras partes de la hoja se lavan con agua. Las fibras decorticadas se lavan antes de secarlas al sol o con aire caliente. Las fibras secas se peinan a máquina y se clasifican en varios grados, en gran

medida sobre la base de la separación previa en el campo de las hojas en grupos de tamaño (Yayock et al., 1988). La extracción de fibras de bastones de los tallos de las fibras vegetales se realiza, en general, a través de procesos de retención (Biagiott et al., 2013).

Las fibras naturales se pueden recolectar del tallo, hojas o semillas de varias plantas. Las fibras recolectadas del tallo se llaman fibras “bastas”. Ejemplos de fibras bastas son el lino, el cáñamo y el yute. Las fibras de las hojas son generalmente más gruesas que las fibras de la estopa (WD, 2000). El Sisal (agave) y la abacá son fibras comunes en las hojas, y son particularmente útiles para cordeles rígidos y aplicaciones de agua de mar, respectivamente. Las fibras obtenidas a partir de semillas tienden a ser más gruesas y quebradizas que las fibras bastas (Bismarck et al., 2006). Hay varias etapas diferentes de producción, y dentro de cada etapa hay varios factores que pueden influir en la calidad de la fibra. En la etapa de crecimiento de la planta, la calidad de la fibra se ve afectada por la especie de la planta, la producción del cultivo, la ubicación, y el clima. Se ha demostrado que las temperaturas a las que se cultivan las plantas, así como la ubicación de las fibras dentro de la planta influyen claramente en sus propiedades (Ochi, 2008). La sincronización de la etapa de recolección es importante porque a medida que las fibras maduran, la pared celular secundaria ocupa más del tallo de la planta y aumenta la resistencia mecánica. Sin embargo, al mismo tiempo, las fibras se vuelven más gruesas y se adhieren más firmemente entre sí a la estructura circundante de la planta, dificultando la extracción de la fibra (Dittenber & GangaRao, 2012). La etapa de extracción de fibra involucra algún proceso de reticulación o decorticación mediante el cual las fibras y la biomasa no útil se separan. El rendimiento práctico de las fibras de lino a lo largo del procesamiento es del 27–30% en masa para las fibras entre 20–200 mm, y del 4–9% en masa para las fibras menores de 20 mm (Munder et al., 2005) (Munder , Furl , & Hempel, 2005).

## Uso de fibras naturales en el sector industrial

La llegada de las fibras sintéticas a la industria textil revolucionó significativamente su producción, debido a los bajos costos y disponibilidad de las mismas, sin embargo, al considerar su impacto en el medio ambiente, su ventaja económica pasó a un segundo plano, las fibras sintéticas se producen con base en recursos no renovables que impactan de manera negativa el ambiente, mientras que fibras naturales como el algodón, se biodegradan fácilmente y su producción beneficia a cientos de familias agricultoras. Las ventajas en sostenibilidad y responsabilidad social que propicia el algodón son factores de peso dentro de las cadenas de suministro, lo que hace el algodón la fibra natural más utilizada y preferida. Las fibras naturales, hoy en día son empleadas como materiales en la industria, que son amigables con el ambiente y presentan además otras ventajas como su alta disponibilidad, bajo costo y buenas propiedades mecánicas.

Mutjé et al. (2008) desarrollaron un compuesto biodegradable basado en la estructura de un almidón termoplástico comercial reforzado con fibra de cañamiza, procedente de un proceso de pasteado de alto rendimiento. Evaluaron las propiedades mecánicas bajo esfuerzos a tracción, flexión e impacto, observando incrementos en la resistencia máxima tanto de tracción como de flexión al aumentar el porcentaje de refuerzo, obteniendo mejores resultados que los del almidón termoplástico sin reforzar. Con lo anterior los autores concluyen que la utilización de los residuos del tipo lignocelulósico como agente de refuerzo de matrices termoplásticas biodegradables es una manera de aprovechamiento económico extra en la producción de cáñamo.

Bella et al. (2019) hacen una profunda investigación para obtener una visión general de los diferentes tipos de fibras naturales, sus características y propiedades que les permiten ser utilizados como agentes de refuerzo en diferentes polímeros. Destacan que

a menudo, las fibras de bambú se utilizan para lograr altas propiedades mecánicas (módulo, resistencia, rigidez) de productos tales como componentes de automoción o tableros de fibra (Anandjiwala & Blouw, 2007). Los constituyentes de la fibra vegetal incluyen típicamente celulosa (60-80%), hemicelulosa y lignina (5-20%), mientras que el resto constituye ceras, pectina, humedad (hasta 20%) y componentes orgánicos solubles en agua, que varían ampliamente dependiendo de su tipo y origen (Nagarajan et al., 2013).

### **Aplicaciones en la industria automotriz**

El uso de fibras naturales en la industria automotriz se relaciona principalmente con la posibilidad de reducción de costos, buenas propiedades electrostáticas, absorción de vibraciones, aislamiento térmico y propiedades de amortiguación del sonido (Cierpucha, 2013). Además, la reducción del peso específico de los compuestos reforzados con fibra en comparación con los polímeros tradicionales reduce el peso de los vehículos, lo que se traduce en un ahorro en el consumo de combustible (Sydow & Bieńczak, 2018).

Las fibras de origen vegetal, en particular la hojarasca y la hoja (por ejemplo, lino, cáñamo, kenaf, sisal), se utilizan con éxito en las industrias automotrices. Pueden encontrarse paneles, respaldos de asientos, bandejas de paquetes o forros de baúles hechos de materiales compuestos reforzados con fibra natural, por ejemplo. en Audi, BMW, Citroën, Fiat, Opel, Peugeot, Rover, Toyota, Volkswagen, Ford, Volvo, Honda y muchos otros como se observa en la Tabla 3 (Faruk et al., 2012).

Modelo	Fabricante	Componentes
A2, A3, A4, A4 Avant, A6, A8, Roadstar, Coupe	Audi	Respaldos de asientos, paneles de puertas, revestimiento de maletero, perchero, revestimiento de rueda de repuesto
C5	Citroën	Paneles de puertas interiores
3,5,7 series	BMW	Paneles de puertas, reposacabezas, techo interior, revestimiento del maletero, respaldos de los asientos, panel de aislamiento acústico, revestimiento moldeado de los reposapiés
Eco Elise	Lotus	Paneles de carrocería, alerón, asientos, alfombras interiores.
Punto, Brava, Marea, Alfa Romeo 146, 156	Fiat	Panel de la Puerta
Astra, Vectra, Zafira	Opel	Panel de instrumentos, techo interior, paneles de puertas, panel de cubierta de pilar
406	Peugeot	Paneles de puertas delanteras y traseras
2000 y otros	Rover	Estante trasero aislado para almacenamiento.
Raum, Brevis, Harrier, Celisior	Toyota	Paneles de puertas, respaldos de asientos, tapetes, cubierta de llanta de refacción
Golf A4, Passat Variant, Bora	Volkswagen	Panel de puerta, respaldos de asientos, acabado del panel del maletero, molduras del maletero
Space Star, Colt	Mitsubishi	Piso del área de carga, paneles de puertas, paneles de instrumentos
Clio, Twingo	Renault	Estante trasero
Mercedes A, C, E, S clase, Camiones, EvoBus	Daimler-Benz	Paneles de puertas, tablero de instrumentos, tableta, panel de cubierta de pilares, guantera, soporte del panel de instrumentos, aislamiento, paneles de respaldo de asiento, panel de maletero, superficie de asiento y respaldo, cubierta interior del motor, aislamiento del motor, visera, guardabarros, caja de llantas, cubierta de techo.
Piloto	Honda	Área de carga
C70, V70	Volvo	Acolchado de asientos, espumas naturales, piso de la bandeja de carga
Cadillac Deville, Chevrolet TrailBlazer	General Motors	Respaldos de asientos, piso del área de carga
L3000	Saturn	Bandeja del área de carga y panel de puerta
Mondeo CD 162, Focus, Freestar	Ford	Tapetes, paneles de puertas, cubierta de pilares B, revestimiento del maletero, panel de instrumentos, guardabarros, cubierta del motor

Tabla 3 Autopartes reforzadas con fibras naturales (Mjewski & Bledzki)



Alcides et al. (2010) analizaron la viabilidad de reemplazar los termoplásticos por compuestos reforzados con fibras naturales en la industria automotriz, realizaron siete mezclas diferentes de fibras naturales, y una con envase de leche, molidas con polipropileno y Wood flúor, el material fue compuesto a través de un proceso de extrusión y muestras y se prepararon en una máquina de moldeo por inyección a los 190 °C, según normas ASTM, en inyección automática. A estas muestras se le hicieron pruebas mecánicas de Impacto Izod, tracción y flexión. Se observó que cuando el contenido de fibras naturales en el compuesto es mayor aumentaron las propiedades de densidad real, dureza superficial, módulo de resistencia a la flexión y módulo de resistencia a la tensión y disminuyeron las propiedades de elongación, índice de flujo de fusión, fuerza flexible, resistencia a la tensión, y resistencia al impacto IZOD. Los resultados indicaron una buena dureza superficial para las mezclas con fibras naturales, excepto para la mezcla con el envase de leche, esta es una característica muy importante para la fabricación de los componentes en la industria automotriz. Se obtuvieron propiedades mecánicas favorables en comparación con otros materiales que se emplean en la industria automotriz, se comprobó la baja densidad de los componentes y el menor costo de producción

Hye Rin Gu et al (2017) estudiaron las propiedades físicas de la fibra natural incrustada de Kenaf no tejida para el acabado de pilares de automóviles preparando muestras incrustadas con Kenaf mezcladas con polipropileno y fibras de PET de bajo punto de fusión mediante un proceso de no tejido punzonado con aguja. El alto porcentaje de mezcla de fibras de PET de bajo punto de fusión redujo y disminuyó el tamaño de los poros, lo que dio como resultado una baja permeabilidad al aire y absorción de agua. Explicaron que el coeficiente de absorción acústica de la muestra no tejida depende del peso, el grosor del tejido y el diámetro del poro, en tanto que el material no tejido de poro bajo mostró un alto coeficiente de absorción acústica, debido a la alta profundidad de la aguja y alta proporción de mezcla de PET de bajo punto de fusión.

Ahmad et al. (2014) confirman que la aplicación de compuestos de fibra natural está

aumentando rápidamente en el sector del automóvil a una tasa de crecimiento anual superior al 20%, estos compuestos a base de fibra tienen el potencial de contribuir en gran medida al objetivo final del fabricante de automóviles, que constituye una reducción de peso del 30% y una reducción de costos del 20%.

### **Aplicaciones en la industria de la construcción**

De acuerdo con Elanchezhian et al. (2018) los materiales compuestos de fibra natural pueden ser muy rentables en industrias como la de construcción fabricando paneles para tabiques y techos falsos, tabiques, paredes, pisos, ventanas y marcos de puertas, tejas, edificios móviles o prefabricados que pueden ser utilizado en tiempos de calamidades naturales como inundaciones, ciclones, terremotos, etc.

Burgueño et al. (2005) realizaron un estudio acerca de las propiedades de biocompuestos elaborados a partir de fibras naturales (de cáñamo y lino) mezcladas con fibras sintéticas para demostrar que las deficiencias de los biocompuestos pueden superarse mediante diseños de materiales híbridos y configuraciones estructurales eficientes para que sean adecuados para componentes estructurales con carga. A estos compuestos se realizaron pruebas de resistencia a la tracción final, módulo de elasticidad, resistencia al impacto, coeficiente de expansión térmica y absorción de humedad. En promedio, todas las propiedades de los sistemas de material biocompuesto fueron inferiores a las del compuesto de vidrio E. Sin embargo, se concluye que los sistemas de paneles biocompuestos sí pueden competir con materiales estructurales convencionales, aunque el autor recomienda profundizar la investigación evaluando el comportamiento de estos paneles a largo plazo en ambientes interiores y exteriores.

Mora Rodríguez et al. (2009) condujeron un estudio experimental para determinar las propiedades mecánicas de las fibras de bambú, para su aplicación en tableros prensados. Se aplicaron tres tratamientos del estudio se hicieron variando los atributos: con y sin nudo, con y sin corteza, con y sin tratamiento. La fibra no sometida a tratamiento y en cuya sección

no presenta nudos, obtuvo los mayores valores del límite de rotura en las pruebas de resistencia a la tracción. El menor valor lo posee la fibra con nudo y con tratamiento. En relación con el módulo elástico se observa que la fibra sin nudo y sin tratamiento poseen los mayores valores.

Ghalieh et al. (2017) dieron a conocer un estudio experimental sobre la eficacia del uso del confinamiento del concreto con polímeros reforzados con fibra (FRP) de cáñamo como confinamiento externo para columnas de concreto y el efecto de diferentes parámetros que pueden afectar el comportamiento estructural de las columnas de concreto confinadas con FRP. Variaron el número de capas de confinamiento y la relación de ancho de las columnas para pruebas de compresión uniaxial, observaron que la efectividad del confinamiento aumentó en 9.1%, 13.3% y 21.7% para especímenes confinados con 1 capa, 2 capas y 4 capas, respectivamente. Así como que los índices de ductilidad de los especímenes confinados con 1, 2 y 4 capas son 2,78, 3,95 y 6,98, respectivamente. Es decir que muestran una disminución de las fuerzas finales con el aumento de las relaciones de esbeltez.

Steffens et al. (2017), investigaron aplicaciones arquitectónicas de las fibras naturales, para uso estructural y estético. Explican que los materiales fibrosos naturales son particularmente interesantes en el desarrollo de aislamiento térmico interno de menor costo. Se ha demostrado que fibras naturales como el cáñamo y lino son completamente competitivas en cuanto a los precios y presentan propiedades de aislamiento térmico en comparación con los materiales de aislamiento más utilizados actualmente, como lana mineral, poliestireno expandido (EPS) y poliuretano (PUR). Recalcan que a pesar que el bambú es un recurso renovable y de rápido crecimiento, rara vez se usa en arquitectura no vernácula, aunque su resistencia a la tensión es 20% más alta que la del hierro. Destacan que las fibras son recursos relevantes para lograr demandas contemporáneas como la gestión forestal y la flexibilidad espacial y que, debido a la gran variedad de fibras naturales existentes, su uso podría llevar a formas nuevas y creativas de mejorar la forma en que las personas interactúan con el espacio circundante.

Bordoloi et al. (2017), indagaron acerca de la tasa de infiltración en un material compuesto de suelo (otro subcompuesto formado a partir de limo (51%), arena (25%) y arcilla (24%)) reforzado con fibra natural compactada utilizando fibras de yute, bonote y jacinto de agua. Observaron que la tasa de infiltración aumenta para todos los compuestos de fibra del suelo en comparación con el suelo desnudo. Argumentan que el aumento de la infiltración debido a la inclusión de las fibras se debe probablemente a la formación de una trayectoria de flujo preferencial a lo largo de la interfaz fibra-suelo y al flujo preferencial a lo largo de las fibras en el caso de los compuestos.

Chegdani et al. (2018) realizaron una investigación sobre el comportamiento tribomecánico de los compuestos de plástico reforzado con fibra natural (NFRP) considerando la estructura compleja multiescala de las fibras naturales, ya que para los experimentos de nanoindentación y nanoraspado utilizan materiales compuestos de polipropileno reforzados con fibras de lino (El rendimiento práctico de las fibras de lino durante todo el procesamiento es del 27-30% en masa para las fibras entre 20 y 200 mm, y del 4 al 9% en masa para las fibras menores de 20 mm. De la investigación concluyen que las fibras de lino tienen propiedades mecánicas multiescala que están íntimamente relacionadas con su estructura celulósica multiescala esto debido a que la rigidez de las fibras de lino es dependiente de la escala de contacto geométrica donde el aumento del radio de la punta del indentador aumenta significativamente el módulo elástico de la fibra. Además de esto, exponen que la nanofricción de las fibras de lino está controlada por la estructura celulósica heterogénea de las fibras de lino que aumenta la histéresis de adhesión.

## Aplicaciones en la industria alimenticia

Sydow & Bieńczak (2018) revisaron investigaciones para evaluar la viabilidad de emplear materiales compuestos con relleno de fibras naturales como envase de alimentos, encontrando que estos materiales cumplen con la función de aislante térmico y como barrera a los gases; al tener las fibras naturales propiedades hidrófilas que causan la absorción de la humedad y, en consecuencia, la hinchazón de las fibras, permiten a los vapores “respirar”

para evitar el deformado del producto, propiedad que se considera una ventaja (BTSA, 2023).

Vega Baudrit et al. (2008) desarrollaron una investigación experimental en donde elaboraron un material compuesto a base de melaza de caña de azúcar, reforzada con fibra del bagazo de la caña de azúcar y espuma de poliuretano. En la caracterización de las espumas de poliuretano, observaron que el tratamiento con 10% de fibra de caña de azúcar presenta la menor densidad aparente y los mejores resultados en las pruebas mecánicas. Concluyeron que la utilización de los desechos agroindustriales de la caña de azúcar, permite elaborar materiales compuestos con que pueden ser utilizados en la industria del embalaje.

Brown Gómez et al. (2011) evaluaron la posibilidad de sustituir un 30% de una matriz plástica comercial utilizada en la inyección y moldeo de envases de acopio por fibras de bagazo de caña de azúcar. Aplicaron diferentes aditivos hasta lograr una buena compatibilidad entre fibra-matriz para elaborar envases prototipo con propiedades físico-mecánicas aceptables, reduciendo los costos de producción y generando envases biodegradables, livianos y resistentes.

Las siguientes son desventajas del uso de fibras naturales en compuestos para envasar alimentos: Temperatura de procesamiento restringida, propiedades de menor resistencia (resistencia al impacto) y durabilidad que en los polímeros al 100%, calidad variable dependiendo de algunas condiciones como el clima. Ya existen en el mercado compuestos para envases de alimentos que contienen fibras naturales, entre estos: la compañía ENKEV presentó productos como Cocolok® (hecho de fibra de coco natural y látex natural) y Hairlok® (hecho de cerdas naturales de animal y látex natural), que ayudan en la absorción de impactos cuando se transportan materiales sensibles al impacto. Placon Corp. y Toray Plastics America incluyeron fibras naturales en paquetes como un componente biodegradable (Sydow & Bieńczak, 2018).

## Aplicaciones de las fibras naturales en la industria textil

Los residuos de la industria avícola, actualmente son incinerados para eliminarlos, generando gases de efecto invernadero. Barbulée & Gominab (2017), desarrollaron un compuesto de resina epoxi reforzado con fibra de plumas de pollo, para ser utilizado como aislante, principalmente en aplicaciones textiles relacionadas con el control térmico. Con los resultados que los autores obtienen en las pruebas térmicas y acústicas concluyen que la resistencia térmica aumenta con la fracción de masa de las fibras de plumas de pollo las cuales presentan canales internos huecos.

Una de las medidas de inflamabilidad es el índice de limitación de oxígeno (LOI), que representa el porcentaje de oxígeno requerido para permitir la quemadura. Silva-Santos et al. (2017), realizaron una revisión de la literatura sobre los valores del índice limitante del oxígeno en fibras naturales y fibras sintéticas donde compararon y analizaron desde el punto de vista de los requisitos de inflamabilidad para ropa uniforme los aspectos más convenientes. Destacan que los tejidos hechos de fibras celulósicas presentan un gran atractivo para el agua, lo que significa que en climas cálidos absorben el sudor del cuerpo y lo transfieren a través de los hilos a la superficie exterior de la prenda. Sin embargo, se requiere un tratamiento adicional para aumentar los valores de LOI de estos materiales para situaciones en las que la inflamabilidad es relevante. Explican también que los materiales como el algodón o el poliéster, previamente tratados con procesos químicos o nanoquímicos, se pueden aplicar en uniformes de negocios y aun así protegen contra incendios.

## Aplicaciones de las fibras naturales en la industria papelera

Parra Negrete et al. (2010) plantean un método nuevo para la elaboración de papel, aprovechando el desperdicio de agaves de hoja angosta (*A. lechuguilla*, *A. angustifolia* y *A. tequilana*) y de hoja ancha (*A. americana*, *A. salmiana* y *A. mapisaga*). Consideran que al poseer propiedades diferentes las fibras de agave de cada especie, responden de manera diferente a los procesos de extracción. Aplicaron tres métodos de ablandamiento de pencas como variables de interés del estudio para determinar su influencia sobre las

propiedades obtenidas del papel: Humedecimiento de las pencas por inmersión a cielo abierto, fermentado de las pencas en bolsas negras de plástico con y sin aguamiel como promotor bacteriano, y cocimiento de las pencas. Se aplicó la técnica de maceramiento en las fibras obtenidas por humedecimiento por inmersión al aire libre y por cocción para la elaboración de papel, destacando *A. salmiana* y *A. mapisaga*, con presencia de color más claro, mayor suavidad al tacto, mayor flexibilidad y mayor densidad. Concluyen que el mejor método de ablandamiento de fibras es el de cocción, al presentar mayor facilidad de separación y flexibilidad. Explican que no fue posible obtener un papel adecuado con fibras de *A. angustifolia* y el *A. tequilana* por ser demasiado duras para procesarlas por lo que recomiendan algún tratamiento diferente ya sea de ablandamiento o de otro tipo para elaborar papel que ayude a obtener mejores resultados con esas fibras.

### **Otras aplicaciones de las fibras naturales**

Mautner et al. (2019), realizan la propuesta de filtros compuestos de nanocelulosa de fibra natural de lino y agave de residuos de tequila los cuales fueron probados respecto a su permeabilidad y capacidad de absorción para el cobre. Demostraron que este tipo de filtro derivado de residuos de cultivos industriales es capaz de absorber altas cantidades de iones  $\text{Cu (II)}$  durante un proceso de filtración continua con permeancias muy altas permitidas por su naturaleza altamente porosa, lo que lo hace un ejemplo muy competitivo para la eliminación de impurezas metálicas contaminantes presentes en el agua.

Hernández Ochoa et al. (2017) desarrollaron un biocompuesto con matriz de poliéster reforzada con fibra de yute para sustituir los protectores laterales plásticos de las sillas de ruedas tomando como referencia que el Módulo a Flexión del compuesto es de 6.61 GPa y su resistencia a la flexión es de 103.2 MPa. Presentaron una propuesta de diseño para los protectores de una silla de ruedas y aplicaron software de análisis de elementos finitos, demostrando la viabilidad del diseño.

Darsil et al (2013) presentaron un caso comparativo para investigar la fabricación y

las pruebas mecánicas de palas de rotor compuesto para turbinas, construidas de lino / poliéster y vidrio E / poliéster. La lámina de lino moldeada por transferencia de resina es un 10% más ligera (ahorro de masa de fibra del 45%) que la lámina de vidrio E de construcción idéntica. Las pruebas estáticas de flexión de aletas, realizadas de acuerdo con los estándares de certificación, confirman que, al igual que la cuchilla de vidrio E, la cuchilla de lino cumple con los requisitos de integridad estructural bajo cargas de “operación normal” y “peor de los casos”. Afirman que el lino es un reemplazo estructural potencial del vidrio E para aplicaciones similares de aspas de turbinas eólicas pequeñas compuestas, a pesar que la rigidez de las fibras de lino es mucho menor que las fibras de vidrio E.

### **Oportunidades y limitaciones en el uso de las fibras naturales**

Varias de las principales áreas de interés detrás del desarrollo de compuestos naturales son los impactos económicos potenciales, los impactos ambientales y la capacidad del compuesto natural para satisfacer las necesidades sociales, económicas y materiales de todo el mundo (Dittenber & GangaRao, 2012).

Elanchezhian et al. (2018), investigaron las propiedades físicas de tres fibras naturales abundantes en la India, Abaca, Yute y Sisal. Explican que estas fibras son utilizadas debido a su alta resistencia mecánica, bajo peso y costo, baja abrasividad y sus características biodegradables. La fibra de abacá tiene una alta resistencia a la tracción, es resistente a la pudrición y su resistencia a la flexión específica, es comparable a la de la fibra de vidrio, por lo que cumple con estrictos requisitos de calidad para componentes exteriores de la industria automotriz, como la resistencia al golpe de piedra, exposición a los elementos y la humedad. De la fibra de sisal destacan que se usa tradicionalmente para cuerdas y cordeles, y tiene muchos otros usos, como papel, tela, calzado, sombreros, bolsas, alfombras y tableros de dardos. Describen que las fibras se pueden usar y aplicar en diferentes industrias, como en la construcción, para la elaboración de paneles de particiones y falsos techos, paredes, pisos, ventanas y marcos de puertas, azulejos, móviles o prefabricados que pueden usarse en épocas de desastres naturales. Como dispositivos de almacenamiento: buzones, silos

de almacenamiento de granos y contenedores de biogás. En el desarrollo de muebles como sillas, mesas, duchas y unidades de baño. Además, en la fabricación de materiales eléctricos como electrodomésticos, tuberías, etc. Finalmente, podría aplicarse a la industria del transporte específicamente en automóviles, interiores de vagones de ferrocarril, barcos, etc. Concluyen que todas las fibras naturales representan una ventaja en la industria debido a sus propiedades, destacando las propiedades mecánicas de la abaca, la flexibilidad del yute y la dureza del Sisal.

Balla et al. (2019) destacan que las fibras como cáñamo, sisal, yute, coco, lino, madera, kenaf y bambú se han utilizado para producir NFRC con una variedad de matrices de polímeros que incluyen termoestables, elastómeros y proteínas con más frecuencia. Los autores también explican la necesidad de la modificación de la superficie de la fibra para lograr un mejor enlace de matriz de fibra. También analizan el procesamiento convencional y los problemas críticos asociados con el procesamiento de los compuestos de fibras naturales. Discuten el uso de tecnologías de fabricación aditiva (AM) en el procesamiento de compuestos de polímeros.

### **Retos en la aplicación de las fibras naturales**

De manera general, al trabajar con fibras naturales existen algunas limitaciones o dificultades debido a las variaciones que se observan en cada una de las fibras. Estas variaciones son inevitables porque hay muchos factores que influyen significativamente en las propiedades mecánicas de estos compuestos, por ejemplo: la forma de las fibras, su orientación, las propiedades mecánicas de los componentes, la interacción con la matriz-refuerzo y las proporciones de los componentes dentro del material Ramesh Palanikumar & Hemachandra, 2013; M:D:H: & Pickering, 2008). La Tabla 4 resume los retos más habituales a los que se enfrentan los investigadores en el desarrollo de composites con fibras naturales (Dittenber & GangaRao, 2012).

DESAFÍO	SOLUCIÓN PROPUESTA
Elevada absorción de humedad	Modificación de fibras con tratamiento superficial o recubrimientos y modificación de matriz.
Baja resistencia a temperaturas altas.	Recubrimientos intumescentes o aditivos
Variabilidad de la fibra	Crear protocolos para el aseguramiento de la calidad de la fibra.
Propiedades mecánicas y baja durabilidad para uso en componentes de carga.	Utilizar configuraciones estructurales diseñadas como construcciones celulares, aunque dichos diseños no son adecuados para todas las aplicaciones o mediante hibridación.
Compatibilidad entre las fibras y la matriz.	Uso de agentes de acoplamiento como silano o aditivos.

**Tabla 4 Desafíos en el uso de las fibras naturales**

### **Efecto de la implementación de las fibras naturales en procesos de producción industriales**

Dittenber et al. (2012) confirman el crecimiento del mercado de fibras naturales en el ámbito industrial, y que deben solventarse las dificultades en la producción de los biocompuestos como la variabilidad del cultivo de las fibras, las modificaciones superficiales, el almacenamiento, transporte y procesamiento de las fibras naturales que agregan costos al producto final, a fin de que puedan competir con los compuestos reforzados con fibras sintéticas. Destacan que es necesario encontrar las aplicaciones adecuadas para cada tipo de fibra natural, con base a sus características físicas y mecánicas. Algunos investigadores consideran que la investigación continua en compuestos naturales eventualmente reemplazará a fibras y resinas a base de petróleo en muchas aplicaciones, mientras que otros piensan que tendrán su propio nicho en el mercado para aplicaciones no críticas (Rowell et al., 1997).

Sarikaya et al. (2019) realizan un análisis de la utilización de la fibra de abedul, palma y eucalipto utilizando un sistema RTM asistido por vacío para la inyección de resina en placas de fibra moldeada sobre malla de alambre. Después de realizar pruebas de resistencia a la



tracción, compresión y flexión, concluyen que la fibra producida con tratamientos mecánicos tenía propiedades de resistencia más pobres que la fibra producida químicamente, debido al daño mecánico en las fibras además de que la combinación del método de producción de fibra moldeada y la técnica de RTM, permite el desarrollo de materiales de ingeniería respetuosos con el medio ambiente.

## **Durabilidad de las fibras naturales**

Ramadan et al. (2017), realizaron un estudio del comportamiento de la durabilidad a corto plazo en cilindros de hormigón confinados con haces de fibras de cáñamo formados por tres fibras de cáñamo trenzadas manualmente y tratadas en una solución de hidróxido de sodio al 6% en peso durante 48 horas a temperatura ambiente realizando pruebas de compresión después de ciclos de humectación y secado en agua y agua de mar. Observaron que las fibras de cáñamo muestran un aumento en la resistencia favorable para el fortalecimiento sísmico y que agentes ambientales pueden degradar los materiales naturales de FRP, reduciendo su durabilidad.

Doherty et al. (2007) descubrieron que una alternativa natural al recubrimiento de lignina con formación de carbón mejoraba mínimamente los resultados de las pruebas de fuego. Pero Plackett & Sodergard (2005) concluyeron que ningún compuesto de PLA superó los requisitos para la prueba de inflamabilidad UL 94.

## **Posibles soluciones – Orientación de las fibras**

El rendimiento de los compuestos de polímeros reforzados con fibra natural depende de varios factores, que incluyen la composición química de las fibras, las dimensiones de las células, el ángulo de las microfibrillas, los defectos, la estructura, las propiedades físicas y las propiedades mecánicas, y también la interacción de una fibra con el polímero (Faruk et al. (2012). Un factor importante que se puede controlar a la hora de fabricar el compuesto es la orientación de acomodo de las fibras. Existe, pues, una gran cantidad

de combinaciones posibles y, por lo tanto, muchos tipos de compuestos que pueden catalogarse en función de su tipología (fibras continuas o discontinuas, cortas o largas, orientadas o dispersas aleatoriamente, una sola capa o laminados multicapa, etc.), o conforme al tipo de sustancias componentes (Ramos, 2010).

La orientación, distribución y concentración de las fibras influyen radicalmente en la resistencia y otras propiedades del compuesto. En cuanto a la orientación puede ser alineación paralela a los ejes longitudinales de las fibras (fibras continuas o fibras discontinuas) o dispersas aleatoriamente (fibras discontinuas). La resistencia mecánica puede ser muy baja frente a algunas direcciones de la carga, sin embargo, cuando las fibras están alineadas, todas contribuyen a la gestión de carga longitudinal, pero apenas proporcionan refuerzo a una carga transversal (James, 2011).

### **Compatibilidad de la matriz y de las fibras naturales como refuerzo en materiales compuestos.**

La celulosa, hemicelulosa y lignina de las fibras naturales, provocan una pobre humectabilidad de los compuestos de fibras naturales, débil compatibilidad y adhesión en la interfaz entre ambos materiales y comportamientos mecánicos y resistencia al envejecimiento ambiental muy diferentes, dependiendo de sus propiedades de interfaz. En materiales compuestos con fibra natural, si la unión es buena, la carga aplicada sobre el material compuesto se transmite desde la matriz a los refuerzos, si la unión es mala, las fibras no cumplirán el papel de refuerzo y tenderán a salir de la matriz. (Guerrero, et al., 2011).

Quezada et al. (2005) evaluaron el grado de reforzamiento de fibras de rastrojo obtenidas de piña sin tratamiento, compuestas por una matriz de resina poliéster no saturado, analizaron la densidad, resistencia a la ruptura por tensión, flexión y energía de impacto. Observaron que en las fibras sin tratamiento previo no existe buena adhesión entre la fibra y la matriz y que se puede incrementar la adhesión mediante el aumento en

la presión de moldeo durante la preparación del material.

Sood and Dwivedi (2017), presentan una revisión para demostrar que los tratamientos a las fibras naturales y el uso de agentes de acoplamiento mejoran la resistencia a la flexión de los compuestos reforzados con fibras naturales. La modificación química proporciona más estabilidad dimensional, reduce la capacidad de absorción de agua y brinda resistencia a la fibra contra la descomposición por hongos. Debido a lo anterior otros autores investigan el comportamiento de los materiales compuestos con diferentes tratamientos previos a la fibra para mejorar la compatibilidad de la matriz y el refuerzo.

Souza et al. (2011) fabricaron compuestos con fibras de plátano, fique y vidrio, aplicaron epiclorhidrina y anhídrido acético, en una matriz de poliéster. Los resultados de caracterizar y comparar las propiedades de los compuestos mediante pruebas de estrés, impacto, capacidad de absorción de agua y micrografías, observaron que la resistencia a la tracción de los materiales compuestos con fibras tratadas aumentó respecto de los compuestos elaborados con fibras no tratadas. Este comportamiento se atribuyó a una mayor hidrofobicidad de las fibras de plátano tratadas, y a una mejor adhesión con la matriz, como se corroboró en las micrografías que mostraron menor deslizamiento en las superficies de corte.

Karp (2013), estudió tres pretratamientos en microfibras de bagazo de caña de azúcar para realizar la deslignificación, remoción de hemicelulosa y exposición superficial de la celulosa: tratamiento con hipoclorito (HP) al 3%, mezcla de clorito de sodio y ácido acético (CAc) y una solución oxidante de hipocloritoperóxido de hidrógeno seguido de alcalina (OX). -B) tratamiento. La lignina y la hemicelulosa se eliminaron eficazmente de las fibras de bagazo con el tratamiento OX-B. La efectividad del tratamiento seleccionado, OX-B, permitió obtener un material lignocelulósico a partir de bagazo de caña de azúcar, fácilmente modificable e impermeable al agua cuyas características asumen su efectividad como elemento de refuerzo en materiales compuestos de matriz polimérica.

En su investigación, Bessa, et al. (2017), describen las propiedades mecánicas de compuestos TPO (elastómero de poliolefina termoplástica) reforzados con tejidos de lino y diferentes tipos de tratamientos superficiales. El TPO se caracterizó por una alta elasticidad con buena recuperación elástica y buena resistencia al flujo y al impacto. Después de la aplicación de los distintos tratamientos superficiales sobre los tejidos de lino, los materiales compuestos se produjeron mediante un proceso de moldeo por compresión en equipos específicos. Los materiales compuestos obtenidos a partir de tejido liso de lino/TPO se sometieron a pruebas de tracción. Los resultados muestran que las propiedades mecánicas cambian fuertemente con los tratamientos superficiales de los tejidos de lino. Las pruebas de tracción mostraron que el tratamiento alcalino y el acoplamiento del grupo funcional epoxi condujeron a una mejora de la rotura por alargamiento.

Vallejos et al. (2006) investigaron materiales compuestos parcialmente biodegradables con matrices de polipropileno modificado con anhídrido maleico (MAPP) como agente de acoplamiento con diferentes porcentajes de cañamiza para vincular de forma química la matriz y el refuerzo. La adición de un 40% en peso del residuo de cañamiza al polipropileno, en presencia de un 4% de MAPP incremento la resistencia máxima a tracción del compuesto y la rigidez del mismo.

Bessa et al. (2017) evaluaron la combinación entre un polímero termoplástico, PP y polvo de madera, en diferentes porcentajes en peso además de investigar el efecto de la incorporación del agente de acoplamiento polipropileno de anhídrido maleico (MAPP) en la mezcla, cuidando la similitud de las densidades de los diferentes materiales, para poder garantizar una mezcla homogénea antes del procesamiento. Está demostrado que el uso de agentes acoplantes, como MAPP, mejoran la adhesión en la interfaz entre ambos componentes. Concluyen que existe una tendencia a mejorar las propiedades mecánicas al aumentar la fracción de masa de madera y confirman la tendencia a disminuir la conductividad térmica de las muestras, con el aumento de la fracción de masa de madera.

Costa et al. (2017) realizaron pruebas mecánicas de flexión y densidad para determinar

el efecto del contenido de fibra y pretratamiento con solución alcalina (4% p/v) con agitación constante a temperatura ambiente en materiales compuestos de poliuretano reforzado con fibra de pino. Los resultados mostraron que el tratamiento alcalino, la concentración de fibra y un mayor tamaño de partícula (malla 28) pueden mejorar la adhesión entre las fibras y la matriz y las propiedades mecánicas de las fibras de piña reforzadas en la matriz de PU.

Michelena et al. (2017), investigaron la adición del agente acoplante de silano al endurecedor de resina epoxi como alternativa a cualquier pretratamiento químico directo de fibras naturales antes de la fabricación de materiales compuestos. Explican que las propiedades mecánicas de mayor módulo longitudinal y resistencia se logran cuando se agrega silano al endurecedor de resina epoxi antes de fabricar el laminado, es decir, sugieren que la opción de suplir cualquier tratamiento a las fibras por el uso de silano presenta propiedades óptimas, especialmente en la fibra de lino utilizada en esta investigación.

Trujillo et al. (2019), evaluaron la dispersión de las fibras sin tratamiento y con tratamiento superficial y su efecto sobre las propiedades mecánicas de compuestos con tres tipos de matriz: polipropileno, polietileno de alta densidad y poliestireno reforzados con diferentes concentraciones de fibras naturales de bagazo de nopal. Argumentan que se mejoran los procesos de secado, mezclado e inyección al asegurar una mejor dispersión de las fibras como refuerzo en la matriz y que la resistencia mecánica disminuye para el poliestireno y se mantiene para el polietileno HD y para el polipropileno. Concluyen que el compuesto de poliestireno con fibra de nopal no resulta ser una buena combinación al tener una matriz frágil que al agregar un tratamiento de cera polimérica a las fibras, se obtiene una mayor adherencia refuerzo-matriz, aumentando la resistencia por el trabajo en conjunto de las partes.

Cavalcanti et al. (2010), realizan un estudio para determinar la absorción de agua en compuestos moldeados por compresión y reforzados con tejido de yute y tejido

híbrido de yute-vidrio, con el objetivo de verificar áreas más favorables a problemas de delaminación debido a la debilidad de la interfaz fibra-matriz y, por consiguiente, reducción en las propiedades mecánicas. Concluyen que la alta difusión de agua se obtiene en las primeras 50 horas de sorción, y la tasa de difusión de agua disminuye para tiempos más largos de inmersión, además de que las regiones vecinas a los vértices del sólido presentan las mayores tasas de transferencia de masa.

Taborda Ríos et al. (2017) llevaron a cabo una comparación de las propiedades mecánicas de un material compuesto de fibra de vidrio y otro de fibra natural de bambú. A las fibras de bambú se les realizó un tratamiento químico alcalino utilizando hidróxido de sodio (NaOH) en una solución acuosa con 5% en masa, con esto, se aumentó la resistencia a la humedad además de eliminar ciertas cantidades de hemicelulosa, lignina, pectina y otros materiales que cubren la fibra como ceras y aceites. Las fibras fueron expuestas en una estufa a una temperatura de 60 °C durante dos horas para deshumificarlas y garantizar una buena relación fibra/matriz. Después del estudio de adhesión se observó que el tratamiento no fue el más adecuado, lo cual indujo su desprendimiento. En cuanto a las pruebas mecánicas se observó que con el aumento de fibra de bambú se disminuyó la resistencia a la tracción, con lo que concluyen que los compuestos reforzados con fibra de matriz poliéster en aplicaciones donde no se requieran altas prestaciones mecánicas.

## Discusión

Para reducir el impacto ecológico generado por la producción masiva de productos naturales o sintéticos, se ha sugerido el desarrollo y aplicación de compuestos a partir de fibras naturales como solución y para propiciar un impacto positivo en el desarrollo ambiental sostenible. Las fibras naturales tienen muchas ventajas, como bajo costo, rentabilidad y excelente rendimiento, y podrían obtenerse de una fuente renovable, reciclable y reutilizable. Incluso cuando los compuestos de fibras naturales muestran algunos problemas relacionados con sus propiedades mecánicas, principalmente influenciados por la adhesión entre la matriz

y las fibras, las propiedades mecánicas pueden modificarse mediante el pretratamiento de las fibras. Se están desarrollando procesos de modificación química y física para mejorar la adhesión fibra-matriz, lo que lleva al mejoramiento de las propiedades mecánicas de los materiales compuestos.

## Conclusiones

Las fibras naturales, hoy en día, son empleadas para el desarrollo de materiales compuestos amigables con el medio ambiente, aplicables en diversas industrias, que presentan ventajas como su alta disponibilidad, bajo costo y buenas propiedades mecánicas. Dado que una de las principales áreas de investigación en el desarrollo de materiales compuestos es la combinación de fibras naturales con polímeros y otros materiales, el uso de productos agrícolas como fuente renovable de materia prima para la industria, propiciará el desarrollo económico agrícola y rural, adquiriendo mayor importancia en el futuro, conforme al crecimiento constante proyectado del mercado de compuestos de fibras naturales, lo que influirá de manera positiva en un aumento en la demanda de fibras naturales en compuestos en diversas aplicaciones industriales, como la industria automotriz, de la construcción, textil, alimentaria y aeronáutica.

## Referencias bibliográficas

- Ahmad, F., Soap Choi, H., & Park, M. K. (2014). A Review: Natural Fiber Composites Selection in View of Mechanical, Light Weight, and economic properties. *Macromolecular Journals*.
- AL-Oqla, F. M., & Sapuan, S. M. (2014). Natural fiber reinforced polymer composites in industrial applications: feasibility of date palm fibers for sustainable automotive industry. *Journal of Cleaner Production*, 347-354.

- Anandjiwala , R. D., & Blouw, S. (2007). Composites from Bast Fibres-Prospects and Potential in the Changing Market Environment. *J Nat Fibers*, 4, 91–109.
- Ansell, M. P. (2014). “Natural Fibre Composites,”. *Nat. Fibre Compos.*, 365–374.
- Balla, V. K., Kunal, K. H., Satyavolu, J., Paramjot , S., & Jogi Ganesh , D. T. (2019). Additive manufacturing of natural fiber reinforced polymer composites: processing and prospects. *Composites part B*. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.106956>.
- Barbulée, A., & Gominab, M. (2017). Variability of the mechanical properties among flax fiber bundles and strands. *Procedia Engineering*, 200, 487–493.
- Beckwith, S. (2003). Natural fiber reinforcement materials: lower cost technology for composites applications. *Compos Fab* , 6-12.
- Bessa, J., Matos, J., Mota, C., Cunhaa, F., Araújo, I., Silva, L., . . . Figueiro, R. (2017). Influence of surface treatments on the mechanical properties of fibre reinforced thermoplastic composites. *Procedia Engineering*(200), 465–471.
- Bessa, J., Matos, J., Mota, C., Cunhaa, F., Araújo, I., Silva, L., . . . Figueiro, R. (2017). Influence of surface treatments on the mechanical properties of fibre reinforced thermoplastic composites. *Procedia Engineering*(200), 465–471.
- Bessa, J., Mota, C., Cunha, F., & Figueiro, R. (2017). Influence of different thermoplastic polymer/wood ratios on the mechanical and thermal properties of composite materials. *Procedia Engineering*(200), 480–486.
- Biagiott, J., Puglia, D., Kenny, J. M., ., .., ., & . (2013). A Review on Natural FibreBased Composites-Part I. *Journal of Natural Fibers*, 37-68.
- Bismarck , A., Mishra, S., & Lampke, T. (2005). Plant fibers as reinforcement for green



- composites. In: Mohanty AK, Misra M, Drzal LT, editors. Natural fibers, biopolymers, and biocomposites. Boca Raton: Taylor & Francis, 37–108.
- Bismarck, A., Baltazar-Y-Jiménez, A., & Sarikakis, K. (2006). Green composites as panacea? socio-economic aspects of green materials. *Environment, Development and Sustainability*, 445-463.
- Bogoeva-Gaceva, G., Avella, M., Malinconico, M., Buzarovska, A., Grozdano, A., ., ., & ., .. (2007). *Natural Fiber Eco-Composites*.
- Bordoloi, S., Hussain, R., Garg, A., Sreedeeep, S., & Wan-Huan, Z. (2017). Infiltration characteristics of natural fiber reinforced soil. *Transportation Geotechnics*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trgeo.2017.08.007>
- Brown Gómez, A., Álvarez Delgado, A., Leal Alfonso, J. A., Gómez Estévez, A., Renté Zamora, A., Rodríguez Dorrego, M. E., . . . Villamil Nuñez, W. (2011). Fibras de bagazo como refuerzo en materiales termoplásticos. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 45(1), 29-36.
- BTSA. (2023, Enero). Tipos de material de embalaje usados en alimentos. BTSA: <https://www.btsa.com/embalajes-alimentarios/>
- Burgueno, R., Quagliata, M., Mohanty, A., Mehta, G., Drzal, L., & Misra, M. (2004). Load-bearing natural fiber composite cellular beams and panels. *Compos Part A –Appl Sci*, 35, 645–656.
- Burgueño, R., Quagliata, M. J., Misra Mehta, G., Mohanty, A. K., Misra, M., & Drzal, L. T. (2005). Sustainable Cellular Biocomposites from Natural Fibers and Unsaturated Polyester Resin for Housing Panel Applications. *Journal of Polymers and the Environment*, 13(2), 139-149.

- Cavalcanti , W. S., Lima, A. G., & de Carvalho, L. H. (2010). Water Sorption in Unsaturated Polyester Composites Reinforced With Jute and Jute/Glass Fiber Fabrics: Modeling, Simulation and Experimentation. *Polímeros: Ciencia and Technology*, 20(1). <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-14282010005000007>
- Chegdani, F., Wang, Z., El Mansori, M., & TS Bukkapatnam, S. (2018). Multiscale tribomechanical analysis of natural fiber composites for manufacturing applications. *Tribology International*, 122, 143-150.
- Cierpucha, W. (2013). Industrial hemp cultivation and processing technology. In In Poznań. ed W Cierpucha, Poznań: Institute of Natural Fibres & Medicinal Plants.
- Darshil, U., Peter J., S., & Mike J., C. (2013). Can flax replace E-glass in structural composites? A small wind turbine blade case study. *Composites: Part B*, 172-181.
- Datta, J., & Kopczynska, P. (2015). Efecto de la modificación de la fibra de kenaf sobre la morfología y las propiedades mecánicas de los materiales de poliuretano termoplástico. *Cultivos Industriales y productos*, 74, 566-576.
- Dittenber , D. B., & GangaRao, H. V. (2012). Critical review of recent publications on use of natural composites in infrastructure. *Composites: Part A*, 43, 1419-1429.
- Doherty, W., Halley, P., Edye, L., Rogers, D., Cardona, F., Park, Y., & Woo, T. (2007). Studies on polymers and composites from lignin and fiber derived from sugar cane. *Polym Adv Technol*, 18, 673-678. <https://doi.org/10.1002/pat.879>
- El Mechtali, F. Z., & al., e. (2015). Propiedades mecánicas y térmicas del polipropileno reforzado con partículas de cáscara de almendra: impacto de los tratamientos químicos. *Revista de Ingeniería Biónica*, 12(3), 483-494.
- Elanchezhian, C., Vijaya Ramnath, B., Ramakrishnan, G., Rajendrakumar, M., Naveenkumar,



- V., & Saravanakumar, M. K. (2018). Review on mechanical properties of natural fiber composites. *Materials Today: Proceedings*(5), 1785–1790.
- Eric Williams, E. H. (2017). Wind power costs expected to decrease due to technological progress. *Energy Policy*, 106.
- Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H. P., & Sain, M. (2012). Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000-2010. *Progress in Polymer Science*, 37(11), 1552-1596. 1
- Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H. P., & Sain, M. (2012). Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. *Progress in Polymer Science*. Contents lists available at SciVerse ScienceDirect, 37, 1552– 1596.
- Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H. P., & Sain, M. (2014). Progress report on natural fiber reinforced composites. *Macromolecular Materials and Engineering*, 9-26.
- Ghalieh, L., Awwad, E., Saad, G., Khatib, H., & Mabsout, M. (2017). Concrete Columns Wrapped with Hemp Fiber Reinforced Polymer – An Experimental Study. *Procedia Engineering* (200), 440 - 447.
- Groover, M. P. (1997). *Fundamentos de Manufactura Moderna Materiales, procesos y sistemas*. México: Prentice Hall.
- Guerrero, V., Dávila, J. L., Galeas, S., Pontón, P., Rosas, N. M., Sotomayor, V., & Valdivieso, C. (2011). *Nuevos Materiales: Aplicaciones Estructurales e Industriales*. Quito, Ecuador: IMPREFEPP.
- Hansen, T. (2022). Stranded assets and reduced profits: Analyzing the economic underpinnings of the fossil fuel industry’s resistance to climate stabilization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 158.

- Hemsri, S., Grieco, K., Asandei, A. D., & Parnas, R. S. (2012). Compuestos de gluten de trigo reforzados con fibra de coco. *Science Direct*, 43(7), 1160-1168.
- Hernández Ochoa, D. R., Pérez Rodríguez, A. T., & BeltránReyna, R. (n.d.). Materiales Compuestos con Refuerzos de Fibra de Yute en la Fabricación de Ayudas Técnicas para Discapacitados. *Materiales Compuestos II*. <https://docplayer.es/29919991-Materiales-compuestos-con-refuerzos-de-fibra-de-yute-en-la-fabricacion-de-ayudas-tecnicas-para-d discapacitados.html>
- Hoi-yan Cheung, M.-p. H.-t. (2009). Natural fibre-reinforced composites for bioengineering and environmental engineering applications. *Composites Part B: Engineering*, 655-663.
- James, N. (2011). *Ciencia de los Materiales - Aplicaciones en ingeniería*. México: Alfaomega.
- John, M., & Anandjiwala, R. (2008). Recent developments in chemical modification and characterization of natural fiber-reinforced composites. *Polym Compos*, 187-207.1
- Jose M. Yusta, R. L.-A. (2020). Measuring the internationalization of the wind energy industry. *Renewable Energy*, 157, 593-604.
- Joseph, K., Thomast, S., & Pavithran, C. (1996). *Polymer (Guildf)*. Scopus.
- Karp, S. G. (2013). Pretreatment strategies for delignification of sugarcane bagasse: a review. *Brazilian Archives of Biology and Technology*.
- Karus, M., Kamp, M., & Lohmeyer, D. (2000). *Study of Markets and Price Situation of Natural Fibres (Germany and EU)*. Nova Institute, Germany.
- Khalil, H., & Ismail, H. (2000). *Polym*. Scopus, 65-75.
- Kozłowski, R., Muzyczek, M., & Mieleniak, B. (2009). Natural fibres for interior textiles.

Woodhead Publishing, 3-38.

Le Troedec, M., Peyratout, C. S., Smith, A., & Chotard, T. (2009). Influencia de varios tratamientos químicos en las interacciones entre las fibras de cáñamo y una matriz de cal. *Revista de la Sociedad Europea de Cerámica*, 29(10), 1861-1868.

Lewis, N. G., & Yamamoto, E. (1990). Lignin: Occurrence biogenesis and biodegradation. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol.*, 455-496.

Lijin, T., & Ramachandra, M. (2018). Advanced materials for wind turbine blade- A Review. *materialstoday: proceedings*(5), 2635-2640. 10.1016/j.matpr.2018.01.043

Lima, F., & Aranha, E. (2007). O uso dos materiais naturais na arquitetura. 3(12), 26-30. 0

Liu, L., Yu, J., Cheng, L., & Yang, X. (2009). Biodegradabilidad del compuesto de poli (succinato de butileno) (PBS) reforzado con fibra de yute. *Science Direct*, 94(1), 90-94.

Lopes, A., Fernandes, R. M., & Cadete, P. (2010). Production of Reinforced Composites with Natural Fibers for Industrial Applications – Extrusion and Injection WPC. Taylor & Francis, 484, 157-166.

Lucintel. (2016). Natural Fiber Composites Market Trend and Forecast 2011-2016: Trend, Forecast and Opportunity Analysis.

Luna, P., Mariño, A., Lizarazo-Marriaga, J., & Beltrán, O. (2017). Dry etching plasma applied to fique fibers: influence on their mechanical properties and surface appearance. *Procedia Engineering*, 141-147.

M. Costa, I. L., R. Alves, A. R., & Mulinari, D. R. (2017). Surface Treatment of Pinus Elliottii Fiber and its Application in Composite Materials for Reinforcement of Polyurethane. *Procedia Engineering*(200 ), 341–348.

M. D. H, B., & Pickering, K. (2008). Mechanical performance of kraftfibre reinforced polypropylene composites: Influence of fibre beating and hygrothermal ageing. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 39(11), 1748-1755. 0

Macía, M. J. ( 2006). Las plantas de fibra. *Botánica Económica de los Andes Centrales*, 370-384.

Malkapuram, R., Kumar, V., & Negi, Y. S. (2009). Recent Development in Natural Fiber Reinforced Polypropylene Composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 28(10), 1169-1189.

Malkapuram, R., Kumar, V., & Negi, Y. S. (2009). Recent Development in Natural Fiber Reinforced Polypropylene Composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 28(10), 1169-1189.

Mautner, A., Kwaw, Y., Weiland, K., Mvubu, M., Botha, A., Jacob John, M., . . . Bismarck, A. (2019). Natural fibre-nanocellulose composite filters for the removal of heavy metal ions from water. *Industrial Crops and Products*, 133, 325-332. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.03.032>

Megiatto Jr., J. D., Silva, C. G., Ramires, E. C., & Frollini, E. (2009). Matriz termoestable reforzada con fibras de sisal: efecto del ciclo de curado sobre las propiedades del compuesto de base biológica. *Science Direct*, 28(8), 793-800.

Michelena, A. H., Graham-Jones, J., Summerscales, J., & Hall, W. (2017). Silane modification of the flax/epoxy system Interface. *Procedia Engineering*(200), 448-456.

Miguel F. Anjos, M. V. (2017). Mathematical optimization approaches for facility layout problems: The state-of-the-art and future research directions. *European Journal of Operational Research*, 261(1), 1-16.

- Mjewski, T., & Bledzki, A. (n.d.). Plásticos reforzados con fibras naturales en el sector automotriz. *Ideas en ciencia*, 23-33.
- Mohanty, A. K., Misra, M., & Drzal, L. T. (2001). Surface modifications of natural fibers and performance of the resulting biocomposites: an overview. *Compos Interface*, 8(5), 313–343.
- Mohanty, A. K., Misra, M., & Drzal, L. T. (2005). *Natural fibers, biopolymers, and biocomposites*. Taylor & Francis Group
- Mohanty, A. K., Misra, M., & Hinrichsen, G. (2000). Biofibres, biodegradable polymers and biocomposites: An overview. *Macromol. Mater. Eng.*, 1(24)
- Mohini Saxena, A. P. (2011). Composite Materials from Natural Resources: Recent Trends and Future Potentials. In *Advances in Composite Materials - Analysis of Natural and Man-Made Materials* (pp. 121-162). Intechopen.
- Mora Rodríguez, L., Álvarez García, E., & Hernández González, J. F. (2009). Determination of mechanical properties of fibers of *Bambusa Vulgaris* to use in bamboo mat board. *Revista Ingeniería de Construcción*, 24(2), 153-166
- Munder, F., Furll, C., & Hempel, H. (2005). Processing of bast fiber plants for industrial application In: Mohanty AK, Misra M, Drzal LT, editors. *Natural fibers, biopolymers, and biocomposites*. Boca Raton: Taylor & Francis, 109-140
- Mutjé, P., Méndez, J. A., Vilaseca, F., López, J. P., Flandez, J., Barberà, L., . . . Pèlach, M. (2008). Utilización de residuos industriales de la producción de filamento de cáñamo como refuerzo de matrices poliméricas biodegradables. I Simposio Iberoamericano I Simposio Iberoamericano I Simposio Iberoamericano I Simposio Iberoamericano dededede *Ingeniería de Residuos Ingeniería de Residuos Ingeniería de Residuos*

Ingeniería de Residuos. REDISA 2008. <https://docplayer.es/24776174-Utilizacion-de-residuos-industriales-de-la-produccion-de-filamento-de-canamo-como-refuerzo-de-matrices-polimericas-biodegradables.html>

Nabi Saheb, D., & Jog, J. P. (1999). Natural fiber polymer composites: A review. *Advances in Polymer Technology*, 18(4), 351-363

Nagarajan , V., Mohanty , A. K., & Misra, M. (2013). Sustainable green composites: Value addition to agricultural residues and perennial grasses. *ACS Sustain Chem Eng*(1), 325–33

Nguyen Ngoc Hoang Quan, P. V. (2021). Wind Turbine Blade Design Optimization using OpenFOAM and DAKOTA software. *Transportation Research Procedia*, 56, 71-78

Ochi, S. (2008). Mechanical properties of kenaf fibers and kenaf/PLA composites. *Mech Mater*, 40(4-5), 446–52

Ojaghi, Y. K. (2015). Production Layout Optimization for Small and Medium Scale Food Industry. In P. CIRP (Ed.), *12th Global Conference on Sustainable Manufacturing*, 26, pp. 247-251. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.07.050>

Ojaghi, Y. K. (2015). Production Layout Optimization for Small and Medium Scale Food Industry. In P. CIRP (Ed.), *12th Global Conference on Sustainable Manufacturing*, 26, pp. 247-251. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.07.050>

Ojing Siram, N. S. (2022). Changing landscape of India's renewable energy and the contribution of wind energy. *Cleaner Engineering and Technology*, 8

Parra Negrete, L. A., del Villar Quiñones, , P., & Prieto Rodríguez, A. (2010). Extracción de fibras de agave para elaborar papel y artesanías. *Acta Universitaria*, 20(3), 77-83



- Plackett, D., & Sodergard, A. (2005). Polylactide-based biocomposites. In: Mohanty AK, Misra M, Drzal LT, editors. Natural fibers, biopolymers, and biocomposites. Boca Raton: Taylor & Francis, 579-596
- Qing-Lian Lin, H.-C. L.-J. (2015). Integrating systematic layout planning with fuzzy constraint theory to design and optimize the facility layout for operating theatre in hospitals. *Journal of Intelligent Manufacturing* , 26, 87–95
- Quesada Solís, K., Alvarado Aguilar, P., Sibaja Ballesteros, R., & Vega Baudrit, J. (2005). Utilización de las fibras del rastrojo de piña (*Ananas comusus*, variedad champaka) como material de refuerzo en resinas de poliéster. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 6(2), 157 - 179
- Ramadan, R., Saad, G., Awwad, E., Khatib, H., & Mabsout, M. (2017). Short-Term Durability of Hemp Fibers. *Procedia Engineering*(200), 120 - 127
- Ramesh Palanikumar , M., & Hemachandra, R. (2013). Mechanical property evaluation of sisal-juteglass fiber reinforced polyester composites. *Composites*, 48(0), 1-9
- Ramos, T. R. (2010). Materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibra de vidrio. *Cimbra*, 42-52. [http://www.citop.es/publicaciones/documentos/Cimbra390\\_06.pdf](http://www.citop.es/publicaciones/documentos/Cimbra390_06.pdf)
- Renault, H., Werck-Reichhart, D., Weng, J.-K. (2019). Harnessing lignin evolution for biotechnological. *Current Opinion in Biotechnology*, 105-111
- Riedel, U., & Nickel, J. (2005). Applications of Natural Fiber Composites for Constructive Parts in Aerospace, Automobiles, and Other Areas. *Biopolym*, 272(1), 34-40.
- Rin Gu, H., Jin Kim, S., & Ah Kim, H. (2017). Physical properties of eco-friendly kenaf fiber

imbeddednonwoven for automotive pillar trim. *Procedia Engineering*(200), 45-52

Rong, M. Z., Zhang, M. Q., Liu, Y., Yang, G. C., Zeng, H. M. (2001). The effect of fiber treatment on the mechanical properties of unidirectional sisal-reinforced epoxy composites. *Composites Science and Technology*

Rowell, R. M., Sanadi, A. R., Caulfield, D. F., & Jacobson, R. E. (1997). Utilization of Natural Fibers in Plastic Composites: Problems and Opportunities. In *Lignocellulosic-plastics composites* (pp. 23-51). Leaño AL, Carvalho FX, Frollini E, editors

Sarikaya, E., Çallioğlu, H., & Demirel, H. (2019, Marzo). Production of epoxy composites reinforced by different natural fibers and their mechanical properties. *Composites Part B*. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.03.020>

Sever, K., Sarikanat, M., Seki, Y., Erkan, G., Erdoğan, Ü. H., & Erden, S. (2012). Tratamientos superficiales del tejido de yute: la influencia de las características de la superficie sobre los tejidos de yute y las propiedades mecánicas de los compuestos de yute / poliéster. *Science Direct*, 35(1), 22-30

Shawpan, M. A., Pickering, K. L., & Fernyhough, A. (2012). Propiedades de flexión de polilactida reforzada con fibra de cáñamo y compuestos de poliéster insaturado. *Science Direct*, 43(3), 519-52

Silva-Santos, Cristina, M., Silva Oliveira, M., Giacomini, A. M., Costa Laktim, M., & Baruque Ramos, J. (2017). Flammability on textile of business uniforms: use of natural fibers. *Procedia Engineering*, 148-154

Silveira Maia, T. H., Larocca, N. M., Goncalves Beatrice, C. A., de Menezes, A. J., de Freitas Siqueira, G., Pessan, L., . . . de Almeida Lucas, A. (2017). Polyethylene cellulose nanofibrils nanocomposites. *Carbohydrate Polymers*, 50-56

- Sood, M., & Dwivedi , G. (2017). Effect of fiber treatment on flexural properties of natural fiber reinforced composites: A review. *Egyptian Journal of Petroleum*, 775-783
- Souza, P. S., Rodrigues, E. F., Prêta, J. C., Goular, S. S., & Mulinari, D. R. (2011). Mechanical properties of HDPE/textile fibers composites. *Procedia Engineering*, 2040-2045
- Sreenivasan, V. S., Rajini, N., Alavudeen, A., & Arumugaprabu, V. (2015). Análisis dinámico mecánico y termogravimétrico del compuesto *Sansevieria cylindrica* / poliéster: efecto de la longitud de la fibra, carga de fibra y tratamiento químico. *Compuestos Parte B: Ingeniería*, 69, 76-86
- Steffens, F., Steffens, H., & Ribeiro Oliveira, F. (2017). Applications Of Natural Fibers On Architecture. *Procedia Engineering*
- Sujaritjun, W., Uawongsuwan, P., Pivsa-Ar, W., & Hamada, H. (2013). Mechanical property of surface modified natural fiber reinforced PLA biocomposites . *Science Direct*, 664-672
- Sydow, Z., & Bieńczak, K. (2018). The overview on the use of natural fibers reinforced composites for food packaging. *Journal of Natural Fibers*
- Symington, M., Banks , W., West, O., & Pethrick, R. (2009). Tensile testing of cellulose based natural fibers for structural composite applications. *J Compos Mater*, 43(9), 1083-1108
- Taborda Rios, J. A., Cañas Mendoza, L. A., & Tristancho Reyes, J. L. (2017). Comparative study of the mechanical properties of the polyester resin reinforced with bamboo fiber as the substitute material fiberglass. *DYNA*, 84(202), 35-41
- Tapia , C., Paredes , C., Simbaña , A., & Bermúdez , J. (2006). Aplicación de las Fibras Naturales en el Desarrollo de Materiales Compuestos y como Biomasa. *Revista Tecnológica ESPOL*, 19(1), 113-120

Textil, D. (n.d.). Tecnología de la confección Textil. Copyright

Thomas, S., & Jacob John, M. (2008). Biofibras and biocomposites. Review. Carbohydrate Polymers, 343-364

Ticolau, A., Aravinthan, T., & Cardona, F. (2010). A Review of Current Development in Natural Fiber Composites for Structural and Infrastructure Applications. University of Southern Queensland, Toowoomba

Trujillo , M., Salinas, J., Jiménez , O., Maciel , A., Barba , A., Martínez, J., & Arenas, P. (2019). Caracterización de materiales compuestos a base de polímeros-fibra de bagazo de nopal inyectadas. <https://docplayer.es/amp/41082047-Caracterizacion-de-materiales-compuestos-a-base-de-polimeros-fibra-de-bagazo-de-nopal-inyectadas.html>

Trujillo , M., Salinas, J., Jiménez , O., Maciel , A., Barba , A., Martínez, J., & Arenas, P. (n.d.). Caracterización de materiales compuestos a base de polímeros-fibra de bagazo de nopal inyectadas. MEMORIAS DEL XVI CONGRESO INTERNACIONAL ANUAL DE LA SOMIM. <https://docplayer.es/amp/41082047-Caracterizacion-de-materiales-compuestos-a-base-de-polimeros-fibra-de-bagazo-de-nopal-inyectadas.html>

U. Erick Y. Gómez, Z. J. (2014). Design and Manufacturing of Wind Turbine Blades of Low Capacity Using CAD/CAM Techniques and Composite Materials. Energy Procedia, 57, 682-690

Vallejos, M. E., Cañigueral, N., Méndez, J. A., Vilaseca, F., Corrales , F., López , A., & Mutjé , P. (2006). Aprovechamiento de la cañamiza de cáñamo como carga/refuerzo de materiales compuestos. Afinidad, 63(525), 354-361

Vega Baudrit, J., Delgado Montero, K., Sibaja Ballester, M., & Alvarado Aguilar, P. (2008). Materiales poliméricos compuestos obtenidos a partir de los residuos generados por la agroindustria de la caña de azúcar. Una alternativa adicional. II. Revista Iberoamericana

de Polímeros, 9(4), 389-407

WD, B. (2000). Natural fibre composites: where can flax compete with glass? SAMPE J, 18-23

Yosra Ojaghi, A. K. (2015). Production Layout Optimization for Small and Medium Scale Food Industry. Procedia CIRP, 26, 247-251

Yuqiao Zheng, Y. C. (2017). Structural Optimization Design of Large Wind Turbine Blade considering Aeroelastic Effect. Mathematical Problems in Engineering, 2017

Zhang, H. (2014). Efecto de un nuevo agente de acoplamiento, el alquil ceteno dímero, sobre las propiedades mecánicas de los compuestos de madera y plástico. Materiales y diseño, 59, 130-134

Zhi, M. M. (2001). The effect of fiber treatment on the mechanical properties of unidirectional sisal-reinforced epoxy composites. Composites Science and Technology, 61, 1437-1447